

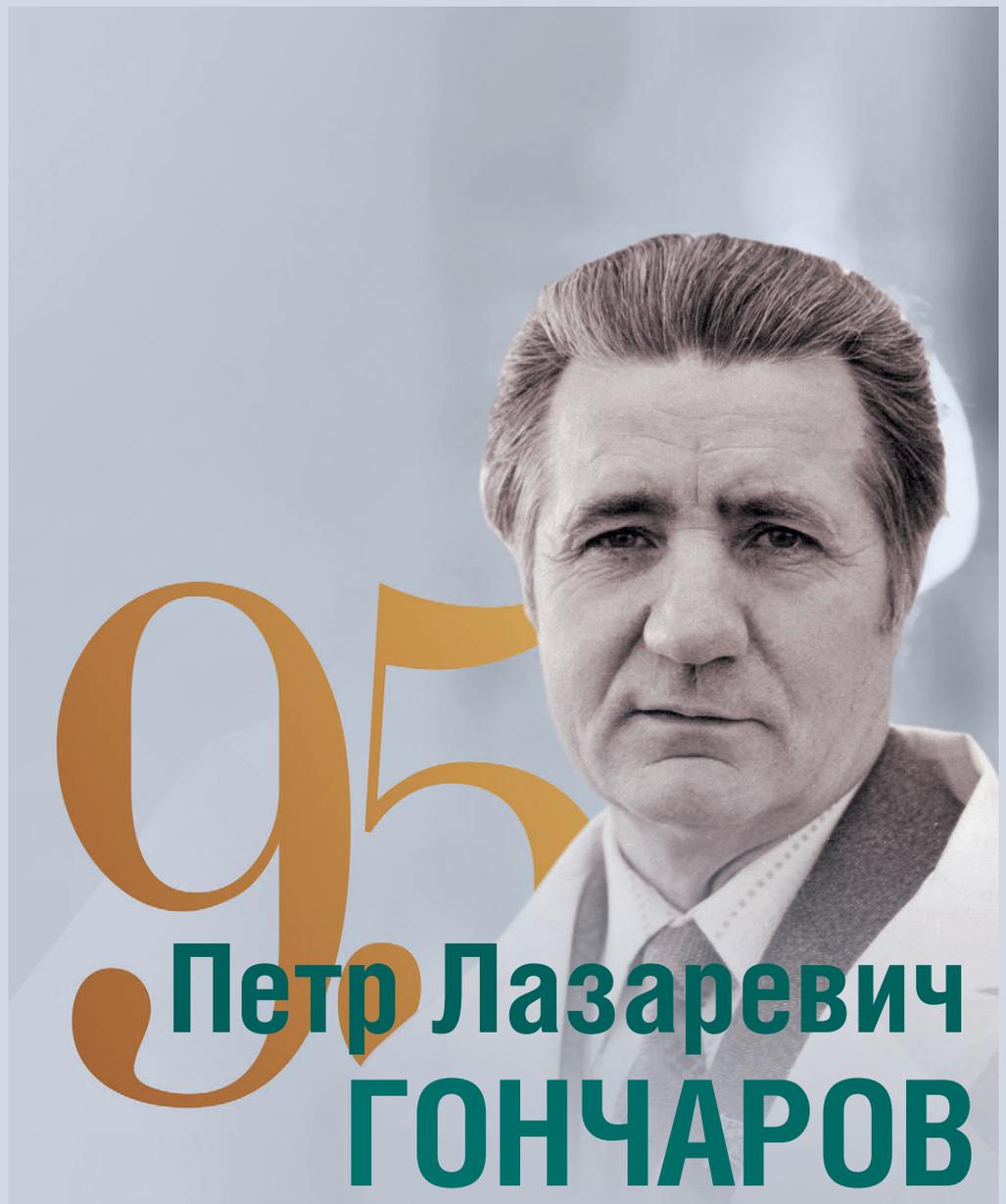


Генофонд и селекция растений

7-я Международная конференция, посвященная
95-летию академика РАН П.Л. Гончарова, GPB 2024

7th International Conference “Genepool and Plant Breeding”
dedicated to the 95th anniversary of the birth of Academician
of the Russian Academy of Sciences P. L. Goncharov

10-12 апреля 2024 г., Новосибирск, Россия
April 10-12, 2024, Novosibirsk, Russia



Организаторы

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЦиГ СО РАН)

Сибирский научно-исследовательский институт
растениеводства и селекции (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН)

Сибирское отделение Российской академии наук (СО РАН)

Межрегиональная общественная организация
Вавиловское общество генетиков и селекционеров (МОО ВОГиС)

Новосибирское отделение ВОГиС (НООО ВОГиС)

Вавиловский журнал генетики и селекции (ВЖГиС)

Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции

Новосибирский государственный университет (НГУ)

Новосибирский государственный аграрный университет (НГАУ)

Спонсоры



Конференция поддерживается
Курчатовским геномным центром
Института цитологии и генетики СО РАН
(номер проекта: № 075-15-2019-1662)



Федеральный исследовательский центр «Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения Российской академии наук»
Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

ГЕНОФОНД И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ

Материалы 7-й Международной конференции,
посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова
10–12 апреля 2024 г., Новосибирск, Россия

GENEPOOL AND PLANT BREEDING (GPB 2024)

Proceedings of the 7th International Conference dedicated to the 95th anniversary
of the birth of Academician of the Russian Academy of Sciences P.L. Goncharov

April 10–12, 2024, Novosibirsk, Russia



Новосибирск
ИЦиГ СО РАН
2024

Генофонд и селекция растений: Материалы 7-й Международной конференции «Генофонд и селекция растений», посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова (Новосибирск, Россия, 10–12 апреля 2024 г.) / Федер. исслед. центр Ин-т цитологии и генетики Сиб. отделения Рос. академии наук. – Новосибирск : ИЦиГ СО РАН, 2024. – 448 с. – ISBN 978–5–91291–066–1. – DOI 10.18699/GPB-2024-01

Genepool and Plant Breeding (GPB 2024): Proceedings of the 7th International conference “Genepool and Plant Breeding” dedicated to the 95th anniversary of the birth of Academician of the Russian Academy of Sciences P.L. Goncharov (April 10–12, 2024, Novosibirsk, Russia) / Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Novosibirsk : ICG SB RAS, 2024. – 448 p. – ISBN 978–5–91291–066–1. – DOI 10.18699/GPB-2024-01

Сборник материалов 7-й Международной конференции «Генофонд и селекция растений», посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова, подготовлен по результатам изучения и сохранения генетических ресурсов растений на основе новейших исследований в области генетики, молекулярной биологии, биотехнологии и практического использования мирового генофонда культурных растений в селекции.

Контакты

Адрес электронной почты организационного комитета GPB 2024: gpb2024@bionet.nsc.ru
Для бумажной корреспонденции: 630501, пос. Краснообск,
Новосибирская область, а/я 375, СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН

Международный программный комитет

Сопредседатель: Лихенко Иван Евгеньевич, Россия

Сопредседатель: Кочетов Алексей Владимирович, Россия

Колчанов Николай Александрович, Россия

Салина Елена Артемовна, Россия

Шумный Владимир Константинович, Россия

Афанасенко Ольга Сильвестровна, Россия

Беспалова Людмила Андреевна, Россия

Баталова Галина Аркадьевна, Россия

Гончаров Николай Петрович, Россия

Голохваст Кирилл Сергеевич, Россия

Косолапов Владимир Михайлович, Россия

Рудой Евгений Владимирович, Россия

Сурин Николай Александрович, Россия

Хлесткина Елена Константиновна, Россия

Шаманин Владимир Петрович, Россия

Гриб Станислав Иванович, Республика Беларусь

Моргунов Алексей Иванович, Республика Казахстан

Насырова Фируза Юсуфовна, Республика Таджикистан

Савин Тимур Владимирович, Республика Казахстан

Садоян Рузанна Робертовна, Республика Армения

Организационный комитет (ИЦиГ СО РАН)

Председатель: Лихенко Иван Евгеньевич

Ученый секретарь конференции: Орлова Елена Арнольдовна

Артёмова Галина Васильевна

Бехтольд Нина Павловна

Зенкова Светлана Евгеньевна

Зубова Светлана Васильевна

Зыбченко Дмитрий Петрович

Иванов Роман Артемович

Игнатьева Ольга Валерьевна

Капко Татьяна Николаевна

Карамышева Татьяна Витальевна

Линкевич Павел Евгеньевич

Морковина Алина Владимировна

Савера Петр Владимирович

Токпанов Ерлан Аскарлович

Харкевич Андрей Владимирович

Чалкова Татьяна Федоровна



**Федеральный исследовательский центр
Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения Российской академии наук**

Директор: академик РАН *Алексей Владимирович Кочетов*
Научный руководитель: академик РАН *Николай Александрович Колчанов*
Ученый секретарь: канд. биол. наук *Галина Владимировна Орлова*
Тел.: +7 (383) 363 4985, email: gorlova@bionet.nsc.ru

Институт создан в 1957 году в числе первых институтов Сибирского отделения АН СССР. В настоящее время ИЦиГ СО РАН – мультидисциплинарный, многопрофильный биологический институт, который по праву считается одним из ведущих научных учреждений биологического профиля в России. В мае 2017 года закончился второй этап реорганизации Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук.

ФИЦ ИЦиГ СО РАН включает три филиала: Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции (СибНИИРС), Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии (НИИКЭЛ), Научно-исследовательский институт терапии и профилактической медицины (НИИТПМ).

Стратегическая цель – получение новых знаний в области генетики и клеточной биологии, разработка и применение генетических технологий для решения приоритетных задач развития научно-технологического комплекса Российской Федерации.

Приоритетные задачи – получение новых фундаментальных знаний в области общей и молекулярной генетики и клеточной биологии; разработка и внедрение генетических технологий для агропромышленного комплекса, медицины и биотехнологии.

Позиционирование ИЦиГ СО РАН осуществляется по следующим направлениям: достижение результатов, обеспечивающих технологический суверенитет и конкурентные позиции Российской Федерации в стратегически важных для государства областях, включая генетические технологии для медицины, фармакологии, биотехнологической промышленности и сельского хозяйства.

Кадровый состав. На 1 января 2024 года структура ФИЦ ИЦиГ СО РАН состояла из 142 научных подразделений, в которых работали 1462 человека, в том числе 493 научных сотрудника, из них 42% сотрудников в возрасте до 39 лет, 2 советника РАН, 8 академиков РАН, 3 члена-корреспондента РАН, 95 докторов наук, 283 кандидата наук. На 1 января 2024 года в ФИЦ ИЦиГ СО РАН обучались 81 аспирант и 34 ординатора.

Публикации. Институт активно публикуется в российских и зарубежных журналах и является в российской биологии одним из признанных лидеров. Общее количество статей в рецензируемых журналах в 2022 г. составило 661. В 2018–2022 годах в международных системах цитирования публикаций Web of Science или Scopus было опубликовано 2345 статей сотрудников ИЦиГ СО РАН. ФИЦ ИЦиГ СО РАН является лидером среди НИИ и вузов РФ по количеству статей в WoS по направлению Genetics/Hereditry.

Имущественный комплекс. Земельный участок площадью 35 тыс. га, закрепленный на праве постоянного пользования; 85 тыс. м² рабочих площадей, расположенных на территории Советского района г. Новосибирска, Барышевского сельского совета Новосибирской области, в Искитимском и Черепановском районах и в пос. Краснообск Новосибирской области.

Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 10
тел./факс: +7 (383) 363 4980/+7 (383) 333 1278
www.icgbio.ru, email: icg-adm@bionet.nsc.ru

Центрифуги для пробирок типа Eppendorf 1,5 мл TurboFuge, Тайвань Макс. 36 пробирок, 21 400g!

ДИАМ
сервисная лаборатория



Аналог MicroCL 17 (Thermo FS) и 5418R (Eppendorf)

TurboFuge Blue-Ray, Тайвань – надежные высокоскоростные центрифуги, для пробирок типа Eppendorf объемом 1,5/2,0 мл с макс. вместимостью **36** штук и ускорением **21 400g**. С использованием адаптеров возможно центрифугирование совместно с пробирками объемом 0,2 и 0,5 мл.

- Вместимость – 24 или 36 мест
- Скорость – 15 000 об/мин (21 400 g)
- Время разгона/торможения – 15/9 с
- Таймер – 0,5–99 мин



AAMC-2411	Центрифуга 15000 об/мин, 21400 g, 24×1,5 мл, крышка аэрозоль-непроницаемая метал., TurboFuge,	183 438,=
AAMC-2410	Центрифуга 15000 об/мин, 21400 g, 24×1,5 мл, крышка пластиковая, TurboFuge	183 438,=
AAMC-3611	Центрифуга 15000 об/мин, 21400 g, 36×1,5 мл, крышка аэрозоль-непроницаемая метал., TurboFuge	235 834,=
AAMC-3610	Центрифуга 15000 об/мин, 21400 g, 36×1,5 мл, крышка пластиковая, TurboFuge	227 099,=
R-2420F	Ротор угловой 24×1,5 мл	46 099,=
R-3620F	Ротор угловой 36×1,5 мл	82 978,=
AAMC-a001	Крышка ротора аэрозоль-непроницаемая, металлическая	21 205,=

Центрифуга diaGene FV2800, Россия Сразу три ротора в комплекте!

- Максимальная вместимость – 12×1,5/2 мл (ротор R-1.5M)
- Режим вортекса для одной пробирки
- Режим работы – непрерывный и импульсный
- Габариты, Ш×Г×В – 120×170×120 мм



12×1,5 мл



12×0,5 мл + 12×0,2 мл



8 стрипов по 8×0,2 мл



FV2800 Центрифуга-вортекс, 2800 об/мин, 500g, diaGene FV2800, Диаэм, Россия 26 800,=

Диаэм, Москва ■ ул. Магаданская, д. 7, к. 3 ■ тел./факс: 8 (800) 234-0508 ■ sales@dia-m.ru



С.-Петербург
spb@dia-m.ru

Новосибирск
nsk@dia-m.ru

Воронеж
vnp@dia-m.ru

Йошкар-Ола
nba@dia-m.ru

Красноярск
krsk@dia-m.ru

Казань
kazan@dia-m.ru

Ростов-на-Дону
rnd@dia-m.ru

Екатеринбург
ekb@dia-m.ru

Кемерово
kemerovo@dia-m.ru

Нижний Новгород
nnovgorod@dia-m.ru

мобильное приложение



www.dia-m.ru

Мы более 120 лет занимаемся только травами, являясь лидером в селекции кормовых культур и газонных трав. С нашими знаниями и опытом, мы предлагаем выгодные и эффективные решения локальных задач для конечных потребителей во всем мире.

Как инновационная семейная компания, мы сфокусированы на научных исследованиях и разработках, а также успешном продвижении инновационных продуктов. Основа нашего успеха базируется на пяти основных принципах:

ПЕРЕДОВАЯ ГЕНЕТИКА - МЕЖДУНАРОДНОЕ ПРИСУТВИЕ - ИННОВАЦИИ - КАЧЕСТВО - ПАРТНЕРСТВО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

МЫ ПРОВОДИМ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Баренбруг реализует селекционные программы кормовых культур на исследовательских станциях по всему миру, проводя полевые испытания в различных локальных условиях. Компания располагает множеством опытных полей на территории всей Европы и в России. Это делает нашу продукцию отлично адаптированной к условиям конкретного региона и заслуживающей доверия.



Животные оценивают. Так как «реальными потребителями» наших трав и бобовых культур являются животные, то много испытаний проводится с их участием (коров, овец, лошадей). Сорты трав на наших селекционных станциях испытываются на выпасе, чтобы проанализировать вкусовую привлекательность, долговечность и пригодность к условиям реального производства. Оценка качества кормов в лаборатории (переваримость, энергетическая ценность, содержание белков, клетчатки, минеральных веществ и т. д.) по всем кормовым культурам Баренбруг, также является неотъемлемой частью наших селекционных программ.

Селекционная работа Barenbrug в России. Мы успешно производим и реализуем семена многолетних трав по всему миру и активно работаем над повышением качества своей продукции. В данный момент, в различных агроклиматических регионах РФ (Ярославская обл., Республика Татарстан, Ставропольский край), нашими сотрудниками ведутся сортоиспытательные работы для выявления наиболее перспективных сортов и сортообразцов следующих кормовых: ежа сборная (*Dactylis glomerata*), тимopheевка луговая (*Phleum pratense*), костер безостый (*Bromus inermis*), овсяница тростниковая (*Festuca arundinacea*), райграсс пастбищный (*Lolium perenne*), люцерна посевная (*Medicago sativa*) и т.д.



Сервис и сопровождение от Баренбруг. Баренбруг является единственной в России компанией, обеспечивающей клиентов высочайшим уровнем сервиса и технической поддержки по кормовым травам и засухоустойчивым кормовым культурам. Мы имеем обученных сотрудников, оснащенных высококлассным диагностическим оборудованием. Специалисты Баренбруг совместно с нашими партнерами, продолжают давать своевременные рекомендации по: • подбору полей под ту или иную травосмесь • технологии подготовки почвы под посев • выбору травосмеси или продукта для конкретных условий • посеву • уходу за посевами трав • всей технологии заготовки качественных кормов.



Баренбруг в СНГ

- **в Белоруссии:** семена Баренбруг поступают в Белоруссию с международными сертификатами ISTA, проходят обязательный фитосанитарный контроль и проверку. Качество семян зачастую превосходит ГОСТ: всхожесть и чистота больше 90%, все семена первой репродукции. Флагманом Баренбруг являются семена люцерны сорт Артемис, который включен в «Государственный реестр сортов древесно-кустарниковых пород» и районирован по всей территории Белоруссии.
- **в Казахстане:** семена компании Баренбруг зарекомендовали себя, как качественный и надежный продукт. В Казахстан семена поставляются с учетом всех правовых норм, а также попадают под Государственную программу субсидирования. Фермеры Казахстана получают и качественный семенной материал, и технологическую поддержку специалистов. Наши многолетние травосмеси, люцерна, сорго-суданские гибриды, стали неотъемлемой частью кормовой базы передовых хозяйств Казахстана.

Многолетние и однолетние травосмеси, люцерна собственной селекции Баренбруг, сорговые культуры, травосмеси для лошадей и мелкого рогатого скота, сорта трав, сорта клевера и многое другое представлено в [нашем каталоге](#).

ООО «Баренбруг» 125362

Москва, улица Свободы, дом 29
Тел./факс +7 (495) 661-35-24
info@barenbrug.ru www.barenbrug.ru

Barenbrug Holland

P.O. Box 1338 6501BH Nijmegen
The Netherlands, www.barenbrug.com
Tel: +31(0)243488100 Fax: +31(0)243488189

Корнелис Адрианус ван ден Берг

Генеральный директор
cavdberg@barenbrug.ru
+7 (967) 113-26-40



Национальный союз
селекционеров и семеноводов
СВИДЕТЕЛЬСТВО № 355



Бизнес вместе
с селекционной наукой
стремится к обобщению.
Селекционеры
интересуют частности.
А рассудит всех
успешный **СОРТ!**

*В науке нам приходится
расплачиваться за стремление найти
чрезвычайно общие законы: мы
теряем многие детали отдельного
события.*

*М. Голдстейн, И. Голдстейн,
1984 с. 203*

Команда СБТ работает над адаптацией и широким
внедрением в Сибири сортовых технологий с 2021 года.

**Основное внимание мы уделяем выбору
оптимального сочетания сорта и технологии.**

**Т.е. мы не навязываем свою технологию
(пестициды, удобрения, технику) фермеру,
а опираясь на его возможности, опыт и технологию
ищем оптимальный вариант.**

РЕЗУЛЬТАТ – выбранные сорта и гибриды за короткий
период занимают уверенную позицию **в 10-ке лидеров**
по объемам высева в Сибири

Новосибирск

+7(383) 235-97-17

info@sbt-siberia.ru

630501, р.п. Краснообск, ул. Центральная, 3А, оф. 336



Защита растений — наша профессия!



Опыт работы
с 2004 года



Производство
в России — на заводе
«Шанс Энтепрайз»



Более 80 СЗР
и микроудобрений



50+ представительств
в России и СНГ



Более 5000 клиентов
в России и за рубежом



24/7 круглосуточная
доставка и поддержка



8 800 700-90-36
shans-group.com

Официальное
приложение
ГК «Шанс»



Генеральным партнером завода-производителя «Шанс Энтепрайз» по реализации продукции на территории РФ является ООО «Шанс Трейд».

Дифференциация субгеномов среди *StY*-геномных видов рода *Elymus* (Triticeae, Poaceae) с территории России по данным секвенирования ядерного гена *GBSSI* (*waxy*)

Агафонов А.В.^{1*}, д.б.н., в.н.с.; Шабанова (Кобозева) Е.В.¹, к.б.н., н.с.;
Бондарь А.А.², к.б.н., с.н.с.

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН,
Новосибирск, Россия

*email: agalex@mail.ru

По современным данным предковые таксоны рода *Pseudoroegneria* были донорами субгенома *St* для всех современных видов рода *Elymus*. *StY*-геномная группа видов обладает дополнительным субгеномом *Y*, который по некоторым сведениям близок к субгеному *St*. Нами было проведено изучение филогенетических взаимоотношений между *StY*-геномными видами с территории России и пятью видами рода *Pseudoroegneria* путем сравнения последовательностей ядерного гена *GBSSI*. Результаты показали приуроченность (дифференциацию) субгенома *St* у изученных видов к определенным видам *Pseudoroegneria* в связи с исходными ареалами последних. Субгеном *Y* показал низкий уровень вариабельности и относительно близкое родство с кластером субгенома *St*₂.

Ключевые слова: молекулярные маркеры; филогения; *St*-субгеном; *Elymus*; *Pseudoroegneria*

Differentiation of subgenomes in *StY*-genomic species of the genus *Elymus* (Triticeae, Poaceae) from the territory of Russia according to sequencing data of the nuclear gene *GBSSI* (*waxy*)

Agafonov A.V.^{1*}, Shabanova (Kobozeva) E.V.¹, Bondar A.A.²

¹Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: agalex@mail.ru

According to modern data, the ancestral taxa of the genus *Pseudoroegneria* were donors of the *St* subgenome for all modern species of the genus *Elymus*. The *StY* genome group of species has an additional *Y* subgenome, which, according to some information, is close to the *St* subgenome. We studied the phylogenetic relationships between *StY*-genomic species from Russia and five species of the genus *Pseudoroegneria* by comparing the sequences of the *GBSSI* nuclear gene. The results showed the association (differentiation) of the *St* subgenome in the studied species with certain *Pseudoroegneria* species in connection with the original ranges of the latter. The *Y* subgenome

showed low level of variability and relatively close relation to the St₂ subgenome cluster.

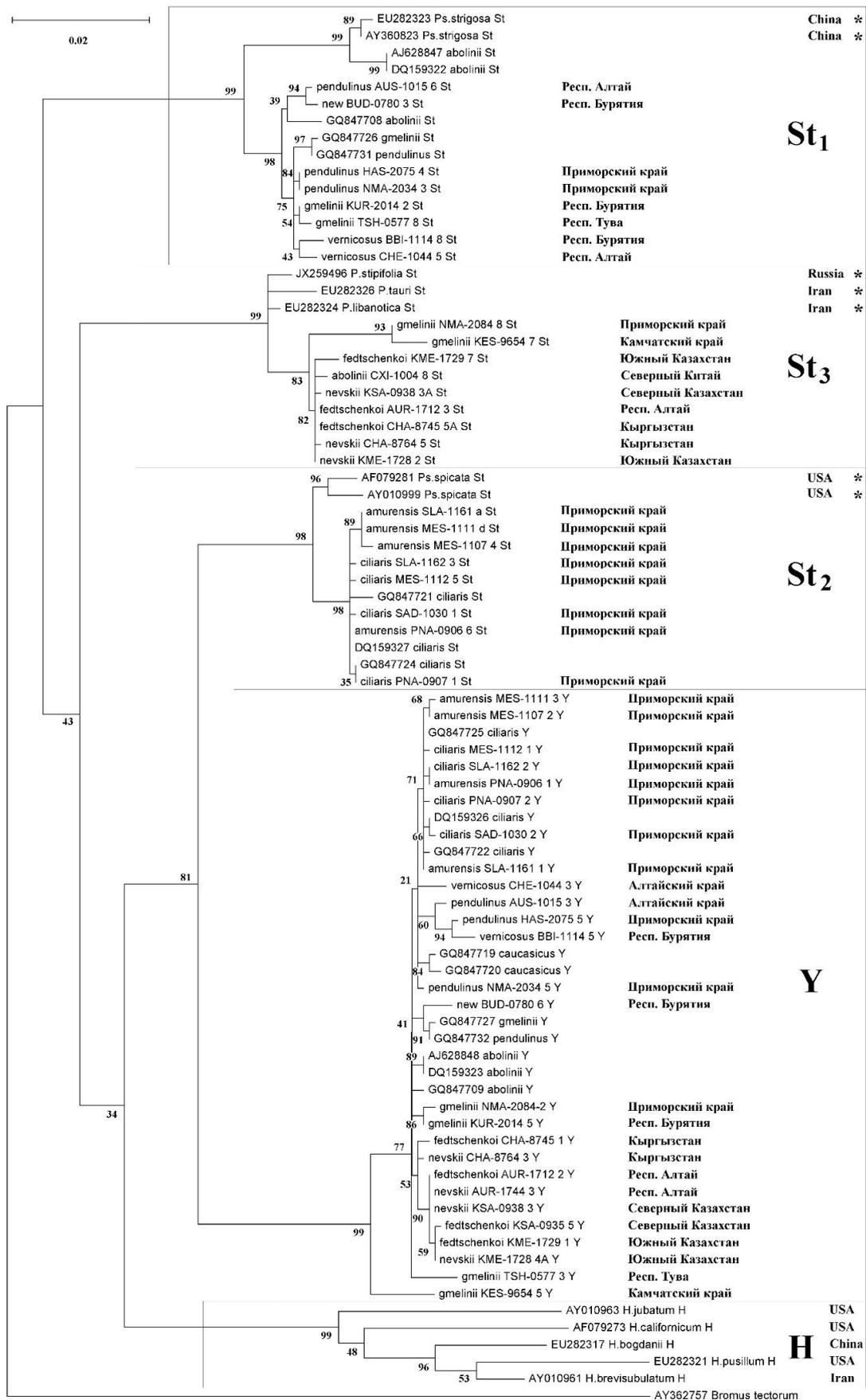
Key words: molecular markers; phylogeny; St-subgenome; Elymus; Pseudoroegneria

Род многолетних трав *Elymus* L. является крупнейшим в трибе Triticeae Dumort (Poaceae). В мире насчитывается от 150 до 200 видов с различной геномной конституцией (субгеномы **St**, **H**, **Y**, **P**, **W** предковых таксонов трибы в разных комбинациях). Поскольку род относится к третичному генпулу (GP-3) основных хлебных культур, его представители часто включались в детальные цитогенетические исследования [1]. В последние десятилетия цитогенетический метод определения геномной конституции видов стал дополняться и даже вытесняться более технологичными методами секвенирования последовательностей ДНК [2, 3]. Центр внимания исследователей сдвигается в сторону происхождения и филогенетических отношений между базисными субгеномами и таксонами разных рангов с использованием молекулярно-генетических методов.

Поскольку основное разнообразие видов с этой группы приходится на территории Китая, Кореи и Японии, опубликован ряд данных об исторических связях между **St**- и **Y**-субгеномами, которые носят достаточно противоречивый характер. Так, по более ранним сведениям, субгеномы **St** и **Y** могли происходить от одного и того же предка [4, 5]. По другим данным, субгеном **Y** возник у диплоидного предка и имеет иное происхождение в сравнении с геномом **St** [6, 7]. Кроме того, предложен вариант автотетраплоидного происхождения субгенома **Y** в процессе рекуррентной гибридизации [8].

По последним данным [9] на территории РФ распространены 55 видов рода *Elymus*, которые по нашему предположению относятся к трем субгеномным комбинациям **StStHH**, **StStYY** и **StStHHYY**. Среди них **StY**-геномная группа насчитывает всего 10 видов с разной степенью изученности эволюционных связей. Как было неоднократно показано в работах исследовательской группы Dr. R. J. Mason-Gamer с 1998 по 2013 г., одним из эффективных генетических маркеров макро- и микроэволюционных взаимоотношений между таксонами разных уровней может служить ядерный ген **гранул-связанная синтаза крахмала 1** (*GBSSI*, *waxy*). Нами была подтверждена целесообразность использования гена в качестве индикатора микроэволюционных процессов среди видов рода *Elymus* [10, 11]. В рамках данной работы поставлена цель проследить эволюционные связи между **St**-субгеномами, а также оценить местоположение **Y**-субгенома на эволюционном древе среди **StY**-геномных видов *Elymus* с территории России при сравнении нуклеотидных последовательностей фрагментов гена с 9 по 14 экзон.

В исследование включено 26 природных образцов 8 видов из нашей коллекции с подтвержденным таксономическим рангом согласно Н.С. Пробатовой



Дендрограмма ML, построенная по результатам анализа последовательностей гена *GBSSI* (экзоны 9–14 вместе с интронами) у *StY*-геномной группы видов с территории России в сравнении с реперными видами.

Звездочками отмечены моногеномные носители субгенома *St*

и Н.Н. Цвелеву [9]. Два европейских вида *E. caucasicus* (С. Koch) Tzvelev и *E. panormitanus* (Parl.) Tzvelev отсутствуют в нашей коллекции. Центральноазиатский вид *E. abolinii* (Drob.) Tzvelev включен в сравнительный анализ, поскольку есть предположение о его произрастании в пределах в России.

Кроме того, в более широком охвате взяты из NCBI клоны двух StY-геномных видов *E. ciliaris* и *E. abolinii*, последний из которых пока не отмечен на территории России. В отличие от коллекционных образцов, инвентарные номера клонов из NCBI приведены на дендрограмме впереди видовых названий. Амплификацию, клонирование и секвенирование фрагментов *GBSSI* с 9 по 14 экзон выполняли по стандартным методикам с нашими модификациями [10, 11].

По полученным результатам субгеномы St изученных видов подразделяются на три кластера сообразно трем маркерным группам клонов рода *Pseudoroegneria* (см. рисунок): центральноазиатской (St₁), североамериканской (St₂) и ближневосточной (St₃). При этом остается ряд вопросов, связанных с местоположением клонов некоторых видов в разных кластерах. Но в целом, виды StY-геномной группы с территории России имеют три филогенетических вектора происхождения, что согласуется с нашими представлениями о микроэволюционных комплексах внутри рода *Elymus*. При этом субгеном Y проявил низкий уровень вариабельности, как эволюционно молодой, а также относительно близкое родство с кластером североамериканского субгенома St₂.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского Научного Фонда № 23-24-00260, <https://rscf.ru/project/23-24-00260/>. Использованы материалы биоресурсных научных коллекций ЦСБС СО РАН УНУ № 440534 и УНУ № 440537 (Гербарии NS, NSK). Секвенирование ДНК выполнено в ЦКП «Геномика» (ИХБФМ СО РАН, Новосибирск).

Список литературы

- 1 Dewey D.R. The genomic system of classification as a guide to intergeneric hybridization with the perennial *Triticeae* // Gene manipulation in plant improvement (Ed. Gustafson J.P.). N. Y., Plenum Publ. Corp. 1984. P. 209–279.
- 2 Mason-Gamer R.J. Origin of North American *Elymus* (Poaceae: Triticeae) allotetraploids based on granule-bound starch synthase gene sequences // Systematic Botany. 2001. Vol. 26. P. 757–768.
- 3 Baum B.R., Bailey L.G., Johnson D.A., Agafonov A.V. Molecular diversity of the 5S rDNA units in the *Elymus dahuricus* complex (Poaceae, Triticeae) supports the genomic constitution of St, Y, and H haplomes. // Can. J. Bot. 2003. Vol. 81. P. 1091–1103.
- 4 Liu Q., Ge S., Tang H., Zhang X., Zhu G., Lu B.-R. Phylogenetic relationships in *Elymus* (Poaceae: Triticeae) based on the nuclear ribosomal internal transcribed spacer and chloroplast *trnL-F* sequences // New Phytologist. 2006. Vol. 170. P. 411–420. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01665.x
- 5 Okito P., Mott I.W., Wu Y., Wang R.R. A Y genome specific STS marker in *Pseudoroegneria*

- and *Elymus* species (Triticeae: Gramineae) // Genome. 2009. Vol. 52. № 4. P. 391–400.
- 6 Sun G., Komatsuda T. Origin of the Y genome in *Elymus* and its relationship to other genomes in Triticeae based on evidence from elongation factor G (EF-G) gene sequences // Mol. Phylogenet Evol. 2010. Vol. 56. № 2. 727–733. doi:10.1016/j.ympev.2010.03.037.
- 7 Lei Y.-X., Liu J., Fan X., Sha L.-N., Wang Y., Kang H.-Y., Zhou Y.-H., Zhang H.-Q. Phylogeny and molecular evolution of the *DMC1* gene in the polyploid genus *Roegneria* and its affinitive genera (Poaceae: Triticeae) // Bot. J. Linnean Society. 2018. Vol. 186. P. 129–142.
- 8 Liu Q., Liu L., Ge S., Fu L., Bai S.-Q., Lu X., Wang Q., Chen W., Wang F., Wang L., Yan X., Lu B.-R. Endo-allopolyploidy of autopolyploids and recurrent hybridization — a possible mechanism to explain the unresolved Y-genome donor in polyploid *Elymus* species (Triticeae: Poaceae) // J. Syst. Evol. 2020. doi: 10.1111/jse.12659. (early on-line publication).
- 9 Цвелёв Н.Н., Пробатова Н.С. Злаки России / М. Товарищество научных изданий КМК. 2019. 646 с.
- 10 Агафонов А.В., Асбаганов С.В., Шабанова (Кобозева) Е.В., Морозов И.В., Бондарь А.А. Геномная конституция и дифференциация субгеномов эндемичных сибирских и дальневосточных видов рода *Elymus* (Poaceae) по данным секвенирования ядерного гена *waxy* // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 7. С. 817–826. doi: 10.18699/VJ19.555.
- 11 Agafonov A.V., Shabanova E.V., Emtseva M.V., Asbaganov S.V., Morozov I.V., Bondar A.A., Dorogina O.V. Phylogenetic and taxonomic relationships between morphotypes related to *Elymus caninus* (Poaceae) based on sequence of a nuclear gene *GBSSI* (*waxy*) and sexual hybridization // J. Syst. Evol. 2023. doi: 10.1111/jse.13006 (early on-line publication).

DOI 10.18699/GPB2024-03

Молекулярный анализ козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) с использованием SSR- и SRAP-маркеров

Антонов А.А. *, н.с.; Шамустакимова А.О., н.с.; Клименко И.А., к. с.-х. н., в.н.с.

Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса, МО, Лобня, Россия

*email: antonov4B@yandex.ru

*Представлены результаты исследований по оценке межсортового ДНК-полиморфизма козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) с помощью комбинаций праймеров, разработанных к SSR- и SRAP-маркерам. Испытанная техника маркирования оказалась эффективной для установления межсортовых различий. Определены маркеры, выявляющие сортоспецифичные фрагменты ДНК. Полученные данные можно использовать для оценки генетического разнообразия, ДНК-идентификации, отбора генетически дивергентного материала для использования в селекции новых сортов козлятника восточного.*

Ключевые слова: козлятник восточный; ПЦР-анализ; полиморфизм ДНК; микросателлитные маркеры; SRAP-маркеры

Molecular analysis of fodder galega (*Galega orientalis* Lam.) on the base of SSR and SRAP markers

*Antonov A.A. *, Shamustakimova A.O., Klimenko I.A.*

Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Moscow region, Lobnya, Russia

**email: antonov4B@yandex.ru*

*The results of researches on evaluation the inter-varietal DNA polymorphism in fodder galega (*Galega orientalis* Lam.) using primer combinations, developed for SSR and SRAP markers, are presented in this study. The tested technique of marking had demonstrated the effectiveness for estimation the distinctions between varieties. Variety-specific DNA markers have been determined. The data obtained can be useful for genetic diversity assessment, for varieties DNA identification and selection of genetically divergent material for application in fodder galega breeding.*

Key words: fodder galega; PCR analysis; DNA polymorphism; microsatellite markers; SRAP markers

В последние годы в производстве кормов для животных все больше используется козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.). Это связано с его высокой продуктивностью, кормовой ценностью, экологической пластичностью, долголетием и зимостойкостью. В посевах козлятник сохраняется 8–10 лет и более. Сбор зеленой массы в среднем за первые три года пользования составляет 30–35 т/га, семян – 300 кг/га, содержание сырого протеина может достигать 25–30 %. Козлятник, как и другие бобовые травы, обладает способностью обогащать почву биологическим азотом и улучшать структуру пахотного слоя [1, 2].

По состоянию на 2024 год в Госсортеестре РФ зарегистрировано 17 высокопродуктивных сортов козлятника восточного. Однако явно ощущим недостаток информации, связанной с изучением генетических особенностей этой перспективной культуры с использованием современных методов ДНК-анализа, что необходимо для сохранения, рационального использования имеющихся ресурсов и создания новых сортов с ценными биологическими и кормовыми свойствами.

Цель наших исследований заключалась в оценке межсортового ДНК-полиморфизма козлятника восточного с применением комбинаций из специфичных (SSR – *simple sequence repeat*) и произвольных (SRAP – *sequence related amplified polymorphism*) маркеров.

Материалы и методы

Семена 9 отечественных сортов козлятника восточного – Вест, Гале, Кривич, Юбиляр, Талисман, Ялгинский, Еля-Ты, Горноалтайский 87, Тюменский – были получены в ЦКП «Биологические коллекции кормовых растений»

(ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса») и из коллекции генофонда ВИР им. Н.И. Вавилова. Геномную ДНК для анализа выделяли из «балк-образцов» – суммарных навесок растительной ткани 30 проростков каждого сорта – с помощью модифицированного SDS-метода [3]. Финальная концентрация растворов ДНК в ПЦР составляла 30 нг/мкл.

Для изучения межсортовой генетической изменчивости использовали 8 комбинаций, составленных из SSR- и SRAP-маркеров; амплификация осуществлялась в соответствии с условиями, предложенными в работе Анежа с соавторами [4]. Статистическую обработку провели с помощью программ Image Lab, PopGene [5] и надстройки MS Excel «GenAlex». Значения индекса информативности праймера (PIC) вычисляли по специальной формуле [6].

Результаты и обсуждение

В настоящее время для молекулярно-генетического анализа разных видов сельскохозяйственных культур успешно применяют сочетания праймеров, разработанных к различным системам маркеров (REMAP-, TRAP-, AP-SRAP-техники). Такой подход оказался достаточно эффективным для малоизученных таксономических групп, а также полезен, как источник локус-специфичных маркеров при работе с близкородственным материалом, характеризующимся невысоким уровнем ДНК-полиморфизма. Основные области применения: изучение генетического разнообразия, филогенетические исследования, маркирование видов, сортов и форм [7–9].

В нашем исследовании межсортовой ДНК-полиморфизм козлятника восточного изучали с помощью комбинирования микросателлитных (SSR) маркеров, разработанных для анализа структуры генома клевера лугового и размещенных в базе данных Red Clover Marker Database, и SRAP-маркеров, предложенных в работе Li G. и Quiros C.F. [10, 11].

По результатам анализа выявлено 3 информативные комбинации (37,5 %), с которыми получены воспроизводимые полиморфные ПЦР-продукты (табл. 1).

В общей сложности выявлено 74 ампликона размером от 131 до 883 пар нуклеотидов. Из них полиморфными оказались 40 (54,1 %). В среднем с каждой комбинацией праймеров было получено 24,7 полос спектра на один образец ДНК. Процент полиморфизма составил в среднем 48,3. Обнаружены и сортоспецифичные продукты амплификации. Так, с комбинацией праймеров RCS1307(F)–EM5 выявлены уникальные фрагменты ДНК для сорта Еля-Ты размером 131 и 323 п.н. Для этого же сорта с ME1–RCS1307(R) получены ампликоны 352, 477, 600, 883 п.н., а для сортов Юбиляр и Еля-Ты – размером 326 и 489 п.н. соответственно с сочетанием праймеров ME3–RCS1307(R).

Таблица 1 – Информативные комбинации SSR- и SRAP-маркеров для анализа генетического полиморфизма между сортами козлятника восточного

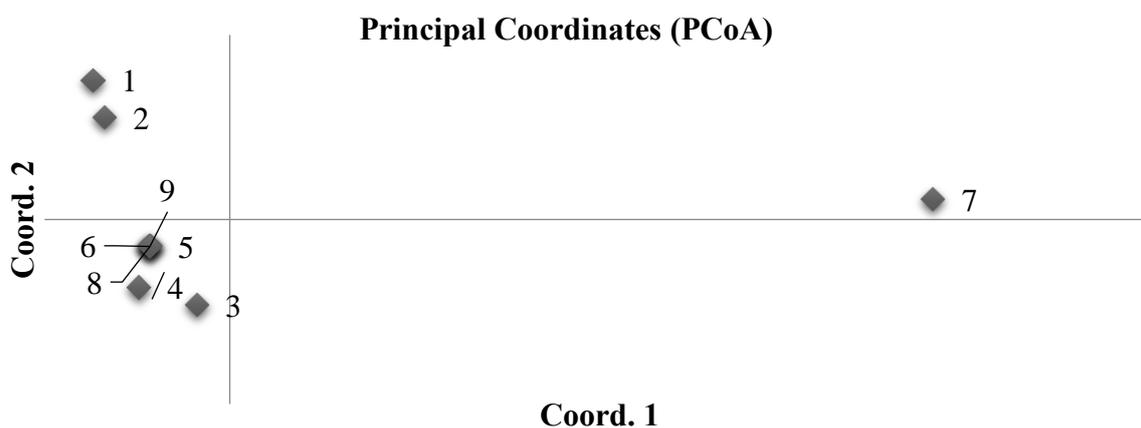
Комбинация маркеров	Последовательность нуклеотидов (п.н.)	Литературный источник
RCS1307(F)–EM5	CCCTTCTAGCCTAGCAACCA / GACTGCGTACGAATTAAC	[10/11]
ME1–RCS1307(R)	TGAGTCCAAACCGGA / GCGGAAAAGATTCAGCCTAA	[11/10]
ME3–RCS1307(R)	TGAGTCCAAACCGGAAT / GCGGAAAAGATTCAGCCTAA	[11/10]

На основании результатов анализа определены показатели информативности используемых ДНК-маркеров (табл. 2). Эффективное число аллелей в среднем составило 1,28 и колебалось от 1,25 (ME1–RCS1307(R)) до 1,33 (с RCS1307(F)–EM5). Среднее значение индекса разнообразия по Нею – 0,21 с вариациями в диапазоне от 0,18 (ME3–RCS1307(R)) до 0,4 (RCS1307(F)–EM5). Величина индекса Шеннона в среднем равнялась 0,35. Значения данных показателей свидетельствуют о невысоком уровне межсортного ДНК-полиморфизма, что, вероятно, обусловлено использованием близкородственного исходного материала в различных учреждениях России. Однако значения PIC оказались достаточно высоки (в среднем 0,71). Это указывает на эффективность применяемой техники маркирования для изучения генетического полиморфизма козлятника восточного.

Таблица 2 – Показатели эффективности комбинаций праймеров для анализа козлятника восточного

№	Маркер	Эффективное число аллелей (Ne)	Индекс разнообразия по Нею (He)	Индекс Шеннона (I)	PIC
1	RCS1307(F) –EM5	1,33	0,24	0,40	0,70
2	ME1–RCS1307(R)	1,25	0,20	0,35	0,77
3	ME3–RCS1307(R)	1,26	0,18	0,29	0,67
Среднее	-	1,28	0,21	0,35	0,71

Применение метода PCoA-анализа для изучаемого материала показало (см. рисунок), что наиболее вероятным оказывается распределение сортов по трем кластерам: обособленно расположился сорт Еля-Ты, в общей группе – все остальные, среди которых выделялись сорта Юбиляр и Талисман селекции Псковского НИИСХ-филиала ФНЦ лубяных культур. Значения первых двух координат составили 65 и 21 % соответственно. Можно предположить, что анализируемые сорта (за исключением Еля-Ты) имеют общее происхождение.



Результаты PCoA-анализа сортов козлятника восточного.
Сорта: 1 – Юбиляр, 2 – Талисман, 3 – Кривич, 4 – Гале, 5 – Вест, 6 – Ялгинский,
7 – Еля-Ты, 8 – Тюменский, 9 – Горноалтайский 87

По результатам проведенного исследования можно заключить, что экспериментальная техника, основанная на использовании комбинации систем SSR- и SRAP-маркеров, достаточно эффективна для анализа генома козлятника восточного. Она позволяет выявить генетический полиморфизм и степень родства селекционных достижений, в перспективе – повысить точность отбора родительских форм для скрещивания, а также служить для маркирования хозяйственно ценных признаков. Комбинации маркеров RCS1307(F)–EM5, ME1–RCS1307(R) и ME3–RCS1307(R) можно использовать для идентификации сортов Еля-Ты и Юбиляр. Однако для повышения дифференцирующего потенциала данной техники маркирования необходимо расширение выборки анализируемых образцов и комбинаций, используемых праймеров.

Список литературы

- 1 Бушуева В.И., Тарануха Г.И. Галега восточная. Минск: Экоперспектива, 2008. 204 с.
- 2 Золотарев В.Н., Коровина В.Л. Сорт козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) с маркерным признаком // Адаптивное кормопроизводство. 2021. № 1. С. 6–14.
- 3 Идентификация и паспортизация сортов кормовых трав (клевера лугового, люцерны изменчивой, посевной и хмелевидной) на основе ДНК-маркеров: методические рекомендации // И.А. Клименко [др.]. М.: ООО «Угреша Т», 2020. 35 с.
- 4 Aneja B. et al. Sequence related amplified polymorphism (SRAP) analysis for genetic diversity and micronutrient content among gene pools in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] // *Physiology and molecular biology of plants*. 2013. V. 19. № 3. P. 399–407.
- 5 Yeh F. C. et al. POPGENE, the user-friendly shareware for population genetic analysis // *Molecular biology and biotechnology centre, University of Alberta, Canada*. 1997. V. 10. P. 295–301.
- 6 Чесноков Ю.В., Артемьева А.М. Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообразия // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. № 5. С. 571–578.
- 7 Kalendar R., Schulman A.H. Transposon-based tagging: IRAP, REMAP, and iPBS // *Molecular plant taxonomy: methods and protocols*. 2014. V. 1115. № 12. P. 233–255.
- 8 Hu J. et al. Application of the TRAP technique to lettuce (*Lactuca sativa* L.) genotyping // *Euphytica*. 2005. V. 144. P. 225–235.

- 9 Zhang X. et al. Arbitrarily primed sequence-related amplified polymorphism (AP-SRAP) // African Journal of Biotechnology. 2013. V. 12. № 29. P 4588–4593.
- 10 Sato S. et al. Comprehensive structural analysis of the genome of red clover (*Trifolium pratense* L.) // DNA research. 2005. V. 12. № 5. P. 301–364.
- 11 Li G., Quiros C.F. Sequence-related amplified polymorphism (SRAP), a new marker system based on a simple PCR reaction: its application to mapping and gene tagging in Brassica // Theoretical and applied genetics. 2001. V. 103. P. 455–461.

DOI 10.18699/GPB2024-04

Влияние регуляторов роста на корнеобразование ежевики *in vitro*

*Апарина В.А.**, м.н.с.; *Потешкина А.А.*, м.н.с.; *Колошина К.А.*, н.с.; *Пискарев В.В.*, к.с.-х. н., зав. лаб.

СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

**email: aparina.viktoriya@yandex.ru*

*Исследование проведено с целью оптимизации состава питательной среды на этапе укоренения для оптимального развития микрорастений ежевики. Объектом исследования служил сорт ежевики Натчез. Экспланты культивировали *in vitro* на модифицированной питательной среде Мурасиге и Скуга. Для стимуляции ризогенеза были использованы регуляторы роста ИУК и ИМК в концентрации 1 мл/л. Экспланты ежевики сорта Натчез при выращивании на среде MS, дополненной ИМК, формируют крепкую систему придаточных и боковых корней, в сравнении с применением ИУК в такой же концентрации.*

*Ключевые слова: ежевика; *in vitro*; MS; ризогенез; ИМК*

The influence of growth regulators on blackberry root formation *in vitro*

*Aparina V.**, junior researcher, *Poteshkina A.*, junior researcher, *Koloshina K.*, research fellow, *Piskarev V.*, head of laboratory

SibRIPP&B – Branch of ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia

**email: aparina.viktoriya@yandex.ru*

*The study was conducted in order to optimize the composition of the nutrient medium at the rooting stage for the optimal development of blackberry microplants. The object of the study was the Natchez blackberry variety. Explants were cultured *in vitro* on a modified Murashige and Skuga nutrient medium. Growth regulators IAA and IBA at a concentration of 1 ml/l were used to stimulate rhizogenesis. Natchez blackberry explants, when grown on MS medium supplemented with IBA, form a strong system of adventitious and lateral roots, in comparison with the use of IBA in the same concentration.*

*Key words: blackberry; *in vitro*; MS; rhizogenesis; IBA*

Ежевика, которую часто называют «куманикой» или «ожиной», представляет собой разнообразную группу видов рода *Rubus*. Ежевика – многолетний кустарник с пряморослыми (куманика) или стелющимися (росяника) побегами, а часть гибридов представлены полупряморослыми и полустелющимися побегами. Большинство сортов имеет колючие стебли, также существуют шиповатые и бесшипые формы. Корневая система представлена корневищем с придаточными корнями.

Широкое коммерческое распространение ежевика получила в Мексике, а урожай экспортируется на европейские рынки и в США [1]. На территории нашей страны ежевика занимает посадочные площади в размере 100 га и выращивается в основном садоводами-любителями в южных районах страны и центральной зоне плодоводства [2].

Для выращивания и большего распространения важное значение имеет наличие достаточного количества качественного посадочного материала [3]. В зависимости от типа побегов применяют различные методы вегетативного размножения: прямостоячие принято размножать зелеными и корневыми черенками, корневыми отпрысками, делением куста. Стелющиеся побеги не формируют корневых отпрысков, их размножают верхушечными отводками, одревесневшими отпрысками, зелеными черенками [4]. Размножение семенами применяют как для куманики, так и для росяники, но данный способ является одним из самых малоэффективных из-за низкой всхожести, следовательно, менее распространенным [2].

Одним из способов получения посадочного материала является микроклональное размножение. Культивирование ежевики *in vitro* является способом размножения, позволяющим получить однородный оздоровленный материал с высоким коэффициентом размножения за короткое время и на небольшой площади. Для формирования сильного саженца требуется наличие крепких корней, обеспечивающих питание растения при адаптации к условиям *ex vitro*.

Цель исследования – выявить влияние регуляторов роста на корнеобразование ежевики сорта Натчез *in vitro*.

Исследование проведено в лаборатории биотехнологии сельскохозяйственных растений СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН. Материалом для исследования служили экспланты ежевики сорта Натчез (Natchez). Повторность опыта трехкратная. Экспланты культивировали *in vitro* на модифицированной питательной среде Мурасиге и Скуга [5]. Для стимуляции ризогенеза были использованы регуляторы роста ИУК и ИМК в концентрации 1 мл/л.

Культивирование проводили в течение 2 месяцев при 18 °С, в условиях фотопериода 18/6 ч. Период субкультивирования составлял 28–30 суток. Учет результатов проводили в конце каждого пассажа по таким показателям, как высота побега (см), длина корней (см), количество придаточных и боковых корней (шт.). Статистическую обработку проводили с использованием пакета данных

Microsoft Office Excel 2010.

Исследователями разработано большое количество методик для микроклонального размножения *in vitro*, но для некоторых видов, а порой даже и сортов требуется оптимизация условий для благоприятного развития эксплантов [6, 7].

При использовании минеральной основы питательной среды MS достоверные различия (при 5 % уровне значимости) по показателям высота и прирост побега отмечены при дополнении питательной среды 1 мл/л ИМК (см. таблицу).

Влияние состава питательной среды на ризогенез эксплантов ежевики

Варианты регуляторов роста	Высота побега, см	Прирост, см	Количество придаточных корней, шт/экспл.	МАХ длина корня, см	Количество боковых корней, шт/экспл.	МАХ длина корня, см
Контроль	2,78	2,28	2,56	4,56	6,56	0,94
ИУК	3,50	3,00	7,00	2,67	4,22	0,62
ИМК	5,17	4,67	11,00	3,67	23,89	0,67
НСР ₀₅	1,77	1,77	4,52	2,14	13,89	0,44

Формирование придаточных корней при использовании 1 мл/л ИУК шло на уровне с контрольным вариантом, в то время как при использовании в качестве стимулятора ризогенеза ИМК, отмечено увеличение количества корней в 4,3 раза. По показателю максимальной длины придаточных корней статистически значимых отклонений выявлено не было.

Достоверное превышение количества боковых корней (штук/эксплант) в 3,6 раза выявлено при использовании ИМК в сравнении с контрольным вариантом без регуляторов роста, однако влияния на формирование длины боковых корней не отмечено, так же, как и в варианте с ИУК.

Экспланты ежевики сорта Натчез при выращивании на среде MS, дополненной ИМК в концентрации 1 мл/л, формируют крепкую систему придаточных и боковых корней, в сравнении с применением ИУК в такой же концентрации.

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0008.

Список литературы

- 1 Карпушина М.В., Амосова М.А. Микроразмножение ежевики (*Rubus*) сорта Карака Блэк *in vitro* // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2022. Т. 35. С. 13–17. DOI 10.30679/2587-9847-2022-35-13-17.
- 2 Нетрадиционные ягодные культуры для вашего сада. Ежевика садовая. Рекомендации по выращиванию. [Электронный ресурс]. Рекомендации подготовила Елена Анатольевна Борякова, методист ГБУ ДПО «Самара – АРИС», к.с.-х.н., доцент (дата обращения // www.agro-inform.ru URL: (дата обращения: 24.01.2024).
- 3 Ладыженская О.В., Крючкова В.А., Самощенко Е.Г. Размножение и выращивание

крупноплодных сортов ежевики 'Karak Black' и 'Black Butte' в различных условиях [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. №2. Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/2/st_208.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20212208>.

- 4 Ладыженская О.В., Симахин М.В., Крючкова В.А. Размножение ежевики Black Gem корневыми черенками // Вестник КрасГАУ. 2023. № 9 (198). С. 33–39. DOI 10.36718/1819-4036-2023-9-33-39.
- 5 Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiol Plant*. 1962. Vol. 15. № 3. P. 473–497.
- 6 Муратова С.А., Соловых Н.В., Терехова В.И. Индукция морфогенеза из изолированных соматических тканей растений. Мичуринск: МГАУ, 2011. 107 с.
- 7 Плаксина Т.В., Гусев Д.А. Использование среды Драйвера и Куниюки (Driver & Kuniyuki Walnut medium) для микроразмножения сортов малины красной // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. №9. С. 19–24. DOI 10.53859/02352451_2021_35_9_19.

DOI 10.18699/GPB2024-05

Источники высокого качества зерна и других хозяйственно ценных признаков яровой мягкой пшеницы

*Асхадуллин Дамир Ф.*¹, к.с.-х.н., в.н.с.; Асхадуллин Данил Ф.¹, к.с.-х.н., в.н.с.; Василова Н.З.¹, к.с.-х.н., в.н.с.; Зуев Е.В.², к.с.-х.н., в.н.с.; Хусаинова И.И.¹, н.с.; Гайфуллина Г.Р.¹, м.н.с.; Тазутдинова М.Р.¹, н.с.*

¹*Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия*

²*ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия*

**email: trulik@ya.ru*

В течение 4 лет в условиях Республики Татарстан был проведен скрининг 430 образцов коллекции яровой мягкой пшеницы (образцы ВИР и сорта, районированные в регионе) на содержание белка и клейковины в зерне, суммы незаменимых аминокислот в белке, была определена урожайность, комплексная устойчивость к листовым болезням. Наибольшим содержанием белка и клейковины в зерне характеризовались образцы канадской селекции, до 19,6 % и 36,6 % соответственно. Максимальной суммой незаменимых аминокислот обладал образец Uffo (к-66798, Латвия). Наибольшую зерновую продуктивность имели сорта немецкой селекции Bruza (к-66719) и Pico (к-66693). Из коллекционного материала 6 образцов имели комплексную устойчивость к мучнистой росе, бурой листовой и стеблевой ржавчинам.

Ключевые слова: сорт; белок; клейковина; незаменимые аминокислоты; продуктивность; болезни

Sources of high quality grain and other valuable traits in the breeding of spring common wheat

Askhadullin Damir F.*¹, Askhadullin Danil F.¹, Vasilova N.Z.¹, Zuev E.V.², Khusainova I.I.¹, Gaifullina G.R.¹, Tazutdinova M.R.¹

¹Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, RAS, Kazan, Russia

²FRC N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Saint Petersburg, Russia

*email: trulik@ya.ru

During 4 years, 430 samples of the spring common wheat collection were studied in the conditions of the Republic of Tatarstan. The content of protein and gluten in the grain, the amount of essential amino acids in the protein were determined, yield and complex resistance to leaf-stem diseases was determined. The highest content of protein (up to 19.6 %) and gluten (up to 36.6 %) in the grain were samples from Canada. The Ufo sample (κ-66798, Latvia) had the maximum amount of essential amino acids. The varieties from Germany Bryza (κ-66719) and Piccolo (κ-66693) had the highest yields. In the wheat collection, 6 samples had complex resistance to powdery mildew, leaf and stem rust.

Key words: variety; protein; gluten; essential amino acids; productivity; diseases

Агроклиматические условия республики Татарстан благоприятны для успешного возделывания яровой мягкой пшеницы. Селекционная работа с этой культурой не осуществима без всестороннего изучения коллекции яровой мягкой пшеницы Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, которая является важным источником исходного материала [1].

Содержание белка и клейковины в зерне пшеницы является основополагающим критерием качества у хлебопекарных сортов пшеницы. У 13 образцов коллекции содержание белка было выше 18%. Наибольшее количество высокобелковых образцов происходят из Канады. В среднем 43% сортов из Канады имели содержание белка выше 17,9 % (табл. 1). Наибольшей белковостью в среднем характеризовались образцы: 93-11-2-3-2 (κ-66248, Канада) – 19,6 % и Yumai 34 (κ-66195, Китай) – 19,4 %. Содержание клейковины было максимальным за три года у сорта Lillian (κ-66203, Канада) – 36,6 %, его высокое качество связано с нахождением в генотипе гена *Gpc B1*, что свойственно для многих коммерческих сортов Канады [2].

Селекционеры часто сталкиваются с отрицательной связью урожайности и качества зерна. Высокое качество зерна при сохранении высокой продуктивности наблюдалось у образцов Belukha (κ-67248, Германия) и Glencross (κ-67156, Канада).

Таблица 1 – Образцы, выделяющиеся по содержанию белка и клейковины в зерне, 2021–2023 гг.

№ п/п	№ по каталогу	Образец	Происхождение	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %	Сбор зерна, г/м ²
1	67248	Belukha	Германия	19,3	31,3	410
2	66248	93-11-2-3-2	Канада, Онтарио	19,6	35,2	149
3	66247	93-11-14-4-5	Канада, Онтарио	18,4	35,6	233
4	43091	BLUE-A	Канада	19,0	32,1	181
5	66205	Gunner	Канада	17,8	35,6	260
6	67156	Glencross	Канада, Манитоба	19,3	32,5	379
7	66203	Lillian	Канада, Саскачеван	17,9	36,6	276
8	65882	Mao Ying A Fu	Китай	18,0	30,9	184
10	66195	Yumai 34	Китай, Хэнань	19,4	33,8	188
11	66404	Пушкинская 3	РФ, Ленинградская обл.	18,9	34,7	169
12	66453	Kelse	США, Вашингтон	18,4	34,7	297
13	67109	Prosa	Швейцария	19,2	35,6	301
14		Йолдыз, ст.	РФ, Татарстан	11,9	21,9	376
НСР _{0,5}				2,2	4,8	100

Белок пшеницы дефицитен по содержанию незаменимых аминокислот (ЕАА) [3]. Есть данные о высокой наследуемости содержания незаменимых аминокислот в зерне пшеницы [4]. Повышенным содержанием суммы незаменимых аминокислот в белке отличался образец Uffo (к-66798, Латвия), этот же образец отличался максимальным содержанием метионина 2 % (табл. 2). К высоколизиновым относились Jiu Nong 10 (к-66250, Китай), NIL Avocet Yr 7 (к-66240, Австралия), Uffo (к-66798, Латвия). Существенных различий в содержании треонина не наблюдалось. Наибольшее содержание триптофана у образцов с высокой суммой ЕАА было у сорта 100 лет ТАССР – 1,9 %.

Таблица 2 – Лучшие образцы по сумме незаменимых аминокислот 2021–2023 гг.

№ п/п	№ по каталогу	Образец	Происхождение	Содержание в белке, %				Сумма ЕАА, %
				Lys	Met	Thr	Trp	
1	66798	Uffo	Латвия	3,8	2,0	3,1	1,6	42,7
2	66390	Бурлак	РФ, Ульяновская обл.	3,3	1,7	3,0	1,8	42,6
3		Черноземно-уральская 2	РФ, Воронежская обл.	3,5	1,7	3,0	1,8	42,2
4	65995	Arrino	Австралия, Западная	3,7	1,8	3,2	1,5	42,1
5	66240	NIL Avocet Yr 7	Австралия	3,8	1,6	3,3	1,5	42,0
6	65858	Ramir 94	Афганистан	3,2	1,6	3,1	1,7	41,9
7	65996	Calingiri	Австралия, Западная	3,7	1,7	3,3	1,5	41,8
8		100 лет ТАССР	РФ, Татарстан	3,0	1,4	3,1	1,9	41,3
9	66719	Bryza	Германия	3,1	1,7	3	1,6	40,8
10	66250	Jiu Nong 10	Китай, Ганьсу	3,9	1,6	3,1	1,6	40,5
Йолдыз, ст.			РФ, Татарстан	3,4	1,7	2,9	1,8	41,7

Lys – Лизин, Met – Метионин, Thr – Треонин, Trp – Триптофан;
ЕАА – (Essential Amino Acids) незаменимая аминокислота.

Ключевой характеристикой современного сорта пшеницы является зерновая продуктивность. За 4 года наибольшую урожайность имели образцы Bryza (к-66719) и Pícolo (к-66693) из Германии 467 г/м² и 464 г/м² соответственно, но с нестабильной урожайностью по годам (табл. 3). Лучшими образцами, сочетающими урожайность и стабильность отмечены Kommissar (к-66021, Австрия) и 100 лет ТАССР (Татарстан).

Таблица 3 – Образцы с наибольшей зерновой продуктивностью, 2020–2023 гг.

№ п/п	№ по каталогу	Образец	Происхождение	Сбор зерна, г/м ²		SE
				<i>lim</i>	\bar{x}	
1	66719	Bryza	Германия	211-809	467	126
2	66693	Pícolo	Германия	162-833	464	148
3	66021	Kommissar	Австрия	286-719	463	93
4	65846	Тобольская	РФ, Алтайский край	168-854	461	148
5	66797	Robijs	Латвия	239-748	458	106
6	66099	Corso	Германия	122-919	457	170
7		100 лет ТАССР	РФ, Татарстан	225-683	457	93
8	66692	Favorit	Германия	158-818	453	144
Йолдыз, ст.			РФ, Татарстан	233-482	383	53

lim – колебания; \bar{x} – среднее арифметическое; SE – стандартная ошибка.

Болезни являются одним из основных факторов недобора урожая в регионе. Посевы пшеницы ежегодно в сильной степени поражаются мучнистой росой, не редки эпифитотии бурой листовой и стеблевой ржавчины, поэтому поиск источников комплексной устойчивости является актуальным. За годы исследований лишь 6 образцов коллекции имели комплексную устойчивость к основным заболеваниям (табл. 4).

Таблица 4 – Образцы яровой мягкой пшеницы имеющие комплексную устойчивость к основным листостебельным болезням, 2020–2023 гг.

№ п/п	№ по каталогу	Образец	Происхождение	Максимальная степень поражения, %		
				Мучнистая роса	Бурая ржавчина	Стеблевая ржавчина
1	66093	Pasteur	Нидерланды	15	0	5
2	66273	KWS Torridon	Великобритания	10	5	5
3	66090	Sparrow	Великобритания	ед. пуст	ед. пуст	8
4		Балкыш	РФ, Татарстан	15	5	5
5		100 лет ТАССР	РФ, Татарстан	15	3	2
6	64234	Renaico INIA	Чили, Темуко	15	10	2

Изучение коллекции позволило выявить источники высокого содержания белка в зерне – свыше 19 % и клейковины – более 36 %. Часть образцов характеризуется повышенным содержанием незаменимых кислот. Выделены образцы с

высокой и стабильной продуктивностью. Шесть сортообразцов имели комплексную устойчивость к грибным листовостебельным болезням.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках Государственного задания Татарского НИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН: №122011800138-7. А также в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Список литературы

- 1 Амунова О. С., Волкова Л. В., Зуев Е. В., Харина А. В. Исходный материал для селекции мягкой яровой пшеницы в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 5. С. 661–675. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675
- 2 A review of wheat cultivars grown in the Canadian prairies. McCallum Brent D. and DePauw Ronald M. // Canadian Journal of Plant Science. 2008. Vol. 88. № 4. P. 649–677. DOI: 10.4141/CJPS07159
- 3 Ashadullin, D.F., Ashadullin, D.F., Vasilova, N.Z., Zuev E.V., Hajrullina A. R. Amino acid content in the spring common wheat grains. Russian Agricultural Sciences. 2023. Vol. 49. P. 265–270. DOI: 10.3103/S1068367423030023
- 4 Jiang X., Wu P., Tian, J. Genetic analysis of amino acid content in wheat grain // Journal of Genetics. 2014. Vol.93. P. 451–458. DOI: 10.1007/s12041-014-0408-6

DOI 10.18699/GPB2024-06

Хлебопекарные свойства *Waxu* линий мягкой пшеницы с двумя нуль-аллелями (*Wx-A1b* и *Wx-B1b*)

*Асхадуллин Данил Ф.**, к.с.-х.н., в.н.с.; *Асхадуллин Дамир Ф.*, к.с.-х.н., в.н.с.; *Василова Н.З.* к.с.-х.н., в.н.с.

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия

**email: tatnii-rare@mail.ru*

*Представлены результаты исследований качества зерна, физических свойств теста, хлебопекарной оценки линий яровой мягкой пшеницы несущих нефункциональные аллели *Wx*-генов *Wx-A1b* и *Wx-B1b*. Показаны различия по качественным характеристикам у изучаемых линий. Из муки линий К-243-13*Wx*-2 и К-243-13*Wx*-6 с генотипом *Wx-A1*, *Wx-B1b*, *Wx-D1a* выпекается хлеб превосходного качества.*

Ключевые слова: яровая пшеница; *waxu*; линия; качество; хлеб

Baking Quality of Double-Null Partial Waxy Common Wheat Lines

Askhadullin D. F., Askhadullin D. F., Vasilova N.Z.

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center RAS, Kazan, Russia

**email: tatnii-rape@mail.ru*

The results of studies of grain quality, physical properties of dough, and bakery evaluation of spring wheat lines bearing non-functional alleles of the Wx genes Wx-A1b and Wx-B1b are presented. The differences in the qualitative characteristics of the studied lines are shown. Excellent quality bread is baked from lines K-243-13Wx2 and K-243-13Wx-6 with the genotype WxA 1, Wx-B1b, Wx-D1a.

Key words: spring common wheat; waxy; line, quality; bread

Линии пшеницы, несущие один или несколько нулевых, или нефункциональных аллелей *Wx*-генов, содержат крахмал в зерне с пониженным содержанием амилозы и обозначаются как частично *waxy* пшеницы (Partial Waxy). Частично *waxy* пшеница имеет изменения в свойствах желатинизации, клейстеризации и ретроградации крахмала зерна, что приводит к изменению свойств конечного продукта, изготавливаемого из такого зерна [1]. Из муки пшеницы с двумя нуль-аллелями и содержанием белка >15,1 %, получается хлеб с более мягкой текстурой мякиша и более медленным черствением, чем из муки «обычной» пшеницы [2]. Пшеничная мука, содержащая крахмал с пониженным содержанием амилозы, не оказывает негативного влияния на качество подового хлеба [3]. Скрининг генотипов яровой мягкой пшеницы по аллельным вариантам *Wx*-генов и генов *HMW-GS* позволил выделить линии яровой мягкой пшеницы селекции Татарского НИИСХ, несущих нефункциональные аллели *Wx*-генов *Wx-A1b* и *Wx-B1b* [4]. При создании этих линий материнской формой был сорт озимой пшеницы Старшина. Часть из них несла только *Wx-A1b* или *Wx-B1b* аллели, часть их сочетание (табл. 1). В последующем были выделены наиболее продуктивные и перспективные линии, которые различались в том числе и по комбинациям субъединиц высокомолекулярных глютеинов, влияющих на качество хлебобулочных изделий. Целью исследований было оценить перспективные линии, несущие нуль аллели *Wx*-генов по хлебопекарным свойствам.

Линия К-243-13Wx-2 кроме двух нуль аллелей *Wx*-генов имеет благоприятную комбинацию субъединиц Ах2*/5+10 высокомолекулярных глютеинов.

Таблица 1 – Молекулярно-генетическая оценка линий яровой мягкой пшеницы по *Wx*-генам и генам *HMW-GS*.

Линия/сорт	<i>Wx-A1b</i>	<i>Wx-B1b</i>	<i>HMW-GS</i>			
			<i>A1</i>		<i>D1</i>	
			<i>Ax1</i>	<i>Ax2*</i>	5+10	2+12
К-242-13 <i>Wx</i> -6	+	-	-	+		+
К-245-13 <i>Wx</i> -6	-	+	-	+		+
К-243-13 <i>Wx</i> -2	+	+	-	+	+	
К-243-13 <i>Wx</i> -6	+	+	-	+		+
Йолдыз, st	-	-	-	+	+	

При испытании в 2022 году линии, несущие две нуль аллели *Wx*-генов, уступили по урожайности стандарту Йолдыз, линия К-242-13*Wx*-6 превосходила по урожайности стандарт. Все линии, несущие нуль аллели *Wx*-генов превосходили по содержанию белка и клейковины стандарт (табл. 2). По показателю ИДК только линия К-243-13*Wx*-6 соответствовала первой группе качества. Следует отметить, что линии, несущие две нуль аллели *Wx*-генов, имеют более низкую гидратацию клейковины.

Таблица 2 – Урожайность и качество зерна линий яровой мягкой пшеницы, 2022 г.

Линия/сорт	Урожайность, т/га	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	ИДК, е.п.	Гидратация клейковины, %
К-242-13 <i>Wx</i> -6	3,16	14,4	29,6	90	182
К-245-13 <i>Wx</i> -6	2,18	18,3	40,3	91	186
К-243-13 <i>Wx</i> -2	2,01	17,0	32,4	92	172
К-243-13 <i>Wx</i> -6	2,06	15,9	30,7	74	171
Йолдыз, st	2,79	14,5	24,3	86	170

Анализ на приборе фаринограф позволяет оценить реологические свойства теста во время замеса, водопоглотительная способность муки у линий находилась на уровне «нормальной» пшеницы (табл. 3). Время образования теста, устойчивость теста, повышение степени разжижения теста во время замеса у линий, несущих две нуль аллели *Wx*-генов было выше, чем у других образцов. У линии К-242-13*Wx*-6 отмечалось снижение степени разжижения теста во время замеса, чего не наблюдается у пшениц с низким содержанием амилозы [5].

Таблица 3 – Реологические свойства теста линий яровой мягкой пшеницы (фаринограф), 2022 г.

Линия/сорт	ВПС, %	Время образования, мин	Устойчивость, мин	Степень разжижения, е.ф.		
				12 мин	20 мин	% повышения
К-242-13 <i>Wx</i> -6	59,0	2,04	Более 20	4	-1	Укрепление
К-245-13 <i>Wx</i> -6	60,5	3,14	4,44	77	86	12
К-243-13 <i>Wx</i> -2	59,6	3,45	5,04	69	90	30
К-243-13 <i>Wx</i> -6	56,7	4,20	6,56	59	71	20
Йолдыз, st	56,7	2,03	4,29	64	66	3

Известно о влиянии *Wx*-генов на упруго-эластичные свойства теста. Существенное влияние при взаимодействии с различными субъединицами высоко- и низкомолекулярных глютенинов они оказывают на величину упругости и отношения упругости к растяжимости теста [6]. В нашем случае, минимальная упругость теста отмечается у линий К-243-13W_x-2 и К-243-13W_x-6 имеющих две нуль аллели *Wx*-генов (табл. 4), при этом они имеют разные комбинации субъединиц высокомолекулярных глютенинов. Линия К-242-13W_x-6 несущая *Wx-A1b* аллель имеет высокую силу муки, упругость теста, не высокие значения индекса растяжимости, характерные для пшеницы улучшителя.

Таблица 4 – Реологические свойства теста линий яровой мягкой пшеницы (альвеограф), 2022 г.

Линия/сорт	Сила муки, е.а.	Упругость, Р, мм	Растяжимость, L, мм	P/L	Индекс растяжимости, см ^{3/2}
К-242-13W _x -6	424	129	83	1,54	20,2
К-245-13W _x -6	169	68	102	0,67	22,4
К-243-13W _x -2	146	57	99	0,58	22,1
К-243-13W _x -6	168	56	103	0,54	22,5
Йолдыз, st	224	66	150	0,44	27,2

Пробная лабораторная выпечка, проведенная по ГОСТ 27669-88 из 100 г муки без добавления улучшителей и сахара показала, что лучшими по качеству выпечки оказались линии К-243-13W_x-2, К-243-13W_x-6, К-245-13W_x-6 (табл. 5, рисунок).

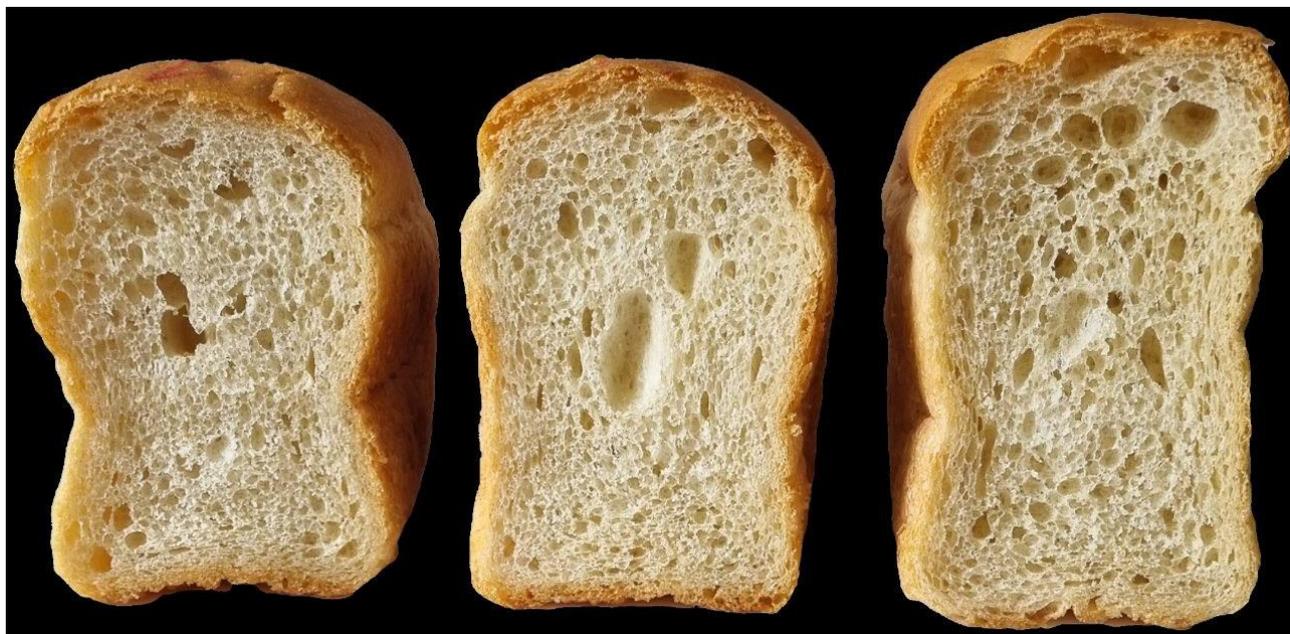
Таблица 5 – Хлебопекарная оценка, 2022 г.

Линия/сорт	Симметричность хлеба, балл	Пористость, балл	Формоустойчивость, балл	Объем хлеба, мл	Общая хлебопекарная оценка, балл	Вкус хлеба, балл
К-242-13W _x -6	4,4	4,5	0,77	481	4,51	5
К-245-13W _x -6	4,4	4,4	0,63	712	4,73	5
К-243-13W _x -2	4,5	4,7	0,65	641	4,74	4,5
К-243-13W _x -6	4,8	5	0,62	641	4,81	4,5
Йолдыз, st	4,4	4,5	0,74	540	4,63	5

Хлеб из муки линий К-243-13W_x-2, К-243-13W_x-6 несущие две нуль аллели *Wx*-генов имеет высокую хлебопекарную оценку, высокий объем, симметричный, формоустойчивый, пористость тонкостенная, ажурная, но не совсем равномерная, хлеб несколько уступает по вкусу другим образцам.

Полученные данные указывают на возможность создания сортов мягкой

пшеницы несущих нефункциональные аллели *Wx*-генов *Wx-A1b* и *Wx-B1b* с высокой хлебопекарной оценкой. Полученные линии К-243-13Wx-2 и К-243-13Wx-6 с генотипом *Wx-A1*, *Wx-B1b*, *Wx-D1a* могут быть использованы для получения хлеба хорошего качества, при этом хлебопечение не является основным направлением использования таких линий.



Хлеб линий К-243-13Wx-2, К-243-13Wx-6, К-245-13Wx-6

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Татарского НИИСХ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН: № 122011800138-7.

Список литературы

- 1 Yamamori M., Quynh N. Differential effects of *Wx*-A1, -B1 and -D1 protein deficiencies on apparent amylose content and starch pasting properties in common wheat // *Theoretical and Applied Genetics*. Vol. 100. P. 32–38. DOI: 10.1007/s001220050005
- 2 Baik B.-K., Park C.S., Paszczynska B., Konzak, C.F. Characteristics of Noodles and Bread Prepared from Double-Null Partial Waxy Wheat // *Cereal Chemistry*. 2003. Vol. 80. P. 627–633. DOI: 10.1094/CCHEM.2003.80.5.627
- 3 Sahlstrom S., Bævre A.B., Graybosch R. Impact of Waxy, Partial Waxy, and Wildtype Wheat Starch Fraction Properties on Hearth Bread Characteristics // *Cereal Chemistry*. 2006. Vol. 83. P.647–654. DOI: 10.1094/CC-83-0647
- 4 Vafin R., Rzhanova I., Askhadullin D., Askhadullin D., Vasilova N. Screening of the genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) by the allelic variants of *Waxy* genes and HMW glutenin subunits. *Acta Agrobotanica*. 2018. Vol.71(4). P.1746. DOI: 10.5586/aa.1746
- 5 Caramanico R., Barbiroli A., Marengo M. et al. Interplay between starch and proteins in waxy wheat // *Journal of Cereal Science*. 2017. Vol. 75. P. 198-204. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.04.008
- 6 Deng Z.Y., Hu S.N., Chen F. et al. Effects of Allelic Variations in Glutenin and Waxy Proteins on Dough Alveogram Properties and Chinese White Salt Noodle Qualities // *Cereal Research Communications*. 2013. Vol. 41. P. 550–561. DOI: 10.1556/CRC.2013.0030

**Оценка количественных характеристик колосьев пшеницы
на основе анализа цифровых изображений и методов
глубокого машинного обучения**

*Афонников Д.А. *, д.б.н., в.н.с.; Генаев М.А., к.б.н. с.н.с.; Комышев Е.Г., к.б.н., н.с.;
Артеменко Н.В., лаб.; Кручинина Ю.В., м.н.с.; Коваль В.С., к.б.н., вед. спец.;
Гончаров Н.П., д.б.н., акад., г.н.с.*

*Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
СО РАН, Новосибирск, Россия
email: ada@bionet.nsc.ru

Рассматриваются методы высокопроизводительного компьютерного фенотипирования, направленные на получение количественных характеристик колосьев пшеницы с помощью анализа цифровых изображений колосьев и использования методов глубокого машинного обучения.

Ключевые слова: пшеница; колос; фенотипирование; анализ цифровых изображений; глубокое машинное обучение

**Evaluation of the quantitative characteristics of wheat spike
based on the analysis of digital images and deep machine learning methods**

*Afonnikov D.A. *, Genaev M.A., Komyshev E.G., Artemenko N.V., Kruchinina Yu.V.,
Koval V.S., Goncharov N.P.*

*Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia
email: ada@bionet.nsc.ru

The methods of high-performance computer phenotyping aimed at obtaining quantitative characteristics of wheat spike by analyzing digital images of spike and using deep machine learning methods are considered.

Key words: wheat; spike; phenotyping; digital image analysis; deep machine learning

При селекции пшеницы одними из наиболее важных для генетиков и селекционеров являются морфометрические характеристики колоса. Это обусловлено их связью с хозяйственно ценными качествами, такими как урожайность, отсутствие ломкости колоса и легкость обмолота. Для выявления генов, контролирующих данные признаки, используются статистические методы (QTL, GWAS), для успешности применения которых необходим сбор и анализ большого количества фенотипических данных. В настоящее время сбор таких данных проводится экспертами на основании визуального анализа колоса, измерений вручную. Это является трудозатратным и низкоэффективным.

Для фенотипирования колосьев пшеницы в нашем коллективе были разработаны методы фенотипирования на основе анализа двумерных изображений [1]. Эти методы были использованы для оценки параметров колосьев пяти видов гексаплоидных пшениц. Результаты позволили определить достоверное межвидовое различие по ряду характеристик колоса. Проведено сравнение геометрических характеристик колоса у тетраплоидных и гексаплоидных видов [2].

Другим направлением исследования является использования цифровых изображений методов глубокого машинного обучения. Такие методы позволяют определять наличие опушения чешуй на изображении колосьев [3], производить подсчет колосков и классификацию колосьев по плоидности растения (диплоидные, тетраплоидные и гексаплоидные).

Разработанные могут быть использованы для извлечения характеристик колосьев для описания растений из генетических коллекций в базах данных [4].

Финансирование: Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 23-14-00150.

Список литературы

- 1 Genaev M.A. et al. Morphometry of the Wheat Spike by Analyzing 2D Images // Agronomy. 2019. V. 9. № 7. P.390.
- 2 Пронозин А. Ю. и соавт. Автоматическое фенотипирование морфологии колоса тетра-и гексаплоидных видов пшеницы методами компьютерного зрения // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т.25. С. 71-81.
- 3 Artemenko N.V. et al. Image-based classification of wheat spikes by glume pubescence using convolutional neural networks // Front. Plant Sci. 2024. V.14. P. 1336192.
- 4 Генаев М.А. и соавт. SpikeDroidDB – информационная система для аннотации морфометрических характеристик колоса пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т.22. С.132-140.

DOI 10.18699/GPB2024-08

Поиск локусов и генов-кандидатов, ассоциированных с окраской и предуборочным прорастанием зерна у краснозерной озимой мягкой пшеницы

*Афонникова С.Д.**, магистрант; *Киселёва А.А.*, к.б.н., с.н.с.; *Федяева А.В.*, к.б.н., н.с.; *Комышев Е.Г.*, к.б.н., н.с.; *Афонников Д.А.*, д.б.н., в.н.с.; *Салина Е.А.*, д.б.н., г.н.с.

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

**email: afonnikovasvetlana@yandex.ru*

Краснозерная пшеница обычно более устойчива к предуборочному прорастанию по сравнению с белозерной. Тем не менее и среди краснозерных сортов наблюдается широкая изменчивость как по устойчивости к предуборочному

прорастанию, так и по окраске зерна. С помощью полногеномного анализа ассоциаций нам удалось выявить новые локусы, которые объясняют большую долю изменчивости изучаемых признаков: индекс прорастания на молочной/восковой стадии созревания зерна, а также светлота, краснота и синева зерна. Внутри выявленных локусов, ассоциированных с окраской зерна, мы обнаружили два гена-кандидата: один участвует в биосинтезе флавоноидов, другой – в биосинтезе каротиноидов. Наиболее перспективным геном-кандидатом для формирования устойчивости к предуборочному прорастанию является ген, связанный с морфогенезом алейронового слоя зерна.

Ключевые слова: окраска зерна; предуборочное прорастание; анализ ассоциаций; краснозерная пшеница

Identification of loci and candidate genes responsible for pre-harvest sprouting and grain color in red-grained common winter wheat

*Afonnikova S.D.**, Kiseleva A.A., Fedyaeva A.V., Komyshev E.G., Afonnikov D.A., Salina E.A.

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

**email: afonnikovasvetlana@yandex.ru*

Red-grained wheat is generally more resistant to preharvest sprouting (PHS) than white-grained wheat. However, there is also variation among red-grained varieties in both PHS resistance and grain color. Here, using genome-wide association analysis, we were able to identify novel loci that explain a relatively large proportion of variability in these traits. Among them, we found two candidate genes affecting grain color: the first one is involved in flavonoid biosynthesis and the second participates in carotenoid biosynthesis pathway. The most promising candidate gene for the formation of PHS resistance is the gene associated with the morphogenesis of the aleurone layer of the grain.

Key words: winter wheat; red grain wheat; grain color; pre-harvest sprouting; association analysis

Устойчивость к предуборочному прорастанию влияет на качество конечного продукта и урожайность в целом [4]. Известно, что у злаков, в том числе и у гексаплоидной пшеницы, краснозерные сорта более устойчивы к предуборочному прорастанию по сравнению с белозерными [1, 3].

Гены *R-1*, расположенные на хромосомах пшеницы 3A, 3B и 3D, отвечают за отличие белозерной пшеницы от краснозерной. Белый цвет зерна обусловлен наличием рецессивных аллелей, *R-A1a*, *R-B1a* и *R-D1a*. Для формирования красной окраски зерна и усиления устойчивости к предуборочному прорастанию до-

статочно одного доминантного аллеля *R-1b*. Гены *R-1* кодируют факторы транскрипции MYB10, которые участвуют в биосинтезе флавоноидов и сигнальном пути абсцизовой кислоты [3]. Однако среди краснозерных сортов встречается широкая изменчивость по устойчивости к предуборочному прорастанию, что говорит о наличии других генетических механизмов, обуславливающих данный признак. Более того, особенности окраски красной пшеницы и гены, лежащие в основе формирования этой неоднородности цвета, недостаточно исследованы.

В данной работе мы использовали панель генотипов краснозерной озимой пшеницы, которые проявляли различную устойчивость к предуборочному прорастанию. Предуборочное прорастание зерна было оценено следующими методами: число падения и индекс прорастания на молочной/восковой стадии созревания и на стадии полной зрелости [2, 5]. Наша цель заключалась в изучении взаимосвязи между вариациями окраски красного зерна, описанными методом цифрового анализа изображений, и характеристиками предуборочного прорастания, а также в выявлении новых локусов и генов, связанных с этими признаками.

Маркеры, ассоциированные с характеристиками предуборочного прорастания, были обнаружены на хромосомах 1A, 1B, 1D, 3A, 4A, 5B, 6B и 7D. В частности, маркеры *AH-95172164* (хромосома 1B) и *AH-158544327* (хромосома 7D) объясняли большую часть фенотипической изменчивости (до 25,3 %), что указывает на возможность их использования в маркер-опосредованной селекции для повышения устойчивости к предуборочному прорастанию. 26 маркеров (расположены на хромосомах 1A, 1B, 1D, 2A, 2B, 3B, 5A, 6A и 7D) были статистически значимо связаны с цветом зерна, причем большинство из них были ассоциированы сразу с несколькими характеристиками цвета.

В границах выявленных локусов были идентифицированы несколько генов, которые могут быть связаны с формированием исследуемых признаков. Наиболее перспективным геном-кандидатом на устойчивость к предуборочному прорастанию оказался *TraesCS6B02G147900*, кодирующий белок, участвующий в морфогенезе алейронового слоя. Для окраски зерна было определено два перспективных ген-кандидата. *TraesCS1D03G0758600* расположен на хромосоме 1D и кодирует флавонол-синтазу, регулирующую соотношение бесцветных флавонолов и цветных пигментов. Ген *TraesCS7B03G1296800*, расположенный на хромосоме 7B, кодирует 15-цис-фитоен-синтазу, контролирующую накопление желтых и оранжевых каротиноидов.

В заключение следует отметить, что наше исследование выявило новые локусы, ассоциированные с окраской зерна и индексом прорастания на молочной/восковой стадии созревания.

Финансирование: Исследование проведено при финансовой поддержке РФФ проекта № 21-76-30003.

Список литературы

- 1 Gfeller F., Svejda F. Inheritance of post-harvest seed dormancy and kernel colour in spring wheat lines // Canadian Journal of Plant Science. 1960. № 1 (40). P. 1–6.
- 2 Hagberg S. A Rapid Method for Determining Alpha-Amylase Activity // Cereal Chemistry. 1960. (37). P. 218–222.
- 3 Himi E. Effect of grain colour gene (R) on grain dormancy and sensitivity of the embryo to abscisic acid (ABA) in wheat // Journal of Experimental Botany. 2002. № 374(53). P. 1569–1574.
- 4 Moot D.J., Every D. A comparison of bread baking, falling number, α -amylase assay and visual method for the assessment of pre-harvest sprouting in wheat // Journal of Cereal Science. 1990. № 3 (11). P. 225–234.
- 5 Walker-Simmons M. Enhancement of ABA responsiveness in wheat embryos by high temperature // Plant, Cell & Environment. 1988. № 8 (11). P. 769–775.

DOI 10.18699/GPB2024-09

Биомасса облепихи крушиновидной как источник серотонина

*Бабурин Ю.Ю. *, агроном 1 категории; Креймер В.К., агроном 1 категории
Сибирский научно-исследовательский Институт растениеводства и селекции –
филиал Федерального исследовательского центра «Институт цитологии и ге-
нетики СО РАН», пос. Краснообск, Россия
email: baburinyu@bionet.nsc.ru

Облепиховый кустарник в своей коре содержит ценный нейромедиатор – серотонин, содержание которого меняется в зависимости от времени года. По результатам исследований, проведенных в 2011–2012 годах в ходе которых было исследовано содержание серотонина в различных видах облепихового сырья, а также было установлено, что наибольшее содержание серотонина, порядка 2–3 % от объема биомассы в зависимости от сорта, содержится в коре облепихи в образцах, собранных в период выхода из зимнего состояния покоя 22.03.2012. Было исследовано несколько сортов, которые показали различия в количестве содержащегося серотонина. Наибольшее содержание серотонина было зафиксировано у дикорастущей формы облепихи (порядка 2,92 %).

Ключевые слова: облепиха крушиновидная; биомасса; серотонин

Sea buckthorn biomass as a source of serotonin

*Baburin Y.Y. *, agronomist 1st category; Krejmer V.K., agronomist 1st category
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute
of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian. Krasnoobsk, Russia
email: baburinyu@bionet.nsc.ru

The sea buckthorn shrub, in its bark, contains a valuable neurotransmitter – serotonin, the content of which varies depending on the season. According to the results

of research conducted in 2011–2012, during which the serotonin content in various types of sea buckthorn raw materials was studied, it was found that the highest serotonin content, about 2-3% of the biomass volume depending on the variety, is present in the bark of sea buckthorn samples collected during the emergence from winter dormancy on March 22, 2012. Several varieties were investigated, showing differences in the amount of serotonin. The highest serotonin content was recorded in the wild-growing form of sea buckthorn (approximately 2.92 %).

Key words: sea buckthorn; biomass; serotonin

Традиционно, основным товарным продуктом, получаемым с облепихи, являются плоды. В процессе сбора плодов получается много побочных продуктов в виде листьев и веток. Согласно литературным данным [1–3, 5–7] листья и ветки облепихи также являются ценным сырьём для получения биологически активных веществ (БАВ). Многими исследователями в облепиховых листьях был найден целый спектр ненасыщенных жирных кислот и других ценных веществ, обладающих антиоксидантными и противораковыми свойствами [1–3, 5–7]. Способы извлечения ценных веществ из неплодового облепихового сырья достаточно широко исследованы [1, 4, 5], однако широкой и массовой переработки биомассы облепихи в нашей стране до сих пор нет. Вероятно, это вызвано тем, что не отработаны промышленные технологии переработки облепихового сырья или они экономически не выгодны. Тем не менее биохимические исследования листьев и веток облепихи ведутся как у нас, так и за рубежом, и интерес к этому источнику получения БАВ возрастает.

Одним из ценнейших компонентов биомассы облепихи является серотонин, который содержится в коре облепихового кустарника [4–6].

Ранее сотрудниками сектора интродукции и технологии возделывания сельскохозяйственных культур СибНИИРС филиал ИЦиГ СО РАН, проводилась работа по определению содержания серотонина в разных частях облепихового растения, исследовалось накопление гормона в динамике в побегах облепихи [7], при исследовании применялся оригинальный способ выделения серотонина из облепихового сырья, разработанный в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН [5]

Сбор биомассы облепихи проводится путем механизированной обрезки, что подразумевает необходимость в сортах, положительно реагирующих на обрезку. На протяжении последних лет, в опытном облепиховом питомнике ИЦиГ СО РАН проводились опыты по срезке биомассы, которые показали, что сорта облепихи новосибирской селекции не предназначены для промышленного сбора биомассы путем срезки: отрастание плохое, при продолжительной срезке происходит угасание отрастания, развивается деградация и умирание опытного куста.

Однако был выявлен один из сортов, находящийся в коллекции ИЦиГ СО РАН который положительно отзывается на сбор биомассы путем обрезки, отрастание новых ветвей не угасает, а прогрессирует, деградация после обрезки не замечена. Это сорт «Янтарная ягода», оригинатор ВНИИ генетики и селекции плодовых растений им. И.В. Мичурина, г. Мичуринск. Данный сорт показал высокую устойчивость к резко-континентальному климату Западной Сибири и стал предметом наших исследований.

Обработка облепихового сырья и определение уровня гормона были проведены в лаборатории ИХТТМ СО РАН. Для увеличения концентрации доступного для усвоения серотонина проводили механохимическую активацию растительного сырья, заключающуюся в размельчении растительной массы до наночастиц размером не более 50–300 мкм, что позволяет существенно повысить выход серотонина в раствор. Осуществляется это благодаря частичному разрушению структуры клеточных стенок, разупорядочению надмолекулярной структуры полимеров клеточных стенок, образованию растворимых солей и комплексов биологически активных веществ с выбранными реагентами. В случае с серотонином, после механохимической активации возможно проводить исчерпывающую водную экстракцию.

Для начала была проведена проверка содержания вещества в разных частях растения различных сортов. Замеры проводились осенью 2011 г. Установлено, что наибольшее содержание серотонина находится в коре – до 3,6 % и в однолетних побегах – до 2,9 %, практически не содержится в ягодах и листьях – 0,02 % и менее (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание серотонина в разных видах облепихового сырья

Вид сырья	Содержание серотонина, % массы
Ягоды сушеные	0,005
Жмых ягод	0,001
Листья (Новосибирск)	0,02
Листья (Китай)	0,36
Ветки (Новосибирск)	0,8–1,6
Ветки (Китай)	3,4
Ветки (Алтай)	1,2–2,4
Сердцевина веток	0,2–0,4
Кора веток	1,2–3,6

В своих опытах мы исходили из того, что надо было найти самый технологичный период для заготовки побегов. Было проведено исследование накопления гормона в побегах в течение вегетационного периода (табл. 2).

Таблица 2 – Динамика содержания серотонина в облепиховых побегах в течение года по разным сортам (данные 2011–2012 гг.)

Сорт облепихи	Дата сбора											
	20.04	24.05	23.06	21.07	18.08	30.08	03.09	15.09	21.10	25.10	25.01	22.03
Зырянка	1,45	0,89	0,60	0,39	–	0,75	–	–	–	0,94	2,69	2,22
Зарница	1,57	1,08	0,57	0,45	–	–	–	1,10	–	0,91	1,83	2,21
Красный Факел	1,33	0,82	0,47	0,30	–	–	–	1,05	–	1,37	1,68	2,08
Сибирский Румянец	1,76	1,04	0,40	0,22	0,75	–	–	–	–	1,61	2,24	2,27
Дикая форма	1,58	1,22	0,69	0,17	–	–	0,86	–	2,18	–	–	2,92

Таким образом, облепиха является сырьём для получения ценного вещества – гормона серотонина. Выявлено, что наиболее технологичным сырьём для выделения серотонина являются однолетние побеги облепихи, а наиболее подходящее время для их заготовки – с октября по март. Выявлены различия среди сортов и форм облепихи по количественному содержанию серотонина. Наибольшее содержание серотонина было зафиксировано в образцах, собранных 22 марта 2012 года. Сравнительное исследование проводилось для пяти сортов: Зырянка, Зарница, Красный Факел, Сибирский Румянец, а также была исследована дикая форма облепихи. Наибольшее содержание серотонина было зафиксировано в дикой форме и составило 2,92 % от объема биомассы, далее Сибирский Румянец – 2,27 %, Зырянка – 2,22 %, Зарница – 2,21 % и Красный Факел – 2,08 %.

В 2023 году проводился анализ по определению динамики содержания серотонина в сорте «Янтарная ягода», для которого в весенний период проводилось 4 срезки одревесневших 1 и 2 летних побегов в 4 повторностях. Результаты исследования представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание серотонина в образцах сорта «Янтарная ягода». Сбор в весенний период 2023 г. (% от массы)

Сорт	03.04.2023	13.04.2023	23.04.2023	03.05.2023
Янтарная ягода	1,59	1,52	0,43	0,46

Таким образом, биомасса облепихи крушиновидной является перспективным источником сырья, содержащего серотонин. Требуются дополнительные исследования для выяснения оптимального времени сбора биомассы, возможности применения биомассы людьми в терапевтических целях для решения вопроса о внедрении в промышленное производство биомассы облепихи, содержащей серотонин.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Список литературы

- 1 Давыдкина А.Е., Чернова А.П., Юленков Н.П. Получение биологически активных веществ из древесных отходов облепихи // Материалы XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера. В 2 томах. Том 2 (г. Томск, 16–19 мая 2022 г.) / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. С. 150–151.
- 2 Карпова Е.А. Биохимическая оценка новых сортов облепихи в Западной Сибири // Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур и их маркетинг в современных условиях. Челябинск, 1996. С. 23.
- 3 Карпова Е.А. Изучение биохимических особенностей облепихи с целью использования в селекции // Проблемы стабилизации и развития сельскохозяйственного производства Сибири, Монголии и Казахстана в 21 веке: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. Ч. 1. 2000. С. 207–209.
- 4 Способ производства биологически активного комплекса – порошка из молодых побегов облепихи [электронный ресурс]. Режим доступа – https://yandex.ru/patents/doc/RU2506953C1_20140220 – дата обращения: 17.01.2024
- 5 Турецкова В.Ф. Теоретическое и экспериментальное обоснование рационального использования коры и побегов облепихи крушиновидной и коры осины обыкновенной. Автореф. дис. докт. фармацевт. наук. Пермь, 2001. 43 с.
- 6 Galitsin G., Lomovsky I., Podgorbunskikh E. Seasonal and Geographic Variation in Serotonin Content in Sea Buckthorn [электронный ресурс]. Режим доступа – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36534234/> – дата обращения: 17.01.2024г.
- 7 Galitsin G., Lomovskiy I., Orlov D. Sea buckthorn is a natural source of serotonin // ACG publications, 2020. P. 7
- 8 Lu Rongsen. The flavonoid contents in the berries and leaves of *Hippophae*. Abstract Proceedings of the 5th International Sea buckthorn Association Conference, China, Xining, 2011. P. 59.

DOI 10.18699/GPB2024-10

Оценка мутантов ярового ячменя по элементам урожайности с использованием селекционных индексов

Базюк Д.А. *, Белозерова А.А., к.б.н., Боме Н.А., д.с.-х.н.

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

*email: bazjukdenis97@yandex.ru

Проведено изучение мутантных форм ярового ячменя по элементам урожайности. Практическую ценность представляют 12 мутантов, характеризовавшиеся стабильным проявлением признаков продуктивности в разные по метеорологическим характеристикам вегетационные периоды. Использование селекционных индексов (канадский индекс, мексиканский индекс, индекс продуктивности растения) позволило отобрать потенциально засухоустойчивые генотипы, полученные в результате обработки химическим мутагеном фосфемидом семян исходных образцов из Перу (в концентрации 0,01 %) и Эфиопии (0,002 %).

Ключевые слова: ячмень; химический мутаген фосфемид; селекционные индексы

Evaluation of spring barley mutants for yield elements using selection indices

*Bazyuk D.A. *, Belozeroва A.A., Bome N.A.*

Tyumen State University, Tyumen, Russia

**email: bazjukdenis97@yandex.ru*

The study of mutant forms of spring barley in terms of yield elements was carried out. 12 mutants characterised by stable manifestation of productivity traits in different weather characteristics of vegetation periods are of practical value. The use of selection indices (Canadian index, Mexican index, plant productivity index) made it possible to select potentially drought-resistant genotypes obtained as a result of treatment with the chemical mutagen phosphemide of seeds of initial samples from Peru (at a concentration of 0.01%) and Ethiopia (0.002%).

Key words: barley; chemical mutagenesis phosphemide; selection indices

Яровой ячмень является важной продовольственной, технической и кормовой культурой, входит в рецептуру большинства комбикормов, используется для производства крупы, а также в пивоварении и спиртовой промышленности. Актуальной остается проблема повышения урожайности, устойчивости к различным абиотическим и биотическим стрессорам, что является важнейшим условием увеличения объемов зерна [1, 2]. Особое внимание в селекционной работе уделяется комплексному изучению образцов ячменя по важным хозяйственно ценным признакам, что позволяет отбирать генотипы, отвечающие разнообразным требованиям [3].

В селекционной практике отмечается, что для оценки сортов по хозяйственно-биологическим и адаптивным показателям на фоне стремительно меняющихся лимитирующих факторов среды возможно использование различных индексов, способствующих выявлению уникальных генотипов. По мнению ряда авторов, если входящие в состав индекса количественные признаки с тесной корреляцией имеют одинаковый характер изменчивости под влиянием условий среды, то индекс оказывается менее изменчивыми, чем сами признаки [4].

В качестве объекта исследования были использованы три образца ячменя (*Hordeum vulgare* L.) из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (Зерноградский 813, к-30453, Россия, var. *erectum*; Dz02-129, к-22934, Эфиопия, var. *nigripallidum*, С.И. 10995, к-30630, Перу, var. *sinicum*) и 44 мутантные формы пятого (M₅), шестого (M₆) и седьмого

(M₇) поколений, созданных на их основе с помощью химического мутагена фосфемид (ди-(этиленимид)-пиримидил-2-амидофосфорная кислота) в концентрациях 0,002 % ($2 \cdot 10^{-3}M$) и 0,01 % ($1 \cdot 10^{-2}M$).

Полевое исследование проводилось в 2021-2023 гг. на экспериментальном участке биостанции Тюменского государственного университета «Озеро Кучак» (Нижнетавдинский район, Тюменская область). Почва окультуренная дерново-подзолистая, супесчаная по гранулометрическому составу (содержание гумуса – 3,67 %, рН – 6,6). Метеорологические условия в годы исследования отличались нестабильностью по обеспеченности растений теплом и влагой: 2021 г. характеризовался как очень засушливый (ГТК = 0,42), 2022 г. был наиболее благоприятным по влагообеспеченности (ГТК = 0,92); в 2023 г. отмечено наибольшее количество осадков (ГТК = 0,78) в сравнении с 2021 и 2022 гг., при этом большая часть осадков в июле выпала за 3 суток на фоне повышенных температур, тогда как в мае и первой половине июня зафиксирован дефицит осадков.

Исходные формы и мутантные образцы оценивали по комплексу признаков, характеризующих продуктивность растений, учитывали длину колоса, число зерен с колоса, массу зерна с колоса, количество продуктивных побегов и урожайность на 1 м², высоту растений в фазу «колошение». В качестве дополнительной характеристики мутантных образцов использовали некоторые селекционные индексы: «индекс потенциала колоса» – отношение длины колоса (см) к высоте растения (см), «канадский индекс (удельный урожай колоса)» – отношение массы зерен с колоса (г) к длине колоса (см), «индекс линейной плотности колоса» – отношение числа зерен с колоса (шт.) к длине колоса (см), «мексиканский индекс» – отношение массы зерен с колоса (г) к высоте растения (см); «индекс продуктивности растения» – отношение произведения числа зерен с колоса (шт.) на массу зерен с колоса (г) к длине колоса (см); «финско-скандинавский индекс» – отношение числа зерен в колосе (шт.) к высоте растения (см) [4–7].

Селекционные индексы позволяют оценивать и отбирать селекционный материал по совокупности признаков продуктивности или повышения эффективности отбора по одному признаку [5, 6, 8].

По итогам исследований, проведенным в контрастных по метеорологическим условиям 2021 и 2022 гг., выделены 12 перспективных мутантных форм, характеризовавшиеся стабильным проявлением признаков продуктивности, и установлены индексы, тесно связанные с урожайностью зерна (канадский, мексиканский, индекс продуктивности растений). В данной работе приведены результаты анализа эффективности указанных индексов в 2023 г., характеризовавшемся сложными метеорологическими условиями вегетационного периода. Полученные результаты представлены в таблице.

Оценка перспективных мутантных образцов ячменя по селекционным индексам

Образец	2021 г.			2022 г.			2023 г.		
	КИ	МИ	ИПР	КИ	МИ	ИПР	КИ	МИ	ИПР
Зерноградский 813	0,115	0,010	2,207	0,141	0,012	2,923	0,123	0,013	1,916
PI9(37) 0,002%	0,123	0,012	2,493	0,144	0,012	3,351	0,121	0,013	2,044
Dz02-129	0,153	0,013	5,662	0,147	0,009	6,043	0,116	0,010	1,709
ЭШ5(55) 0,002%	0,220	0,019	9,429	0,212	0,014	7,321	0,245	0,021	8,393
C.I.10995	0,076	0,007	3,023	0,143	0,012	5,416	0,094	0,015	2,241
П117(12) 0,01%	0,152	0,014	6,211	0,152	0,014	6,239	0,091	0,010	1,647
П1V19(44) 0,01%	0,138	0,015	5,984	0,184	0,014	8,485	0,106	0,012	2,427
П1V19(45) 0,01%	0,181	0,021	9,461	0,196	0,016	9,793	0,210	0,022	7,584
ПШ6(76) 0,01%	0,208	0,021	7,938	0,191	0,013	7,724	0,160	0,018	4,672
ПШ6(77) 0,01%	0,175	0,017	6,806	0,178	0,013	7,442	0,242	0,023	9,756
ПШ7(79) 0,01%	0,147	0,014	6,235	0,168	0,012	7,048	0,144	0,015	3,511
ПШ3(82) 0,01%	0,170	0,018	6,686	0,173	0,013	7,560	0,191	0,021	7,481
ПШ6(82) 0,01%	0,174	0,020	8,402	0,171	0,013	8,185	0,180	0,021	6,137
П1V19(86) 0,01%	0,172	0,017	7,650	0,179	0,013	7,818	0,237	0,022	8,448
П114(108) 0,01%	0,112	0,014	4,844	0,132	0,010	5,222	0,178	0,019	5,963

Примечание: КИ – Канадский индекс, г/см; МИ – Мексиканский индекс, г/см; ИПР – Индекс продуктивности растений, шт.× г/см.

Канадский индекс используется в зонах, в которых типичной является весенне-летняя засуха, и направлен на отбор засухоустойчивых генотипов [7, 8]. В нашем исследовании указанный индекс у перспективных мутантных форм в условиях дефицита влаги в 2023 г. варьировал в более широких пределах, чем в предыдущие годы (от 0,091 до 0,245 г/см). Наиболее высокими значениями удельного урожая колоса во все годы изучения характеризовался мутант ЭШ5(55) 0,002%, полученный на основе образца из Эфиопии.

Мексиканский индекс отражает взаимосвязь продуктивности колоса с высотой растения и показывает способность соломины нести нагрузку в виде колоса, что такое характеризует устойчивость растений к полеганию [7, 8]. Под действием теплового стресса и недостатка влаги образцы ячменя в 2021 и 2023 гг. отличались низкорослостью и меньшей массой зерна с растения при сопоставлении с 2022 г., в связи с чем у большинства перспективных образцов значения исследуемого индекса были выше при дефиците осадков, чем в благоприятных условиях. Стабильным проявлением мексиканского индекса в стрессовых условиях 2021 и 2023 гг. характеризовались мутанты на основе образца из Перу П1V19(45) 0,01 % и ПШ6(82) 0,01 %.

К наиболее информативным индексам по мнению [9, 10] относится индекс продуктивности растений, в основе которого лежат такие признаки как длина, число и масса зерен с колоса. В нашем исследовании индекс продуктивности растений изменялся в широких пределах, особенно в засушливых условиях 2021 и 2023 гг. Примерно одинаковыми показателями индекса продуктивности, независимо от года исследования, характеризовались мутанты ЭШ5(55) 0,002 %,

ПШЗ(82) 0,01 % и ПШV19(86) 0,01 %.

Для наиболее эффективного индексного отбора необходимо учитывать возможные взаимосвязи между признаками [6]. По результатам нашего исследования в условиях недостаточной влагообеспеченности 2021 г. отмечена тесная корреляция между урожайностью и канадским индексом ($r = 0,85$), мексиканским индексом ($r = 0,76$) и индексом продуктивности растений ($r = 0,70$), тогда как в благоприятных условиях (2022 г.) и в условиях дефицита воды на фоне повышенных температур (2023 г.) связь урожайности с перечисленными индексами ослабевает.

В результате проведенного исследования на основе селекционных индексов выделены перспективные мутантные образцы ярового ячменя, характеризующиеся более высокой засухоустойчивостью.

Список литературы

- 1 Лукина К.А., Ковалева О.Н., Лоскутов И.Г. голозерный ячмень: систематика, селекция и перспективы использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26, № 6. С. 524–536.
- 2 Шоева О. Ю. Мировой опыт создания пивоваренных сортов ячменя на основе беспроантоцианидиновых мутантов // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 7, № 1. С. 23–33.
- 3 Лоскутов И.Г. Генетические ресурсы овса и ячменя – источник результативной селекции в России // Доклады международной Вавиловской конференции. М., 2009. С. 200–205.
- 4 Манукян И.Р., Басиева М.А., Абиев В.Б. Оценка продуктивности селекционных образцов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // Нива Поволжья. 2018. №4 (49). С. 78–83.
- 5 Драгавцев В.А. Эколого-генетическая организация полигенных признаков растений и теория селекционных индексов // Молекулярная и прикладная генетика. 2009. Т. 9. С. 7–13.
- 6 Степанова Н.А. Определение продуктивности яровой мягкой пшеницы на основе селекционных признаков / Н.А. Степанова [и др.] // Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». 2021. №3 (39). С. 91–96.
- 7 Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи // Аграрный вестник Урала. 2022. № 06 (221). С. 16–26.
- 8 Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Агроэкологическая оценка сортов озимой ржи по хозяйственно-биологическим и адаптивным показателям // Пермский аграрный вестник. 2023. № 1 (41). С. 63–71.
- 9 Манукян И.Р. Использование нового индекса продуктивности растений для оценки селекционного материала озимой пшеницы / И.Р. Манукян [и др.] // Нива Поволжья. 2019. № 2 (51). С. 47–52.
- 10 Манукян И.Р. Оценка экологической пластичности сортов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа / И.Р. Манукян [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2019. № 4 (183). С. 22–27.

Оценка влияния содержания α -амилазы на предуборочное прорастание зерна тритикале

Барнашова Е.К.^{1}, Вертикова Е.А.¹, Жилин С.В.²*

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока», г. Саратов, Россия

**email: k.barnashova@gmail.com*

Проведена сравнительная оценка содержания α -амилазы в зерне тритикале урожая 2020–2022 гг. Показана зависимость склонности растений к предуборочному прорастанию семян от содержания α -амилазы в зерне. На основании полученных данных установлено, что уровень устойчивости 13 изученных сортообразцов варьировал от низкого до очень высокого. Полученные результаты могут быть использованы в селекционной работе.

Ключевые слова: тритикале; α -амилаза; предуборочное прорастание семян

Assessment of the influence of α -amylase content on pre-harvest germination of triticale grain

Barnashova E.K.^{1}, Vertikova E.A.¹, Zhilin S.V.²*

¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

²Federal State Budget Scientific Institution “Federal Agricultural Research Center of South-East”, Saratov, Russia

**email: k.barnashova@gmail.com*

A comparative assessment of the α -amylase content in triticale grain from the 2020–2022 harvest was carried out. The dependence of the propensity of plants to pre-harvest seed germination on the content of α -amylase in the grain was shown. Based on the data obtained, it was established that the level of resistance of the 13 studied varieties varied from low to very high. The results obtained can be used in breeding work.

Key words: triticale; α -amylase; pre-harvest seed germination

Тритикале, созданная при скрещивании ржи и пшеницы зерновая культура, являющаяся в настоящее время самостоятельным биологическим родом

(*Triticosecale* Wittmack ex A. Camus), имеет высокий потенциал в качестве продукта питания и фуража. Перспективна для возделывания в средней полосе России и проявляет высокую устойчивость к неблагоприятным погодным условиям. Существенным препятствием для более широкого распространения тритикале в нашей стране является ограниченность сортового разнообразия [1, 2].

При проведении оценки посевов тритикале было установлено, что значительные трудности возникают при необходимости проведения уборки урожая тритикале в период проявления природных явлений, связанных с возникновением явлений повышенной влажности в воздухе и на почве: затяжные дожди, росы, туманы и т.д. В этом случае наблюдается прорастание зерна в колосе на корню, в валках, в бункерах первичного хранения урожая. Этот фактор существенным образом влияет на сохранность урожая, а также ведёт к ухудшению качества зерна и продуктов его последующей переработки. Известно [3], что способность к удержанию влаги в зерне является сортовой особенностью для злаковых культур. Эта характеристика может послужить основой для генетического регулирования возможности предотвращения нежелательного фактора.

В соответствии с данными ряда научных исследований [4, 5] сформировано предположение, что несвоевременное прорастание зерна происходит под воздействием фермента α -амилазы. Для проверки данной гипотезы была разработана аналитическая методика количественного определения α -амилазы в зерне тритикале. Методика определения α -амилазы включала проведение следующих последовательных мероприятий.

Зерно тритикале просушивали на открытом воздухе до достижения стабильной массы. Затем подвергали помолу. В настоящем исследовании помол осуществляли на лабораторной мельнице модели A10 ИКА. Просеивание муки провели с использованием набора (комплекта) лабораторных сит для муки по ГОСТ 27560-87.

Фермент α -амилазы экстрагировали из муки. Навеску муки обрабатывали раствором натрий-ацетатного буфера в лабораторном гомогенизаторе и затем центрифугировали. Полученный супернатант анализировали с использованием спектрофлуориметра Tecan Infinite 200 M Plex Pro, измеряя оптическую плотность реакционной смеси при длине волны 405 нм.

Устойчивость различных сортов тритикале к предуборочному прорастанию установили на основании результатов полевых опытов. Уровень устойчивости 13 изучаемых сортообразцов тритикале в 2020–2022 гг. варьировал от низкого до очень высокого.

В результате научных исследований выявили зависимость склонности растений к прорастанию на корню от содержания α -амилазы.

Сортообразцы: Зубр и Маг/Кентавр имели низкий показатель устойчивости

к прорастанию и содержание α -амилазы в зерне изменялось от 157,5 до 259 ед./кг. При среднем уровне устойчивости (сортообразцы: Л-14, Воронеж/Дон; Водолей/АДП//Modus; Водолей/АДП-2; Зубр/ТИ-17) содержание α -амилазы в зерне изменялось от 114,5 до 129 ед./кг. В группе сортообразцов с высоким показателем устойчивости (МАГ/АДЛеук1701 h 389/Сар 8; Водолей/АДП-2//Colina; КС-1 Саргау/Полесский; Студент/Водолей//Полесский 10//АДП-2) содержание α -амилазы в зерне варьировало от 94 до 106 ед./кг. В группе очень высокого уровня устойчивости к предуборочному прорастанию на корню (Студент/Патриот//Корнет; Водолей/АДП-2//Л.39 (озимая пшеница); Newton/Саргау//KS-88Т-142//Корнет) вариабельность содержания α -амилазы в зерне наблюдалось в интервале от 23 до 70,5 ед./кг.

Заключение. Таким образом, по результатам проведенных исследований сортообразцов тритикале установили четкую корреляцию результатов полевых наблюдений и полученных аналитических данных по содержанию α -амилазы в зерне тритикале. Чем выше показатель устойчивости к предуборочному прорастанию на корню, тем ниже содержание α -амилазы в зерне. Полученные данные возможно использовать в селекции тритикале на устойчивость к предуборочному прорастанию зерна.

Благодарности: Авторы выражают благодарность доктору биологических наук Таисии Ивановне Дьячук за проведение совместных теоретических изысканий и руководство рядом полевых практик.

Список литературы

- 1 Дьячук Т.И., Акинина В.Н., Жилин С.В. [и др.] Гаплоидия тритикале *In vitro* (обзор литературы) // *Зерновое хозяйство России*. 2022. № 1(79). С. 39–45.
- 2 Бадамшина Е.В., Лещенко Н.И., Калужина О.Ю., Леонова С.А. Влияние сортовых особенностей на технологию переработки зерна тритикале селекции Республики Башкортостан // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 7(184). С. 86–94.
- 3 Минеев В.Г. *Агрехимия*. М.: Колос, 2004. 720 с.
- 4 Randhava H.S., Bona L. and Graf R.J. *Triticale Breeding // Progress and Prospect*. EudesF. (ed.) *Triticale*. SpringerInt. Publishing. Switzerland, 2015. P. 69–81.
- 5 Акинина В.Н., Дьячук Т.И., Хомякова О.В., Жилин С.В., Барнашова Е.К., Калашникова Э.В., Куликова В.П. Характеристика сортов и перспективных линий тритикале в условиях нижнего Поволжья // В сборнике: *Тритикале. Материалы международной научно-практической конференции*. Ростов-на-Дону, 2022. С. 42–52.

Оценка эффективности применения гуминовых препаратов при возделывании картофеля

Батов А.С.^{1}, м.н.с.; Гуреева Ю.А.¹, м.н.с.; Малюга А.А.², д.с-х.н.*

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук, Новосибирск, Россия

**email: alexander-batov@mail.ru*

В 2022–2023 гг. на опытном поле СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН была проведена оценка эффективности применения гуминовых препаратов Берес-8, Ж и Реликт-Р, Ж. Общий урожай увеличился в сравнении с контролем от 25,6 до 30,2 % у сорта Юна и от 23,3 до 44,0 % у сорта картофеля Златка. Коэффициент размножения увеличился от 8,7 и 13,0 % у сорта Юна и от 19,2 до 42,3 % у сорта Златка. На увеличение общего урожая сорта картофеля Лина повлияло применение гуминового препарата Берес-8 – прибавка к контролю составила 14,9 %.

Ключевые слова: картофель; сорт; гуминовый препарат; продуктивность; размножение

Evaluation of the effectiveness of the use of humic preparations in potato cultivation

Batov A.S.¹, junior researcher; Gureeva Yu.A.¹, junior researcher, Malyuga A.A.² Doctor of Agricultural Sciences.

¹Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**email: alexander-batov@mail.ru*

In 2022–2023 on the experimental field of SibNIIRS, a branch of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, the effectiveness of the use of humic preparations Beres-8, Zh and Relikt-R, Zh was assessed. The total yield increased in comparison with the control from 25.6 to 30.2 % for the variety Yuna and from 23.3 to 44.0 % for the Zlatka potato variety. And the reproduction coefficient increased from 8.7 and 13.0 % for the Yuna variety and from 19.2 to 42.3 % for the Zlatka variety. The increase in the total yield of the Lina potato variety was influenced by the use of the humic preparation Beres-8 – an increase of 14.9 % over the control.

Key words: potato; variety; humic preparation; productivity; reproduction

Картофель является одним из основных продуктов питания для населения в Российской Федерации [1]. Несмотря на то что в России имеются достаточные площади для возделывания картофеля, в 2021 году объем импорта картофеля из Египта, по данным АБ-Центр, составил 285,9 тыс. тонн, а также, поставки семенного материала из зарубежных стран составили 17,4 тыс. тонн. Для избегания импортных поставок необходимо уделить большое внимание повышению урожайности продовольственных и семенных клубней [2]. Внесение минеральных удобрений помогает картофелю реализовать свой продуктивный потенциал. Однако наряду с применением удобрений целесообразно применять препараты на основе гуминовых кислот (гуматы). Гуматы относятся к разряду удобрений, однако по своим свойствам их можно также с успехом отнести и к регуляторам роста растений. Гуминовые препараты имеют действия разнонаправленности: активирование биоэнергетических процессов, стимуляция обмена веществ, улучшение проникновения элементов питания через плазмалемму, повышение адаптационных свойств растительного организма и стрессоустойчивости [3]. Также гуматы участвуют в формировании структуры почвы: на легких почвах обеспечивают агрегатирование, на тяжелых предотвращают образование трещин и корок, повышают аэрацию почвы. Детальные изучения показывают, что гуминовые удобрения необходимо вносить на всех типах почв для поддержания баланса гумуса, так как почвы, находящиеся в сельскохозяйственном обороте, не могут рассчитывать на естественное накопление гумуса [4]. Вышесказанное привело к основанию проведения опыта по оценке влияния гуминовых веществ на продуктивность культуры картофеля, а также коэффициента размножения.

Цель исследования. Оценить влияние предпосадочной обработки и обработки растений по вегетации гуминовыми препаратами Берес-8, Ж и Реликт-Р, Ж на урожайность культуры картофеля и коэффициент размножения.

Материалы и методы

Эксперимент по оценке эффективности применения гуминовых препаратов Берес-8, Ж и Реликт-Р, Ж, была выполнена в 2022–2023 гг., в полевых условиях на опытном поле Сибирского НИИ Растениеводства и Селекции – филиала ИЦиГ СО РАН, предшественник сидеральный пар (рапс). Почвенный покров представлен среднемощным выщелоченным черноземом. Внесение удобрений из расчета $N_{40}P_{40}K_{80}$. Климат – резко-континентальный. В качестве объекта исследований использовали сорта местной селекции: Юна – раннеспелый сорт, Лина – сорт картофеля среднераннего срока созревания и Златка – среднеспелый сорт.

Посадку картофеля проводили в третьей декаде мая вручную по бороздам с междурядьями 70 см. Схема посадки 70 × 25 см. В качестве посадочного материала использовались клубни первого полевого размножения. Предпосадочная об-

работка клубней препаратами Берес-8 и Реликт-Р проводилась ручным опрыскивателем (табл. 1). Опрыскивание растений по вегетации производилось в фазу бутонизации. Коэффициент размножения семян картофеля рассчитывали, как соотношение между числом посаженных клубней и числом убранных.

Таблица 1 – Схема опыта

Сорт	Периоды обработки	Варианты обработки
Юна	Предпосадочная обработка клубней	1 – Контроль без обработки 2 – Берес-8 (0,2 л/т) 3 – Реликт-Р (0,1 л/т)
	Обработка растений по вегетации	1 – Контроль без обработки 2 – Берес-8 (0,2 л/га) 3 – Реликт-Р (0,2 л/га)
Лина	Предпосадочная обработка клубней	1 – Контроль без обработки 2 – Берес-8 (0,2 л/т) 3 – Реликт-Р (0,1 л/т)
	Обработка растений по вегетации	1 – Контроль без обработки 2 – Берес-8 (0,2 л/га) 3 – Реликт-Р (0,2 л/га)
Златка	Предпосадочная обработка клубней	1 – Контроль без обработки 2 – Берес-8 (0,2 л/т) 3 – Реликт-Р (0,1 л/т)
	Обработка растений по вегетации	1 – Контроль без обработки 2 – Берес-8 (0,2 л/га) 3 – Реликт-Р (0,2 л/га)

Метеоусловия 2022 года характеризовались ранней теплой весной (температура мая превысила среднесуточную многолетнюю температуру на 4,4 °С) с низкой влагообеспеченностью – 6,8 % от среднемноголетнего значения. Температурный режим и количество осадков в июне месяце были благоприятны для роста и развития картофельных растений, +0,4 °С и 106,9 % от среднемноголетних данных. Температура июля была умеренно прохладной (–0,9 от средней многолетней), а количество выпавших осадков составило 78,4 % от нормы. Август характеризовался благоприятным температурным режимом +0,4 °С, но всего 34 % выпавших осадков. ГТК: май – 0,06; июнь – 1,22; июль – 0,81; август – 0,45; за вегетацию – 0,66 (слабая засуха). Погодные условия 2023 года можно расценивать как недостаточно увлажненные (ГТК = 0,98). В мае наблюдалась очень сильная засуха (ГТК = 0,18). В июне установилась засушливая погода (ГТК = 0,46, средняя засуха). В июле отмечены жаркие и засушливые условия. Влагообеспеченность оценивается как недостаточная (ГТК = 0,93). В Августе влагообеспеченность была избыточная (ГТК = 2,04).

Результаты и обсуждение

Максимальный общий урожай у сорта Юна отмечен в варианте с обработкой семян и растений по вегетации препаратом Реликт-Р – 16,8 т/га, что на 30,2 %

выше контроля (табл. 2). В варианте с гуминовым препаратом Берес-8 также наблюдалась прибавка к контролю на 25,6 %.

Таблица 2 – Влияние стимуляторов роста на общий урожай картофеля, т/га

Сорт	Вариант опыта	2022	2023	Среднее 2023-2024	Прибавка к контролю
Юна	Контроль (без обработок)	18,5	7,3	12,9	–
	Берес-8 (0,2 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	24,1	8,2	16,2	3,3
	Реликт-Р (0,1 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	19,1	14,5	16,8	3,9
Лина	Контроль (без обработок)	24,5	3,9	14,2	–
	Берес-8 (0,2 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	25,9	6,6	16,3	2,1
	Реликт-Р (0,1 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	18,2	11,1	14,7	0,5
Златка	Контроль (без обработок)	19,9	3,3	11,6	–
	Берес-8 (0,2 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	28,8	4,5	16,7	5,1
	Реликт-Р (0,1 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	19,8	7,7	14,3	2,7

Применение стимуляторов роста растений на среднераннем сорте Лина, показало максимальную прибавку по урожаю в варианте с предпосадочной обработкой и обработкой по вегетации стимулятором Берес-8 – на 2,1 т/га, что на 14,9% превзошло контрольное значение. В варианте с применением ростостимулятора Реликт-Р показатель был близок к контрольному. У среднеспелого сорта Златка наибольший урожай был отмечен в варианте с предпосадочной обработкой и обработкой по вегетации гуматом Берес-8 – 16,7 т/га, что превзошло значение в контрольном варианте на 44,0 %. Однако и в варианте с применением стимулятора Реликт-Р наблюдалось превышение над контрольным показателем на 2,7 т/га или на 23,3 %.

Самый высокий коэффициент размножения у сорта Юна отмечен в варианте с применением гуминового препарата Реликт-Р – на 13,0 %. В варианте с применением предпосадочной обработки и опрыскивания растений по вегетации гуматом Берес-8 также прослеживается увеличение коэффициента размножения на 8,7 % (табл. 3).

У сорта Лина наблюдалось снижение коэффициента размножения в варианте с обработкой гуминовым стимулятором Берес-8 – на 11,1 % в сравнении с контролем. Однако применение ростостимулятора Реликт-Р дало прибавку к контролю на 6,7 %. У сорта Златка прослеживалась тенденция к росту показателя коэффициента размножения во всех двух вариантах с обработкой биостимулято-

рами от 19,2 % в варианте с гуматом Реликт-Р, до 42,3 % в варианте с применением гуминового препарата Берес-8.

Таблица 3 – Влияние стимуляторов роста на коэффициент размножения

Сорт	Вариант опыта	2022	2023	Среднее 2023-2024
Юна	Контроль (без обработок)	3,3	1,3	2,3
	Берес-8 (0,2 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	3,5	1,4	2,5
	Реликт-Р (0,1 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	3,2	1,9	2,6
Лина	Контроль (без обработок)	4,5	1,5	3,0
	Берес-8 (0,2 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	4,4	0,9	2,7
	Реликт-Р (0,1 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	3,7	2,7	3,2
Златка	Контроль (без обработок)	4	1,1	2,6
	Берес-8 (0,2 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	6,2	1,1	3,7
	Реликт-Р (0,1 л/т предпосадочная обработка) + (0,2 л/т обработка по вегетации)	4,3	1,8	3,1

Выводы

При обработке раннего сорта Юна и среднеспелого сорта Златка препаратами Берес-8 и Реликт-Р во всех вариантах наблюдалась прибавка к контролю. Общий урожай увеличился в сравнении с контролем от 25,6 до 30,2 % у сорта Юна и от 23,3 до 44,0 % у сорта картофеля Златка. А коэффициент размножения увеличился от 8,7 и 13,0 % у сорта Юна и от 19,2 до 42,3 % у сорта Златка. На увеличение общего урожая сорта картофеля Лина влияние оказал гуминовый препарат Берес-8 с прибавкой 14,9 %. На коэффициент размножения сорта Лина применение гуматов влияния не оказало.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0033.

Список литературы

- 1 Замятин С.А., Максимова Р.Б., Удалова Е.Ю. Оценка эффективности применения гуминового концентрата Дар при возделывании картофеля // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2019. Т. 5. № 2. С. 156–162. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-2-156-162
- 2 Зейрук В.Н., Абашкин О.В., Дорожкина Л.А. Применение силипланта для снижения пестицидной нагрузки и повышения урожая картофеля // Агрехимический вестник. 2010. №. 2. С. 20–21.
- 3 Пурьгин П.П., Потапова И.А., Воробьев Д.В. Гуминовые кислоты: их выделение, структура и применение в биологии, химии и медицине // Актуальные проблемы биологии, химии и медицины. 2014. С. 180–196.

4 Selim E.M., El-Neklawy A.S., El-Ashry S.M. Beneficial effects of humic substances fertigation on soil fertility to potato grown on sandy soil //Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2009. Т. 3. №. 4. С. 4351–4358.

DOI 10.18699/GPB2024-13

Оценка энергии прорастания и всхожести семян в семенных поколениях нейтральнодневных гибридов F₁ крупноплодной земляники (*Fragaria* × *ananassa* Duch.)

Батурин С.О.^{1,2}, к.б.н., н.с.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН, Новосибирск, Россия

email: SO_baturin@mail.ru

В 2019–2021 гг. проведена оценка энергии прорастания и всхожести семян в семенных поколениях нейтральнодневных гибридов F₁ крупноплодной земляники. Показано, что среди нейтральнодневных гибридов крупноплодной земляники возможен отбор на высокие показатели энергии прорастания и всхожести семян. Кроме того, в ряду семенных поколений может сохраняться тенденция высоких значений этих двух показателей.

Ключевые слова: нейтральнодневная крупноплодная земляника; гибрид F₁; энергия прорастания семян; всхожесть семян; селекция

Assessment of germination energy and seed germination in seed generations of day-neutral F₁ hybrids of garden strawberries (*Fragaria* × *ananassa* Duch.)

Baturin S.O.^{1,2}

¹Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies RAS, Novosibirsk, Russia

email: SO_baturin@mail.ru

In 2019–2021 the energy of germination and seed germination in seed generations of day-neutral F₁ hybrids of large-fruited strawberries was assessed. It has been established that selection for high rates of germination energy and germination of seeds among day-neutral hybrids of large-fruited strawberries is possible. In addition, the tendency for high values of these two indicators may persist in a series of seed generations.

Key words: day-neutral garden strawberry; F₁ hybrid; germination energy; seed germination; selection

В настоящее время все более популярными среди садоводов становятся нейтральнодневные гибриды F_1 крупноплодной земляники (*Fragaria* × *ananassa* Duch., $2n = 8x = 56$), которые дают урожай уже в год посева семян [1, 2]. Желательными признаками таких сортов следует считать раннее вступление в плодоношение (скороплодность) и сжатые сроки созревания ягод (скороспелость). Кроме того, гибрид F_1 должен еще и обладать высокой энергией прорастания семян. Энергия прорастания семян является одним из важнейших показателей любой культуры, размножаемой семенами. В совокупности при создании коммерческих нейтральнодневных гибридов F_1 крупноплодной земляники перед селекционером стоит сложная задача совместить три ключевых признака в гибриде – сжатые сроки скороспелости, высокая энергия прорастания семян и нейтральнодневное семенное потомство.

Растения с высокой энергией прорастания имеют ряд преимуществ при их эксплуатации: 1) к моменту высадки в грунт растения будут иметь достаточную вегетативную массу для лучшей приживаемости и устойчивости к болезням; 2) благодаря одновременным всходам, такие растения будут находиться на одинаковой стадии развития, что позволит в дальнейшем получать урожай со всех растений одновременно; 3) высокая энергия прорастания значительно сокращает сроки высадки растений в грунт. За счет этого продолжительность вегетации растений увеличивается и соответственно возрастает период плодоношения, что особенно важно в условиях короткого лета в Сибири [3].

Цель данной работы – оценить энергию прорастания и всхожесть семян в семенных поколениях нейтральнодневных гибридов F_1 крупноплодной земляники, а также возможность наследования в ряду семенных поколений высоких значений энергии прорастания и всхожести семян.

В качестве исходного материала использовался экспериментальный гибридный фонд нейтральнодневной крупноплодной земляники ФИЦ ИЦиГ СО РАН. Работа проводилась с 2020 по 2022 год. В 2021 году были посеяны семена от 35 нейтральнодневных гибридов. По результатам вегетационного периода 2021 года был сделан отбор наилучших семей. Растения из этих семей были скрещены с материнской нейтральнодневной формой № 17/9-15-1, обладавшей хорошей морозоустойчивостью, крупными ягодами с приятным вкусом и ароматом. Стратификация семян проводилась в течение 3 месяцев. Энергию прорастания оценивали на 15 день, под которой понимали количество нормально проросших семян в течение установленного короткого срока, выраженное в процентах от количества семян, взятых для определения всхожести. Оценка всхожести семян проводилась согласно указаниям ГОСТа 12420-81: 1 класс – 75 %, 2 класс – 60 %, 3 класс – 40 % [4].

В ходе эксперимента по проращиванию семян от 35 нейтральнодневных гибридов было показано, что гибриды могут формировать семянки с разной энергией прорастания от 1,6 до 95,1 % (рис. 1). После окончания проращивания семян были отобраны те гибриды, которые имели высокие показатели по этому признаку (75,6–95,1 %). От каждого из этих гибридов получено семенное потомство (семья). К нейтральнодневным гибридам, показавшим высокую энергию прорастания, следует отнести № 18/1-45-4 (семья № 23), № 18/5-46-6 (семья № 25), № 18/5-44-6 (семья № 28), № 18/1-9-6 (семья № 29), № 18/1-41-7 (семья № 34), № 19/3-63-6 (семья № 47), № 19/3-81-6 (семья № 48).

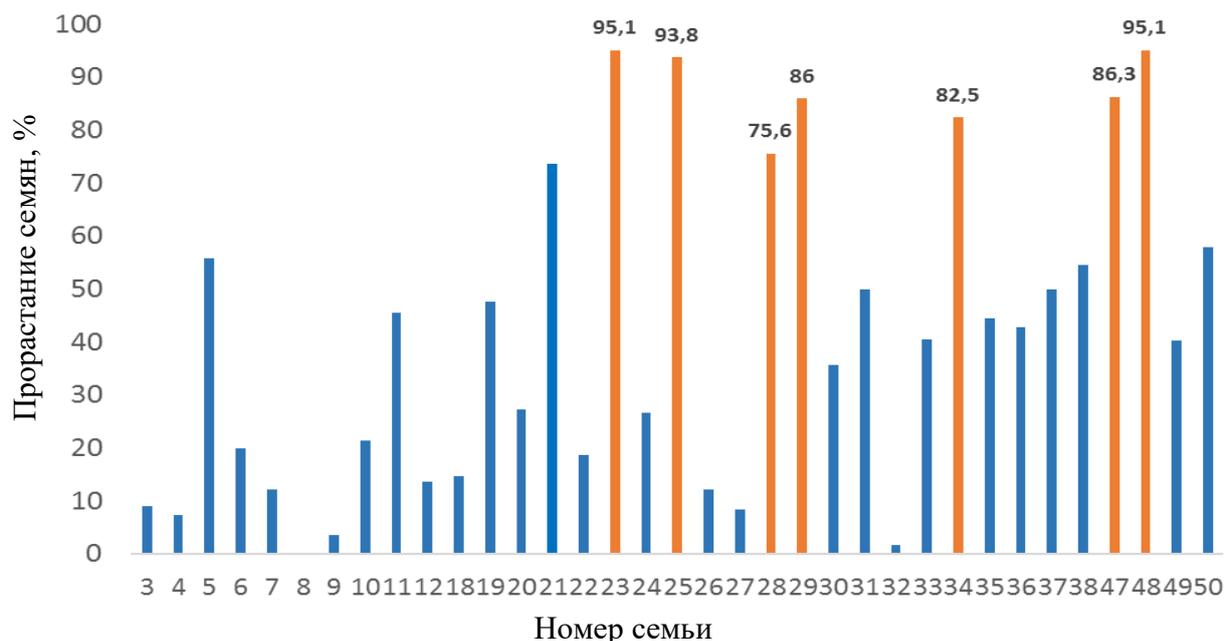


Рис. 1. Анализ энергии прорастания семян нейтральнодневных гибридов с указанием значений наиболее перспективных семей для отбора

Сравнительный анализ 35 нейтральнодневных гибридов по двум признакам (энергия прорастания и всхожесть) показал, что наиболее перспективными для дальнейшего использования в гибридизации являются растения семей № 23, 25, 28, 29, 34, 47, 48 (рис. 2). Пыльца от растений этих отобранных семей (с наибольшей энергией прорастания и всхожестью семян), использована далее в скрещиваниях с нейтральнодневной материнской формой №17/9-15-1 для выявления возможности передачи семенному потомству высоких значений энергии прорастания и всхожести семян. В качестве контроля использовали полученный ранее гибрид F₁ (№17/9-15-1 ♀ × № 62) наилучший в коллекции по двум изучаемым признакам. Из полученных данных (рис. 2) следует, что при использовании одной и той же материнской родительской формы (№17/9-15-1), но различных отцовских нейтральнодневных форм, полученные семянки в гибридных комбинациях прорастают с разными значениями энергии прорастания и всхожести семян.

нок. Более варьирует энергия прорастания. Среди изученных гибридных комбинаций выделяется гибридная семья 17/9-15-1♀ × № 47 в которой энергия прорастания несколько выше, чем в контроле, а всхожесть семян находится на уровне контроля с низким уровнем варьирования указанных значений. Все остальные гибриды показали результаты ниже, чем контроль (рис. 1). Тем не менее обращает на себя внимание гибридная семья 17/9-15-1♀ × № 34 у которой и всхожесть, и энергия прорастания семян имеют близкие и довольно высокие значения. Такие F₁ семена очень удобны при выращивании сеянцев для посадочного материала. Растянутые сроки всхожести семян нежелательны в коммерческой эксплуатации гибридов F₁, примером таковых в нашем эксперименте можно отнести гибридные семьи 17/9-15-1♀ × № 23 и 17/9-15-1♀ × № 48.

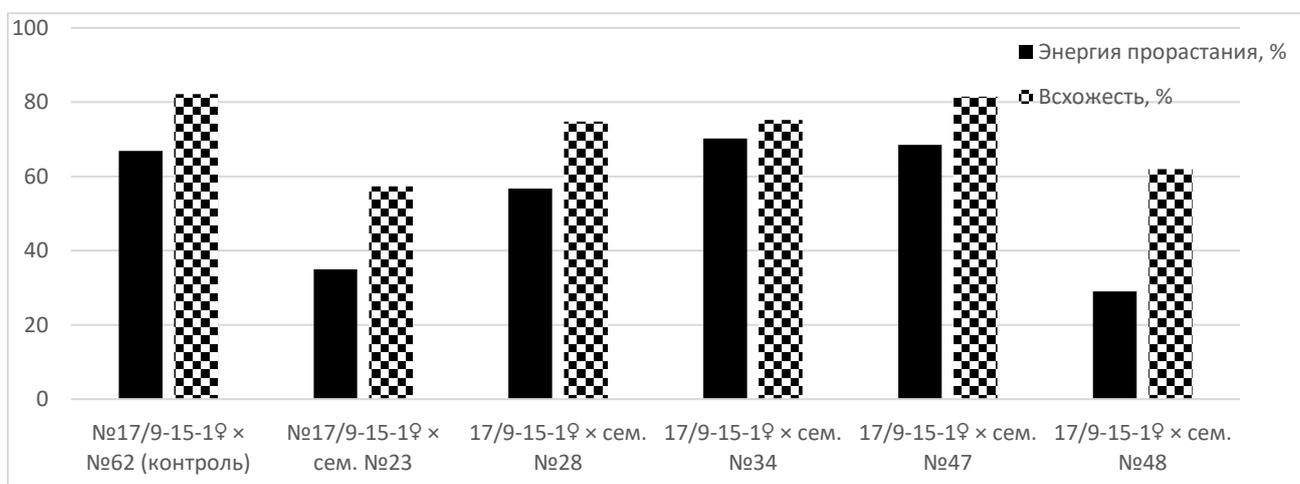


Рис. 2. Всхожесть и энергия прорастания семян, исследованных нейтральнодневных образцов крупноплодной земляники 2020–2021 гг.

Анализ прорастания семян различных нейтральнодневных гибридов F₁ показал, что по энергии прорастания семян они могут существенно различаться. Условно гибриды F₁ можно разделить на три типа по интенсивности и времени прорастания семян. Для первого типа характерна высокая дружность всходов в первые дни после стратификации, то есть высокая энергия прорастания семян (семья: 17/9-15-1♀ × № 47 и семья: 17/9-15-1♀ × № 34). Почти все семена данной комбинации проросли в период с 3 по 12 сутки. Второй тип характеризуется постепенным прорастанием на протяжении всего периода наблюдения (семья: 17/9-15-1♀ × № 28). В третьем случае отмечается пик прорастания семян только к концу периода наблюдения (семья: 17/9-15-1♀ × № 23 и семья: 17/9-15-1♀ × № 48). Данные различия в прорастании семян имеют генетическую основу, обусловленную взаимодействием геномов родительских форм [5]. Поскольку крупноплодная земляника высокополиплоидный культурный вид, имеющий высокую гетерозиготность по многим признакам, то возможны сочетания геномов родительских гамет как увеличивающие жизнеспособность семян,

так и снижающие их характеристики прорастания. В связи с чем и необходим отбор родительских форм, включая отбор по характеристикам прорастания семян [6]. Наш эксперимент показал, что среди нейтральнодневных гибридов крупноплодной земляники возможен отбор на высокие показатели энергии прорастания и всхожести семян. Причем в ряду семенных поколений может сохраняться тенденция высоких значений этих двух показателей, что создает необходимые условия для селекции нейтральнодневных гибридов F₁ крупноплодной земляники в Западной Сибири.

Финансирование: Работа выполнена по бюджетному проекту ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0017.

Список литературы

- 1 Bentvelsen G.C.M., Bouw E., Veldhuyzen van Zanten J.E. Breeding strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) from seed // Acta Horticulturae. 1997. 439 (1). P. 149–153.
- 2 Dale A., Santos B.M., Chandler C.K., Hughes B.R., Taghavi T. Breeding F₁ hybrid day-neutral strawberries in eastern North America // Acta Hort. 1156, ISHS. 2017. P. 47–52.
- 3 Батулин С.О. Создание генофонда скороспелых ремонтантных F₁ гибридов крупноплодной земляники (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) // Генофонд и селекция растений: доклады и сообщения V Международной конференции «Генофонд и селекция растений». Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 2020. С. 41–44.
- 4 Семена многолетних цветочных культур. Посевные качества. Технические условия: ГОСТ 12420. 1981. М.: Изд-во стандартов, 1988. 12 с.
- 5 Bentvelsen G.C.M., Bouw E. Breeding strawberry F₁-hybrids for vitamin-C and sugar content // Acta Horticulturae, 2002. 567. P. 813–814.
- 6 Hughes B. Developing F₁-hybrid seed-propagated dayneutral strawberry cultivars, 2015 // URL: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/hort/news/allontario/ao0915a2.htm> (дата обращения 25.02.2024)

DOI 10.18699/GPB2024-14

Полевая устойчивость коллекционных образцов овса к возбудителю *Drechslera avenae* (Eidam.) Ito et Kuribay

Бехтольд Н.П. *, к.с.-х.н., н.с.; Орлова Е.А., к.с.-х.н., в.н.с.

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: telichkinanina@mail.ru

В 2021–2023 годах на фитопатологическом участке СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН была проведена оценка 50 сортов ярового овса на устойчивость к возбудителю красно-бурой пятнистости (*Drechslera avenae*) (Eidam.) Ito et Kuribay. Полевую оценку проводили при естественном проявлении болезни в фазу молочно-восковой спелости. В результате изучения были выделены высоко

устойчивые и устойчивые сорта, которые рекомендованы для дальнейшего включения в селекционные работы.

Ключевые слова: яровой овес; красно-бурая пятнистость; сорт; устойчивость; естественный фон

Field resistance of collection oat samples to the pathogen *Drechslera avenae* (Eidam.) Ito et Kuribay

Behtold N.P. *, Orlova E.A.

SibRIPP&B – Branch of ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: telichkinanina@mail.ru

*In 2021–2023, at the phytopathological site of the SibNIIRS, a branch of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, 50 varieties of spring oats were assessed for resistance to the causative agent of red-brown spot (*Drechslera avenae*) (Eidam.) Ito et Kuribay. Field assessment was carried out during the natural manifestation of the disease in the phase of milky-waxy ripeness. As a result of the study, highly resistant and resistant varieties were identified, which were recommended for further inclusion in breeding work.*

Key words: spring oats; red-brown spot; variety; resistance; natural background

Красно-бурая пятнистость овса распространена повсеместно. Вредоносность болезни проявляется в снижении массы зерен в метелке, сильном поражении зерновок, уменьшении урожая (потери могут достигать 10–20 %). Заболевания не только угнетает растения, но и ухудшает качество зерна за счет накопления жизнедеятельности патогена.

Возбудитель красно-бурой пятнистости – микромицет *Drechslera avenae* (Eidam.) Ito et Kuribay. (синоним *Helminthosporium avenae* Eidam.) из класса *Deuteromycetes* порядка *Hypomycetales*. Заболевание может проявляться с фазы кущения до созревания, поражая в первую очередь листья, колосковые и цветочные чешуи, иногда зерновки [1–3].

В последние годы нами в Новосибирской области на фитопатологическом участке при естественном проявлении отмечено возрастание распространенности и вредоносности болезни.

Болезнь проявляется в виде продолговатых, красновато-бурых пятен на первом листе проростка, занимающих всю пластинку листа и переходящих на листовое влагалище. Пораженные всходы засыхают. На взрослых растениях пятна на листьях и влагалищах продолговатые, крупные, 7×12 мм, сливающиеся, в центре тускло-серые или коричневатые, окруженные коричневой зоной с красноватой каймой. Во влажную погоду на поверхности пятен образуется светлый налет,

состоящий из спороношения гриба [2]. Более экономическим и оптимальным способом защиты от болезни является возделывание устойчивых сортов.

Цель работы заключалась в изучении устойчивости сортов овса посевного к возбудителю красно-бурой пятнистости для последующей рекомендации использования их в селекционном процессе.

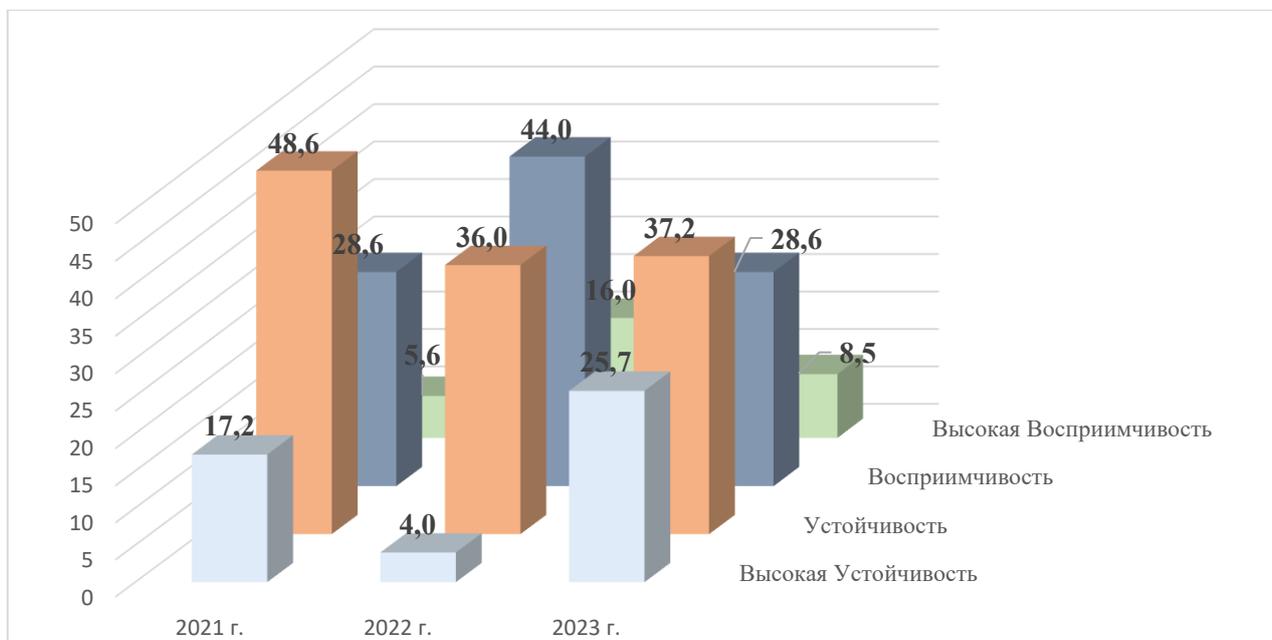
Исследования были выполнены на фитопатологическом участке лаборатории генофонда растений СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН в 2021–2023 годах. Материалом исследования служили 50 сортов ярового овса, допущенных к использованию в регионах Российской Федерации. Образцы были отобраны из Мировой коллекции Всероссийского Института Генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Полевую оценку на устойчивость к красно-бурой пятнистости проводили на фитопатологическом участке при естественном проявлении болезни в фазу молочно-восковой спелости. Степень поражения устанавливали в баллах по методике ВИЗР [2]. Тип реакции генотипа на поражение возбудителем оценивали по шкале:

- 1 – точечные некрозы без хлорозов (высокая устойчивость),
- 2 – мелкие (0,5–1 мм) некротические пятна без хлороза или со слабым хлорозом (устойчивость),
- 3 – некротические пятна крупные (> 3 мм), сливающиеся, окаймленные ярко выраженным хлорозом; отрезок листа может иметь красноватую окраску (восприимчивость),
- 4 – некроз и хлороз занимают весь отрезок листа, возможно появление мицелиальных выростов и спороношения (высокая восприимчивость),
- 2–3 – размер пятен как при балле 3, но отсутствует хлороз (промежуточный тип реакции).

Опыты размещались по пару. Обработка почвы – зяблевая вспашка, ранневесенняя культивация, предпосевное внесение удобрений (аммофос). Посев образцов ярового овса проводили 12–16 мая кассетной сеялкой СКС–6.

В результате исследования было установлено, что существует достаточно большой набор сортов, невосприимчивых к возбудителю красно-бурой пятнистости (см. рисунок).

Погодные условия складывались благоприятно для развития болезни. Доля высоко устойчивых и устойчивых сортов к возбудителю *D. avenae* в 2021 году составила 65,8 %, в 2022 – 40,0 %, в 2023 – 62,9 %. Жаркая и влажная погода в июне 2022 года оказалась благоприятной для развития красно-бурой пятнистости. У 60,0 % генотипов была восприимчивость к фитопатогену (тип реакции 3, 4). Сорта Краснообский, Ровесник (г. Новосибирск) поражались по типу реакции 3, Атлет (УрФАНИЦ УрО РАН) – 4.



Степень устойчивости коллекционных образцов овса к красно-бурой пятнистости, % (естественный инфекционный фон, 2021–2023 гг.)

Среди сортов омской селекции устойчивость к возбудителю в течение трех лет изучения подтверждали Факел и Сибирский Геркулес (см. таблицу).

Устойчивость сортов к возбудителю красно-бурой пятнистости *D. Avenae* (естественный фон, 2021–2023 гг.)

Наименование сорта	Оригинатор	Поражение <i>Drechslera avenae</i> , балл / (тип устойчивости)		
		2021 г.	2022 г.	2023 г.
Всадник	ФГБНУ Самарский ФИЦ РАН	1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	2 / (У)
Рысак		1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	2 / (У)
Краснообский	ФГБНУ СФАНЦА РАН	2 / (У)	3	4 / (ВВ)
Сиг		2 / (У)	2 / (У)	2 / (У)
Креол		2 / (У)	2-3 / (П)	3 / (В)
Ровесник	ФГБНУ СФАНЦА, ФГБНУ ФИЦ ИЦиГ СО РАН	3 / (В)	3 / (В)	3 / (В)
Новосибирский 5	ФГБНУ ФИЦ ИЦиГ СО РАН	1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	2 / (У)
Сибирский Геркулес	ФГБНУ Омский АНЦ	1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	2 / (У)
Факел		1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	2 / (У)
Корифей	ФГБНУ ФАНЦА	2 / (У)	2 / (У)	2 / (У)
Пегас		3 / (В)	3 / (В)	3 / (В)
Чемал		3 / (В)	3 / (В)	3 / (В)
Тобояк	ФГБНУ ФИЦ Тюменский Научный центр СО РАН	1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	2 / (У)
Уралец	Ур ФАНИЦ Уо РАН	2 / (У)	2 / (У)	2 / (У)
Атлет, st восприимчивости		4 / (ВВ)	4 / (ВВ)	4 / (ВВ)

По устойчивости к красно-бурой пятнистости на естественном инфекционном фоне выделились генотипы овса посевного: Сибирский Геркулес, Факел,

Рысак, Всадник, Новосибирский 5, Тоболяк и Уралец. Эти сорта могут быть рекомендованы для вовлечения в селекционный процесс по Западносибирскому региону.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № FWNR 2022-0018.

Список литературы

- 1 Нешумаева Н.А., Голубев С.С. Оценка устойчивости овса к сибирской популяции возбудителя красно-бурой пятнистости *Drechslera avenae* // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 48–51. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10512.
- 2 Петрова О.С., Афанасенко О.С. Методы определения вирулентности гриба *Drechslera avenae* и устойчивости сортов овса к красно-бурой пятнистости листьев // Вестник защиты растений. 2003. № 1. С. 63–66.
- 3 Кабашов А.Д., Корелина В.А., Зинина Н.П. Устойчивость овса посевного к пыльной головне и красно-бурой пятнистости на естественном фоне развития болезни в условиях северного региона РФ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178. № 4. С. 43–48. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-4-43-48

DOI 10.18699/GPB2024-15

Источники селекционно ценных признаков яровой мягкой пшеницы, выявленные для условий Новосибирской области в 2021–2022 гг.

Бойко Н.И.^{1*}, к.с.-х.н., м.н.с.; Сухомлинов В.Ю.¹, агроном I категории; Апарина В.А.¹, м.н.с.; Зувев Е.В.² к.с.-х.н., в.н.с. отдела ГР пшеницы; Пискарев В.В.¹, к.с.-х.н., заведующий лабораторией генофонда растений.

¹Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», Краснообск, Россия

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР), Санкт Петербург, Россия

*email: n.bojko@mail.ru

По результатам изучения 52 коллекционных образцов пшеницы мягкой яровой в 2021–2022 гг., выделены источники высокой урожайности (3 образца), массы 1000 зерен (5), массы зерна с растения (10), массы зерна с колоса (6), числа зерен с растения (16), числа зерен с колоса (15), устойчивости к мучнистой росе и бурой ржавчине.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница; источник; урожайность; масса зерна с колоса; число зерен с колоса; устойчивость к заболеваниям

Sources of breeding traits of spring bred wheat, identified for Novosibirsk region (2021-2022 years)

Boyko N.I.^{1*}; Sukhomlinov V.Yu.¹; Aparina V.A.¹; Zuev E.V.²; Piskarev V.V.¹

¹Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – branch of the Federal research center Institute of Cytology and Genetics The Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

²Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

*email: n.bojko@mail.ru

Based on the results of studying 52 varieties of soft spring wheat in 2021-2022, sources of high yield (3 samples), 1000 grain weight (5), grain weight per plant (10), grain weight per spike (6), grain number per plant (16), grain number per spike (15), resistance to powdery mildew and leaf rust.

Key words: soft spring wheat; source; yield; grain weight per ear; number of grains per ear; disease resistance

Среди мировых источников продовольствия, пшеница занимает ведущее место наряду с рисом, кукурузой, картофелем. Пшеница – основная хлебная культура большинства стран мира – широко возделывается от северных полярных районов до южных пределов пяти континентов. В северном полушарии – главная зерновая культура, особенно в степных и лесостепных районах с умеренным климатом. На территории Новосибирской области распространены два вида (*Triticum aestivum* L. и *Triticum durum* Desf.), большую площадь занимает яровая мягкая пшеница.

Западная Сибирь характеризуется резко континентальным климатом, что определяет требования производства к сортам и их качеству [1]. Для получения стабильных урожаев яровой пшеницы с высоким качеством зерна целесообразно использовать максимально адаптированные к местным почвенно-климатическим условиям сорта [2], с привлечением генетического разнообразия мирового генофонда [3].

Поэтому целью исследования было выявление источников полезных признаков пшеницы мягкой яровой.

Экспериментальную часть работ проводили на опытном поле лаборатории генофонда растений СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН. Опытный участок расположен в Новосибирской области в поселке Краснообск в лесостепной зоне приобском районе черноземов.

Климатические условия резко континентальные, характеризуются морозной зимой и коротким жарким летом. Новосибирская область относится к гидротер-

мической зоне с недостаточным и неустойчивым увлажнением, поэтому лимитирующим фактором произрастания сельскохозяйственных культур в зоне является влага. ГТК по Г.Т. Селянину = 1,20. По влагообеспеченности вегетационный период 2021 года был на уровне среднемноголетнего значения ГТК = 1,24, 2022 год – засушливый (ГТК=0,68).

Материалом для проведения исследования послужили 52 коллекционных образца пшеницы мягкой яровой из питомников второго и третьего года изучения. Закладка опытов по пару. Анализы и учёт при изучении коллекции проводили по методике ВИР [4]. Сортовые стандарты: яровая мягкая пшеница – ранние Новосибирская 15, среднеранние – Новосибирская 31, среднеспелые – Обская 2, среднепоздние – Сибирская 17. Посев питомников проводили во 2–3 декадах мая сеялкой ССФК-7 на 2 м², в 2 повторениях. Полные всходы отмечали на 8–11 день в питомнике.

По результатам полевых исследований коллекционных образцов, относящихся к ранней и среднеранней группам спелости, достоверно высокую урожайность формировали три образца: Лютеция (к-66795, РФ, Оренбургская обл.) – 543,7 г/м², Гречанка (к-66796, РФ, Саратовская обл.) – 506,5 г/м², Polkka (к-66715, Швеция) – 493,3 г/м² (табл. 1). При этом сорт Лютеция формировал достоверно высокую массу зерна с растения (1,23 г) и колоса (1,11 г), массу 1000 зерен (44,2 г), характеризовался высокой устойчивостью к поражению мучнистой росой (7 баллов) и устойчивостью к бурой ржавчине (9 баллов). Сорт Гречанка формировал достоверно высокую массу зерна с растения (1,18 г) и колоса (1,02 г), массу 1000 зерен (43,7 г). Сорт Polkka имел достоверно высокое число зерен с растения (33,4 шт.) и характеризовался достоверно продолжительным периодом всходы-колошение (46,8 дн.) и коротким периодом колошение-созревание (34,3 дн.). Образец Hungarian White (к-66785, Канада) также характеризовался достоверно продолжительным периодом всходы-колошение (46,5 дн.) и более коротким периодом колошение-созревание (31,5 дн.). В 2021–2022 гг. сорт Zura (к-66702, Польша) был устойчив к мучнистой росе, а сорт Ardila (к-66728, Португалия) был устойчив к бурой ржавчине и имел достоверно низкую высоту растения (51,3 см.).

Также по признакам продуктивности были выделены сортообразцы: Дордой 16 (к-66708, Кыргызстан) – масса 1000 зерен 42,7 г, масса зерна с растения 1,25 г, масса зерна с колоса 0,96 г, число зерен с растения 31,7 шт.; AC Vista (к-66729, Канада) – масса 1000 зерен 43,2 г; Sonett (к-66799, Швеция) – масса зерна с растения 1,26 г, число зерен с растения 38,5 шт., число зерен с колоса 26,9 шт.; Favorit (к-66692, Германия) – масса зерна с растения 1,25 г, число зерен с растения 37,4 шт.; Passat (к-66694, Германия) – масса зерна с растения 1,39 г, масса зерна с колоса 1,22 г, число зерен с растения 35,7 шт., число зерен с колоса

31,3 шт.; Bryza (к-66719, Германия) – масса зерна с растения 1,21 г, число зерен с растения 35,6 шт.; Monsun (к-66695, Германия) – масса зерна с растения 1,15 г; Horzal (к-66697, Испания) – масса зерна с растения 1,11 г, число зерен с растения 31,5 шт.; Л 255 (к-66732, РФ, Красноярский край) – число зерен с растения 31,2 шт., число зерен с колоса 26,8 шт.; Griwa (к-66701, Польша) – число зерен с растения 31,3 шт., число зерен с колоса 26,9 шт.; Shiraz (к-66716, Великобритания) – число зерен с растения 35,6 шт., число зерен с колоса 29,6 шт.; Pizol (к-66705, Швейцария) – число зерен с колоса 28,8 шт. (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы раннеспелой и среднеранней групп спелости по основным селекционным признакам (Новосибирск, 2021–2022 гг.)

Название образца	В.-К., дн.	К.-С., дн.	В.-С., дн.	Н, см	М1000, г	МЗР, г	МЗК, г	ЧЗР, шт.	ЧЗК, шт.	У, г/м ²
Лютеция	42,5	39,0	81,5	98,3	44,2	1,23	1,11	28,4	25,4	543,7
Гречанка	40,8	39,5	80,3	89,0	43,7	1,18	1,02	27,2	23,4	506,5
Polkka	46,8	34,3	81,0	76,0	31,5	1,03	0,81	33,4	26,1	493,3
Sonett	44,0	37,0	81,0	67,8	33,6	1,26	0,89	38,5	26,9	443,5
Zura	43,5	37,0	80,5	74,3	38,1	0,98	0,87	26,8	23,3	415,3
Favorit	44,8	37,8	82,5	68,8	34,5	1,25	0,88	37,4	26,3	398,3
Passat	45,0	35,5	80,5	66,0	39,6	1,39	1,22	35,7	31,3	397,5
Pizol	45,0	37,3	82,3	68,0	32,6	0,92	0,92	28,8	28,8	395,8
Bryza	44,8	35,8	80,5	60,0	35,3	1,21	0,88	35,6	25,5	395,3
Л 255	45,5	36,8	82,3	94,3	35,2	1,10	0,94	31,2	26,8	378,6
Monsun	44,8	37,3	82,0	67,3	38,6	1,15	0,94	31,0	25,0	361,6
Griwa	43,5	37,8	81,3	75,5	35,5	1,08	0,93	31,3	26,9	358,6
Дордой 16	41,8	36,8	78,5	60,0	42,7	1,25	0,96	31,7	23,7	334,5
Horzal	41,8	39,3	81,0	59,3	36,5	1,11	0,84	31,5	23,7	332,4
Shiraz	41,5	37,5	79,0	61,3	30,8	1,05	0,89	35,6	29,6	324,4
AC Vista	40,8	39,0	79,8	65,0	43,2	1,04	0,89	24,1	20,7	313,3
Hungarian White	46,5	31,5	78,0	92,0	30,1	1,09	0,70	36,5	23,6	307,6
Ardila	41,3	37,8	79,0	51,3	38,2	0,97	0,85	25,8	22,6	285,4
НСР при P < 0,05	2,4	2,1	2,9	14,4	4,1	0,22	0,16	6,4	4,3	86,4
Новосибирская 15	38,3	39,8	78,0	76,3	36,7	0,81	0,71	22,3	19,5	366,5
Новосибирская 31	44,3	35,5	79,8	86,8	35,4	0,94	0,87	26,9	24,8	391,9
Х ст.	41,3	37,6	78,9	81,5	36,1	0,88	0,79	24,6	22,1	379,2

Примечание: В.-К., дн. – Всходы–колошение, дн., К.-С., дн. – Колошение–созревание, дн., В.-С., дн. – Всходы–созревание, дн., Н, см. – Высота растения, см., М1000, г – Масса 1000 зерен, г, МЗР, г – масса зерна с растения, г, МЗК, г – масса зерна с колоса, г, ЧЗР, шт. – число зерен с растения, шт., ЧЗК, шт. – число зерен с колоса, шт., У, г/м² – урожайность, г/м², Х ст. – среднее значение стандартных сортов Новосибирская 15 и Новосибирская 31.

Среди образцов, относящихся к среднеспелой и среднепоздней группам, не выявлено достоверного превышения по урожайности (табл. 2). По результатам полевых исследований сорта Омская 44 (к-66999, РФ, Омская обл.), Омби (к-66698, Испания), Tigre (к-66712, Португалия), Рохо (к-66710, Португалия)

были устойчивы к бурой ржавчине в 2021 г., Касиет (к-66709, Кыргызстан) и Paragon (к-66717, Великобритания) – к мучнистой росе в 2021–2022 гг., линии из Тамбовской обл. СФР 193-12-8-6-1 (к-66736), RL-6-8 (к-66734), СФР 135-17-16-15 (к-66738) и СФР 32338-1-17-1 (к-66737) были устойчивы к мучнистой росе и бурой ржавчине в 2021–2022 гг. Сорт Pícolo (к-66693, Германия) достоверно формировал короткий стебель (70,8 см.), высокую массу зерна с растения (1,85 г) и колоса (1,34 г), число зерен с растения (49,3 шт.) и колоса (34,7 шт.).

Таблица 2 – Характеристика коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы среднеспелой и среднепоздней групп спелости по основным селекционным признакам (Новосибирск, 2021–2022 гг.)

Название образца	В.-К., дн.	К.-С., дн.	В.-С., дн.	Н, см	М1000, г.	МЗР, г	МЗК, г	ЧЗР, шт.	ЧЗК, шт.	У, г/м ²
Краснозерка	42,8	41,3	84,0	95,8	46,7	1,26	1,02	27,7	22,1	573,5
Омская 44	47,8	37,3	85,0	96,8	33,9	1,23	1,21	36,8	36,2	555,1
RL-3	47,8	41,0	88,8	99,5	36,0	1,59	1,09	45,7	30,9	535,2
Pícolo	45,5	40,5	86,0	70,8	38,9	1,85	1,34	49,3	34,7	509,1
Opatka	47,3	39,8	87,0	82,8	35,4	1,57	1,26	45,5	35,7	503,0
Касиет	46,5	38,5	85,0	74,8	35,6	1,47	0,97	42,6	27,5	481,8
Paragon	47,0	39,0	86,0	75,5	38,0	1,39	1,27	37,3	33,6	473,5
СФР 193-12-8-6-1	47,5	42,3	89,8	106,0	39,6	1,45	1,11	37,9	28,5	455,0
Balmi	45,5	40,5	86,0	69,5	36,2	1,33	1,17	36,7	32,5	441,6
RL-6-8	47,5	40,3	87,8	101,3	35,6	1,45	1,15	42,4	33,0	397,6
Califa Sur	46,8	37,8	84,5	57,8	33,1	1,52	1,02	46,5	31,0	388,2
СФР 135-17-16-15	49,0	37,5	86,5	100,5	35,3	1,30	1,07	37,8	30,6	382,3
СФР 32338-1-17-1	49,0	38,0	87,0	95,0	41,1	1,61	1,37	41,3	34,6	361,7
Ombu	44,5	39,0	83,5	63,3	34,0	0,93	0,65	28,9	19,7	355,4
Tigre	47,5	39,3	86,8	59,5	36,5	1,65	1,22	46,8	34,2	322,9
Roxo	45,0	41,5	86,5	62,3	33,1	1,02	0,77	31,6	23,6	268,4
Guadalupe	49,0	37,0	86,0	54,8	28,0	1,17	1,00	41,5	35,7	168,9
НСР при P <0,05	2,4	2,1	2,9	14,4	4,1	0,22	0,16	6,4	4,3	86,4
Обская 2	45,8	36,8	82,5	92,5	42,7	1,25	0,99	30,6	23,8	477,3
Сибирская 17	47	37	84	95,8	40,5	1,69	1,22	42,2	30,5	535,5
X ст.	46,4	36,9	83,3	94,1	41,6	1,47	1,11	36,4	27,1	506,4

Примечание: В.-К., дн. – Всходы–колошение, дн., К.-С., дн. – Колошение–созревание, дн., В.-С., дн. – Всходы–созревание, дн., Н, см. – Высота растения, см., М1000, г – Масса 1000 зерен, г, МЗР, г – масса зерна с растения, г, МЗК, г – масса зерна с колоса, г, ЧЗР, шт. – число зерен с растения, шт., ЧЗК, шт. – число зерен с колоса, шт., У, г/м² – урожайность, г/м², X ст. – среднее значение стандартных сортов Обская 2 и Сибирская 17.

Среди среднеспелых и среднепоздних образцов достоверное превышение выявлено по признакам продуктивности: по массе 1000 зерен у сорта Краснозерка (к-66794, РФ, Оренбургская обл.) – 46,7 г; по массе зерна с колоса у линии СФР 32338-1-17-1 (к-66737, РФ, Тамбовская обл.) – 1,37 г; по числу зерен с растения у образцов RL-3 (к-66733, РФ, Тамбовская обл.) – 45,7 шт., Opatka (к-66703, Польша) – 45,5 шт., Califa Sur (к-66699, Испания) – 46,5 шт., Tigre

(к-66712, Португалия) – 46,8 шт.; по числу зерен с колоса у образцов Омская 44 (к-66999, РФ, Омская обл.) – 36,2 шт., Оратка (к-66703, Польша) – 35,7 шт., Paragon (к- 66717, Великобритания) – 33,6 шт., Valmi (к-66704, Швейцария) – 32,5 шт., RL-6-8 (к-66734, РФ, Тамбовская обл.) – 33,0 шт., СФР 32338-1-17-1 (к-66737, РФ, Тамбовская обл.) – 34,6 шт., Tigre (к-66712, Португалия) – 34,2 шт., Guadalupe (к- 66714, Франция) – 35,7 шт. (табл. 2).

По результатам изучения 52 коллекционных образцов пшеницы мягкой яровой были выделены источники высокой выраженности массы 1000 зерен, массы и числа зерна с растения и колоса, урожайности, устойчивости к мучнистой росе и бурой ржавчине, а также укороченных периодов всходы – колошение и колошение – созревание.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № FWNR 2022-0018 и ВИР FGEM-2022-0009.

Список литературы

- 1 Игнатъева Е. Ю. Селекционно-генетическое изучение исходного материала яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири для селекции на продуктивность: дисс. на соискание ученой степени к. с.-х. наук. / Е. Ю. Игнатъева; Тюмень, 2003. 148 с.
- 2 Разумова В.В., Иванова И.Ю., Антонов В.Г. Изучение сортов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР по хозяйственно ценным признакам. методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Материалы III международной научно-практической конференции. 2017. С. 134-137.
- 3 Юсов В. С., Кирьякова М. Н., Евдокимов М. Г. Исходный материал в селекции яровой твердой пшеницы для условий Западной Сибири // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2021. № 2. С. 82–90.
- 4 Мережко, А.Ф. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале. / А.Ф. Мережко [и др.]. Методические указания. Санкт-Петербург: ВИР, 1999. 82 с.

DOI 10.18699/GPB2024-16

Характеристика семян масличного подсолнечника

*Борисенко О.М. *, к.б.н., в.н.с.; Рябовол И.В., м.н.с.*

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», Краснодар, Россия

**email: oks-bor@yandex.ru*

В работе провели оценку семян Rf-линий подсолнечника по массе 1000 шт., числу семян в корзинке, масличности, лужжистости, линейным размерам. Определили широкие диапазоны варьирования по большинству характеристик. Достоверную, среднюю по силе, прямую корреляцию установили для

толщины ($r = 0,617$), ширины ($r = 0,465$) семянки и массы 1000 шт. Также средняя сила связи обнаружена для ширины и толщины семянков ($r = 0,651$). Значимого влияния размеров семянков подсолнечника изучаемой выборки на число семянков в корзинке, масличность, лужжистость не установлено.

Ключевые слова: подсолнечник; линия; семянка; масличность; лужга

Characteristics of oilseed sunflower achenes

Borisenko O.M. *, Ryabovol I.V.

V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russia

*email: oks-bor@yandex.ru

In the work, sunflower Rf line seeds were evaluated by 1000-seed weight, the seeds number per head, oil content, huskiness, linear dimensions. Wide ranges of variation have been determined for most characteristics. A reliable, average in strength, direct correlation was established for the thickness ($r = 0.617$), width ($r = 0.465$) of the achene and the 1000-seed weight. Also, the average binding force was found for the width and thickness of the achenes ($r = 0.651$). A significant effect of the size of sunflower seeds in the studied sample on the seeds number per head, oil content, and huskiness has not been established.

Key words: sunflower; line; achene; oil content; husk

Плод подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus* L.) представляет собой сухую паракарпную невскрывающуюся семянку с кожистым перикарпием, суживающуюся книзу, с закругленными концами и ребрами. Между семенем (ядром) и околоплодником чаще всего имеется полость [1]. В результате длительной селекционной работы семянка подсолнечника стала способна накапливать до 55 % жира [2]. В результате такой особенности плоды подсолнечника имеют большое народнохозяйственное значение, а *H. annuus* по праву является главной масличной культурой Российской Федерации. Современная селекция подсолнечника строится на использовании феномена гетерозиса и связана с созданием высокопродуктивных гибридов. Данный подход реализуется путем скрещивания материнских и отцовских форм. Родительские компоненты у подсолнечника различаются морфологически: по наличию/отсутствию ветвления, пыльцы; высоте растения, диаметру главного соцветия, форме и размеру семянков и т. д.

Целью настоящего исследование была оценка взаимосвязи между линейными размерами семянков отцовских (Rf, restore fertility) линий и некоторыми хозяйственно полезными характеристиками. Работу проводили на полях ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК г. Краснодара в 2023 году. 35 константных Rf-линий подсолнечника, обладающих различной генотипической средой, выращивали на одноряд-

ковых делянках при густоте стояния 60 тыс. раст./га. С целью получения репрезентативных значений использовали семянки свободноцветущих растений, способных формировать максимальные показатели в данных агроклиматических условиях. Масличность семянков определяли по ГОСТ 8.597-2010 [3], массу 1000 штук семянков – по ГОСТ 12042-80 [4]; лужистость семянков – по ГОСТ 10855-64 [5]. Число завязавшихся семянков подсолнечника подсчитывали на 5 типичных корзинках каждого генотипа. Линейные размеры семянков оценивали посредством штангенциркуля с точностью до 0,1 мм (по 20 семянков на каждый генотип).

Изучаемый набор Rf-линий обладал достаточной изменчивостью по оцениваемым характеристикам (табл. 1).

Таблица 1 – Основные характеристики семянков подсолнечника 35 Rf-линий

Характеристика	Масса 1000 шт., г	Число семянков в корзинке, шт.	Лужистость, %	Масличность, %	Длина семянки, мм	Ширина семянки, мм	Толщина семянки, мм	Индекс длина/ширина
Среднее	33,3	751	27,8	45,5	10,0	4,4	2,83	2,30
Стандартная ошибка	1,0	47	0,5	0,6	0,1	0,1	0,04	0,05
Интервал	29,6	1227	12,0	15,1	3,7	1,5	1,44	1,00
Минимум	18,2	146	22,0	36,6	8,4	3,8	2,34	1,81
Максимум	47,9	1373	34,0	51,7	12,1	5,3	3,78	2,81

Так, по числу сформированных семянков в корзинке размах составил 1223 шт., что более чем в 8 раз превышает минимальное значение – 146 семянков у ЛИ-10, максимальное значение – 1373 шт. зафиксировано у ЛИ-1. По масличности интервал варьирования составил 15 %, максимальная масличность отмечена у линии ВК548 – 51,7 %, минимальная у ВК525 – 36,6 %. По лужистости диапазон изменчивости находился в пределах 12 %, максимальная лужистость была у семянков линий ВК23-ими и ЛИ-10 – 34 %, минимальное значение признака наблюдали у ВК303 и ВК548 – 22 %. По массе 1000 шт. интервал составил 29,6 г, при этом наибольшую массу наблюдали у семянков линии ВК989 – 47,9 г, наименьшую у ЛИ-3 – 18,2 г.

Длина семянков колебалась в пределах от 8,4 до 12,1 мм; ширина от 3,8 до 5,3 мм; толщина от 2,3 до 3,8 мм. Интересно отметить, что по ширине и толщине интервал варьирования между экстремумами был почти идентичен: 1,5 и 1,4 мм соответственно. В то же время длина семянков демонстрировала больший диапазон изменчивости – 3,7 мм.

Индекс семянков, представляющий собой отношение длины к ширине, позволяет в некотором роде охарактеризовать форму семени. Если значение индекса < 1,5 – форма округло-овальная; 1,5–2,1 – овальная, 2,1–2,7 – овально-вытянутая,

> 2,7 – сильно вытянутая [1]. Таким образом, из 35 генотипов овальная форма обнаружена у 8 (23 %), сильно вытянутая у 3 (9 %), остальные 24 (38 %) генотипа характеризуются овально-вытянутой формой.

Следующий этап работы заключался в расчете коэффициентов корреляции между линейными размерами и другими характеристиками семян (табл. 2) константных линий подсолнечника.

Таблица 2 – Расчет парных коэффициентов корреляции между признаками у Rf-линий подсолнечника

	Масса 1000 шт., г	Число семян в корзинке, шт.	Лузжистость, %	Масличность, %	Длина семени, мм	Ширина семени, мм	Толщина семени, мм	Индекс длина/ширина
Масса 1000 шт, г	1							
Число семян в корзинке, шт.	-0,380*	1						
Лузжистость, %	-0,222	-0,112	1					
Масличность, %	-0,117	0,403*	-0,537**	1				
Длина семени, мм	0,304	-0,227	-0,163	0,092	1			
Ширина семени, мм	0,465**	-0,173	-0,133	-0,238	-0,060	1		
Толщина семени, мм	0,617**	-0,243	-0,108	-0,194	0,176	0,651**	1	
Индекс длина/ширина	-0,070	-0,072	-0,029	0,186	0,756**	-0,694**	-0,281	1

Примечание: * – достоверно на 5% уровне значимости, ** – достоверно на 1% уровне значимости

Согласно шкале Чеддока, среднюю по силе, достоверную прямую корреляцию установили для толщины ($r = 0,617$), ширины ($r = 0,465$) семени и массы 1000 шт. [6]. Также средняя сила связи обнаружена для ширины и толщины семян ($r = 0,651$). Достоверного влияния размеров семян подсолнечника изучаемой выборки на число семян в корзинке, масличность, лузжистость не установлено.

Список литературы

- 1 Перестова Т.А. Морфолого-анатомические особенности плода видов рода *Helianthus*, используемых в селекции // автореф... дис. канд. биол. наук. Л.: 1975. 24 с.
- 2 Гаврилова В.А., Анисимова И.Н. Генетика культурных растений. Подсолнечник. СПб.: ВИР, 2003. 209 с.
- 3 ГОСТ 8.597-2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Семена масличных культур и продукты их переработки. Методика измерений масличности и влажности методом импульсного ядерного магнитного резонанса.
- 4 ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян.
- 5 ГОСТ 10855-64. Семена масличные. Методы определения лузжистости.
- 6 Баврина А. П., Борисов И. Б. Современные правила применения корреляционного анализа // Медицинский альманах, 2021. № 3 (68). С. 70–79.

Влияние гиперэкспрессии гена митохондриальной альтернативной «внешней» NAD(P)H-дегидрогеназы арабидопсиса на продукцию активных форм кислорода в клетках табака при низкотемпературном стрессе

*Боровский Г.Б. *, д.б.н., зам. дир.; Горбылева Е.Л., к.б.н., м.н.с.; Катышев А.И., к.б.н., с.н.с.; Коротаева Н.Е., к.б.н., с.н.с.; Полякова Е.А., вед. инж.; Пятрикас Д.В., к.б.н., н.с.; Сидоров А.В., вед. инж.; Степанов А.В., к.б.н., с.н.с.; Федосеева И.В., к.б.н., с.н.с.; Шигарова А.М., к.б.н., с.н.с.*

ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

**email: borovskii@sifibr.irk.ru*

С помощью трансгенных по гену NDB2 (альтернативная «внешняя» NAD(P)H-дегидрогеназа митохондрий) растений табака было показано участие данного белка и альтернативной цепи транспорта электронов в митохондриях в снижении продукции АФК при низкотемпературном стрессе в фотосинтезирующих клетках. В то же время в нефотосинтезирующих клетках трансгенных растений при низкой температуре происходило некоторое увеличение продукции АФК. Это свидетельствует о важной роли хлоропластно-митохондриальных энергетических связей и ферментов альтернативной дыхательной цепи в стрессовой и адаптивной реакции растений на холод.

Ключевые слова: табак; ген NDB2; альтернативная NAD(P)H-дегидрогеназа; низкая температура; активные формы кислорода

The effect of overexpression of the mitochondrial Arabidopsis alternative “external” NAD(P)H dehydrogenase gene on the production of reactive oxygen species in tobacco cells under low temperature stress

*Borovskii G.B. *, Gorbyleva E.L., Katyshev A.I., Korotaeva N.E., Polyakova E.A., Pyatrikas D.V., Sidorov A.V., Stepanov A.V., Fedoseeva I.V., Shigarova A.M.*

Siberian institute of plant physiology and biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

**email: borovskii@sifibr.irk.ru*

Using tobacco plants transgenic for the NDB2 gene (alternative “external” mitochondrial NAD(P)H dehydrogenase), the participation of this protein and the alternative electron transport chain in mitochondria in reducing ROS production under low-temperature stress in photosynthetic cells was shown. At the same time, in non-photosynthetic cells of transgenic plants at low temperatures there was a slight in-

crease in ROS production. This indicates the important role of chloroplast-mitochondrial energy connections and enzymes of alternative respiratory chain in the stress and adaptive response of plants to cold.

Key words: tobacco; NDB2 gene; alternative NADH dehydrogenase; low temperature; reactive oxygen species

При энергозапасующем окислении NADH митохондриями функционирует комплекс I дыхательной цепи, который является одной из точек генерации мембранного потенциала. У большинства организмов его работа ингибируется ротеноном. Ряд организмов, в том числе растения, также имеет дыхание, не чувствительное к ротенону. NAD(P)H при этом окисляется ферментами, локализованными на наружной или на внутренней стороне внутренней митохондриальной мембраны. У арабидопсиса найдены три группы таких NAD(P)H-дегидрогеназ второго типа (ND II): NDA (два гена), NDB (четыре гена), и NDC (один ген) [1]. NDB1–NDB4 являются «внешними» (расположены на наружной стороне внутренней мембраны митохондрий), а NDA1–NDA2 и NDC1 – «внутренними» (обращены к митохондриальному матриксу) [2]. Точные физиологические функции конкретных белков семейства NDII не определены. Наиболее распространенной точкой зрения является их вовлеченность (вместе с альтернативной оксидазой (АОХ)) в формирование нефосфорилирующей дыхательной цепи при стрессах и метаболическом дисбалансе [3, 4]. При многих стрессах, например, при засухе, практически все гены, кодирующие белки альтернативных путей митохондриального транспорта электронов, участвуют в стрессовой реакции растений и адаптации [5]. Ранее было показано, что ген *NDB2* играет роль в устойчивости арабидопсиса к засухе при сильном освещении [4], а устойчивые к засухе разновидности демонстрируют значительно более высокую экспрессию *NDB2* (как и ряда других генов альтернативных путей дыхания), чем чувствительные к данному стрессовому фактору растения [6]. Прямых экспериментов, указывающих на защитную роль экспрессии *NDB2* при низкой температуре, ранее проведено не было. В качестве модельного объекта нами были созданы трансгенные растения табака (*Nicotiana tabacum* L., cv. Petit Havana SR1), гиперэкспрессирующие ген *A. thaliana At_NDB2* [7]. Было получено подтверждение митохондриальной локализации и высокой активности белка NDB2, формирование нефосфорилирующей дыхательной цепи в митохондриях. Далее выяснили, что устойчивость растений трансгенного по *NDB2* табака к отрицательной температуре не изменилась по сравнению с диким типом [7, 8].

Целью данной работы была оценка влияния гена *At_NDB2* и работы нефосфорилирующей дыхательной цепи при низкотемпературном стрессе в фотосинтезирующих и нефотосинтезирующих клетках на генерацию АФК.

Изучение уровня генерации АФК в трансгенных по гену *NDB2* клетках табака в сравнении с диким типом проводили на протопластах из листьев растений и на корнях проростков, используя свечение 2',7'-дихлорофлуоресцеина (DCF) в качестве параметра, отражающего уровень АФК в клетках, с помощью флуоресцентной микроскопии.

При обычных условиях (25 °С) интенсивность флуоресценции DCF в протопластах, полученных из листьев растений дикого типа и трансгенных растений, находилась примерно на одном уровне. Добавление 10 мМ пероксида водорода вызывало значительное повышение флуоресценции DCF. В протопластах трансгенной линии (13S) наблюдали меньшее повышение флуоресценции DCF. Холод (5 °С) и субоптимальная (15 °С) температура приводила к повышению флуоресценции DCF у протопластов из табака дикого типа, которого не наблюдалось в протопластах трансгенной линии (рис. 1).

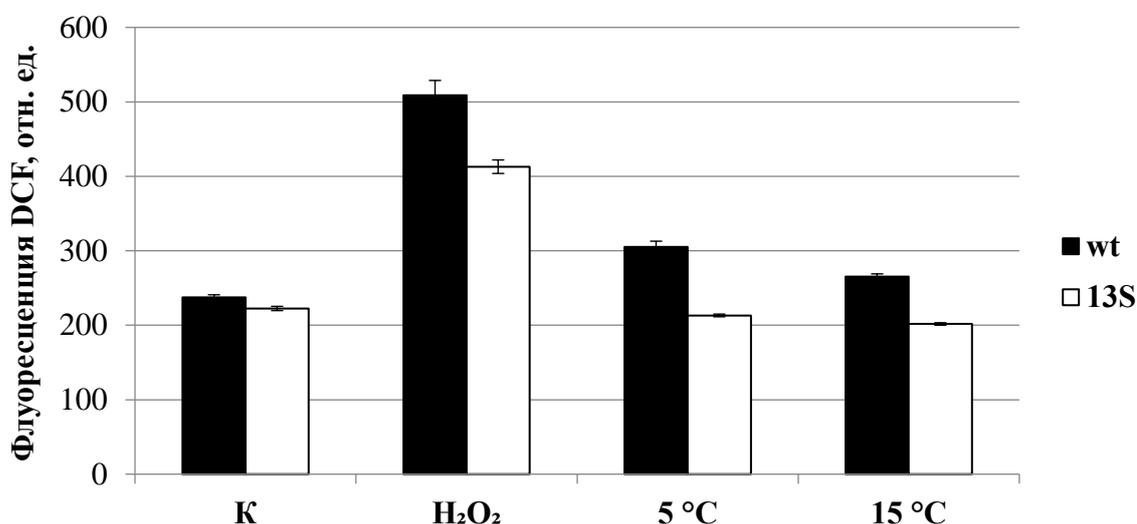


Рис. 1. Уровень АФК в протопластах из листьев табака дикого типа (wt) и трансгенных по гену *At_NDB2* (13S) при контрольной (25 °С) и пониженных температурах

В корнях растений дикого типа и трансгенных флуоресценция DCF при обычных условиях (25 °С) была одинаковой (рис. 2). Значительное повышение флуоресценции DCF при добавлении пероксида водорода регистрировалось в обоих случаях, однако у дикого типа повышение было несколько выше. Инкубирование корней растений при 5 и 15 °С сопровождалось повышением флуоресценции DCF только в корнях трансгенных растений.

Таким образом, исходя из полученных данных, можно видеть, что трансгенный табак (с введенным геном *At_NDB2*) в клетках листьев и корней в норме генерирует примерно равное количество АФК в сравнении с исходным типом растений. Клетки листьев более устойчиво поддерживают гомеостаз в уровне АФК при низкотемпературном воздействии. В то же время в корнях картина об-

ратная. Повышение генерации АФК было выше у трансгенного табака (за исключением реакции на пероксид водорода). Это ведет к предположению, что рост генерации АФК в протопластах листьев является реакцией хлоропластов на изменение температуры. Митохондрии с увеличенным содержанием NDB2 и активной «альтернативной дыхательной цепью» могут генерировать даже больше АФК при низкотемпературных стрессах, однако в фотосинтезирующих клетках они существенно снижают рост генерации АФК. Скорее всего это происходит в ходе их взаимодействия с хлоропластами и окисления восстановленных эквивалентов в «альтернативной цепи транспорта электронов» в митохондриях.

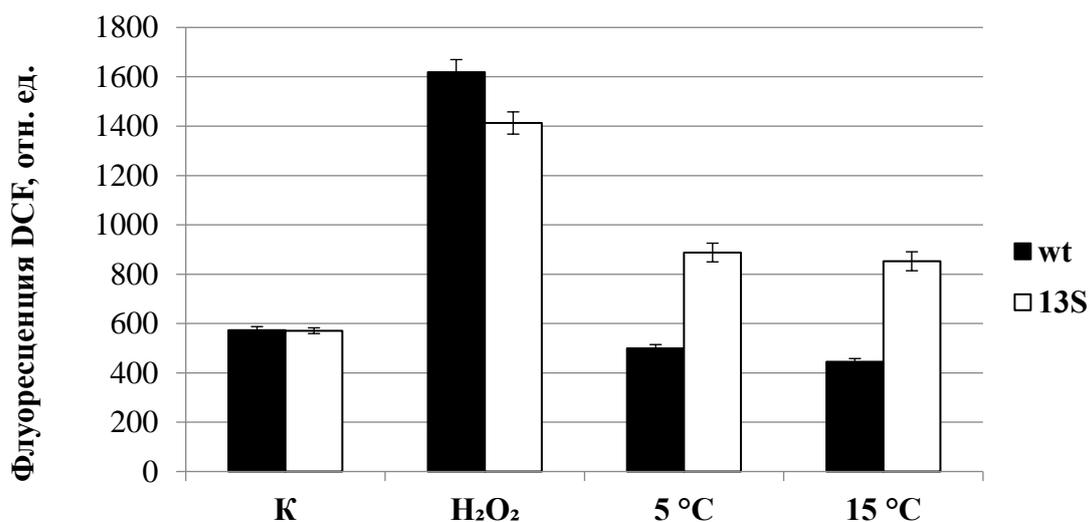


Рис. 2. Уровень АФК в корнях табака дикого типа (wt) и трансгенных по гену *At_NDB2* (13S) при контрольной (25 °C) и пониженных температурах

Для фотоавтотрофных клеток растений необходимо поддержание равновесия между энергией, улавливаемой фотохимическими реакциями, и энергией, используемой в ходе метаболизма, роста и развития [9]. Дисбаланс между поступающей и используемой энергией возникает, когда величина, поглощаемой фотосистемами энергии, превышает ее использование при зависящих от температуры нефотохимических процессах. Такой дисбаланс приводит к росту генерации АФК в фотосинтезирующих клетках [10] и потенциально опасен для клеток. Как нам удалось выяснить, ему препятствует активное функционирование в митохондриях альтернативной нефосфорилирующей дыхательной цепи с участием NDB2 и АОХ.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00097 (<https://rscf.ru/project/23-24-00097/>).

Список литературы

- 1 Michalecka A.M., Svensson A.S., Johansson F.I., Agius S.C., Johanson U., Brennicke A., et al. Arabidopsis genes encoding mitochondrial type II NAD(P)H dehydrogenases have different evolutionary origin and show distinct responses to light // *Plant Physiology*. 2003. V. 133. № 2. P. 642–652.
- 2 Elhafez D., Murcha M.W., Clifton R., Soole K.L., Day D.A., Whelan J. Characterization of mitochondrial alternative NAD(P)H dehydrogenases in Arabidopsis: intraorganelle location and expression // *Plant and Cell Physiology*. 2006. V. 47. № 1. P. 43–54.
- 3 Møller I.M. Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species // *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 2001. V. 52. № 1. P. 561–591.
- 4 Sweetman C., Waterman C.D., Rainbird B.M., Smith P.M.C., Jenkins C.D., Day D.A., et al. AtNDB2 is the main external NADH dehydrogenase in mitochondria and is important for tolerance to environmental stress // *Plant Physiology*. 2019. V. 181. № 2. P. 774–788.
- 5 Yerlikaya B.A., Ates D., Abudureyimu B., Aksoy E. Effect of climate change on abiotic stress response gene networks in Arabidopsis thaliana // *Principles and practices of OMICS and genome editing for crop improvement* / eds C.S. Prakash, S. Fiaz, S. Fahad. Cham: Springer, 2022. P. 149–172.
- 6 Alizadeh R., Kumleh N.H., Rezadoost M.H. The simultaneous activity of cytosolic and mitochondrial antioxidant mechanisms in neutralizing the effect of drought stress in soybean // *Plant Physiology Reports*. 2023. V.28. №1. P.78–91.
- 7 Коротаева Н.Е., Шигарова А.М., Катышев А.И., Федосеева И.В., Федяева А.В., Савчин Д.В. [и др.]. Влияние экспрессии гетерологичного гена NDB2 Arabidopsis thaliana на рост и дыхательную активность Nicotiana tabacum // *Физиология растений*. 2023. Т. 70. № 5. С. 461–471.
- 8 Боровский Г.Б., Горбылева Е.Л., Катышев А.И., Коротаева Н.Е., Полякова Е.А., Пятрикас Д.В., [и др.]. Влияние гиперэкспрессии гена альтернативной внешней NADH-дегидрогеназы арабидопсиса на устойчивость трансформированных растений табака к отрицательной температуре // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2023. Т. 12. № 4. С. 409–415.
- 9 Kurepin L.V., Dahal K.P., Savitch L.V., Singh J., Bode R., Ivanov A.G., et al. Role of CBFs as integrators of chloroplast redox, phytochrome and plant hormone signaling during cold acclimation // *International journal of molecular sciences*. 2013. V. 14. № 6. P.1 2729–12763.
- 10 Khanal N., Bray G.E., Grisnich A., Moffatt B.A., Gray G.R. Differential mechanisms of photosynthetic acclimation to light and low temperature in Arabidopsis and the extremophile Eutrema salsugineum // *Plants*. 2017. V. 6. №. 3. 32.

Влияние длины семядолей всходов на накопление фитомассы однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской

*Братилова Н.П. *, д.с.-х.н., проф.; Коновалова Д.А., м.н.с.; Мантулина А.В., м.н.с.
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им.
академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
email: nbratilova@yandex.ru

Установлено влияние длины семядолей всходов на рост и формирование фитомассы сеянцев сосны кедровой сибирской. Большим накоплением фитомассы характеризуются сеянцы, имеющие длинные семядоли при отборе.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская; сеянцы; семядоли; фитомасса

The influence of cotyledons length on the accumulation of phytomass of annual *Pinus sibirica* seedlings

Bratilova N.P.; Konovalova D.A.; Mantulina A.V.

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
* email: nbratilova@yandex.ru*

The influence of the length of seedling cotyledons on the growth and formation of phytomass of Siberian pine seedlings has been established. Seedlings with long cotyledons during selection are characterized by a large accumulation of phytomass

*Key words: *Pinus sibirica*; seedlings; cotyledons; phytomass*

Многолетние исследования внутривидового полиморфизма сосны кедровой сибирской и влияния формовой принадлежности всходов и сеянцев на дальнейший рост растений были проведены на экспериментальных объектах Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева [10].

Большой интерес ученых вызывает ранняя диагностика семенной, стволовой или биологической продуктивности деревьев. Данному вопросу уделяли внимание В.А. Брынцев, М.И. Храмова [3], В.Н. Воробьев, Р.С. Хамитов [4], В.М. Ефимов и др. [5], Р.Н. Матвеева [8, 9], В.Я. Попов и др. [11], Б.В. Раевский и др. [12], М.Г. Романовский и др. [13] и другие.

По наблюдениям проф. Р.Н. Матвеевой [8], внутривидовое разнообразие всходов у сосны кедровой сибирской проявляется по числу семядолей, их форме и длине, размерам первичной хвои, окраски чехликов, фенологической форме и др.

За экспериментальными посадками, отсортированными по формовому разнообразию и высаженными на территории Караульного лесничества Учебно-

опытного лесхоза СибГУ им. М.Ф. Решетнева, проводились наблюдения в течение первого класса возраста. Установлено, что формовая принадлежность оказывала влияние на рост растений, которое выражалось сильнее в молодом возрасте [1, 2, 6, 7, 8]. При этом отмечается постепенное снижение влияния формовой принадлежности всходов на показатели роста при взрослении растений.

Нами исследованы показатели однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской, отсортированных по длине семядолей: с длинными (ДС) и короткими (КС) семядолями у всходов. В конце вегетационного сезона масса сеянца в абсолютно сухом состоянии в среднем равнялась $0,24 \pm 0,011$ г. На массу корня приходилось в среднем $0,09 \pm 0,006$ г. В зависимости от длины семядолей общая фитомасса сеянцев варьировалась от $0,15 \pm 0,010$ до $0,27 \pm 0,008$ грамма в абсолютно сухом состоянии (см. таблицу).

Показатели роста однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской разных форм

Обозначение варианта	\bar{X}	$\pm m$	$\pm \sigma$	V, %	P, %	$t_{\text{факт}}$ при $t_{05} = 2,04$
Диаметр стволика, см						
ДС	1,6	0,02	0,13	8,2	1,6	5,57
КС	1,3	0,05	0,12	9,1	3,7	
Высота, см						
ДС	6,5	0,19	1,02	15,7	3,0	0,29
КС	6,4	0,28	0,69	10,6	4,3	
Масса растения, г в а.с.с.						
ДС	0,27	0,008	0,046	17,0	3,2	9,37
КС	0,15	0,010	0,045	30,6	7,0	
Масса корня, г в а.с.с.						
ДС	0,10	0,006	0,032	33,6	6,4	6,93
КС	0,05	0,004	0,019	41,6	9,5	

Из данных, приведенных в Таблице, видно, что показатель длины семядолей оказывает влияние на диаметр стволика и фитомассу сеянца к концу первого вегетационного сезона. Различия по этим показателям подтверждены результатами математической обработки ($t_{\text{факт}}$ больше t_{05}). Лучшим накоплением фитомассы характеризуются растения, выросшие из всходов с длинными семядолями.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Селекция древесных растений» проекта «Селекционно-генетические основы формирования целевых насаждений и рационального использования древесных ресурсов Красноярского края (Енисейской Сибири)» (№ FEFE-2024-0013).

Список литературы

- 1 Братилова Н.П. Изменчивость кедра сибирского в плантационных культурах юга Средней Сибири в зависимости от формового разнообразия всходов и семян. Красноярск: СибГТУ, 2005. 116 с.
- 2 Братилова Н.П., Коновалова Д.А. Ранняя диагностика посадочного материала кедра сибирского по числу семядолей всходов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Матер. II Междунар. научно-техн. конф. 24-26 мая 2017 г. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2017. С. 30–32.
- 3 Брынцев В.А., Храмова М.И. Изменчивость семенного потомства сосны кедровой сибирской при интродукции // ИВУЗ Лесной журнал, 2013. № 6 (636). С. 38–49.
- 4 Воробьев В.Н., Хамитов Р.С. Особенности роста семян кедра сибирского, отличающихся количеством семядолей // Наука и инновации. 2013: матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. Пшемысль: Наука и исследования, 2013. С. 7–10.
- 5 Ефимов В.М., Тараканов В.В., Роговцев Р.В. Применение методов ранней диагностики лучших по росту популяций сосны в географических культурах // Хвойные бореальной зоны, 2010. Т. 27. № 1–2. С. 58–62.
- 6 Коновалова Д.А., Братилова Н.П., Гулгенова С.Б. Изменчивость однолетних семян кедра сибирского по морфометрическим показателям // Аграрная наука – сельскому хозяйству. Сб. матер. XVII Междунар. научно-практ. конф. Барнаул, 09–10 февраля 2022 г. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2022. Т. 1. С. 341–342.
- 7 Коновалова Д.А., Братилова Н.П. Рост 41-летней сосны кедровой сибирской разных форм в плантационных культурах пригородной зоны Красноярска // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Сб. матер. XIII Междунар. научно-техн. конф. Екатеринбург, 02–04 февраля 2021 г. Екатеринбург: ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2021. С. 145–148.
- 8 Матвеева Р.Н. Изменчивость кедра сибирского и проведение отбора в молодом возрасте. М.: ЦБНТИлесхоз, 1988. 170 с.
- 9 Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Дырдин С.Н., Попова С.В., Чувашов П.А., Митюшина Е.В. Изменчивость семян, однолетних семян из отселектированных шишек сосны кедровой сибирской алтайского происхождения // Хвойные бореальной зоны, 2019. Т. XXXVII, № 3–4. С. 229–234.
- 10 Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Коллекция клонов, полусибов, разных морфологических форм кедра сибирского на плантациях СибГТУ (юг Средней Сибири). Красноярск: СибГТУ, 2012. 47 с.
- 11 Попов В.Я. Влияние числа семядолей на рост и развитие сосны обыкновенной / В.Я. Попов [и др.] // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. Красноярск: СибГТУ, 1998. С. 37–39.
- 12 Раевский Б.В., Щурова М.Л., Чепик Ф.А. Селекционно-генетическая оценка плюсовых деревьев сосны с использованием методов ранней диагностики // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Матер. II Междунар. научно-техн. конф. 24–26 мая 2017 г. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2017. С. 126–128.
- 13 Романовский М.Г., Морозов Г.П. Семядоли проростков и зародышей хвойных // Лесоведение, 2019. № 6. С. 573–579.

***Hyssopus officinalis in vitro*: анатомия, плоидность,
генетическое сходство, компонентный состав эфирного масла**

Булавин И.В. *, к.б.н., с.н.с., зав. лабораторией; Иванова Н.Н., к.б.н., с.н.с.; Мирошниченко Н.Н., к.б.н., н.с.; Саплев Н.М., м.н.с.; Феськов С.А., н.с.; Пономаренко А.В., инж.-исслед.; Солдатов Д.К., лаб.-исслед.; Калмыкова Д.И., лаб.-исслед.; Конобеев В.Д., лаб.-исслед.

ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Ялта, Россия

*email: cellbiolnbs@yandex.ru

В работе исследованы анатомия, плоидность, генетическое сходство и компонентный состав эфирного масла *Hyssopus officinalis* 'Никитский Белый' *in vitro* в сравнении с растениями *ex situ*. Показано, что культивирование микропобегов на модифицированной питательной среде Мурасиге-Скуга при введении оптимальных концентрации 6-бензиламинопурина способствует их нормальному развитию при наличии структурных изменений, связанных со специфическими условиями *in vitro*. Изменения уровня плоидности выявлены не были. Применение молекулярных маркеров показало генетическую идентичность микропобегов *in vitro* после 12 месяцев культивирования в сравнении с растениями *ex situ*. Выход эфирного масла и его компонентный состав у регенерантов и материнских растений был сходен. Разработанный протокол для клонального микроразмножения *Hyssopus officinalis* 'Никитский Белый' обеспечивает получение клонов, идентичных растениям *ex situ*.

Ключевые слова: световая микроскопия; проточная цитометрия; молекулярные маркеры; гидродистилляция; газовая хроматография

***Hyssopus officinalis in vitro*: anatomy, ploidy level, genetic identity,
and essential oil component composition**

Bulavin I.V., Ivanova N.N., Moroshnichenko N.N., Saplev N.M., Feskov S.A., Ponomarenko A.V., Soldatov D.K., Kalmykova D.I., Konobeev V.D.

Federal State Funded Institution of Science "The Labor Red Banner Order Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS", Yalta, Russia

*email: cellbiolnbs@yandex.ru

An anatomy, ploidy level, genetic identity, and component composition of the essential oil of *Hyssopus officinalis* 'Nikitskiy Belyi' *in vitro* in comparison with *ex situ* plants are described in the work. It has been shown that the cultivation of microshoots on the modified Murashige-Skoog nutrient medium with the optimal concentrations of

6-benzylaminopurine promoted their normal development in the presence of structural changes associated with specific in vitro conditions. No changes in ploidy level were detected. The use of molecular markers showed the genetic identity of microshoots in vitro after 12 months of cultivation in comparison with ex situ plants. The yield of essential oil and its component composition in regenerants and mother plants was similar. The developed protocol for clonal micropropagation of Hyssopus officinalis 'Nikitskiy Belyi' promotes the production of clones identical to ex situ plants.

Key words: light microscopy; flow cytometry; molecular markers; hydrodistillation; gas chromatography

Производство лекарственных растений с использованием технологии *in vitro* стало популярным благодаря потребительскому спросу, подготовке значительного количества материала за короткий период времени, стабильному обеспечению здоровыми элитными генотипами, а также сохранению растений [7]. Иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.) широко используется как ароматическое и лекарственное растение [10]. К настоящему времени имеются данные о различных способах клонального микроразмножения *H. officinalis*. При этом подчеркивается актуальность подобных исследований для дальнейшей оптимизации процесса [8]. При размножении растений в культуре *in vitro* могут наблюдаться структурные [9, 10, 12] и генетические изменения [4, 11, 13]. Также отмечается важность неизменного состава вторичных метаболитов после клонального микроразмножения для лекарственных растений как источника биологически активных веществ [4]. Поэтому целью работы было исследование анатомического строения материала *in vitro*, уровня ploидности, генетического сходства с материнскими растениями и компонентного состава эфирного масла регенерантов *ex vitro*.

Культивирование микропобегов *H. officinalis* 'Никитский Белый', индукцию ризогенеза и адаптацию регенерантов *ex vitro* проводили согласно опубликованным методам [5, 6]. Подготовку листьев и стеблей к анатомическим исследованиям, а также изготовление срезов, их окрашивание, заключение и исследование выполняли общепринятым способом [2], и методике, разработанной ранее [6]. Исследование уровня ploидности проводили на свежем материале как указано в работе Yu.V. Plugatar с соавторами [10]. Тотальную ДНК выделяли из молодых неповрежденных листьев растений *ex situ* и микропобегов *in vitro* классическим способом [3, 5]. ПЦР выполняли с применением набора БиоМастер HS-Taq ПЦР (2×) (Биолабмикс, РФ) [5], RAPD,- ISSR-, SRAP-праймерами [5, 14] и ДНК в концентрации 20 нг. Амплификацию проводили в термоциклере C1000™ Thermal Cycler (Bio-Rad, Сингапур). Условия для RAPD,- ISSR-, SRAP-ПЦР были аналогичны опубликованным ранее [5, 14]. Массовую долю эфирного

масла определяли методом гидродистилляции на аппаратах Гинзберга [1] в свежесобранном сырье материнских растений *ex situ* и регенерантов *ex vitro* после 6 мес культивирования *in vitro*, адаптации и трех лет культивирования в условиях открытого грунта. Компонентный состав эфирных масел устанавливали с помощью аппаратно-программного комплекса на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2», оснащённого масс-спектрометрическим детектором [10].

Исследована структура листовых пластинок побегов *H. officinalis* ‘Никитский Белый’ *ex situ* и микропобегов *in vitro*. Согласно полученным данным на поперечных срезах листьев *ex situ* в области центральной жилки (рис. 1, А) дифференцировали эпидерму с кутикулой, несколько субэпидермальных слоев колленхимы в верхней и нижней частях, овальный проводящий пучок, состоящий из ксилемы и флоэмы, клетки паренхимы. В боковой части листа (см. рис. 1, В) различали эпидерму с кутикулой, столбчатый и губчатый мезофилл, в котором выделяли боковые жилки. Листья микропобегов *in vitro* имели сходное строение (см. рис. 1, Б, Г). При этом отмечены некоторые качественные изменения: меньшее развитие кутикулярного слоя, колленхимы, проводящего пучка, в частности количества элементов ксилемы и флоэмы.

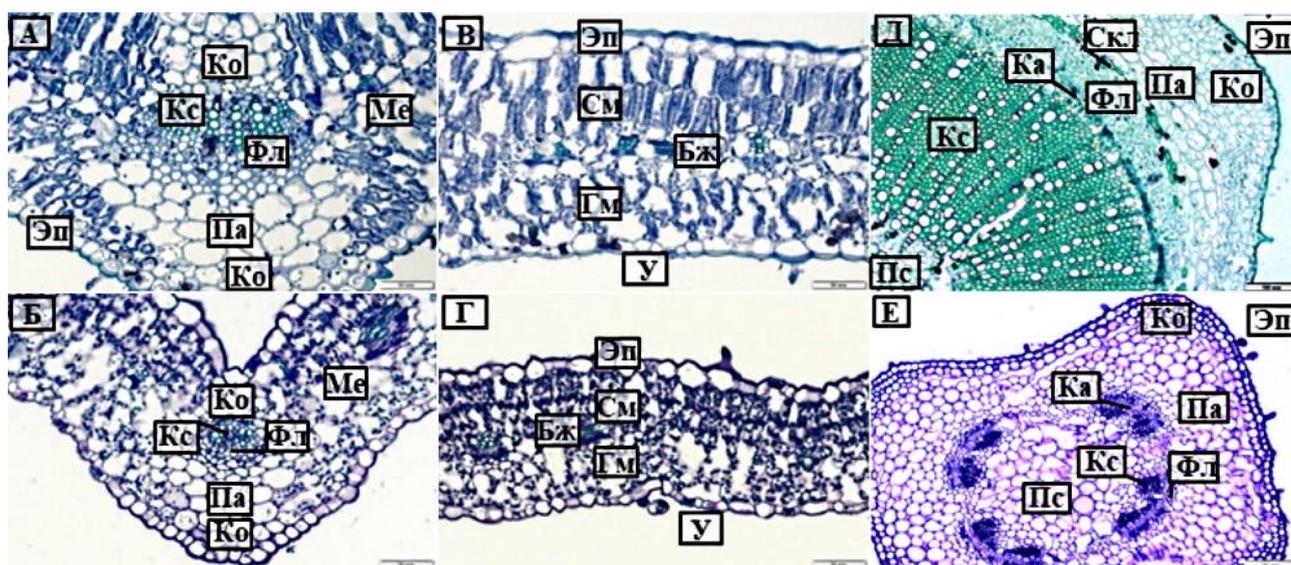


Рис. 1. Поперечные срезы вегетативных органов *Hyssopus officinalis* ‘Никитский Белый’ *ex situ* (А, В, Д) и *in vitro* (Б, Г, Е): Бж – боковая жилка, Гм – губчатый мезофилл, Ко – колленхима, Ка – камбий, Кс – ксилема, Ме – мезофилл, Па – паренхима, Пс – паренхима сердцевины, Скл – склеренхима, См – столбчатый мезофилл, У – устьице, Фл – флоэма, Эп – эпидерма (световая микроскопия)

Молодые стебли растений *ex situ H. officinalis* ‘Никитский Белый’ имели непучковый тип строения, на поперечных срезах были прямоугольной формы (рис. 1, Д). На поверхности имелись крошечные и железистые трихомы. Снаружи стебли были покрыты однорядной эпидермой, представленной плотно сомкнутыми клетками овальной или округлой формы, с утолщенными тангентальными

клеточными стенками, покрытыми кутикулой. Первичная кора состояла из колленхимы, паренхимы и эндодермы. Между ребрами было 2–3 слоя колленхима, в ребрах – 5–6 слоев. Паренхимные клетки имели овальную форму (3–5 слоев). Эндодерма была представлена овальными тонкостенными клетками. Центральный цилиндр состоял из перицикла, в котором наблюдали участки склеренхимы, первичной и вторичной флоэмы, камбиальной прослойки, первичной и вторичной ксилемы, паренхимы сердцевины с большими округлыми и овальными клетками (рис. 2, А).

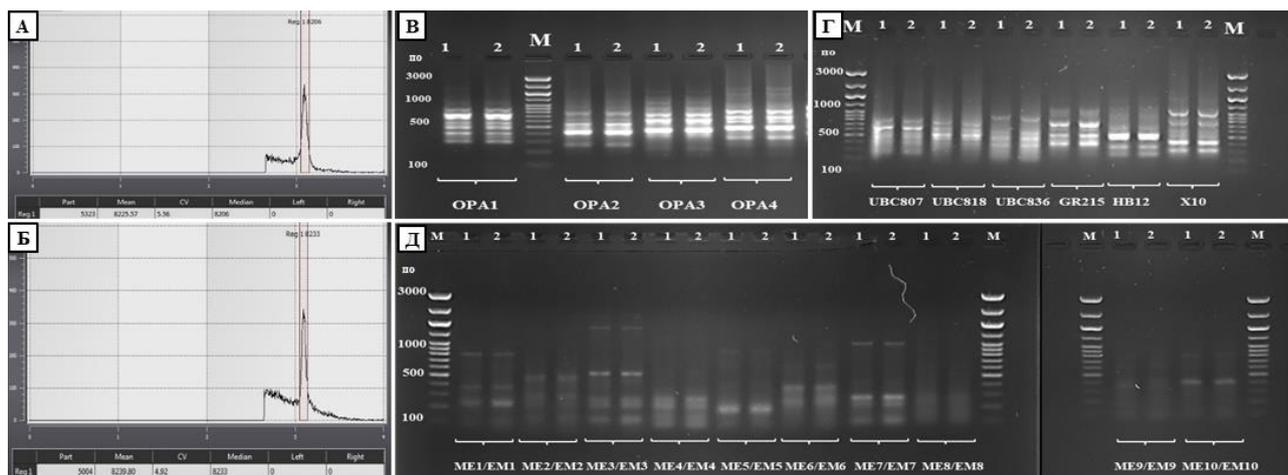


Рис. 2. Гистограммы плоидности ядер (А – внешний контроль, Б – *Hyssopus officinalis*) и электрофореграммы продуктов амплификации с праймерами RAPD (В), ISSR (Г), SRAP (Д) и ДНК, выделенной из листьев растений *Hyssopus officinalis* ‘Никитский Белый’ *ex situ* (1) и микропобегов *in vitro*, после 12 месяцев культивирования (2). М – маркер, по – пары оснований

В отличие от стеблей *ex situ*, у микростеблей *in vitro* выявлен пучковый и непучковый тип строения, что зависило от времени формирования органов. Эпидерма характеризовалась меньшим развитием кутикулярного слоя, колленхима в первичной коре между ребрами формировала один слой клеток в ребрах – 2–3 слоя. При пучковом строении под перициклом наблюдали открытые коллатеральные проводящие пучки, состоящие из элементов флоэмы и ксилемы, межпучковая зона и сердцевина были представлены паренхимой (см. рис. 1, Е). При непучковом типе строения в области перицикла наблюдали отдельные группы склеренхимы, затем проводящие ткани (первичную и вторичную флоэму и ксилему), которые формировали кольцо. Отмечали образцы микростеблей, в центре которых формировалась полость.

Анализ плоидности ядер тканей листовых пластинок микропобегов *H. officinalis* ‘Никитский Белый’ (см. рис. 2, Б) после 12 месяцев культивирования *in vitro* не выявил изменений. Согласно полученным данным, пики на гистограммах, сформированные на основе интенсивности флюоресценции соответствовали диплоидному материалу.

При амплификации участков ДНК, выделенной из листьев микропобегов *H. officinalis* ‘Никитский Белый’ после одного года культивирования *in vitro* с применением RAPD-, ISSR-, и SRAP-праймеров, показана мономорфность полос, генетические несоответствия выявлены не были, в сравнении с образцами ДНК, полученными от растений *ex situ* (см. рис. 2, В, Г, Д).

Проведен анализ эфирного масла растений *ex situ* и регенерантов *ex vitro*. Согласно полученным данным, массовая доля эфирного масла в материнских растениях и регенерантах *ex vitro* составила 0,33 и 0,30 % соответственно от сырой массы. Доминирующими компонентами в образцах были бициклические монотерпеновые кетоны, такие как пинокамфон (43,72 и 43,30 %) и изопинокамфон (24,97 и 25,88 %). Минорные компоненты, включая миртенол (5,24 и 5,09 %), β-пинен (4,20 и 4,70 %), элемол (4,57 и 4,40 %), бициклогермакрен (4,60 и 3,66 %), варьировали незначительно.

Исследования показали наличие структурных изменений в микропобегах *Hyssopus officinalis* ‘Никитский Белый’, связанных с особенностями культивирования и омоложением *in vitro*. Материал остается диплоидным и генетически идентичным растениям *ex situ*. Выход и компонентный состав эфирного масла регенерантов *ex vitro* остается подобным материнским организмам. Полученные результаты демонстрируют эффективность разработанного протокола для клонального микроразмножения *Hyssopus officinalis* ‘Никитский Белый’.

Финансирование: исследование выполнено в рамках Государственного задания НБС-ННЦ № 1023041300067-1-4.1.1 (FNNS 2024-0004).

Список литературы

- 1 Интродукция и селекция ароматических и лекарственных растений (Методологические и методические аспекты) / В.П. Исиков, В.Д. Работягов, Л.А. Хлыпенко, И.Е. Логвиненко, Л.А. Логвиненко, С.П. Кутько, Н.Н. Бакова, Н.В. Марко. Ялта: НБС–ННЦ, 2009. 110 с.
- 2 Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы / Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятое А.Г., Джалилова Х.Х., Ильина Г.М., Чубатова Н.В. М.: Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
- 3 Супрун И.И., Маляровская В.И., Степанов И.В., Самарина Л.С. IRAP-анализ для оценки генетической стабильности эндемичных и исчезающих видов флоры Западного Кавказа в коллекции *in vitro* // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 1. С. 8–14.
- 4 Abdolinejad R., Shekafandeh A., Jowkar A., Gharaghani A., Alemzadeh A. Indirect regeneration of *Ficus carica* by the TCL technique and genetic fidelity evaluation of the regenerated plants using flow cytometry and ISSR // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2020. V. 143. № 1. P. 131–144.
- 5 Bulavin I.V., Ivanova N.N., Mitrofanova I.V. *In vitro* regeneration of *Hyssopus officinalis* L. and plant genetic similarity // Doklady Biological Sciences. 2021. V. 499. № 1. P. 109–112.

- 6 Bulavin I.V., Ivanova N.N., Miroshnichenko N.N., Saplev N.M., Feskov S.A. Anatomy, ploidy level, and essential oil composition of *Hyssopus officinalis* ‘Nikitskiy Belyi’ *in vitro* and *ex situ* // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2023. V. 184. № 4. P. 21–30.
- 7 Martins J.P.R., Rodrigues L.C.D.A., Conde L.T., Gontijo A.B.P.L., Falqueto A.R. Anatomical and physiological changes of *in vitro*-propagated *Vriesea imperialis* (Bromeliaceae) in the function of sucrose and ventilated containers // Plant Biosystems. 2020. V. 154. № 1. P. 87–99.
- 8 Maslova E., Gulya N., Perelugina T., Semykina V., Kalashnikova E. Introduction of *Hyssopus officinalis* L. into *in vitro* culture to optimize the conditions for obtaining callus tissues and microclonal propagation as a promising method of innovative agrobiotechnologies // BIO Web of Conferences. 2021. V. 30. 05006.
- 9 Mishra M.K., Pandey S., Misra P., Niranjana A. *In vitro* propagation, genetic stability and alkaloids analysis of acclimatized plantlets of *Thalictrum foliolosum* // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2020. V. 142. № 3. P. 441–446.
- 10 Plugatar Y.V., Bulavin I.V., Ivanova N.N., Miroshnichenko N.N., Saplev N.M., Shevchuk O.M., Feskov S.A., Naumenko T.S. Study of the component composition of essential oil, morphology, anatomy and ploidy level of *Hyssopus officinalis* f. *cyaneus* Alef // Horticulturae. 2023. V. 9. № 4. 480.
- 11 Raji M.R., Farajpour M. Genetic fidelity of regenerated plants via shoot regeneration of muskmelon by inter simple sequence repeat and flow cytometry. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2021. V. 20. № 2. P. 88–93.
- 12 Rohela G.K., Saini P. Molecular techniques for the detection of ploidy level and genetic fidelity of regenerated plantlets // Genome size and genetic homogeneity of regenerated plants: methods and applications / Mujib A. (eds.) – Sharjah: Bentham Science, 2023. P. 294–326.
- 13 Sliwinska E., Thiem B. Genome size stability in six medicinal plant species propagated *in vitro* // Biologia Plantarum. 2007. V. 51. № 3. P. 556–558.
- 14 Zagorcheva T., Rusanov K., Rusanova M., Aneva I., Stancheva I., Atanasov I. Genetic and flower volatile diversity in two natural populations of *Hyssopus officinalis* L. in Bulgaria // Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2020. V. 34. № 1. P. 1265–1272.

DOI 10.18699/GPB2024-20

Множественные источники геномов органелл культурного гороха (*Pisum sativum* L. subsp. *sativum* s.l.)

Булгакова В.С., д.б.н., Шацкая Н.В., к.б.н., Костерин О.Э.*, д.б.н., Васильев Г.В., к.б.н.
ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН», Новосибирск, Россия
*email: kosterin@bionet.nsc.ru

Ранее мы обнаружили, что образцы дикого гороха, наиболее родственные сорту Сатеор в отношении пластидных и митохондриальных геномов, представляют собой два разных набора образцов, происходящих из разных регионов, а филогенетические паттерны геномов пластид и митохондрий дикого гороха не совпадают. В данной работе мы просеквенировали эти геномы у 91 образца

гороха, в том числе у 29 образцов культурного гороха, в основном представляющего местные генотипы (ландрасы), происходящие из разных регионов традиционного культивирования гороха. Подавляющее большинство пластидных геномов культурного гороха были близкородственны друг другу и образцам дикого гороха из Причерноморья и Прикаспия, однако пластидные геномы двух образцов из Центральной Азии оказались родственны другой линии дикого гороха. В отличие от ситуации у пластидных геномов, на филогенетическом дереве митохондриальных геномов большинство образцов культурного гороха попали в три разных кластера. Мы предполагаем, что область культивирования гороха была первоначально занята выходцами из исходной области доместикации растений на Ближнем Востоке, а в дальнейшем претерпела две волны инвазии культурного гороха, несущего митохондриальные геномы и, в ограниченном количестве – пластидные геномы, интрогрессированные от дикого гороха Балкан и Малой Азии.

Ключевые слова: митохондриальный геном; пластидный геном; культурный горох; дикий горох; филогенетические деревья; доместикация растений; интрогрессия

Multiple origin of organelle genomes of cultivated peas (*Pisum sativum* L. subsp. *sativum* s.l.)

Bulgakova V.C., Shatskaya N.V., Kosterin O.E. , Vasiliev G.V.*

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

**email: kosterin@bionet.nsc.ru*

Earlier we found out that wild peas most related to cultivar Cameor with respect to plastid and mitochondrial genomes are two different sets of accessions, while phylogenetic patterns of the plastid and mitochondrial genomes in wild peas are discordant to each other. In this work we have sequenced these genomes in 91 pea accessions, including 29 ones of the cultivated peas, mostly representing locally cultivated genotypes (landraces) originating from different regions of the area of traditional pea cultivation. Most plastid genomes of cultivated peas appeared tightly closely to each other and those of wild peas from the Ponto-Caspian Region, however, the plastid genomes of two accessions from Central Asia appeared to be related to another wild pea lineage. In contrast to the situation with the plastid genomes, in the phylogenetic tree based on the mitochondrial genomes most cultivated peas occurred in three different clusters. We suppose that the area of pea cultivation was first occupied by peas originating from the Core Area of the Near East Plant domestication, and then underwent two waves of expansion of cultivated peas carrying the mitochondrial genomes, and some plastid genomes, introgressed from wild peas of the Balkans and Asia Minor.

Key words: mitochondrial genome; plastid genome; cultivated peas; wild peas;

Происхождение культурных растений до сих пор является предметом жарких дискуссий. Ранее мы обнаружили, что (1) образцы дикого гороха, наиболее родственные сорту Sameor (ядерный геном которого был расшифрован первым) в отношении пластидных и митохондриальных геномов представляют собой два разных набора образцов, происходящих из разных регионов, ни один из которых не совпадает с предполагаемой исходной областью доместикации растений на Ближнем Востоке, и (2) филогенетические паттерны геномов пластид и митохондрий дикого гороха не совпадают друг с другом. Эти результаты сделали актуальным исследование разнообразия и филогении геномов клеточных органелл у культурного гороха. Мы просеквенировали эти геномы у 91 образца, в том числе у 29 образцов культурного гороха, в основном представляющего местные генотипы (ландрасы), происходящие из разных регионов традиционного культивирования гороха. Подавляющее большинство пластидных геномов культурного гороха были близкородственны друг другу и образцам дикого гороха из Причерноморья и Прикаспия, однако пластидные геномы двух образцов из Центральной Азии оказались родственны другой линии дикого гороха. В отличие от ситуации у пластидных геномов, на филогенетическом дереве митохондриальных геномов большинство образцов культурного гороха попали в три разных кластера. Образцы, более всего родственные нынешним представителям дикого гороха из предполагаемой исходной области доместикации, оказались происходящими с периферии ареала традиционного культивирования гороха – из Северной Африки, Центральной Азии и Гималаев. Представители другого кластера обнаружили в Центральной Азии в широком смысле, а также в Греции. Образцы, наиболее родственные сорту Sameor, были рассеяны по всему ареалу культуры гороха. Судя по всему, митохондриальные геномы более чем пластидные подвержены интрогрессии от дикого гороха к культурному. Мы предполагаем, что область культивирования гороха была первоначально занята выходцами из исходной области доместикации, а в дальнейшем претерпела две волны инвазии культурного гороха, несущего митохондриальные геномы и в ограниченных количествах – пластидные геномы, позаимствованные от дикого гороха Балкан и Малой Азии: первая предположительно из юго-западной Европы и/или Западной Азии, вторая – из Европы.

Финансирование: Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания по теме FWNR-2022-0017 «Генетический контроль развития и формирования хозяйственно ценных признаков у сельскохозяйственных растений».

Макро- и микроэлементный состав трутовика скошенного (*Inonotus obliquus* Pil.)

*Буренков С.С. *, аспирант*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (КемГУ), Кемерово, Россия

**email: serg.burenkoff2017@yandex.ru*

*Использование чаги (*Inonotus obliquus* Pil.) в качестве перспективного сырья на основе которого производят лекарственные препараты связано с содержанием в её плодовом теле большого количества биологически активных веществ неорганической, органической и металлоорганической природы, высоким содержанием макро- и микроэлементов.*

Лекарственные препараты в составе которых обнаруживаются натуральные (растительные) компоненты обладают наибольшей биологической активностью и чаще используются в медицине по сравнению с искусственно синтезированными. Такие препараты проявляют комплексное действие и реже приводят к осложнениям после их непосредственного применения.

*Ключевые слова: берёзовый гриб (*Inonotus obliquus* Pil.); плодовое тело; лекарственные препараты; макро- и микроэлементы; использование*

Macro- and microelement composition of beveled tinder (*Inonotus obliquus* Pil.)

*Burenkov S.S. *, postgraduate.*

Kemerovo State University (KemSU), Kemerovo, Russia

**email: serg.burenkoff2017@yandex.ru*

*The use of chaga (*Inonotus obliquus* Pil.) as a promising raw material on the basis of which medicines are produced is associated with the content in its fruit body of a large number of biologically active substances of inorganic, organic and organometallic nature, high content of macro- and microelements.*

Medicinal preparations containing natural (plant) components have the highest biological activity and are more often used in medicine compared to artificially synthesized ones. Such drugs have a complex effect and are less likely to lead to complications after their direct use.

*Key words: birch mushroom (*Inonotus obliquus* Pil.); fruit body; medicinal products; macro- and microelements; application*

В последние десятилетия возрос спрос на лекарственные препараты растительного происхождения в связи с повышением антропогенной нагрузки на природные экосистемы, что в последующем приводит к росту различного рода заболеваний. В результате возникает необходимость поиска и исследования природных объектов, компоненты которых в дальнейшем будут использоваться в качестве сырья для производства на их основе лекарственных препаратов с целью профилактики и лечения заболеваний [1]. Одним из таких объектов является плодовое тело трутовика скошенного (*Inonotus obliquus* Pil.).

Цель работы – изучить макро- и микроэлементный состав плодового тела чаги берёзовой (*Inonotus obliquus* Pil.).

Inonotus obliquus Pil. принадлежит обширной группе базидиальных грибов, паразитирующих на большом количестве древесных видов – берёзе, ольхе, рябине, вязе, клёне. Лечебным действием обладает гриб, паразитирующий только на живой берёзе. Изначально происходит заражение дерева путём проникновения спор в древесину через трещины коры, морозобоины. Также заражение происходит через трещины в древесине после сбора человеком берёзового сока. После происходит формирование нароста желвакообразной формы, имеющего серый цвет. По истечении пяти лет происходит формирование стерильной формы чаги чёрного цвета [2].

В составе чаги обнаружено большое количество биологически активных веществ. Водное извлечение *Inonotus obliquus* Pil. представляет собой гидрофильную полидисперсную коллоидную систему. Основным действующим компонентом чаги является полифенолоксикарбоновый комплекс (ПФК) принадлежащий к меланинам. В составе ПФК присутствуют полисахариды, белки, полифенолы, а также фенолкарбоновые и высшие жирные кислоты. Лекарственные препараты в основе которых присутствуют компоненты чаги обладают болеутоляющим действием, улучшают обменные процессы, а также проявляют антивирусную, антиоксидантную, антитоксичную, радиопротекторную, адаптогенную и иммуномодулирующую активность. Они способны к восстановлению деятельности сердечной, дыхательной, нервной, половой систем организма человека [3].

Плодовое тело чаги имеет обширный комплекс макро – (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , P^{+5} и др.) и микроэлементов (Co^{2+} , Mo^{2+} , Cu^{2+} и др.), которые также присутствуют в составе её водных извлечений (см. таблицу). Лекарственные препараты в компонентный состав которых входят данные комплексы проявляют противовоспалительную и противоопухолевую активность [4].

За счёт богатого комплекса макро- и микроэлементов сырьё трутовика скошенного (*Inonotus obliquus* Pil.) используется в народной и официальной медицине. В настоящее время чага является перспективным объектом из-за присут-

ствия в её компонентном составе большого разнообразия компонентов способных оказывать профилактическое и лечебное действие. На её основе созданы сухие и водные экстракты, крема, мази, стоматологические гели [5]. Важно отметить, что химический состав плодового тела, исследуемого вида, включает в себя биогенные элементы жизненно необходимые для организма человека. Они входят в состав клеток и выполняют биологические функции.

Элементный состав трутовика скошенного (*Inonotus obliquus* Pil.), мг/кг

Макро- / микроэлемент	Показатель	Методика измерений
Na ⁺ (натрий)	58,6 ± 23,4	ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98
Mg ²⁺ (магний)	632,6 ± 189,8	
Ca ²⁺ (кальций)	395,4 ± 118,6	
K ⁺ (калий)	26612,0 ± 10644,8	
P ⁺⁵ (фосфор)	157,7 ± 47,3	
Co ²⁺ (кобальт)	< 0,1	
Mo ²⁺ (молибден)	0,4 ± 0,2	
Cu ²⁺ (медь)	2,4 ± 0,5	

Плодовое тело *Inonotus obliquus* Pil. также способно сорбировать радионуклиды (¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁴⁰K), повышение допустимого содержания которых может являться показателем степени загрязнённости почвы того или иного фитоценоза [6]. В связи с чем сырьё чаги, используемое в дальнейшем для производства лекарственных препаратов должно быть подвержено исследованию на радиационный контроль.

Перед применением лекарственных препаратов в основе которых присутствуют компоненты чаги необходимо провести консультацию в медицинском учреждении из-за наличия в её составе большого количество зольных элементов, которые могут оказать токсическое действие на организм пациента, способствовать проявлению побочных эффектов и обострению хронических заболеваний [7].

Из всего выше сказанного можно сделать вывод о том, что чага берёзовая (*Inonotus obliquus* Pil.) является источником биологически активных веществ, в том числе макро- и микроэлементов которые в составе лекарственных препаратов оказывают болеутоляющее действие, улучшают обменные процессы, проявляют биологическую активность (антивирусную, антиоксидантную, антитоксичную, радиопротекторную, адаптогенную, иммуномодулирующую).

Также они могут быть использованы для профилактики и лечения онкологических заболеваний, приводить к восстановлению деятельности сердечной, дыхательной, нервной, половой систем организма человека. Компоненты *Inonotus obliquus* Pil. присутствуют в составе различных лекарственных форм (крема, мази, гели и др.). Перед применением препаратов в основу которых входят элементы чаги необходимо провести консультацию в медицинском учреждении.

Список литературы

1. Олефир Ю.В., Медуницын Н.В., Авдеева Ж.И. и др. Современные биологические / биотехнологические лекарственные препараты. Актуальные вопросы разработки и перспективы использования // БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение. 2016. № 2. С. 67–76.
2. Змитрович И.В., Денисова Н.П., Баландайкин М.Э. и др. Чага и ее биоактивные комплексы: история и перспективы // Формулы фармации. 2020. № 2. С. 84–93.
3. Кузнецова О.Ю. Обзор современных препаратов с биологически активными композициями березового гриба чага // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2016. № 1. С. 128–141.
4. Гюльбякова Х.Н. Лекарственная композиция на основе березового гриба чаги // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12. С. 1–6.
5. Гюльбякова Х.Н., Маринина Т.Ф., Казуб В.Т. Исследования стоматологического геля на основе биологически активных веществ *Inonotus obliquus* // Евразийский Союз Ученых. Фармацевтические науки. 2019. № 1. С. 75–76.
6. Лысова Е.В., Мехоношин Н.А., Щеголев А.А. Конструирование радиопротекторного препарата на основе хромогенного комплекса чаги и биомассы бактерий эубиотиков // Леса России и хозяйство в них. 2015. № 2. С. 51–54.
7. Шашкина М.Я., Шашкин П.Н., Сергеев А.В. Чага в онкологии: обзор // Российский биотерапевтический журнал: Теоретический и научно-практический журнал. 2005. № 4. С. 59–72.

DOI 10.18699/GPB2024-22

Оценка селекционного материала свеклы столовой на устойчивость к церкоспорозу

Ветрова С.А. *, к.с.-х.н., с.н.с.; Козарь Е.Г., к.с.-х.н., в.н.с.; Мухина К.С. м.н.с.

Федеральный научный центр овощеводства, Одинцово, Россия

*email: lana-k2201@mail.ru

В 2023 году на опытном поле ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», расположенном в Одинцовском районе Московской области была проведена оценка и отбор селекционного материала свеклы столовой на устойчивость к церкоспорозу. На фоне возникшей эпифитотии церкоспороза с учетом показателей распространенности (P) и среднего индекса развития (I_{cp}) болезни по устойчивости отобраны четыре стерильные линии «*ts-A*», две фертильные линии-закрепители «*tf-B*» и пять линий-опылителей «*tf-C*», а также четыре гибридные комбинации на их основе, что составило 29 % от всей совокупности проанализированных ЦМС гибридов F_1 .

Ключевые слова: свёкла столовая; селекционный питомник; линия; гибридная комбинация; отбор; устойчивость; церкоспороз

Evaluation of the breeding material of beetroot for resistance to cercosporosis

*Vetrova S.A. *, Kozar E.G., Mukhina K.S.*

FSBSI «Federal Scientific Vegetable Center», Odintsovo, Russia

**email: lana-k2201@mail.ru*

In 2023, at the experimental field of the FSBSI «Federal Scientific Vegetable Center», located in the Odintsovo district of the Moscow region, the evaluation and selection of the breeding material of beetroot for resistance to cercosporosis was carried out. Against the background of the emerging epiphytotic cercosporosis, taking into account the prevalence (P) and the average development index (Icd) of the disease, four sterile lines "ms-A", two fertile lines "mf-B" and five pollinator lines "mf-C", as well as four hybrid combinations based on their resistance, were selected based on, which accounted for 29 % of the total number of analyzed CMS F₁ hybrids.

Key words: beetroot; breeding nursery; line; hybrid combination; selection; resistance; cercosporosis

Для механизированного возделывания свеклы столовой важным признаком является прямостоячая, компактная листовая розетка, сохраняющая здоровый вид до конца вегетации растений, что позволяет при уборке использовать комбайны теребильного типа. В связи с этим важное значение имеет устойчивость к болезням листовой розетки растений. В их число входит церкоспороз, поражающий листья и черешки растения первого и второго года вегетации, а также стебли семенников [1]. Условия, определяющие эпифитотийный характер развития церкоспороза, хорошо известны. Этому способствует определенное сочетание климатических факторов: повышенная среднесуточная температура (не менее 15 °С; оптимум 20–30 °С) и высокая влажность воздуха (более 70 %, оптимум – 90–100 %), обильные продолжительные теплые осадки и росы. При создании устойчивых к церкоспорозу межлинейных гибридов F₁ на основе ЦМС большую роль играет подбор родительских компонентов, что определяет не только продуктивность, но и устойчивость к биотическим факторам [2]. Поэтому оценка на устойчивость к болезням создаваемых стерильных линий «ms-A», фертильных линий закрепителей стерильности «mf-B» и опылителей «mf-C», а также полученных на их основе гибридных комбинаций F₁ («ГК») является важным этапом селекционного процесса.

Оценка устойчивости селекционного материала к церкоспорозу была проведена на фоне возникшей в 2023 году эпифитотии в селекционном питомнике, чему способствовали сложившиеся погодные условия. Первые симптомы в виде единичных пятен были зарегистрированы на листьях растений во второй декаде

июля. Достаточно высокие среднесуточная температура (19,6 °С) и относительная влажность воздуха (около 80 %) при избыточном количестве осадков в июле-августе способствовали конидиальному размножению и быстрому распространению патогена. На момент уборки (5–7 сентября) симптомы церкоспороза с индексом поражения от 0,5 до 5 баллов были зарегистрированы в совокупности у 81 % селекционных образцов, большинство из которых оказались восприимчивыми и средневосприимчивыми, что свидетельствует о высокой напряженности инфекционного фона. В группу устойчивых вошло только 19% изучаемых образцов (рис. 1).

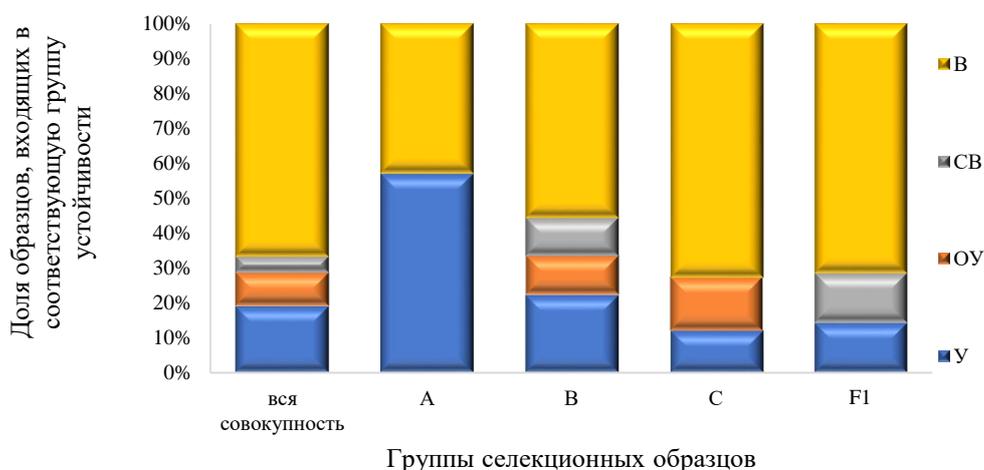


Рис. 1. Распределение по группам устойчивости к церкоспорозу в пределах соответствующих выборок селекционных образцов на фоне эпифитотии:

У – устойчивые ($P = 0 \%$; $I_{cp} = 0-0,5$ баллов); ОУ – относительно устойчивые ($P = 0-20 \%$; $I_{cp} = 1,5$ балла); СВ – ($P = 21-50 \%$; $I_{cp} = 2,0-3,0$ балла); В – ($P \geq 50 \%$; $I_{cp} \geq 4,0$ баллов)

В пределах отдельных выборок линейного материала и гибридных комбинаций, их соотношение по группам устойчивости значительно отличалось. Линии «ms-A» разделились на две крайние группы, где доля устойчивых составила около 60 % (рис. 1). Остальные были восприимчивы: распространенность церкоспороза по образцам составила 60–100 % и в среднем составила 73 % (табл. 1). В пределах линий «mf-B», «mf-C» и в «ГК» распространенность болезни в среднем составила 65–94 % и наиболее многочисленной была группа восприимчивых образцов, доля которых в каждой совокупности составила более 70–80 % (рис. 1, табл. 1). При этом, в выборке линий «mf-B» присутствовали образцы всех четырех групп устойчивости. В пределах выборки линий-опылителей «mf-C» и КГ с их участием – образцы только трех групп устойчивости, причем доля устойчивых образцов в каждой из них была сравнима и составила 12–14 %.

Таблица 1 – Диапазон и средний уровень развития церкоспороза в пределах различных групп пораженных селекционных образцов свеклы столовой в условиях эпифитотии на естественном инфекционном фоне (2023 г.)

Группы образцов	Доля пораженных образцов из числа изученных, %	Распространенность болезни в группе образцов, %		Балл развития болезни в группе образцов	
		диапазон	среднее	диапазон	среднее
Линии А	43	60–100	73	0,5–2,5	1,3
Линии В	78	15–100	65	0,5–2,0	1,0
Линии С	88	20–100	94	0,5–5,0	2,1
Гибридные комбинации	86	50–100	94	1,5–5,0	2,0

При создании конкурентоспособных межлинейных гибридов F_1 на основе ЦМС важен не только подбор родительских компонентов, но оценка вклада каждого из них в устойчивость гибридного потомства. На рисунке 2 представлены кривые распределения пораженных растений в выборке родительских линий «ms-A», «mf-C» и гибридных комбинаций с их участием в зависимости от среднего балла поражения церкоспорозом в условиях 2023 года. Кривая распределения в группе гибридных комбинаций, как и в группе отцовских линий «mf-C», имеет два основных пика, но со смещением в сторону снижения степени поражения растений (в «ГК» – 1,4 и 3 балла; «mf-C» – 1,8 и 5 баллов). В первую, более многочисленную группу, вошли растения всех гибридных комбинаций с участием устойчивых и относительно устойчивых родительских компонентов «ms-A» и «mf-C». Промежуточное положение между пиками на кривой распределения вошли отдельные ГК, в которых отцовская линия «С» характеризовалась как средневосприимчивая к церкоспорозу. Второй пик представлен растениями средневосприимчивых и восприимчивых гибридных комбинаций, полученных преимущественно в результате скрещивания с отцовскими линиями с высоким баллом поражения церкоспорозом (2–5 баллов).

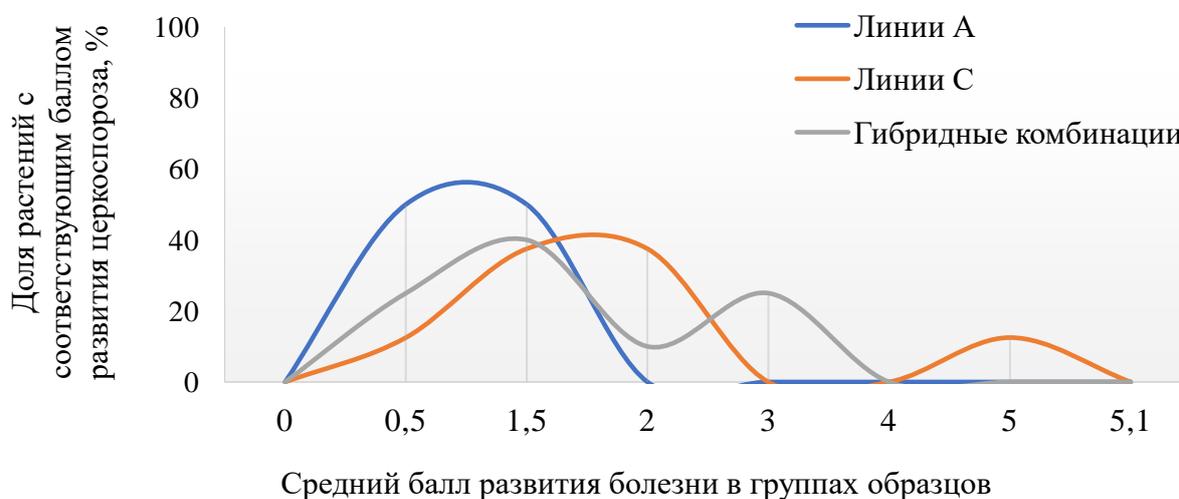


Рис. 2. Распределение больных растений с соответствующим баллом развития церкоспороза в отдельных выборках селекционных образцов (открытый грунт, 2023 г.)

Однако смещение обоих пиков в сторону меньших значений индекса поражения, как и данные таблицы 2, свидетельствует о значимой роли материнского компонента в селекции на устойчивости к церкоспорозу. Ранее, в наших исследованиях, в результате корреляционного анализа также была установлена более тесная взаимосвязь устойчивости гибридного потомства F_1 с устойчивостью материнской ms-линии, чем с линией-опылителем, что, по-видимому, связано с морфогенетическим воздействием цитоплазмы материнской формы на экспрессию (репрессию) генов резистентности-восприимчивости, и их динамическое взаимодействие, которое было выявлено и у свеклы сахарной [3, 4]. Положительный результат, как и эффект гетерозиса, соответственно будет наиболее высоким в комбинациях с участием устойчивых родительских линий.

Таблица 2 – Характер проявления признака устойчивости к церкоспорозу в гибридных комбинациях F_1 свеклы столовой в условиях эпифитотии

Гибридная комбинация	Степень развития болезни						Гипотетический эффект гетерозиса, %
	♀ линия ms-A		♂ линия mf-C		ГК (F_1)		
	средний балл развития	группа устойчивости	средний балл развития	группа устойчивости	средний балл развития	группа устойчивости	
306	0	У	0,75	ОУ	0	У	100,0
342	1,25	ОУ	1,75	СВ	0	У	100,0
350	0	У	0,75	ОУ	0,5	ОУ	-33,3
334	1,25	ОУ	0	У	1	ОУ	-60,0
346	1,25	ОУ	1,25	ОУ	1	ОУ	20,0
349	1,30	ОУ	1,75	СВ	1,25	ОУ	18,0
305	1,25	ОУ	1,75	СВ	2	СВ	-33,3
337	1,25	ОУ	5	В	2,75	В	12,0

Таким образом, по устойчивости к церкоспорозу, с учетом показателей распространенности и индекса развития болезни на фоне возникшей эпифитотии в открытом грунте выделено четыре гибридных комбинации: № 306, 342, 350, 334, что составило 29% от всей совокупности проанализированных ЦМС гибридов F_1 . В комбинациях № 346 и 349, отобраны индивидуальные корнеплоды с низким индексом поражения. Среди линейного материала по устойчивости к церкоспорозу для дальнейшей работы отобраны: линии А – 303, 373, 376, 378; линии В – 391, 397; линии С – 311, 318, 323, 325, 326. Из них линии А 378, В 393, С 326 наряду с устойчивостью к церкоспорозу выделены по комплексу хозяйственно ценных признаков.

Список литературы

1 Козарь Е.Г., Ветрова С.А., Енгальчева И.А., Федорова М.И. Оценка устойчивости селекционного материала свеклы столовой к церкоспорозу на фоне эпифитотии в условиях защищенного грунта Московской области // Овощи России. 2019. № 6.

С. 124–132. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-124-132>

- 2 Стогниенко О.И., Мелькумова Е.А., Корниенко А.В. Церкоспороз сахарной свеклы и методы снижения его вредоносности. Воронеж: ООО «Антарес», 2016. 170 с.
- 3 Буренин В.И. К проблеме церкоспороустойчивости сахарной свеклы (задачи селекции и исходный материал) // Сахарная свекла. 2018. № 10. С. 2–5.
- 4 Глазунова Н.Н., Безгина Ю.А., Мазницына Л.В., Шарипова О.В. Системы защиты основных полевых культур юга России. Справочное и учебное пособие для студентов агрономического факультета и факультета защиты растений. Ставрополь: Параграф, 2013. 184 с.

DOI 10.18699/GPB2024-23

Гуар в Российской Федерации: попытка осмысления полученного опыта

Вишнякова М.А.^{1}, д.б.н., гл. н.с.; Шаухаров Р.А.^{1,2}, специалист; Гурина А.К.^{1,3}, магистр; Кочерина Н.В.^{1,4}, к.техн.н., с.н.с.; Дзюбенко Е.А.¹, с.н.с.; Черевацкая М.А.^{1,3}, к.х.н., н.с.; Фролова Н.В.⁵, к.б.н., с.н.с.; Фролов А.А.⁵ д.б.н., в.н.с.*

¹*Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия*

²*Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), филиал Волгоградская опытная станция, Волгоград, Россия*

³*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Кафедра Физиологии и Биохимии Растений, Санкт-Петербург, Россия*

⁴*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Агрофизический научно-исследовательский институт (АФИ), Санкт-Петербург, Россия*

⁵*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Лаборатория Аналитической Биохимии и Биотехнологии, Москва, Россия*

**email: m.vishnyakova.vir@gmail.com*

В условиях закрытого грунта на Волгоградской опытной станции ВИР в 2023 г. проведено фенотипирование и физиологический скрининг 50 образцов гуара из коллекции ВИР на поливе (П) и после его прекращения через два месяца после посева – засухе (З). Проанализировано 10 признаков структуры семенной продуктивности растений на З и П. Выявлено три группы образцов: с максимальной продуктивностью на З (толерантные к стрессору), с минимальной в этих условиях (не устойчивые к стрессору), и высоко продуктивные на обоих режимах. Полиморфизм выборки по отношению к режиму орошения следует учитывать при производстве гуара в разных эколого-климатических условиях.

Ключевые слова: гуар; засуха; полив; фенотипирование

Guar in the Russian Federation: an attempt to conceptualize the experience acquired

Vishnyakova M.A.^{1}, Shaukharov R.A.^{1,2}, Gurina A.K.^{1,3}, Kocherina N.V.^{1,4}, Dzyubenko E.A.¹, Cherevatskaya M.A.^{1,3}, Frolova N.V.⁵, Frolov A.A.⁵*

¹*Federal Research Centre N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia*

²*Federal Research Centre N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Volgograd Branch, Experimental Station, Volgograd, Russia*

³*St. Petersburg State University, Department of Physiology and Biochemistry of Plants, St. Petersburg, Russia*

⁴*Federal State Budgetary Scientific Institution Agrophysical Research Institute (AFI), St. Petersburg, Russia*

⁵*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Analytical Biochemistry and Biotechnology, Moscow, Russia*

**email: m.vishnyakova.vir@gmail.com*

Phenotyping and physiological screening of 50 samples of guar from the collection of Federal Research Centre N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) under irrigation and after its cessation two months after sowing – drought were carried out in the conditions of closed ground at the Volgograd Experimental Station of VIR in 2023. 10 traits of the structure of seed productivity structure of plants on drought and irrigation were analyzed. Three groups of samples were identified: with maximum productivity on drought (tolerant to stressor), with minimum in these conditions (not resistant to stressor), and highly productive on both regimes. Polymorphism of the sample in relation to irrigation regime should be considered in guar production in different ecological and climatic conditions.

Key words: guar; drought; irrigation; phenotyping

Гуар (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub) – однолетняя зернобобовая сельскохозяйственная культура – новый интродуцент в РФ. Наиболее актуальное использование этого растения многофункционального назначения – в качестве источника камеди, которая находит применение в газонефтяной, бумажной, текстильной, фармацевтической, пищевой и др. отраслях промышленности [1, 2]. Производственный ареал гуара ограничен преимущественно Индией, Пакистаном, тропическими районами США, Австралии, Бразилии и некоторых стран Африки. В силу глобальных климатических изменений и успехов селекции культуры появились сорта, агрономический ареал которых продвинулся к северу. Зависимость от импортной камеди побудила российских ученых и аграриев к активным действиям по интродукции гуара в Россию. Это послужило импульсом мобилизации нового материала в коллекцию ВИР, и инициировало исследования культуры.

Гуар считается умеренно засухоустойчивой и жаростойкой культурой. Однако представление о засухоустойчивости гуара входит в некоторое противоречие с данными, полученными учеными разных стран. Известно, что на родине вида в Индии – ведущего производителя и экспортера семян гуара его выращивают в разных эколого-географических нишах на поливе и без полива [3]. Эколого-географические опыты возделывания гуара в РФ показали, что при оптимальном влагообеспечении семенная продуктивность, выход и вязкость камеди культуры увеличиваются многократно [4]. Необходимо понять механизмы засухоустойчивости растений для оптимизации режимов их выращивания и определения эффективности водопользования с последующей рекомендацией для вовлечения в российскую селекцию наиболее перспективных генотипов. С этой целью инициировано данное исследование. Создана выборка из 50 образцов *C. tetragonoloba* из коллекции ВИР по принципу максимальной репрезентативности генофонда культуры. Полевое фенотипирование осуществляли летом 2023 г. на Волгоградской опытной станции ВИР. Экспериментальное поле разделили на две равные части: контроль-полив (П) и опыт-искусственная засуха (З), на каждой высевали один и тот же набор из 50 образцов. Над полем был создан тент из полиэтилена для избежания попадания естественных осадков. Посев осуществляли 28 апреля, уборку – 25–27 сентября. Сумма активных температур выше 10 °С за время вегетации гуара составила 3286 °С. За это время выпало 106,4 мм осадков. Отметим, что нормой для культуры считают 3500 °С и 350–500 мм за вегетационный период [5]. Применяли точечный капельный полив. Объем воды для каждого растения был рассчитан согласно принципам капельного орошения и давления, и составлял около 0,8 л/ч x раз в неделю в течение 5 часов. Полив всего массива продолжали до полного образования последнего боба в нижних кистях, что произошло в среднем 27 июня. После этого на опытной половине поля (З) полив прекратили и больше не возобновляли. Во время уборки осуществляли анализ структуры семенной продуктивности: осуществляли измерения 5–7 растений по 10 хозяйственно ценным признакам (стебель – длина, число ветвей, число узлов со зрелыми бобами, число узлов с незрелыми бобами; число бобов в узле; масса зрелых бобов с растения; длина боба; число семян в бобе; масса семян с растения; масса 1000 семян). По всем фенотипическим признакам были вычислены описательные статистики, осуществлено сравнение признаков структуры урожая с помощью дисперсионного анализа. Статистические расчеты проводили с применением программы STATISTICA v.10. Физиологический скрининг изучаемой выборки включал измерения устьичной проводимости ($\text{ммоль}/(\text{м}^2 \text{ с})$), максимального квантового выхода фотосистемы II (F_v/F_m), содержания хлорофилла в листьях ($\text{мг} * \text{с}^{-2}$) при помощи порометра (SC-1 Leaf Porometer), импульсного флуориметра (MINI-PAM-II

Walz), хлорофиллометра (atLEAF CHL PLUS). Растения были протестированы по динамике стресс-ответа на физиологическом уровне на 60-й день после посева и на 14-й день после приложения засухи.

Основным результатом фенотипирования стал факт того, что в целом средние значения основных признаков продуктивности образцов гуара выше при засухе, чем при поливе, в частности по общему числу узлов и числу зрелых узлов на растении, массе зрелых бобов с растения, массе созревших семян с растения и массе 1000 семян. Достоверность отличий образцов по каждому признаку определяли с помощью НСР (наименьшей существенной разницы) при уровне значимости $p < 0.05$. Если $|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| \geq \text{НСР}_{0,05}$, где \bar{x}_1 , $[\bar{x}]_2$ – средние значения признака двух сравниваемых образцов, то образцы считаются статистически различны. Выявлены признаки с разной степенью изменчивости на П и З. Признаки, показывающие в обоих режимах – П и З – вариабельность средней степени: высота растения, длина боба, число семян в бобе и масса 1000 семян детерминируются в основном генотипом образца, условия среды на них влияют слабо. Двухфакторный анализ данных показал, что все признаки достоверно варьируют по образцам, по условиям режима выращивания и по межфакторному взаимодействию. Однако у признаков «число ветвей», «число бобов в узле», «число невызревших узлов» и «масса созревших семян с растения» нет достоверной изменчивости между выращиванием в условиях полива или в условиях засухи ($p \leq 0.05$). Выявлены образцы с максимальной (до $35,1 \pm 9,16$ г/растение, к-52938) и минимальной семенной продуктивностью на режиме засухи (не более $7,0 \pm 5,80$ г/растение, к-52581). Первые мы считаем толерантными к стрессору засухи, вторые – не устойчивыми. Выявлены образцы, высоко продуктивные на обоих режимах. Некоторые из них на поливе (к-52904, J.C.8926 и к-52924 местный из Индии) формировали продуктивность, сравнимую с максимальной на засухе. Другие снижали продуктивность в условиях полива, но незначительно (к-52891, Suvti, Индия и к-52920, местный из Австралии). Эти образцы можно назвать образцами с широкой адаптацией к условиям увлажнения. Общий вывод, сделанный по средним значениям признаков продуктивности всей выборки: использованный в нашем опыте режим полива оказался для большинства изученных образцов избыточным. Максимально непригодными для производства гуара в условиях излишнего влагообеспечения следует считать образцы с минимальной семенной продуктивностью, выращенные в режиме полива. Многие растения в этой группе образцов практически не завязали семена.

По результатам совокупности данных фенотипирования и физиологического анализа наиболее устойчивыми к засухе оказались образцы с максимальной продуктивностью в режиме З: к- 52938 (J.C.3118) и к-52891 (Suvti) из Индии

и не устойчивыми – с минимальной продуктивностью в режиме З: к-52854 – местный из Индии и к-52742 сорт Кубанский юбилейный из России. Индийский сорт *Suvti* можно считать сортом широкой адаптации. Таким образом, для использования в производственных посевах в РФ или для привлечения в российскую селекцию культуры гуара необходим скрининг достаточно большого набора образцов из коллекции ВИР для поиска наиболее адаптированных к условиям регионов культивирования.

Проведенный эксперимент выявил необходимость наряду с намеченными нами ранее в рамках проекта задачами (анализ изменения посевных качеств семян у контрастных по отношению к засухе образцов, их биохимического состава, в том числе выхода и качества камеди, паттернов первичных и вторичных метаболитов в семенах и др.), поставить дополнительные, в частности, определение оптимальной нормы подачи воды на насаждения гуара и выявление морфотипов растений (высота, число ветвей, число узлов) минимально подверженных воздействию стрессора засухи в данных условиях.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта 23-16-00195.

Список литературы

- 1 Mudgil D., Barak, S., Khatkar B.S. Guar Gum: Processing, Properties and Food Applications - A Review. *Journal of Food Science and Technology*. 2014, 51:409-418 (doi:10.1007/s13197-011-0522-x).
- 2 Hasan M.A., Abdel-Raouf M.E. Applications of guar gum and its derivatives in petroleum industry: A review. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2018, 27(4):1043-1050 (doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.03.005).
- 3 Дзюбенко Н.И., Дзюбенко Е.А., Потоккина Е.А., Булынцев С.В. Гуар *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.: характеристика, применение, генетические ресурсы и возможность интродукции в России (обзор) *Сельскохозяйственная биология*, 2017, 52(6):1116-1128 (doi: 10.15389/agrobiology.2017.6.111rus).
- 4 Kruchina-Bogdanov I.V., Miroshnichenko E.V., Shaukharov R.A., Kantemirova E.N., Golovina M.A., Abdullaev K.M., Balashov A.V., Rusinova E.V., Rusinov P.G., Potokina E.K. Impact of growing conditions on the gum properties of different genotypes of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019; 23(7):941-948 (doi 10.18699/VJ19.570).
- 5 Лебедь Д.В., Костенкова Е.В., Волошин М.И. Агрономическое обоснование размещения посевов *Cyamopsis tetragonoloba* L. на юге европейской части России. *Таврический вестник аграрной науки*. 2017. 1(9):53-64.

**Источники селекционно ценных признаков *Triticum polonicum* L.
и *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch.,
выявленные в условиях Татарстана**

Гайфуллина Г.Р.*¹, м.н.с.; Лысенко Н.С.², н.с.; Асхадуллин Данил Ф.¹, к.с.-х.н.,
в.н.с.; Асхадуллин Дамир Ф.¹, к.с.-х.н., в.н.с.

¹Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия

²ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

*email: trulik@ya.ru

В условиях Республики Татарстан была проведена комплексная оценка коллекционных образцов ВИР видов пшеницы *T. polonicum* L. и *T. petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. Подтверждены высокие показатели качества исследуемых образцов при сохранении высокой массы 1000 зёрен. Показано, что в условиях Средневолжского региона России пшеница Петропавловского сильно поражается мучнистой росой, бурой и стеблевой ржавчинами. Изученные образцы вида *T. polonicum* имеют высокую устойчивость к бурой листовой ржавчине пшеницы.

Ключевые слова: пшеница; *Triticum petropavlovskyi*; *Triticum polonicum*; устойчивость; урожайность

**Sources of breeding valuable traits of *Triticum polonicum* L.
and *Triticum Petropavlovsk* Udacz. et Migusch.
identified in the conditions of Tatarstan**

Gaifullina G.R.*¹, Lysenko N.S.², Askhadullin D.F.¹, Askhadullin D.F.¹

¹Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center RAS, Kazan, Russia

²FRC N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Saint-Petersburg, Russia

*email: trulik@ya.ru

In the conditions of the Republic of Tatarstan, a comprehensive assessment of VIR collection samples of the hexaploid species *T. polonicum* L. and the tetraploid species *T. petropavlovskyi* Udacz. et Migusch was carried out. High quality indicators of the studied samples were confirmed while maintaining a high mass of 1000 grains, controlled by the P1 gene. It was shown that in the conditions of the Middle Volga region of Russia, the Petropavlovsky wheat species is severely affected by powdery mildew, leaf and stem rust. The studied samples of the *T. polonicum* species exhibit high resistance to wheat leaf rust.

Key words: wheat; Triticum petropavlovskyi; Triticum polonicum; resistance; productivity

Пшеница Петропавловского или синьцзянская рисовая пшеница (*Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch.) (A^uBD, 2n=42), а также пшеница полоникум или польская пшеница (*T. polonicum* L.) (A^uB, 2n=28) уникальные виды, имеющие удлинённую наружную цветковую чешую по сравнению с внутренней и удлиненное, стекловидное зерно. Признано два взгляда на происхождение вида *T. petropavlovskyi* от вида *T. polonicum* – в результате мутации или гибридизации с гексаплоидными видами [1]. Удлинённые чешуи у данных видов контролируется одним видообразующим геном [2] имеющий плеiotропные эффекты [3]. Польская пшеница встречается редко как примесь в ареале твёрдой пшеницы в Эфиопии, странах Ближнего Востока, Афганистане, Средиземноморье, Закавказье и Китае. Пшеница Петропавловского относительно новый вид из Западного Китая, провинции Синьцзянь [4]. Коммерческие сорта данных видов пшеницы в Государственном реестре селекционных достижений отсутствуют. Целью исследований было провести предселекционное изучение образцов видов *Triticum petropavlovskyi* и *T. polonicum* из коллекции ВИР в условиях республики Татарстан.

Урожайность у изученных образцов пшеницы полоникум и петропавловского существенно ниже, чем у сравниваемых сортов мягкой и твёрдой пшеницы, максимальная урожайность отмечалась у образца к- 9277, *T. polonicum* и составила в среднем 180 г/м². Изученные образцы пшеницы видов *T. polonicum* и *T. petropavlovskyi* в условиях Татарстана имеют высокое содержание белка и клейковины в зерне существенно превышающее содержание белка у сортов мягкой пшеницы Йолдыз (филлер по качеству), Аль Варис (ценная по качеству) и Казанская Юбилейная (сильная по качеству). У образцов вида *T. petropavlovskyi* содержание белка в зерне в отдельные годы превышало 23 %, а клейковины 40 % (табл. 1).

Анализ незаменимых аминокислот показал, что у образцов вида *T. polonicum* и *T. petropavlovskyi* более низкое содержание изученных аминокислот, в сравнении со стандартными сортами твёрдой и мягкой пшеницей Таганрог и Йолдыз, за исключением содержания треонина, примерно на уровне стандартов, схожие данные получены в работах других исследователей [5] (табл. 2).

Известно, что данные виды отличаются крупнозёрностью (7–13 мм). Изучение, в условиях благоприятных для налива зерна (2023 г.), показало, что образцы вида *T. petropavlovskyi* и образцы к-62974, к-44059 вида *T. polonicum* практически не уступают по массе 1000 зерен стандарту твёрдой пшеницы сорту Таганрог и превосходят стандартный сорт мягкой пшеницы – Йолдыз (табл. 3).

Таблица 1 – Характеристика видов пшеницы, 2019–2023 гг.

№ п/п	№ по кат. ВИР	Название, происхождение	Урожайность г/м ²	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %
<i>T. polonicum</i>					
1	К-9277	Израиль	180±46*	17,4±1,3	28,8±5,2
2	к-62974	Сирия	113±20	19,2±1,2	31,4±4,8
3	к-44059	Китай	89±15	19,0±0,9	33,7±2,2
<i>T. durum**</i>					
<i>st</i>	-	Таганрог, Самарская обл.	595	15,9	30,1
<i>T. petropavlovskiy</i>					
4	к-51764	Китай	138±21	21,6±0,7	37,5±1,4
5	к-51766	Китай	137±20	21,8±0,5	37,7±0,9
<i>T. aestivum</i>					
<i>st</i>	к-66348	Аль Варис, Татарстан	463±68	13,4±0,6	24,8±2,0
<i>st</i>	к-66411	Йолдыз, Татарстан	428±60	11,9±0,8	21,8±2,3
<i>st</i>	к-64377	Казанская Юбилейная, Татарстан	386±74	14,2±0,6	26,2±2,0

*- ±SE (ошибка выборочной средней); **- данные за 2023 г.

Таблица 2 – Содержание дефицитных незаменимых аминокислот в белке, %

Номер кат. ВИР, название образца	Лизин		Метионин		Треонин		Триптофан	
	\bar{x}	SE	\bar{x}	SE	\bar{x}	SE	\bar{x}	SE
<i>T. polonicum</i> , 2022–2023гг.								
К-9277	2,95	0,85	1,22	0,15	3,15	0,57	1,72	0,22
к-62974	2,71	0,60	1,15	0,07	2,96	0,39	1,56	0,24
к-44059	2,56	0,47	1,04	0,20	2,85	0,23	1,54	0,19
<i>T. durum</i> , 2023 г.								
Таганрог, <i>st</i>	3,06	-	1,32	-	2,83	-	1,36	-
<i>T. petropavlovskiy</i> , 2021–2023 гг.								
к-51764	3,13	0,20	1,11	0,03	2,88	0,13	1,47	0,16
к-51766	3,01	0,19	1,02	0,02	2,83	0,14	1,45	0,20
<i>T. aestivum</i> , 2021–2023 гг.								
Йолдыз, <i>st</i>	3,37	0,63	1,65	0,29	2,88	0,34	1,83	0,11

Таблица 3 – Хозяйственно ценные признаки видов пшеницы

Номер кат. ВИР, название образца	Масса 1000 зёрен, г, 2023 г.	Натура зерна, г/л, 2023 г.	Высота растений, см, 2022–2023гг.	Устойчивость к полеганию, балл, 2023 г	Количество дней от всходов, 2019–2023 гг.	
					до колошения	до восковой спелости
<i>T. polonicum</i>						
К-9277	38,1	723	75	6	39	76
к-62974	42,6	704	71	5	40	76
к-44059	43,4	685	88	7	47	79
<i>T. durum</i>						
Таганрог, <i>st</i>	44,8	808	74	7	40*	82*
<i>T. petropavlovskiy</i>						
к-51764	42,4	705	77	7	40	75
к-51766	42,2	719	81	7	41	76
<i>T. aestivum</i>						
к-66411 Йолдыз, <i>st</i>	39,4	-	80	7	39	75
НСР ₀₅	1,2	21	17	-	-	-

* – данные за 2023 г., «-» – данные отсутствуют.

По высоте растения у всех образцов – полукарликовые, исключение – образец к-44059 – растения среднерослые [6], устойчивость к полеганию на уровне стандартов. Продолжительность периодов «всходы – колошение» и «всходы – восковая спелость» у изучаемых образцов находится на уровне среднеспелого стандарта Йолдыз, исключение – позднеспелый образец к-44059 вида *T. polonicum*.

В учетные годы (2019–2022 гг.) сложились благоприятные условия для развития листовых болезней. Образцы вида *T. polonicum* имеют более высокую полевую устойчивость к бурой листовой ржавчине (*Puccinia triticina* Erikss. (= *P. recondita*) Rob. ex Desm.f. *sp. tritici* Erikss. et Henn.)), стеблевой ржавчине пшеницы (*Puccinia graminis* Pers. f. *sp. tritici* Erikss. et Henn.) и мучнистой росе (*Blumeria graminis* DC, f. *sp. tritici* Marchal), чем образцы вида *T. petropavlovskyi*. (табл. 4).

Таблица 4 – Степень поражения и устойчивость к листостебельным болезням

Номер кат. ВИР, название образца	Степень поражения, %				<i>B. graminis</i> , балл*		
	<i>P. triticina</i>		<i>P. graminis</i>				
<i>T. polonicum</i>							
	2019	2022	2019	2022	2019	2022	2023
К-9277	0	15	0	15	8	7	5
к-62974	0	10	3	10	6	5	5
к-44059	0	0	5	30	6	6	5
<i>T. durum</i>							
Таганрог, <i>st</i>	-	20	-	5	-	5	7
<i>T. petropavlovskyi</i>							
к-51764	80	25	10	40	1-2	2-3	2-3
к-51766	70	30	30	30	1-2	2-3	2
<i>T. aestivum</i>							
к-66411 Йолдыз, <i>st</i>	ед.	15	40	40	3	7	5

*по 9-бальной шкале, 1 – поражено все растение, 9 – признаки поражения отсутствуют.

Образцы *T. petropavlovskyi* в сильной степени восприимчивы к мучнистой росе и бурой ржавчине, умеренно к стеблевой ржавчине. В результате исследований нами выделен источник устойчивости к бурой листовой ржавчине – образец к-44059, Китай; выявлены высокие показатели белка и клейковины в зерне у двух видов, что даёт возможность использования их в селекции твердой и мягкой пшеницы на качество. Повышение продуктивности этих видов будет завесить от успехов в преодолении негативного плейотропного эффекта гена ответственного за удлинение цветковой чешуи.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственных заданий Татарского НИИСХ – ФИЦ КазНЦ РАН: № 122011800138-7; ВИР (FGEM – 2023-0005).

Список литературы

- 1 Kang H.Y., Fan X., Zhang H.Q. et al. The origin of *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Misch.: demonstration of the utility of the genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase sequence // *Molecular Breeding*. 2010. Vol. 25. P. 381–395. DOI: 10.1007/s11032-009-9337-0
- 2 Liu J., Chen, Z., Wang Z. et al. Ectopic expression of *VRT-A2* underlies the origin of *Triticum polonicum* and *Triticum petropavlovskyi* with long outer glumes and grains. *Molecular Plant*. 2021. Vol. 14. P. 1472–1488. DOI: 10.1016/j.molp.2021.05.021
- 3 Okamoto Y., Takumi S. Pleiotropic effects of the elongated glume gene *Pl* on grain and spikelet shape-related traits in tetraploid wheat. *Euphytica*. 2013. Vol. 194. P. 207–218. DOI: 10.1007/s10681-013-0916-0
- 4 Дорофеев В.Ф. Пшеницы мира / Удачин Р.А., Семенова Л.В., Новикова М.В., Градчаннинова О.Д., Шитова И.П., Мережко А.Ф., Филатенко А.А. Ленинград: Колос, 1987. С. 560.
- 5 Тютюрев С.Л., Чмелева З.В., Мойса И.И., Дорофеев В.Ф. Изучение содержания белка и незаменимых аминокислот в зерне видов пшеницы и её диких сородичей // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1973. Т. 52. Вып. 1. С. 222–241.
- 6 Широкий унифицированный классификатор СЭВ рода *Triticum* L. Ленинград, 1989. С. 44.

DOI 10.18699/GPB2024-25

Идентификация ризосферных микроорганизмов аридных экосистем Астраханской области

Гальперина А.Р., к.б.н., доцент, Сопрунова О.Б., д.б.н., профессор, Бареева А.Ш., аспирант.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань, Россия

*email: alina_r_s@rambler.ru

В период 2019–2022 гг. проведены исследования по изучению микроорганизмов ризосферы и ризопланы культурных и дикорастущих растений. В ходе исследований сформирована коллекция из 50 изолятов, обладающих биотехнологически ценными свойствами: способностью к солюбилизации неорганических фосфатов, синтезу индолилуксусной кислоты, антифунгальной активностью. Видовая идентификация изолятов выявила представителей родов *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Mixta*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paenibacillus*.

Ключевые слова: аридные экосистемы; микроорганизмы ризосферы и ризопланы; свойства микроорганизмов

Identification of rhizosphere microorganisms in arid ecosystems of the Astrakhan region

Galperina A.R., Soprunova O.B., Bareeva A.Sh.

Astrakhan state technical university, Astrakhan, Russia

*email: alina_r_s@rambler.ru

In 2019-2022, research was carried out to study microorganisms of the rhizosphere and rhizoplane of cultivated and wild plants. During the research, a collection of 50 isolates was formed that have biotechnologically valuable properties: the ability to solubilize inorganic phosphates, synthesize IAA, and antifungal activity. Species identification of isolates revealed representatives of the genera Enterobacter, Klebsiella, Mixta, Pseudomonas, Bacillus, Paenibacillus.

Key words: arid ecosystems; microorganisms of the rhizosphere and rhizoplane; properties of microorganisms

Аридная зона – природная зона, характеризующаяся особенностями климата, приводящими к недостатку влаги для жизни организмов. Для растений, обитающих в аридных и полуаридных зонах, характерны сложные адаптационные стратегии, включающие в себя биохимические, физиологические и молекулярные механизмы для смягчения различных биотических и абиотических стрессов. Помимо приспособительных функций самих растений в аридных условиях существенно возрастает значимость ризосферной микробиоты, прошедшей эволюционный отбор на оптимальное функционирование и взаимодействие с макроорганизмом. Роль ризосферной микробиоты в увеличении доступности питательных веществ является ключом к разработке климатически оптимизированных агротехнических методов [1, 2].

Сообщество микроорганизмов ризосферы обладает пластичностью и способно адаптироваться к абиотическим стрессам, повышая устойчивость к ним растения. Ризосферные микроорганизмы аридных экосистем являются природным резервуаром для выделения штаммов с широким перечнем биотехнологически ценных свойств: солубилизации нерастворимых соединений фосфора, антагонизму к фитопатогенам, фиксацией молекулярного азота, увеличением пула органического углерода и синтезу фитогормонов [3].

В период 2019–2022 гг. проведены исследования по изучению микроорганизмов ризосферы и ризопланы следующих культурных и дикорастущих растений, произрастающих на территории Астраханской области: мята перечная – *Mentha piperita*, малина садовая – *Rubus idaeus*, смородина черная – *Ribes nigrum*, подсолнечник однолетний – *Helianthus annuus*, чеснок посевной – *Allium sativum*, подсолнечник клубеносный – *Helianthus tuberosus*), вяз мелколистный – *Ulmus parvifolia*, подорожник большой – *Plantago major*, верблюжья колючка обыкновенная – *Alhagi pseudoalhagi*, дурнишник обыкновенный – *Xanthium strumarium*; тростник южный – *Phragmites australis*; солодка голая – *Glycyrrhiza glabra*, полынь малоцветковая – *Artemisia pauciflora*, полынь австрийская – *Artemisia austriaca*, сарсазан шишковидный – *Halocnemum strobilaceum*; солерос европейский – *Salicornia europaea*; седобассия очитковидная – *Sedobassia sedoides*; сведа

высочайшая – *Suaeda altissima*; камфоросма монпельйская – *Camphorosma monspeliaca*; хвойник двуколосковый – *Ephedra distachya*; солянка содоносная – *Salsola soda*; астрагал яйцеплодный – *Astragalus testiculatus*; боялыч древовидный – *Xylosalsola arbuscula*; сведа солончаковая – *Suaeda salsa*.

Культурные растения подвергались агротехническому воздействию: регулярные поливы, подкормки и обработки от вредителей и заболеваний. Дикорастущие отбирались в местах, максимально удаленных от водоемов, солелюбивые – в местах явного засоления.

Изучение микроорганизмов вели методом накопительных культур, акцент делали на выделении фосфатмобилизующих микроорганизмов [4]. Всего за указанный период было исследовано более 125 проб ризосферы растений, поставлено 300 накопительных культур и выделено более 140 изолятов. Изучение тинкториальных признаков изолятов выявило доминирование грамотрицательных форм – 97 %, грамположительные формы составили – 3 %. По морфологии клеток все выделенные изоляты были представлены палочковидными формами, из которых спорообразующих – 3 %, неспорообразующих – 97 %. Активной подвижностью обладали 54 % изолятов.

50 изолятов, сохраняющих жизнеспособность *in vitro*, отобрали для последующих исследований [5–8].

При изучении способности изолятов к солюбилизации фосфора отмечено, что наиболее активно проявляют эти свойства 6 изолятов, увеличивая количество подвижного фосфора в среде до 6 мкмоль/мл за 60 часов.

Выявлено, что 19 изолятов способны к триптофаниндуцированному синтезу ИУК в количестве более 95 мкг/мл [9].

16 изолятов проявляют средний и высокий фунгистатический антагонизм по отношению к микромицетам р. *Alternaria*. Изоляты образуют зоны задержки роста микромицетов, подавляют развитие воздушного мицелия, способствуют формированию излишне разветвленного и септированного мицелия, а также сферопластоподобных структур.

Видовая идентификация изолятов проводилась путем секвенирования гена 16SpPHK с последующим поиском гомологичных последовательностей при использовании баз данных EzBioCloud.

По итогам исследований изоляты были идентифицированы как представители родов: *Enterobacter* (филум *Pseudomonadota*, класс *Gammaproteobacteria*, порядок *Enterobacterales*, семейство *Enterobacteriaceae*) – 36 изолятов; *Klebsiella* (филум *Pseudomonadota*, класс *Gammaproteobacteria*, порядок *Enterobacterales*, семейство *Enterobacteriaceae*) – 2 изолята; рода *Mixta* (филум *Pseudomonadota*, класс *Gammaproteobacteria*, порядок *Enterobacterales*, семейство *Erwiniaceae*); *Pseudomonas* (филум *Pseudomonadota*, класс *Gammaproteobacteria*, порядок

Pseudomonadales, семейство *Pseudomonadaceae*); *Bacillus* (филум *Bacillota*, класс *Bacilli*, порядок *Caryophanales*, семейство *Bacillaceae*); *Paenibacillus* (филум *Bacillota*, класс *Bacilli*, порядок *Bacillales*, семейство *Paenibacillaceae*) – по 1 изоляту.

Финансирование: исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-26-00227 «Генетическая паспортизация ризосферных микроорганизмов аридных экосистем с биотехнологически значимыми свойствами».

Список литературы

- 1 Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А. Экологизация степных агротехнологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 5–11. doi:10.25750/1995-4301-2019-3-005-011.
- 2 Backer R., Rokem J.S., Pangumaran G., Lamont J., Praslickova D., Ricci E., Subramanian S., Smith D.L. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture // *Frontiers in Plant Science*. 2018. V. 9. Article No. 1473. doi:10.3389/fpls.2018.01473
- 3 Ayangbenro A.S., Babalola O.O. Reclamation of arid and semi-arid soils: The role of plant growth-promoting archaea and bacteria // *Current Plant Biology*. 2021. V. 25. Article No. 100173. doi:10.1016/j.cpb.2020.100173
- 4 Методические указания по выделению микроорганизмов, растворяющих труднодоступные минеральные и органические соединения фосфора // Под ред. Г.С. Муромцева. Л.: ВНИИСХМ, 1981. 20 с.
- 5 Malinovskaya I.M. Determination of phosphate-dissolving activity of microorganisms on liquid and agarised media // *Agroecological Journal*. 2002. No. 3. P. 68–71.
- 6 Щербаков, А.В. Эндوفитные бактерии, населяющие семена пшеницы, перспективные продуценты микробных препаратов для сельского хозяйства // *Достижения науки и техники АПК*. 2013. №7. С. 35–38.
- 7 Актуганов Г.Э., Мелентьев А. И., Галимзянова Н. Ф., Широков А. В. Исследование миколитических свойств аэробных спорообразующих бактерий продуцентов внеклеточных хитиназ // *Микробиология*. 2008. Т. 77. N 6. С. 788-797.
- 8 Lane D.J. 16S/23S rRNA sequencing. In: *Nucleic acid techniques in bacterial systematics* / eds Stackebrandt E., Goodfellow M. New York.: John Wiley and Sons, 1991. P. 115-175.
- 9 Юсупова Д.М., Бареева А.Ш., Гальперина А.Р., Сопрунова О.Б. «Изучение способности ризосферных микроорганизмов к продукции ИУК и влиянию на рост растений» // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2023. №3. С. 83–90. doi:10.31677/2311-0651-2023-41-3-83-90.

Локализация гена FAS линий Немчиновский и Штамбовый гороха посевного (*Pisum sativum* L.)

Гордон М.Л. *, аспирант¹, м.н.с.²; Жернаков А.И., м.н.с.¹; Кулаева О.А., с.н.с.¹, к.б.н.; Зорин Е.А., м.н.с.¹, к.б.н.; Жуков В.А., зав. лаб.¹, к.б.н.

¹Лаборатория генетики растительно-микробных взаимодействий Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ), Санкт-Петербург, Россия

²Лаборатория Физиологической генетики гуара Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

*email: m.gordon.zelenoborsky@gmail.com

В данной работе проведено сравнение двух линий гороха посевного – Немчиновский и Штамбовый – обладающих аллелями гена FAS дикого типа и мутантной. Проанализированы данные геномного и транскриптомного секвенирования для обеих линий. Сделано предположение о локализации гена FAS и выявлены нуклеотидные полиморфизмы, отличающие исходную линию от мутантной.

*Ключевые слова: фасциация; FAS, горох посевной; *Pisum sativum*; Немчиновский; Штамбовый*

Localization of the FAS gene of the Nemchinovsky and Stambovy lines of garden pea (*Pisum sativum* L.)

Gordon M.L.^{1,2*}, Zhernakov A.I.¹, Kulaeva O.A.¹, Zorin E.A.¹, Zhukov V.A.¹

¹Genetics of Plant-Microbe Interactions laboratory, Russian National Research Institute of Agricultural Microbiology (ARRIAM), St. Petersburg, Russia

²Guar Physiological Genetics laboratory, N.I.Vavilov Russian National Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

*email: m.gordon.zelenoborsky@gmail.com

This work compares two pea lines – Nemchinovsky and Shtambovy – possessing wild type and mutant alleles of the FAS gene. Genomic and transcriptomic sequencing data for both lines have been analyzed. We have pinpointed genomic location of the FAS gene and identified nucleotide polymorphisms that distinguish the two lines.

*Key words: fasciation; FAS, garden pea; *Pisum sativum*; Nemchinovsky; Shtambovy*

Явление фасциации широко представлено в различных группах растений. В его основе лежит незавершенное разделение меристем при формировании различных органов, что внешне проявляется как утолщение стеблей, сдвоенность цветков, увеличение размеров плодов и другие аналогичные явления. Хотя разрастание отдельных органов растений вследствие фасциации может иметь хозяйственную ценность [1], куда больший интерес данное фенотипическое проявление представляет в контексте изучения генетического контроля развития меристем.

Для гороха посевного (*Pisum sativum* L.) известны мутантные линии, демонстрирующие явление фасциации. Генетический контроль этого признака для *P. sativum* впервые исследован ещё Грегором Менделем. Фасциация в его работе наследовалась как моногенный рецессивный признак. Позднее ген, ответственный за проявление фасциации, был назван *FASCIATA* (*FA*). Последующие исследования показали, что признак фасциации может контролироваться 2 или 3 генами [2]. Ген *FA2* был локализован в V группе сцепления. Точная локализация остальных генов, отвечающих за данный признак, остаётся неясной. В литературных данных встречаются предположения, что один из генов *FAS* кодирует компонент системы *CLAVATA*.

В представленной работе нами были использованы данные полногеномного секвенирования гороха посевного сорта Немчиновский, несущий аллель гена *FAS* дикого типа, и линии Штамбовый, обладающую мутантной копией гена *fas*.

В результате анализа данных секвенирования и детектирования нуклеотидных полиморфизмов, дополненных сопоставлением с транскриптомными данными, полученными ранее в нашей лаборатории, было установлено наиболее вероятное положение гена *FAS*. По нашим данным, наиболее вероятным кандидатом на роль гена *FAS* является *Psat5g277640* в координатах референсного генома линии Cameor [3].

Список литературы

- 1 Цаценко Людмила Владимировна, Дмитрова Елена Сергеевна Явление фасциации – феномен в развитии у растений // Научный журнал КубГАУ. 2023. №190.
- 2 Синюшин А.А., Гостимский С.А. Фасциация у гороха посевного: основные закономерности морфогенеза // Онтогенез. 2006. № 37(6). Р. 449–457.
- 3 Kreplak, Jonathan, et al. A reference genome for pea provides insight into legume genome evolution // Nature genetics. 2019. № 51.9. Р.1411–1422.

Изучение исходного материала для селекции раннеспелых сортов картофеля в условиях Лесостепи Новосибирского Приобья

Гуреева Ю.А. м.н.с.; Батов А.С., м.н.с.; Березовская А.Г., старший лаборант.

*Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
СО РАН, Новосибирск, Россия*

**email: gureva97@yandex.ru*

В 2022–2023 гг. на опытном поле СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН была проведена оценка 52 сортов картофеля, полученных из мировой коллекции ВИР, коллекции «ГенАгро» и биоресурсной коллекции Федерального исследовательского центра по картофелю им. А.Г. Лорха. Изучение коллекционного питомника позволило выявить высокопродуктивные образцы картофеля пригодные для селекции на раннеспелость.

Ключевые слова: картофель; раннеспелость; сорт; фертильность; исходный материал

The study of the source material for the breeding of early-maturing potato varieties in the conditions of the Forest-Steppe of the Novosibirsk region

*Gureeva Yu.A. *, junior researcher; Batov A.S., junior researcher, Berezovskaya A.G., senior laboratory assistant.*

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

**email: gureva97@yandex.ru*

In 2022–2023, 52 potato varieties obtained from the world VIR collection, the GenAgro collection and the bioresource collection of the Federal Potato Research Center named after A.G. Lorch were evaluated at the experimental field of SibRIPP&B – Branch of IC&G SB RAS. The study of the collection nursery made it possible to identify highly productive potato samples suitable for early ripening breeding.

Key words: potatoes; early maturity; variety; fertility; source material

Процесс селекции картофеля достаточно длительный, от получения настоящих семян картофеля до определения конкретного клона, который будет представлен в качестве сорта, обычно колеблется от 12 до 18 лет. Этот период времени необходим для сбора агрономических данных в селекционных питомниках, производства достаточного количества сертифицированных семян и прохождения Государственного сортоиспытания [1, 2].

В Западной Сибири основное направление селекции картофеля – это создание сортов преимущественно ранних и среднеранних групп спелости, пригодных

для промышленного производства и механизированного возделывания с высоким потенциалом и хорошими биохимическими показателями, устойчивых к различным распространенным болезням и абиотическим факторам среды [3, 4].

Селекционный процесс в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН состоит во всестороннем изучении коллекции сортов картофеля, выделении нового исходного материала, испытании его согласно схеме селекционного процесса, проведенных скрещиваний, создания новых гибридных комбинаций и получения новых сортов картофеля. Лучшие формы на основании фенотипической оценки и хозяйственно ценных и биологических признаков рассматриваются в дальнейшем как источники ценных признаков для селекции [5].

Объекты и методы исследований. Опыт закладывали в 2022–2023 гг. в Сибирском НИИ растениеводства и селекции – филиале ИЦиГ СО РАН, в лесостепной зоне Новосибирского Приобья.

В качестве материала для исследований использовали сортообразцы картофеля из мировой коллекции ВИР, коллекции «ГенАгро» и биоресурсной коллекции Федерального исследовательского центра по картофелю им. А.Г. Лорха. В процессе оценки коллекции картофеля по основным хозяйственно ценным признакам изучено 52 сорта.

Закладка опыта, проведение учетов, оценка образцов в полевых условиях – согласно методических рекомендаций ВИР (2010) и ВНИИКХ им. А.Г. Лорха (1980).

Математическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа, используя программное обеспечение SNEDECOR, разработанное О.Д. Сорокиным (Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009).

Метеоусловия 2022 г. характеризовались как слабая засуха (ГТК за вегетацию – 0,66). Однако температурный режим и количество осадков в июне месяце были благоприятны для роста и развития картофельных растений, +0,4 °С и 106,9 % от среднемноголетних данных, что позволило сформировать будущий урожай картофеля.

Вегетационный период 2023 года можно расценивать как недостаточно увлажненный (ГТК = 0,98). В мае наблюдалась очень сильная засуха (ГТК = 0,18), осадков за весь месяц выпало 5,5 мм (15 % от нормы). В июне установилась очень засушливая погода (ГТК = 0,46, средняя засуха), выпало 26,1 мм осадков (47 % от нормы), в том числе 5 мм – в конце первой декады месяца, и 18 мм – в конце третьей. В июле отмечены жаркие и засушливые условия. Влагообеспеченность оценивается как недостаточная (ГТК = 0,93). В августе недостаточное увлажнение сменилось проливными дождями, влагообеспеченность месяца – избыточная (ГТК = 2,04. Всего за месяц выпало 112,3 мм осадков (194 % от нормы).

Сильная засуха в начале вегетативного периода негативно отразилась на конечном урожае у изучаемых сортов картофеля, а большое количество осадков в конце сезона спровоцировало развитие болезней хранения (табл. 1).

Таблица 1 – Гидротермический коэффициент, 2022–2023 гг.

Год	Май	Июнь	Июль	Август	За вегетацию
Ср. мног.	1,25	1,07	1,13	1,13	1,13
2022	0,06	1,22	0,81	0,45	0,66
2023	0,18	0,46	0,93	2,04	0,98

Примечание: Увлажнение оптимальное, если ГТК = 1–1,5, избыточное — ГТК более 1,6, недостаточное — ГТК менее 1, слабое — ГТК менее 0,5.

Изучили 52 сорта различной группы спелости, отечественной и зарубежной селекции, наиболее продуктивные из них представлены в таблице 2. За стандарт взят сорт Розара, входящий в первую десятку по объему посевных площадей в Российской Федерации.

Таблица 2 – Лучшие сорта родительского питомника, 2022–2023 гг.

Сорт	Группа спелости	Ранний урожай, среднее 2022–2023 гг., т/га	Продуктивность			Фертильность, %	Ягодобразование, балл
			2022 г. г/куст	2023 г. г/куст	Среднее 2022–2023 гг., т/га		
Векас	05	593	1300	1131	1216	60	3
Краса Мещеры	04	538	1077	1153	1115	60	5
Розара, st	03	562	1189	1006	1098	70	5
Шах	04	513	1221	885	1053	30	7
Браво	04	668	1007	1050	1029	85	5
Хозяюшка	05	611	1073	957	1015	75	5
Одра	05	308	1094	913	1003	30	3
Калужский	03	482	1098	844	971	50	7
Варяг	05	498	1036	898	967	30	5
Самба	04	553	967	947	957	85	5
Тимо Ханккян	03	468	1187	674	931	90	7
Холмогорский	03	632	915	945	930	80	5
Colleen	03	352	1233	624	929	30	5
Башкирский	03	583	949	877	913	80	5
НСР _{0,05}			134	108			

Из 52 изученных образцов картофеля средняя урожайность свыше 900 г/куст (31,5 т/га) отмечена у 14 сортов, 6 из которых относятся к раннему сроку созревания: Розара, Калужский, Тимо Ханккян, Холмогорский, Colleen и Башкирский. Высокий ранний урожай в первую динамическую копку (60 дней п/п) в среднем за два года исследований отмечен у сорта Браво – 668 г/куст. Ранний урожай сорта-стандарта Розара составил 562 г/куст, его превзошли 5 сортов:

Башкирский – 583 г/куст, Векас – 593 г/куст, Хозяюшка – 611 г/куст, Холмогорский – 632 г/куст и Браво – 668 г/куст.

Продуктивность сортов картофеля значительно снизилась в 2023 году из-за засухи в начале вегетации. В среднем продуктивность свыше 1000 г/куст отмечена у 7 сортов: Odra, Хозяюшка, Браво, Шах, Розара, Краса Мещеры и Векас. Максимальная средняя урожайность во время уборки наблюдалась у среднеспелого сорта Векас – 1216 г/куст.

Известно, что подбор родительских пар в селекции картофеля является ключевой проблемой. Фертильность и самофертильность (естественное ягодообразование) исходных родительских форм является основополагающими признаком, определяющим успех гибридизации. Однако потенциальные возможности выбора фертильных сортов весьма ограничены, так как большинство сортов картофеля имеет стерильную пыльцу.

В результате изучения сортов коллекционного питомника высокую фертильность пыльцы имели сорта: Тимо Ханккян (90 %), Браво (85 %) и Самба (85 %), данные сорта рекомендуются использовать в качестве опылителей в процессе гибридизации.

Высокий балл естественного ягодообразования (7 баллов) отмечен у трех сортов: Шах, Калужский и Тимо Ханккян, данные сорта рекомендуются для использования в качестве материнских растений.

Выводы. Изучение коллекционного питомника в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН позволило выявить высокопродуктивные образцы картофеля, пригодные для селекции сортов раннего срока созревания: Розара, Башкирский, Векас, Хозяюшка, Холмогорский и Браво. Для селекции высокопродуктивных сортов картофеля рекомендуются следующие сорта: Odra, Хозяюшка, Браво, Шах, Розара, Краса Мещеры и Векас. В качестве отцовских растений для успешной гибридизации высокопригодны сорта с высокой фертильностью пыльцы: Тимо Ханккян, Браво и Самба. В качестве материнских растений рекомендуются сорта с высоким естественным ягодообразованием: Шах, Калужский и Тимо Ханккян.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0033.

Список литературы

- 1 Журавлева Е.В., Букаева Н.М., Филипчук А.А. Создание новых отечественных сортов картофеля на основе современных генетических технологий и методов селекции // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. №. 3. С. 92–94.
- 2 Дорожкин Б.Н. Перспективные модели сортов картофеля для Западной Сибири и генетические источники их реализации // Достижения науки и техники АПК. 2007.

№ 7. С. 11–14.

- 3 Сафонова А.Д., Салмина И.С. Основные результаты и перспективы селекции картофеля в лесостепи Приобья //Достижения науки и техники АПК. 2007. №. 12. С. 21–23.
- 4 Сафонова А.Д., Полухин Н.И., Артёмова Г.В. Направления и результаты селекционных исследований по картофелю в лесостепи Приобья //Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. №. 10. С. 32–34.
- 5 Батов А.С., Гуреева Ю.А. Исходный материал для селекции картофеля на продуктивность в условиях лесостепи Новосибирского Приобья //Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2023. №. 4. С. 22–29.

DOI 10.18699/GPB2024-28

Фенотипирование и физиологический скрининг как подходы для выявления засухоустойчивых сортов гуара

Гурина А.К.^{1}, Билова Т.Е.^{1,2}, к.б.н., асс., Казантаева М.¹, Шаухаров Р.³, Черевацкая М.А.^{1,3}, PhD, Фролов А.А.², д.б.н., зав. лаб., Вишнякова М.А.³, д.б.н., проф., зав. лаб.*

¹*Кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

²*Лаборатория аналитической биохимии и биотехнологии, Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева, РАН, г. Москва, Россия*

³*Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова», г. Санкт-Петербург, Россия*

**email: gnastyak0@gmail.com*

С целью отбора сортов растений гуара, демонстрирующих наибольшую устойчивость к дефициту влаги, в 2023 году на Волгоградской станции ВИР был произведен анализ пятидесяти образцов из коллекции института. Физиологический и фенотипический скрининг позволил отобрать кандидатов, проявляющих наиболее контрастную в отношении засухи реакцию.

Ключевые слова: гуар; засуха; гуаровая камедь; молекулярно-генетические маркеры

Phenotyping and physiological screening as approaches for identification of drought tolerant guar varieties

Gurina A.K.^{1}, Bilova T.E.^{1,2}, Candidate of Biological Sciences, Ass., Kazantayeva M.¹, Shaukharov R.³, Cherevatskaya M.A.^{1,3}, PhD, Frolov A.A.², PhD, Prof., Vishnyakova M.A.³, PhD, Prof., Head of Laboratory.*

¹*Department of Plant Physiology and Biochemistry, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

²*Laboratory of Analytical Biochemistry and Biotechnology, K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³*Federal Research Center "All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named*

after N.I. Vavilov", RAS, St. Petersburg, Russia
*email: gnastyak0@gmail.com

In order to select the varieties of guar plants showing the highest resistance to moisture deficit, fifty accessions from the Institute's collection were analyzed at the Volgograd station of VIR in 2023. Physiological and phenotypic screening made it possible to select candidates showing the most contrasting response to drought.

Key words: guar; drought; guar gum; molecular genetic markers

Растения гуара (*Cyamopsis tetragonoloba*) представляют собой стратегически важную культуру, поскольку их семена являются источником гуаровой камеди. Ключевое свойство данного полисахарида – формирование гидроколлоидов, устойчивых к замерзанию, – нашло своей применение во многих отраслях промышленности, в особенности, в горнодобывающем деле. Несмотря на то, что гуар является засухоустойчивым растением, различные его сорта демонстрируют генотипически обусловленную вариабельность в отношении чувствительности к дефициту влаги. С этой точки зрения выявление наиболее устойчивых сортов, поиск физиологических и молекулярно-генетических маркеров, обуславливающих данные черты, представляется необходимым для обеспечения стабильного производства камеди.

Для выявления таких маркеров был произведен физиологический и фенотипический скрининг пятидесяти образцов гуара из коллекции ВИР. Образцы были подобраны по принципу репрезентативности генофонда: максимально разнообразные по происхождению, селекционному статусу (сорта народной и научной селекции), габитусу растений и т.п. Исследование таких показателей, как устьичная проводимость, содержание хлорофилла и активность фотосистемы II в комбинации с показателями продуктивности позволило отобрать контрастные по отношению к засухе сорта. Дальнейшие исследования, а именно анализ целого ряда других физиологических параметров, а также получение данных на основе технологий постгеномных исследований (транскриптомики, протеомики и метаболомики), позволят установить определенные молекулярные механизмы и генетические маркеры, потенциально лежащие в основе сниженной чувствительности этих растений к ограниченному поступлению влаги, и, как следствие, стимулировать успешную селекцию новых устойчивых к засухе сортов.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 23-16-00195.

Идентификация ризосферных микроорганизмов с потенциальными полезными свойствами в условиях карбонатных почв

Думачева Е.В., д.б.н., в.н.с., Максимова П.В., м.н.с., Гаар А.В., м.н.с., Акимов А.В. м.н.с.

*Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса (ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»), Лобня, Московская область, Россия
email: laboratory_ph@mail.ru

Целью исследования является, выделения нескольких видов чистых культур микроорганизмов с поверхностей листьев, стеблей и зоны ризосферы корней двух видов растений мелового юга Среднерусской возвышенности. Выделенные чистые культуры будут депонированы в НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИгенетика. Так же в дальнейшем планируется на основе данного изучения, создания микробно-растительных комплексов и препаратов с антибактериальными свойствами.

Ключевые слова: Bacillus subtilis; Bacillus mojavensis; ризосфера корней; чистые культуры

Identification rhizosphere microorganisms with potential beneficial properties in carbonate soils Properties in carbonate soil conditions

*Dumacheva E.V. *, Maksimova P.V., Gaar A.V., Akimov A.V.*

*V.R. Williams Federal Scientific Centre for Forage Production and Agroecology (V.R. Williams VIC), Lobnya, Moscow Region, Russia
email: laboratory_ph@mail.ru

The aim of the study is to isolate several species of pure cultures of microorganisms from the surfaces of leaves, stems and rhizosphere zone of roots of two plant species of the Cretaceous south of the Central Russian Upland. The isolated pure cultures will be deposited in SIC "Kurchatov Institute" GosNIIgenetika – GosNIIgenetics. Also in the future it is planned to create microbial-plant complexes and preparations with antibacterial properties on the basis of this study.

Key words: Bacillus subtilis; Bacillus mojavensis; root rhizosphere; pure cultures

Изучение микробиома растительных организмов является важным направлением исследований в области изучения взаимоотношений «микроорганизмы-высшие растения». Понимание взаимодействия высших организмов с микробоценозом представляет важную научную проблему. Особый научный интерес для изучения представляют виды высших растений, перспективные для введения

в культуру в связи с их полифункциональным значением [1]. В частности, представители родов редких и эндемичных видов, которые являются перспективными для получения фитобиотиков и создания кормов нового поколения, поскольку содержат комплекс ценных БАВ [2, 3]. Микроорганизмы, выделенные с поверхности отдельных частей этих растений, а особенно, из зоны ризосферы, могут стать основой для разработки биопрепаратов против возбудителей многих болезней [4].

Очищенные культуры в данном исследовании представляют собой отдельные популяции, полученные из одной клетки и относящиеся к тому же виду или штамму. После процедуры очищения культуры подвергаются отбору и используются для создания лабораторных коллекций с нужными свойствами. Процесс очистки культур микроорганизмов является важным этапом при изучении вида, полученного из его естественной среды обитания [5].

В качестве источников для выделения микроорганизмов были выбраны многолетние дикорастущие виды флоры мелового юга Среднерусской возвышенности: *Hedysarum grandiflorum*, *Phlomis tuberosa*, *Artemisia hololeuca*, *Medicago falcata*, *Astragalus albicaulis*, *Matthiola fragrans* и другие [6, 7]. Работы по мобилизации биологических ресурсов микроорганизмов, которые являются частью микробиома растений в экстремальных условиях среды, ведутся в рамках исследований лаборатории физиологии сельскохозяйственных растений ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». Выделены ризосферные микроорганизмы, относящиеся к роду *Bacillus*. Бактерией с широким спектром приложений в биологии, биотехнологии и сельском хозяйстве является *B. subtilis*, которая широко используется в научных исследованиях как модельный организм для изучения различных биологических процессов и механизмов. Одним из видов, родственных *B. subtilis* является *B. mojavensis* – перспективный объект агробиологических и физиологических исследований. Штаммы *B. mojavensis* продуцируют ценные биохимические соединения, таких, как липопептидные антибиотики, ферменты и энзимы.

Девять видов изученных чистых культур микроорганизмов выделены с поверхностей листьев, стеблей и зоны ризосферы корней двух видов растений мелового юга Среднерусской возвышенности с использованием методов [8].

Из *Ph. tuberosa* были выделены и идентифицированы три микроорганизма – *Serratia marcescens* (PN1), *S. marcescens* (PN2), *Pseudomonas putida* (PN3). Так же, из *H. grandiflorum* были выделены и идентифицированы шесть микроорганизмов – *Staphylococcus aureus* (HL1), *Acinetobacter calcoaceticus* (HL2), *B. mojavensis* (HR1), *A. calcoaceticus* (HR2), *B. flexus* (HF1), *B. subtilis* (HF2). Из всех выделенных микроорганизмов больший интерес для дальнейшего исследования имеют два вида бактерий *B. mojavensis* (HR1) и *B. subtilis* (HF2). С поверхностей корней девяти дикорастущих видов высших растений выделены 25 образцов, у которых

изучены микроскопические особенности и оценена способность к спорообразованию. Была проведена идентификация полученных чистых культур до рода.

Из полыни белой (*A. hololeuca*) были выделены 2 колонии белого цвета с ровными краями, выпуклые, плоские. Один из образцов спорообразующий. Предполагаемый род микроорганизмов: *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*.

Из люцерны желтой (*M. falcata (romanika)*) были выделены 4 колонии. 2 колонии белого цвета с ровными краями, выпуклые, плоские. Оба образца кокки. Предполагаемый вид: *Staphylococcus*, *Micrococcus*. Следующая колония была спорообразующей палочкой белого цвета с неровными краями, плоская, пастообразная, шероховатая, с фестончатым краем. Предположительно может относиться к следующим родам микроорганизмов: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*. Последняя выделенная колония палочка прозрачно-белого цвета с неровными краями, плоская, пастообразная, шероховатая, с фестончатым краем. Предполагаемый вид: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*.

Из астрагала белостебельного (*A. albicaulis*) были выделены 2 колонии белого цвета с ровными краями, выпуклые. Оба образца не спорообразующие палочки. Предполагаемый род микроорганизмов: *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*.

Из иссопа мелового (*H. cretaceus*) выделены 7 колоний. 4 колонии кокки, палочки белого цвета с неровными краями, выпуклые. Один вид палочек спорообразующий. Предполагаемый род выделенных микроорганизмов: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*. Остальные 3 колонии палочки, кокки прозрачно-белого цвета с ровными краями, выпуклые. Спороброобразующих видов нет. Предположительно могут относиться к следующим родам микроорганизмов: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*.

Из левкоя душистого (*Matthiola fragrans*) были выделены 3 колонии не спорообразующих палочек. Колонии имели следующий внешний вид: прозрачно-белый цвет, ровный край, выпуклые. Предполагаемый род микроорганизмов: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*.

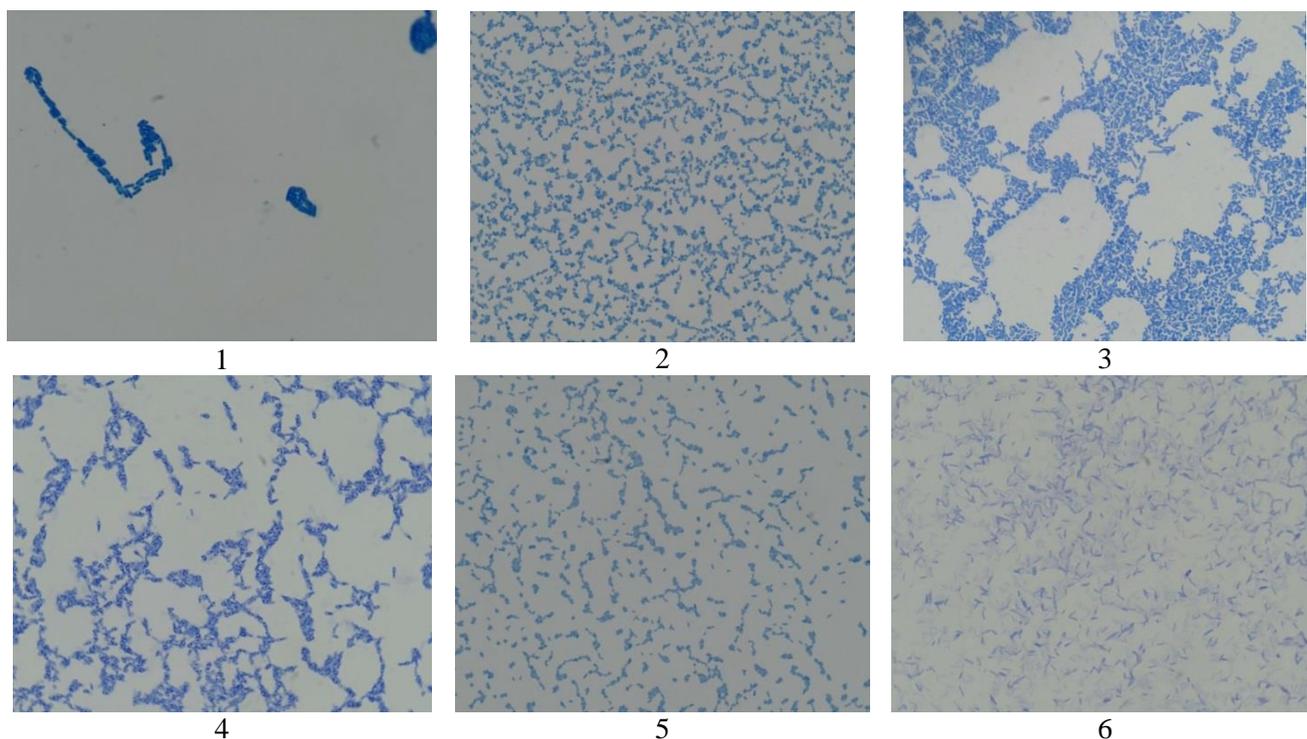
Из тимьяна мелового (*Thymus calcareus*) получилось выделить 2 чистые колонии. Они имели следующий внешний вид колоний: белый цвет, полупрозрачные, ровные края, выпуклые, фестончатый край. В микроскопии представлены в виде коротких палочек. Нет спорообразующих колоний. Предполагаемый род микроорганизмов: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*.

Из проломника Козо-Полянского (*Androsace koso-poljanskii*) выделены 4 чистых колоний. Внешний вид полученных колоний был следующим – две колонии были прозрачные, белого цвета, выпуклые, неровными краями, пастообразные. Другие две были белого цвета, с ровными краями, выпуклые. На микропрепарате

представлены в виде палочек. Среди выделенных чистых колоний одна спорообразующая. Предполагаемый род микроорганизмов: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*.

Из мать-и-мачехи (*Tussilago farfara*) была выделена одна чистая колония. Внешний вид колоний имеет следующий – прозрачного белого цвета, с ровными краями, выпуклые. Нет спор. Предполагаемый род микроорганизмов: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*.

Представлены результаты микрокопирования отдельных микроорганизмов (см. рисунок), выделенных из ризосферы высших растений – эндемиков мелового юга Среднерусской возвышенности.



Результаты микрокопирования отдельных микроорганизмов, выделенных из ризосферы эндемиков мелового юга Среднерусской возвышенности:
1 – Полынь беловойлочная (*A. hololeuca*), 2 – Люцерна желтая (румынская) (*M. falcata (romanik)*), 3 – Астрагал белостебельный (*A. albicaulis*), 4 – Иссоп меловой (*H. cretaceus*), 5 – Проломник Козо-Полянского (*A. Koso-Poljanskii*), 6 – Мать-и-мачеха (*T. farfara*)

Для дальнейшей работы по созданию микробно-растительных комплексов и препаратов с антибактериальными свойствами были депонированы в НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИГенетика два уникальных микроорганизма, которые относятся к видам *B. subtilis* и *B. mojavensis*.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Нацпроекта «Наука и университеты» в рамках создания молодежных лабораторий по Госзаданию FGGW-2022-0013 «Разработка теоретических основ ускоре-

ния интродукции, селекции и повышения эффективности семеноводства сельскохозяйственных растений на основе оценки сопряженности фундаментальных физиологических процессов».

Список литературы

- 1 Compant S., Samad A., Faist H., Sessitsch A. A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application // J. Adv. Res. 2019. V. 19. P. 29–37. doi: 10.1016/j.jare.2019.03.004.
- 2 Дегтярь О.В., Чернявских В.И. О состоянии степных сообществ юго-востока Белгородской области // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Биология. 2004. № 2. С. 254–258.
- 3 Думачева Е.В., Чернявских В.И. Биоресурсный потенциал бобовых трав на меловых обнажениях и карбонатных почвах Европейской России. Белгород : Издательский дом "Белгород", 2014. 144 с.
- 4 Studies of biological resources of *Urtica dioica* L. As initial material for breeding / E.V. Dumacheva, V.I. Cherniavskih, A.V. Prisniy [et al.] // Journal of International Pharmaceutical Research. 2018. Vol. 45. P. 473–476.
- 5 Leach J.E., Triplett L.R., Argueso C.T., Trivedi P. Communication in the phytobiome // Cell. 2017. V. 169, No 4. P. 587–596. doi: 10.1016/j.cell.2017.04.025.
- 6 Бабьева И.П., Голубев В.И. Методы выделения и идентификации дрожжей. М.: Пищевая промышленность, 1979. 120 с.
- 7 Sajfutdinova L.D., Kosolapov V.M., Cherniavskih V.I., Dumacheva E.V. Influence of ecological conditions of various habitats on individual morpho-biological and physiological features of *Hedysarum grandiflorum* Pall seeds // Materials v international youth applied research Forum “oil capital”, Khanty-Mansyisk Autonomous Okrug-Yugra, 23–24 марта 2023 года. AIP PUBLISHING, 2023. P. 040005–04005.
- 8 Лавренчук Л.С., Ермошин А.А. Микробиология. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета. 2019. 107 с.

DOI 10.18699/GPB2024-30

Влияние источника углеводов на параметры гаплопродукции в культуре пыльников тритикале (*×Triticosecale* Wittm.)

Дьячук Т.И. *, д.б.н, гл.н.с., Хомякова О.В., к.б.н., в.н.с., Акинина В.Н., к.б.н., в.н.с., Жилин С.В., аспирант, Калашикова Э.В., н.с., Сайфетдинов Е.А., м.н.с.

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

*email: cell_selection@list.ru

В статье представлены результаты сравнительной эффективности получения гаплоидных растений тритикале в культуре пыльников в зависимости от источника углеводов в индукционной питательной среде. Установлено, что замена сахарозы мальтозой привела к увеличению частоты формирования андрогенетических структур. Однако увеличение параметров, характеризующих ин-

дукцию андрогенеза, не сопровождалось увеличением значений параметров регенерации растений. Выход зеленых растений на 100 структур снизился на среде с мальтозой у генотипа №3, не изменился у генотипов №1 и №5 и увеличился у генотипа №2. Выявленная эффективность мальтозы обусловлена более высокой частотой формирования андрогенных структур, а не их улучшенной дифференцировкой в сравнении с сахарозой.

Ключевые слова: тритикале; селекция; гаплоидия; культура пыльников; углеводы

Effect of carbon source on parameters of haploid production in triticale anther culture (*×Triticosecale* Wittm.)

Dyachuk T.I., Khomyakova O.V., Akinina V.N., Zhilin S.V., Kalashnikova E.V., Saifetdinov E.A.*

Federal State Budgetary Scientific Organization «Federal Center of Agriculture Research of the South- East Region». Saratov, Russia

**email: cell_selection@list.ru*

The article presents the results of the comparative effectiveness of obtaining haploid triticale plants in anther culture, depending on the source of carbohydrates in the induction medium. It was found that replacing sucrose by maltose led to an increase in the frequency of formation of androgenetic structures. However, the increase in parameters characterizing the induction of androgenesis was not accompanied by an increase in the values of plant regeneration parameters. Yield of green plants per 100 structures decreased on the medium with maltose in genotype No. 3, did not change in genotypes No. 1 and No. 5, and increased in genotype No. 2. The revealed effectiveness of maltose is due to a higher frequency of formation of androgenic structures, and not to their improved differentiation compared to sucrose.

Key words: triticale; breeding; haploidy; anther culture; carbohydrates

Удвоенные гаплоиды являются эффективным источником получения гомозиготных линий по сравнению с традиционной селекцией. Применение метода культуры пыльников в селекции и генетике растений зависит от частоты формирования зеленых растений, успешности удвоения числа хромосом и стабильности удвоенных гаплоидов (ДН-линий) [3, 10]. Эффективность получения зеленых растений обусловлена тремя независимыми генетическими факторами: частотой формирования андрогенетических структур, их способностью к регенерации растений, а также соотношением зеленых и альбиносных регенерантов. Каждая из этих компонент находится под самостоятельным генетическим кон-

тролем [4]. Наименьший коэффициент наследуемости выявлен для числа зеленых растений, и этот показатель в равной степени зависит как от генотипа, так и окружающих условий [11].

Индукционная фаза андрогенеза является более значимой, чем фаза регенерации растений. На ее прохождение влияют различные факторы – генотип растения-донора, вид применяемого стресса и его интенсивность, условия выращивания донорных растений и др. [3, 8]. Частью стратегии улучшения протоколов получения гаплоидных растений является оптимизация состава индукционных питательных сред. Углеводы являются источником углерода для роста клеток и осмотическим регулятором культуральной среды [12]. Как правило, для культивирования пыльников злаков в качестве источника углеводов используется сахароза. Установлен положительный эффект использования мальтозы как для индукции эмбриоподобных структур, так и регенерации растений. Мальтоза используется самостоятельно или в различных комбинациях с сахарозой: мальтоза 90 г/л [1, 7, 9], сахароза 60 г/л + мальтоза 30 г/л [2], 50 г/л сахароза + 50 г/л мальтоза [5].

Несмотря на разработку различных протоколов получения гаплоидных растений тритикале в культуре изолированных пыльников и достигнутый прогресс в регенерации зеленых растений, до сих пор основными ограничивающими факторами остаются генотипическая зависимость, низкая частота регенерации растений и высокий процент альбиносных растений [6, 8, 10].

Цель настоящего исследования – оценить сравнительный эффект сахарозы и мальтозы в составе индукционной питательной среды на эффективность основных этапов получения гаплоидных растений тритикале в культуре пыльников *in vitro*. Объектами исследований были 5 селекционных образцов селекции ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Эффективность отдельных этапов андрогенеза оценивали по следующим показателям: число эмбриогенных пыльников на 100 культивируемых пыльников (ЭП/100КП) и число андрогенетических структур на 100 эмбриогенных пыльников (АС/100ЭП), общее число регенерантов на 100 культивируемых пыльников (Р/100КП) и на 100 андрогенетических структур (Р/100АС), число зеленых и альбиносных растений на 100 культивируемых пыльников и на 100 андрогенетических структур (ЗР/100КП, ЗР/100АС, АР/100КП и АР/100АС).

В результате культивирования пыльников тритикале все селекционные образцы сформировали эмбриогенные пыльники и андрогенетические структуры, однако способность к индукции андрогенеза между ними различалась. Генотип-зависимая природа андрогенеза является наиболее серьезной проблемой для использования метода в селекции [3]. У 4 генотипов из 5 установлено достоверное увеличение показателей ЭП/100КП и АС/100ЭП при замене в индукционной питательной среде сахарозы на мальтозу (табл. 1). Увеличилось не только общее

количество АС, но и число АС на 100ЭП или на один культивируемый пыльник. У двух генотипов с наименьшей отзывчивостью на среде с сахарозой (№ 3 и № 5) значения показателя АС/100КП увеличилось в 8,5–13 раз. Характерно, что среда с мальтозой обеспечила у этих генотипов и наибольшее число андрогенных структур на один пыльник. В общей сложности из 21273 культивируемых пыльников сформировалось 3818 андрогенных структур, из них 1118 на среде с сахарозой и 2700 – на среде с мальтозой. Положительный эффект мальтозы на индукцию андрогенеза может быть связан с эффектом голодания, вызванным замедленным гидролизом мальтозы в сравнении с сахарозой и относительно высоким и константным осмосом питательной среды [12].

Таблица 1 – Влияние источника углеводов на индукцию андрогенеза в культуре пыльников тритикале

Генотип	ПС	КП, штук	ЭП/100КП		АС/100КП		АС/100ЭП
			штук	%	штук	%	
1	сахароза	2970	340	11,4h	690	23,2f	202,9cd
	мальтоза	2945	403	13,7i	912	31,0h	226,3de
2	сахароза	2990	104	3,5cd	161	5,4bc	154,8ab
	мальтоза	2925	247	8,4g	534	18,3e	216,2de
3	сахароза	2179	53	2,4b	72	3,3a	135,8a
	мальтоза	2740	182	6,6e	768	28,0g	421,9g
4	сахароза	1138	42	3,7d	161	14,1d	383,3f
	мальтоза	1189	30	2,5b	69	5,8c	230,0e
5	сахароза	1143	20	1,7a	34	3,0a	170,0b
	мальтоза	1054	81	7,7f	417	39,6i	514,8h
всего		21273	1502		3818		
в т.ч.	сахароза	10420	559		1118		
	мальтоза	10853	943		2700		

Примечание: Варианты, сопровождаемые одинаковыми латинскими буквами, различаются незначимо по критерию Дункана

Однако преимущества питательной среды с мальтозой, выявленные на этапе индукции андрогенеза, не сопровождается увеличением значений показателей регенерации растений (табл. 2). Необходимо отметить, что различные показатели, оценивающие эффективность андрогенеза по отношению к культивируемым пыльникам, характеризуют общую эффективность метода (затраты на отбор доноров, стерилизацию колосьев, подготовку питательных сред, введение пыльников в культуру и т.д.). Однако регенерация растений зависит от качества андрогенных структур, сформированных в эмбриогенных пыльниках. Выявлена различная реакция генотипов на источник углеводов по всем показателям, характеризующим регенерацию растений – нейтральная (№ 1 и № 5), снижение значений показателя на среде с мальтозой (№ 3) и их увеличение (№ 2).

Таблица 2 – Влияние источника углеводов на регенерацию растений

Генотип	Углевод	Получено растений					
		всего		зеленых		альбиносов	
		P/100КП	P/100АС	ЗР/100КП	ЗР/100АС	АР/100КП	АР/100АС
1	сахароза	6,7d	28,8fg	2,0d	8,3cde	4,8d	20,6ef
	мальтоза	8,7e	28,2efg	2,8e	8,9de	6,0e	19,3def
2	сахароза	1,2a	23,0def	0,7abc	13,0f	0,5a	9,9b
	мальтоза	5,5bcd	30,1g	3,6f	19,8g	1,9b	10,4b
3	сахароза	0,7a	20,8d	0,4ab	11,1ef	0,3a	9,7b
	мальтоза	2,1a	7,6a	1,2bcd	4,4b	0,9ab	3,1a
4	сахароза	1,1a	7,4a	0a	0a	1,1ab	7,5b
	мальтоза	1,3a	23,2def	0,1a	1,4ab	1,3ab	21,7f
5	сахароза	0,5a	17,6cd	0,1a	2,9ab	0,4a	14,7c
	мальтоза	5,8cd	14,6bc	1,3cd	3,4b	4,5cd	11,3bc

Примечание: Варианты, сопровождаемые одинаковыми латинскими буквами, различаются незначимо по критерию Дункана.

В целом по опыту получено 822 растения, из которых 553 – на среде с мальтозой и 269 – с сахарозой. Среди общего числа растений 322 были зелеными. Несмотря на то, что на среде с мальтозой получено больше зеленых растений (235), чем на среде с сахарозой (87), эти различия связаны не с улучшенным качеством андрогенных структур, а с их количеством (табл. 1 и 2). Несмотря на генотипическую зависимость показателей андрогенеза тритикале, степень отзывчивости генотипа может быть модифицирована составом индукционных питательных сред путем включения мальтозы в концентрации 90 г/л.

Финансирование: Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания по теме FNWF-2022-0001 «Ускоренное создание сортов и линий тритикале на основе удвоенных гаплоидов».

Список литературы

- 1 Ержебаева Р.С., Абдурахманова М.А., Бастубаева Ш.О., Таджибаев Д. Эмбриогенез и регенерация растений в культуре пыльников гексаплоидной тритикале (*Triticosecale* Wittmack) под влиянием цитокинина зеатина. Сельскохозяйственная биология. 2019. Т.54 (5). С. 934–945. doi:10.15389/agrobiologi.2019.5.934rus.
- 2 Тимонова Е.М., Адонина И.Г., Салина Е.А. Изучение влияния чужеродных транслокаций на показатели андрогенеза у линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183(1). С. 127–134. doi:10.30901/2227-8834-2022-1-127-134.
- 3 Asif M. Androgenesis: A Fascinating Doubled Haploid Production Process. Progress and Opportunities of Doubled Haploid Production. Switzerland: Springer Int. Publishing Switzerland. 2013. P. 7–44. doi:10.1007/s11627-013-9514-z.
- 4 El-Fatah A., Bahaa E.S., Sayed M.A., El-Sanusy S.A. Genetic analysis of anther culture response and identification of QTLs associated with response traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). Molecular Biology Reports. 2020. Vol. 47(12). P. 9289–9300. doi:10.1007/s11033-020-06007-z.

- 5 Gonzalez J.M. and Jouve N. Improvement of anther culture media for haploid production in triticale. *Cereal Research Com.* 2000. V. 28 (1–2). P. 65–72.
- 6 Lantos C., Bona L., Boda K. Pauk J. Comparative analysis of *in vitro* anther-and isolated microspore culture in hexaploid triticale (\times *Triticosecale* Wittmack) for androgenetic parameters. *Euphytica.* 2014. Vol. 197. P. 27–37. doi:10.1007/s10681-013-1031-y.
- 7 Marciniak K., Banaszak Z., Wedzony M. Effect of genotype, medium and sugar on triticale (\times *Triticosecale* Wittm.) anther culture response. *Cereal Research Com.* 1998. Vol. 26(2). P. 145–151.
- 8 Niazian M. and Shariatpanahi M.E. *In vitro*-based doubled haploid production: recent improvements. *Euphytica.* 2020. Vol. 216: 69. doi:10.1007/s10681-020-02609-7.
- 9 Ponitka A. and Slusarkiewicz-Jarzina A. The effect of Liquid and Solid Medium on Production of winter Triticale ((\times *Triticosecale* Wittm.) Anther-Derived Embryos and Plants. *Cereal Research Com.* 2007. Vol. 35(1). P. 15–22.
- 10 Wędzony M., Zur I., Krzewska M., Dubas E., Szechynska-Hebda M. and Wąsek I. Doubled Haploids in Triticale. *Triticale.* Switzerland: Springer International Publishing Switzerland. 2015. P. 111–128. doi:10.1007/978-3-319-22551-7_6.
- 11 Zheng M.Y. Microspore culture in wheat (*Triticum aestivum*) – doubled haploid production via induced embryogenesis. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 2003. Vol. 73. P. 213–230.
- 12 Zhou H., Zheng Y., Konzak C.F. Osmotic potential of media affecting green plant percentage in wheat anther culture. *Plant Cell Rep.* 1991. Vol.10. P. 63–66.

DOI 10.18699/GPB2024-31

**Фитостимулирующие действие комплексных препаратов
на основе влагоудерживающих полимеров и клеток бактерий
Pseudomonas peli – продуцентов гидролитических ферментов
на рост кресс-салата *Lepidium sativum***

Елисеева А.Д. *, м.н.с.; Протасова Е.М., м.н.с.; Максимов А.Ю., к.б.н, с.н.с.

ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, г. Пермь,
Россия

*email: liamrik@list.ru

*Исследовано влияние комплексных препаратов, содержащих полимерную основу и бактериальные клетки, продуцирующие гидролитические ферменты, на рост модельного растения кресс-салата сорта Забава. Установлено, что инокуляция в почву бактериальной культуры *Pseudomonas peli* 3Т БЕЖ в комплексе с полиакриламидным гидрогелем оказывает умеренное стимулирующее действие на рост растений. Стимулирующий эффект становится более выраженным при отсутствии полимерного стабилизатора.*

*Ключевые слова: гидролитические ферменты; гидрогель; *Pseudomonas peli*; кресс-салат; бактериальные препараты*

Phytostimulating effects of complex preparations based on moisture–retaining polymers and *Pseudomonas peli* bacterial cells – producers of hydrolytic enzymes on the growth of *Lepidium sativum* watercress

*Eliseeva A.D. *, Protasova E.M., Maksimov A.Yu.*

Perm Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

**email: liamrik@list.ru*

*The influence of complex preparations containing a polymer base and bacterial cells producing hydrolytic enzymes on the growth of a model plant of watercress variety «Zabava» was studied. It has been established that inoculation into the soil of the bacterial culture *Pseudomonas peli* 3T BEG in combination with a polyacrylamide hydrogel has a moderate stimulating effect on plant growth. The stimulating effect becomes more pronounced in the absence of a polymer stabilizer.*

*Key words: hydrolytic enzymes; hydrogel; *Pseudomonas peli*; watercress; bacterial preparations*

Основная задача использования микроорганизмов в растениеводстве заключается в повышении урожайности путем стимуляции роста и раскрытия потенциала растений [1, 2]. В разнообразной микробиоте почвы существуют бактерии, производящие гидролитические ферменты, необходимые для гумификации органических веществ, формирования почвы, питания растений и здорового функционирования корневой системы. Интересным направлением является использование новых штаммов – продуцентов гидролитических ферментов, выделенных из защелоченных природных или техногенных источников, в составе комплексных препаратов для обработки органических остатков [3–5]. Стабильность бактериальных добавок может быть повышена в составе комплексных препаратов на полимерной основе. В полимерные гидрогели могут быть включены содержать минеральные и органические компоненты, удобрения, микроэлементы, растительные гормоны, средства защиты от болезней, а также бактериальные клетки. Эти компоненты защищены от вымывания из почвы и остаются доступными для корней растений [6].

В данном исследовании использовали бактериальный штамм *Pseudomonas peli* 3Т БЕЖ, продуцент гидролитических ферментов – амилазы и липазы полученные из коллекции Лаборатории молекулярной биотехнологии ИЭГМ УрО РАН, ранее выделенные из образцов поверхностного грунта старой карты содового шламохранилища АО «Березниковский содовый завод». Эти культуры. В ходе эксперимента в грунт вносили суспензию клеток бактерий в количестве 50 мг клеток по сухому весу на 150 г грунта, а также использовали комплексные

препараты бактерий, которые содержали 5 г увлажненного гидрогеля полиакриламида с 15 % содержанием. В качестве модельного объекта был посажен кресс-салат сорта «Забава», в количестве 30 семян на каждый вариант. В качестве грунта использован торфогрунт из Краснокамского района Пермского края, не обогащенный удобрениями. Варианты эксперимента:

К – контроль, без внесения гидрогелей и бактериальной массы;

ГГ1 – поперечно-сшитый полимер акриламида (15 % АА) в количестве 5 г;

ГГ1 ЗТБЕЖ – комплексный препарат на основе ГГ1 и биомассы бактерий в концентрации 10^9 кл/мл в количестве 5 г;

ЗТБЕЖ Х – инактивированные клетки бактерий в концентрации 10^9 кл/мл в количестве 5 г;

ЗТБЕЖ – клетки бактерий в концентрации 10^9 кл/мл в количестве 5 г.

Выращивание проводили в условиях светокультуры в фитотроне при температуре 25 °С в условиях 15-часового фотопериода.

Результаты измерения морфометрических параметров после культивирования в течение 20-ти суток представлены в таблице.

Средние морфометрические параметры кресс-салата на 20-е сутки роста

Вариант	Количество ростков	Средняя длина побега, см	Средняя длина корня, см	Средняя масса растения, г
К	21	3,25±1,11	1,64±0,27	0,034±0,009
ГГ1	23	3,64±0,76	1,58±0,29	0,026±0,009
ЗТБЕЖ	25	4,16±1,27	1,88±1,47	0,026±0,006
ЗТБЕЖ Х	8	2,71±0,92	0,96±0,54	0,028±0,009
ГГ1 ЗТБЕЖ	20	3,64±0,74	3,46±0,68	0,027±0,004

Показано, что инокуляция бактериями *P. peli* ЗТБЕЖ в значительной степени стимулирует рост кресс-салата. Однако в вариантах с внесением бактерий в составе комплексного препарата, фитостимулирующий эффект был менее выражен, но применение такого препарата позволило сократить объем вносимой воды на 25 % по сравнению с вариантами без гидрогеля. Возможно, небольшое снижение фитостимулирующего действия объясняется тем, что происходит замедление корневой системы растений, а также диффузионными ограничениями. Однако для достижения более выраженного эффекта, необходимы дальнейшие эксперименты с оптимизацией дозировки препарата.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке государственного задания, номер государственной регистрации НИОКТР 122031100058-3, в части эксперимента в условиях светокультуры. В части микробиологических исследований и получения активного микробного препарата работа поддержана грантом № С-26/507 Минобрнауки Пермского края, в части получения комплексного препарата на основе гидрогеля – грантом УМНИК № 18124ГУ/2022.

Список литературы

- 1 Мотина Т.Ю., Дегтярева И.А., Давлетшина А.Я., Яппаров И.А., Алиев Ш.А., Бабынин Э.В. Биоудобрения комплексного действия на основе консорциума микроорганизмов и наноструктурных агроминералов для получения экологически безопасной продукции растениеводства // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 12. С. 122–126.
- 2 Самарина Л.С., Маляровская В.И., Рогожина Е.В., Малыкова Л.С. Эндофитные микроорганизмы как промоутеры роста растений в культуре *in vitro* // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 5. С. 917–927.
- 3 Демаков В.А., Максимов А.Ю., Кузнецова М.В., Овечкина Г.В., Ремезовская Н.Б., Максимова Ю.Г. Биологическое разнообразие нитрилметаболизирующих бактерий антропогенно-измененных почв Пермского края // Экология. 2007. № 3. С. 185–190.
- 4 Максимов А.Ю., Максимова Ю.Г., Шилова А.В., Щетко В.А. Культуры микроорганизмов – продуцентов гидролитических ферментов, перспективные для переработки отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. 2021. Т. 13. С. 348–359.
- 5 Максимов А.Ю., Быкова Я.Е., Пьянкова Е.В., Щетко В.А., Максимова Ю.Г. Препараты гидролитических ферментов из галоалкалотолерантных бактерий для целей сельского хозяйства // Актуальная биотехнология. 2022. № 1. С. 99–101.
- 6 Максимова Ю.Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 1. С. 23–42.

DOI 10.18699/GPB2024-32

Сложные эфиры орто-фталевой кислоты как инструмент защиты растений от фитопатогенов при прорастании семян

*Еникеев А.Г.**, к.б.н., в.н.с.; *Кустов В.А.*, вед. технолог; *Пермяков А.В.* к.б.н., с.н.с.; *Семёнов А.А.* д.х.н., вед. технолог.

ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

**email: enikeev@sifibr.irk.ru*

Сложные эфиры орто-фталевой кислоты – новая группа вторичных метаболитов растений. Функции фталатов в растениях неизвестны. При прорастании семян пшеницы выявлено значительное увеличение содержания этих соединений. Обсуждается роль фталатов в защите растений от фитопатогенов на этапе прорастания семян.

Ключевые слова: яровая пшеница; прорастание семян; защита от фитопатогенов; орто-фталаты

Esters of ortho-phthalic acid as a tool for protecting plants from phytopathogens during seed germination

*Enikeev A.G.**, *Kustov V.A.*, *Permyakov A.V.*, *Semenov A.A.*

Ortho-phthalic acid esters are a new group of secondary plant metabolites. The functions of phthalates in plants are unknown. During germination of wheat seeds, a significant increase in the content of these compounds was observed. The role of phthalates in protecting plants from phytopathogens at the stage of seed germination is discussed.

Key words: spring wheat; seed germination; protection against phytopathogens; ortho-phthalates

Аллелопатия – один из важнейших механизмов обеспечивающих взаимодействие растений с окружающей средой [1]. К числу соединений, обладающих аллелопатической активностью, относятся сложные эфиры *орто*-фталевой кислоты (фталаты), часто обнаруживаемые в составе эфирных масел [2, 3]. Долгое время эти соединения рассматривались только как промышленные поллютанты, однако в настоящее время их природное происхождение подтверждено большим числом исследований [4–6]. Физиологические функции фталатов в растениях неизвестны. Фталаты обладают широким спектром биологической активности в том числе антибактериальными, фунгицидными и противовирусными свойствами, что дает основание считать одной из их функций защиту от фитопатогенов. При выходе из состояния покоя и прорастании семян происходит активация многих систем метаболизма, и том числе механизмов защиты. Большую роль в защите растений от фитопатогенов играют фенольные соединения [7], к числу которых относятся фталаты. Цель работы – оценить изменения содержания фталатов в семенах яровой пшеницы в процессе прорастания.

Материалы и методы. Объект исследований – семена яровой пшеницы *Triticum aestivum* L., сорт Ирень. Семена проращивали в стеклянных колбах в стерильных условиях (стерилизация 3 % перекисью водорода) на дистиллированной воде в темноте, при 26 °С. Фазы прорастания семян определяли по И.Г. Строна [8]. В указанное в схеме опыта время проростки (семена) пшеницы замораживали, а затем высушивали лиофильно. Полученный материал измельчали и трижды экстрагировали легкой фракцией петролейного эфира. Для удаления веществ, мешающих анализу, объединенные экстракты в течение 3 часов обрабатывали окислителем, равным по массе анализируемому образцу, на магнитной мешалке. Объединённый фильтрат упаривали досуха на ротормном испарителе и растворяли в точно измеренном растворе динонилфталата в ацетонитриле (внутренний стандарт). Анализ образцов проводили методом ВЭЖХ на хро-

матографе Shimadzu LC 10AT (Япония), колонка Милихром C18 2x75 (Новосибирск, Россия). Элюент 100 % ацетонитрил (Криохром, Россия). Стандарты фталатов для хроматографии (Хром Лаб, Россия). Количество фталевых эфиров определяли сравнением площадей хроматографических пиков с площадью пика внутреннего стандарта.

Окислитель. 10 г окиси алюминия для хроматографии вносили в 100 мл 1% раствора перманганата калия в ацетоне и перемешивали на магнитной мешалке при комнатной температуре до полного исчезновения окраски. Отфильтровали, промывали ацетоном.

Результаты и обсуждение. Во всех исследуемых образцах присутствуют дибутилфталат (ДБФ) и диэтилгексилфталат (ДЭГФ), что совпадает с ранее полученными данными [9]. Содержание фталатов в проростках пшеницы на разных стадиях прорастания представлены в таблице. Характер изменений содержания ДБФ и ДЭГФ в процессе прорастания семян пшеницы различен. Содержание ДБФ в исходных (сухих) семенах составило около 4 мкг/г сухого веса. В фазе водопоглощения, содержание этого соединения возрастало в 2-3 раза, оставаясь на этом уровне до фазы становления проростка, после чего возвращалось к исходному уровню. Содержание ДЭГФ в сухих семенах не превышало 2–3 мкг/г. На последующих стадиях, начиная с фазы набухания (2 сут), содержание ДЭГФ значительно увеличилось, достигая максимума в фазе становления проростка (5 сут). Содержание ДЭГФ при этом превышало исходное значение более чем в 20 раз. В дальнейшем, содержание ДЭГФ снижалось, стабилизируясь к 7-м суткам на уровне $\frac{1}{4}$ от максимума.

Содержание диалкиловых фталатов в семенах и проростках пшеницы (мкг/г сухого веса). N=3

Фазы прорастания (сутки)	ДБФ	ДЭГФ
Исходные семена (0)	4±1	2±1
Водопоглащение (1)	13±1	4±1
Набухание (2)	9±1	14±1
Рост первичных корешков (3)	9±2	29±1
Развитие ростка (4)	13±3	38±1
Становление проростка (5)	8±1	63±2
6 суток	8±2	37±2
7 суток	4±2	17±1
9 суток	5±1	17±1

Полученные результаты дают основание считать одной из функций ортофталатов в растениях участие в механизмах врожденного иммунитета, действующих на начальных этапах прорастания семян. Основная роль в формировании

устойчивости, обусловленной этими соединениями, принадлежит ДЭГФ. Физиологические функции ДБФ, вероятно, не связано с защитой от фитопатогенов, или его действие носит вспомогательный характер

Благодарности: Авторы выражают благодарность А.В. Поморцеву за предоставленные семена пшеницы.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках базового бюджетного финансирования проект: «Изучение молекулярных механизмов регуляции физиологических процессов и аллелопатии в растительно-микробных взаимоотношениях» (№ гос. регистрации – 121031300011-7).

Список литературы

- 1 Поляк Ю. М., Сухаревич В. И. Аллелопатические взаимоотношения растений и микроорганизмов в почвенных экосистемах // Успехи современной биологии. 2019. Т.139, №2. С.147-160. doi:10.1134/50042132419020066
- 2 Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Митрукова Г.Г., Чернова А.М. Летучие низкомолекулярные метаболиты водных макрофитов произрастающих на территории России и их роль в гидроэкосистемах // Сибирский экологический журнал. 2014. №4. С.573-591.
- 3 Qiming X., Haidong C., Huixian Z., Daqiang Y. Allelopathic activity of volatile substance from submerged macrophytes on *Microcystin aeruginosa* // Acta Ecol. Sinica. 2006. Vol. 26, N11. P.3549-3554.
- 4 Zhang H., Hua Y., Chen J., Li X., Bai X., Wang H. Organism-derived phthalate derivatives as bioactive natural products // Journal of Environmental Science and Health, Part C. 2018. Vol.36. P.125-144. <https://doi.org/10.1080/10590501.2018.1490512>
- 5 Roy R.N. Bioactive natural derivatives of phthalate ester // Critical Reviews in Biotechnology. 2020. Vol.40. P.913-929. doi:10.1080/07388551.2020.1789838
- 6 Semenov A.A., Enikeev A.G., Babenko T.A., Shafikova T.N., Gorshkov A.G. Phthalates – a strange delusion of ecologists // Theoretical and Applied Ecology. 2021. N1. P.16. doi:10.257550/1995-4301-2021-1-016-021
- 7 Прусакова Л.Д., Кефели В.И., Белопухов С.Л., Вакуленко В.В., Кузнецова С.А. Роль фенольных соединений в растениях // Агрехимия. 2008. №7. С.86-96.
- 8 Строна, И.Г. Общее семеноведение полевых культур. М.: Колос, 1966. 464 с.
- 9 Enikeev A.G., Semenov A.A., Permyakov A.V., Sokolova N.A., Gamburg K.Z., Dudareva L.V. Biosynthesis of *ortho*-phthalic acid esters in plant and cell cultures // Appl. Biochem. Microbiol. 2019. V.55, N3. P.294-297. doi:10.1134/S0003683819020066

Влияние чужеродных замещений и транслокаций на проявление признаков, определяющих устойчивость к стрессам и качество зерна мягкой пшеницы

Ефремова Т.Т.^{1}, к.б.н., с.н.с.; Чуманова Е.В.¹, м.н.с.; Соболев К.В.^{1,2}, магистрант; Кондратьева И.В.², к.с.-х.н., доцент.*

¹*Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*
**email: efremova@bionet.nsc.ru*

Получены голубозёрные линии с чужеродными транслокациями, несущими гены устойчивости к заболеваниям (пирамида генов от ржи и пырея: Lr26/Pm8/Sr31, Lr19/Sr25, Lr6Ai#2/Sr6Ai/Pm6Ai) и исследованы особенности формирования изучаемых признаков в зависимости от комбинаций чужеродных хромосом или их сегментов. Изучено влияние чужеродного замещения хромосом 5R(5A) на тип развития и время колошения мягкой пшеницы.

Ключевые слова: мягкая пшеница; чужеродная интрогрессия; транслокации; молекулярные маркеры; адаптация; устойчивость к болезням

Influence of alien substitutions and translocations on the manifestation of traits that determine stress resistance and grain quality of common wheat

Efremova T.T.^{1}, Chumanova E.V.¹, Sobolev K.V.^{1,2}, Kondratyeva I.V.²*

¹*Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

²*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*
**email: efremova@bionet.nsc.ru*

Blue-grain lines with alien translocations carrying disease resistance genes were obtained (gene pyramid from rye and wheatgrass: Lr26/Pm8/Sr31, Lr19/Sr25, Lr6Ai#2/Sr6Ai/Pm6Ai) and the features of the formation of the studied traits depending on combinations of alien chromosomes or their segments were studied. The effect of 5R(5A) chromosome substitution on the type of development and heading time of common wheat was studied.

Key words: common wheat; alien introgressions; translocations; molecular markers; adaptation; disease resistance

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L., $2n = 6x = 42$, ВВААDD) – одна из важнейших сельскохозяйственных культур во всем мире. Главной задачей селек-

ции данной культуры является повышение урожайности и улучшение питательных свойств зерна. В связи с этим создание интрогрессивных линий мягкой пшеницы с чужеродным генетическим материалом от диких и культурных сородичей является эффективным методом расширения генофонда пшеницы. Однако в настоящее время практически отсутствуют данные о комбинировании нескольких чужеродных транслокаций или замещений хромосом, которые влияют не только на устойчивость к болезням, но и на такие признаки как, качество зерна, тип развития, время колошения и адаптация к условиям среды. Хорошо изученным примером чужеродных замещений и транслокаций являются пшенично-ржаная транслокация 1RS.1BL (*Lr26/Pm8/Sr31*), пшенично-пырейная транслокация T7DS.7DL-Ae#1L(*Lr19*) и замещенные линии с хромосомой 6Ai#2 от пырея *Agropyron intermedium* (Host) Beauv. [1]. Кроме того, для создания сортов с повышенным содержанием антоцианов используют линии с голубой окраской зерна, у которых идентифицированы замещение или транслокации от *Agropyron elongatum* (Host) Beauv. в хромосомах 4-й гомеологической группы [2]. С помощью пшенично-ржаных линий с чужеродным замещением хромосом 5-й гомеологической группы изучены их эффекты на проявление признаков, влияющих на время колошения и тип развития [3].

Целью исследования является: 1) изучение устойчивости к бурой ржавчине голубозёрных интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы; 2) изучение влияния 5R(5A) замещения хромосом на время колошения и тип развития.

Материалом для исследования послужили яровые голубозёрные интрогрессивные линии устойчивые к бурой ржавчине (табл. 1) и яровые и озимые пшенично ржаные 5R(5A) замещенные линии по различным сортам пшеницы.

Таблица 1 - Исследованный материал и его происхождение

№	Линия	Родословная линий
1	4Ag(4B)+6Ag ⁱ (6D)	F ₅ : C294Ag(4B)/Мульти6R
2	Л-3	F ₇ : C294Ag(4B)/1RS.1BL+T7DS.7DL-Ae#1L+5R(5D)
3	Л-4	F ₉ : 1RS.1BL+T7DS.7DL-Ae#1L+5R(5D)/C294Ag(4B)
4	Л-7	F ₅ : C294Th(4B)/1RS.1BL+T7DS.7DL-Ae#1L+5AS.5RL
5	Л-8	F ₅ : 1RS.1BL+T7DS.7DL-Ae#1L+5AS.5RL/C294Ag(4B)

Выделены голубозёрные линии устойчивые к листовой ржавчине, несущие двойное замещение от *Ag. intermedium* и *Ag. elongatum* - 4Ag(4B)+6Agⁱ(6D) или транслокации от ржи – 1RS.1BL и пырея *Ag. elongatum* T7DS.7DL-Ae#1L (рис. 1). Для уточнения хромосомного состава двойной голубозёрной пшенично-пырейной замещенной линии 4Ag(4B)+6Agⁱ(6D) был использован PLUG (PCR-based LandmarkUniqueGene) маркер TNAC1752 (6L) для идентификации хромосомы 6Agⁱ пырея. У замещенной линии отсутствует амплификация с TNAC1752

маркером в комбинации с рестриктазой *HaeIII*, что свидетельствует об отсутствии хромосомы 6D пшеницы. При использовании TNAC1752+*TaqI* (TNAC1752 маркер в сочетании с рестриктазой *TaqI*) амплифицируется фрагмент длиной 850 п.н., у пырея *Ag. intermedium* и пшенично-пырейной линии, а у пшеницы этот фрагмент отсутствует (рис. 2). Полученные результаты указывают, что в изученной линии произошло замещение хромосомы 6D пшеницы на хромосому 6Agⁱ. Известно, что хромосома 6Agⁱ несет высокоэффективный ген *Lr6Ai#2*, контролирующей устойчивость к бурой ржавчине [1]. На основании полевых экспериментов взрослых растений было показано, что пшенично-пырейная линия с двойным замещением хромосом 4Ag(4B)×6Agⁱ(6D) обладает устойчивостью к бурой ржавчине в условиях Западной Сибири, также как и исходная линия МультиБР, но при этом имеет голубое зерно, обусловленное 4Ag(4B) замещением хромосом.

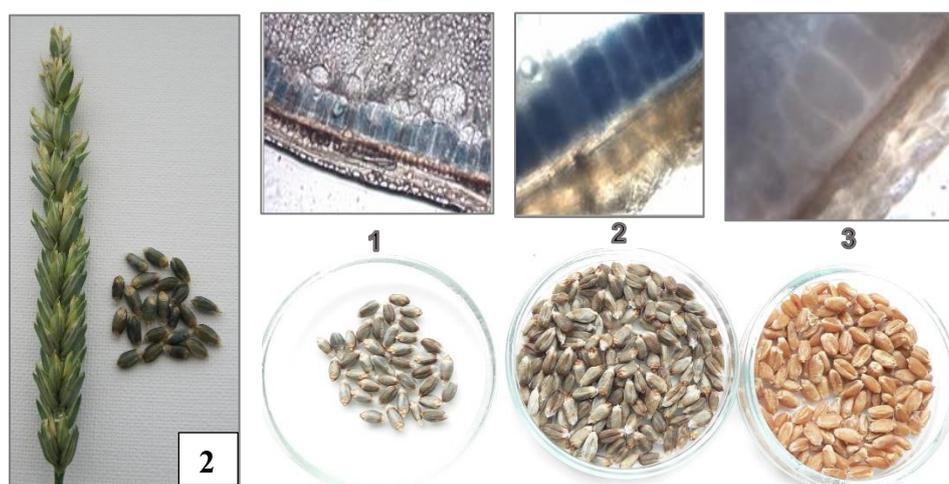


Рис. 1. Колос, зерно и продольный разрез зерновки у линий: 1 – голубозёрная линия s:C294Ag(4B); 2 – голубозёрная линия 4Ag(4B)+6Agⁱ(6D); 3 – красnozёрная линия 6Agⁱ(6D)

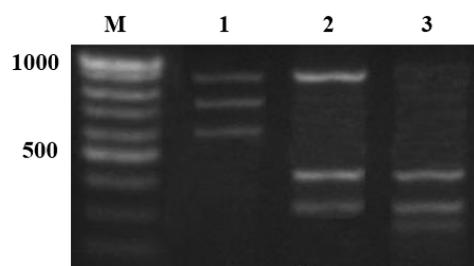


Рис. 2. ПЦР-продукт, полученный с использованием маркера TNAC1752 + *TaqI* (6L) с локализацией на хромосомах 6 гомеологической группы:
1 – *Ag. intermedium*, 2 – пшенично-пырейная линия 4Th(4B)+6Agⁱ(6D), 3 – Саратовская 29

Среди потомства интрогрессивных линий Л-7 и Л-8 в поколении F₂ голубозёрных гибридов с помощью ПЦР-маркеров к генам *Lr19* (SCS265) и *Lr26* (iag95) были выделены растения, сочетающие один или два гена устойчивости к бурой ржавчине *Lr19* и *Lr26* (рис. 3). Установлено, что три интрогрессивные линии –

4AAg(4B)+6Agⁱ(6D), Л-7 и Л-8 показали высокий уровень устойчивости взрослых растений к бурой ржавчине. У линий Л-3 и Л-4 наблюдали небольшие пустулы ржавчины на листьях, что свидетельствует об умеренной устойчивости к заболеванию.

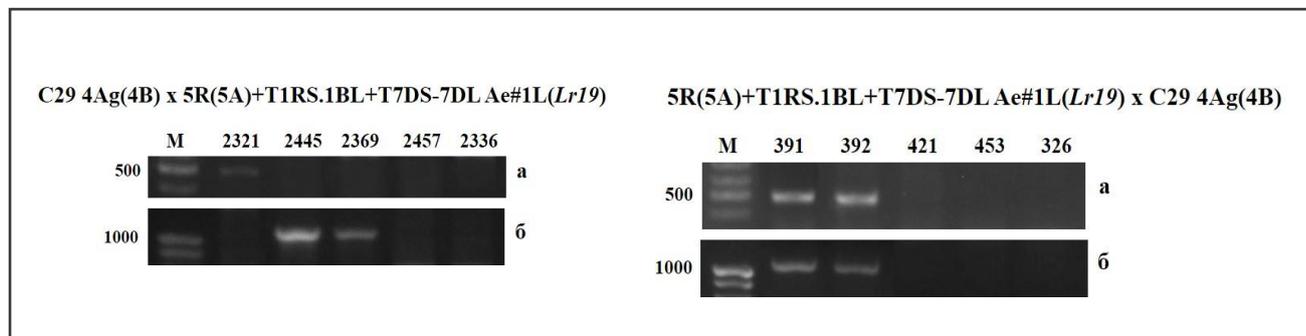


Рис. 3. Анализ гибридов F₂ с использованием ДНК-маркеров для идентификации генов *Lr19* (SCS265) (а) и *Lr 26* (*iag95*) (б) у интрогрессивных линий.

Цифры сверху – номера изученных растений

Проведена фенотипическая оценка пшенично-ржаных 5R(5A) замещенных линий по следующим признакам: тип развития, время колошения, чувствительность к яровизации (табл. 2). Установлено, что линия Фил.-Он. 5R(5A) не выколашивается в поле при весеннем посеве, а колошение в теплице наступает только после яровизации. Яровые линии с 5R(5A) замещением хромосом по озимым сортам Фил., Ул. и Б1 после 55-дневной яровизации выколашивались за 42, 45 и 43 дн. соответственно и незначительно отличались по времени колошения от неяровизированных растений (табл. 2). Тем самым показано, что доминантный ген *Vrn-R1* ржи не чувствителен к яровизации. Можно предположить, что ген *Vrn-R1* ржи, как и ген *Vrn-A1* пшеницы, определяет отсутствие потребности в яровизации. Пшенично-ржаные линии с участием ржи Вьет. имеют яровой тип развития и выколашиваются поле при естественном длинном дне за 46–49 дней, поскольку несут доминантный аллель *Vrn-R1* ржи в генетическом фоне озимых сортов (табл. 2). Полученные результаты показали, что доминантный ген *Vrn-R1* ржи по фенотипическому проявлению на время колошения эквивалентен гену *Vrn-A1* пшеницы. Тем самым показано, что яровые пшенично-ржаные линии можно использовать как источник чужеродных генов скороспелости.

Таблица 2 – Реакция на яровизацию и время колошения пшенично-ржаных 5R(5A) замещенных линий в яровом посеве (Новосибирск)

Линия	Теплица		Поле 2023
	Яровизация	Без яровизации	
Филатовка-Вьетнамская 5R(5A)	42,8±0,07	44,0±1,81	46,33±1,49
Ульяновка-Вьетнамская 5R(5A)	45,83±3,35	47,0±1,42	49,48±1,42
Безостая 1-Вьетнамская 5R(5A)	43,17±1,32	41,20±0,35	49,20±2,09
Филатовка-Онохойская 5R(5A)	50,5±1,69	-	-

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ 24-26-20028 и Новосибирской обл. (р-99).

Список литературы

- 1 Леонова И.Н. Влияние чужеродного генетического материала на проявление хозяйственно важных признаков мягкой пшеницы (*T. aestivum* L.). Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. 22(3):321-328.
- 2 Burešová, V., Kopecký, D., Bartoš, J., Martinek, P., Watanabe, N., Vyhnánek, T., Doležel, J. Variation in genome composition of blue-aleurone wheat. Theoretical and Applied Genetics. 2015. 128:273-282.
- 3 Efremova T.T., Maystrenko O.I., Arbuzova V.S., Laikova L.I., Panina G.M., Popova O.M., Berezova O.V. Effect of alien 5R(5A) chromosome substitution on ear-emergence time and winter hardiness in wheat-rye substitution lines. Euphytica. 2006. 151:145–153.

DOI 10.18699/GPB2024-34

ISSR-анализ генетической изменчивости в ценопопуляциях некоторых редких и уязвимых видов сибирской флоры

Жмудь Е.В. *, д.б.н., с.н.с., Дорогина О.В. *, д.б.н., проф., гл. н.с.; Кубан И.Н., м.н.с., Ачимова А.А., к.б.н., н.с., директор филиала.

ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск; Горно-Алтайский ботанический сад, филиал Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, Горно-Алтайск, Россия

*email: elenazhmu@gmail.com; *email: olga-dorogina@yandex.ru

В 2018–2023 гг. проведены сравнительные исследования генетической структуры в ценопопуляциях (ЦП) редких и уязвимых сибирских видов *Rhaponticum carthamoides* (5 ЦП), *Rhodiola rosea* (7 ЦП) и *Adonis villosa* (6 ЦП) в Республике Алтай методом ISSR – маркирования. Обнаружено, что минимальная генетическая гетерогенность (3 %) наблюдалась у *A. villosa*, более высокая – у представителей *R. carthamoides*. Основной фактор снижения этого показателя – пространственная изоляция популяций, итогом которой является гомогенизация их генетической структуры. Этот процесс может быть связан с географическим расположением ЦП (у *R. carthamoides*) и с фрагментацией ЦП в результате элиминации особей при антропогенном воздействии (у *R. rosea* и *A. villosa*).

Ключевые слова: Республика Алтай; *Rhaponticum carthamoides*; *Rhodiola rosea*; *Adonis villosa*; параметры генетического разнообразия

ISSR-analysis of genetic variability in coenopopulations of some rare and vulnerable species of Siberian flora

Dorogina O.V. *, Kuban I.N., Achimova A.A., Zhmud E.V.

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

Gorno-Altai Botanical Garden, Altai branch of the Central Siberian Botanical Garden
SB RAS, Kamlak, Russia

*email: olga-dorogina@yandex.ru

*In 2018–2023, comparative studies of the genetic structure using ISSR – markers in natural coenopopulations (CP) of rare and vulnerable siberian species *Rhaponticum carthamoides* (5 CP), *Rhodiola rosea* (7 CP), *Adonis villosa* (6 CP) in the Altai Republic. They showed that the lowest genetic heterogeneity (3%) in CP was observed in *A. villosa*, and higher genetic heterogeneity was observed in representatives of *R. carthamoides*. The main factor in reducing this indicator is the spatial isolation of populations, the result of which is the homogenization of their genetic structure. It may be associated with the geographical location of the CP (in *R. carthamoides*) and with fragmentation of the CPs as a result of the elimination of individuals under anthropogenic impact (in *R. rosea* and *A. villosa*).*

*Key words: Altai Republic; *Rhaponticum carthamoides*; *Rhodiola rosea*; *Adonis villosa*; genetic diversity parameters*

Редкие и уязвимые растения, используемые как источники биологически активных веществ, нуждаются в особом подходе к охране в природе. Он заключается в поиске эффективных популяций – доноров для введения в культуру генетически гетерогенных особей, что можно определить при использовании, в частности, ISSR маркёров.

В Республике Алтай (РА) генетическая структура впервые исследована в ценопопуляциях (ЦП) редких видов регионального значения – Маральего корня (*Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Pjin (Asteraceae), 5 ЦП) и Стародубки пушистой (*Adonis villosa* Ledeb. (Ranunculaceae), 6 ЦП), а также уязвимого вида федерального значения – Золотого корня (*Rhodiola rosea* (Crassulaceae), 7 ЦП). ДНК выделена из высушенных листьев у 1–10 особей этих видов на основе СТАВ-метода; апробированы от 8 до 17 праймеров.

По данным ANOVA, у *R. carthamoides* доля внутривидовой изменчивости составила 37% от общей генетической изменчивости. Наиболее высокое сходство по распределению фрагментов ДНК обнаружено в ЦП1, ЦП2, ЦП4, ЦП5 (табл. 1, рис. 1). Их многочисленные особи росли на прогреваемых южных склонах с достаточным зимним влагозапасом в почве, имеющим решающее значение при росте и развитии [1]. Особи из ЦП2, ЦП4 и ЦП5 характеризовались более высокой генетической гетерогенностью и географически более близким расположением между собой: (ЦП2) – в труднодоступном месте, а ЦП4 и ЦП5 – в охраняемых условиях Катунского заповедника (табл. 1, рис. 1). В малочисленной географически изолированной ЦП3 (заказник ООПТ «Шавлинский», Онгудайский район, окр. с. Белый Бом) выявлено низкое сходство с особями из других ЦП,

обусловленное произрастанием между горным перевалом (2300 м н. у. м.) с одной стороны, и рекой Шавла – с другой.

Таблица 1 – Генетическое сходство и географические дистанции (км) между ЦП *Rhaponticum carthamoides* в Республике Алтай

№ ЦП	ЦП 1	ЦП 2	ЦП 3	ЦП 4	ЦП 5
ЦП 1	–	122*	210	215	162
ЦП 2	0,978**	–	165	89	72
ЦП 3	0,478	0,517	–	177	100
ЦП 4	0,642	0,692	0,596	–	87
ЦП 5	0,682	0,716	0,343	0,913	–

Обозначения: * – географические расстояния; ** – генетическое сходство

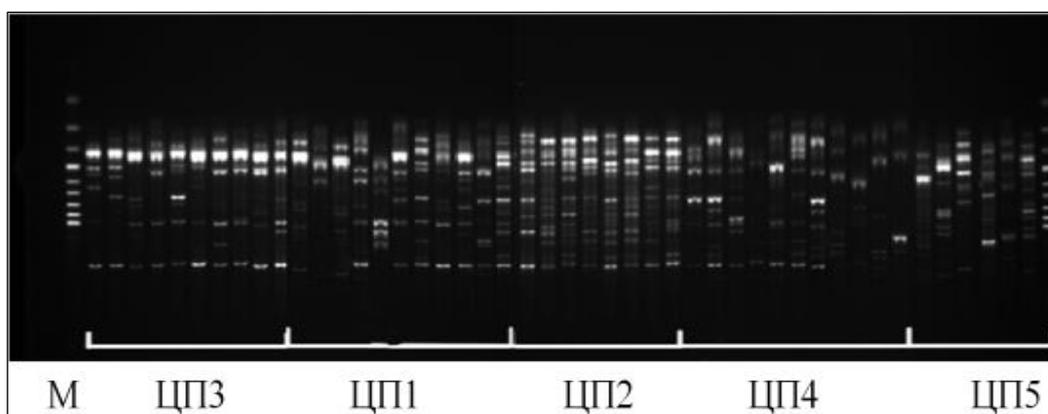


Рис. 1. Электрофореграмма продуктов амплификации с праймером UBS-857 в популяциях *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Пjн в Республике Алтай; М – маркер

У краснокнижного вида *R. rosea*, по литературным данным, гендерно- или популяционно-специфичных праймеров не обнаружено [2]. Доля полиморфных локусов в популяциях этого вида составила от 0 до 88% (в среднем, 43%). Более высокий полиморфизм и высокое сходство найдено у особей в Катунском заповеднике (ЦП1, ЦП2) и в труднодоступном месте Усть-Коксинского района у подножия горы Красная (ЦП4) на абсолютных высотах не более 2000 м и не подвергавшихся антропогенному воздействию (табл. 1, рис. 2). Минимальный генетический полиморфизм обнаружен у представителей из высокогорных популяций (ЦП3, ЦП6) на абсолютных высотах 2400–2500 м в Сайлюгемском нацпарке, где разрешена хозяйственная деятельность человека. Несмотря на сравнительно небольшую удалённость друг от друга, особи в каждой из них характеризовались отсутствием полиморфизма по распределению ISSR-маркёров и высокой генетической дифференциацией (табл. 2). Вероятная причина – малочисленность (10–15 зрелых генеративных) особей в этих популяциях и их пространственная изоляция, вызванная антропогенным воздействием (выпас, заготовка корневищ) [3].

Таблица 2 – Генетическое сходство и географические расстояния (км) между ЦП *Rhodiola rosea* в Республике Алтай

№ ЦП	ЦП 1	ЦП 2	ЦП 3	ЦП 4	ЦП 5	ЦП 6	ЦП 7
ЦП 1	–	2,6*	171,1	50,8	150,5	175,3	237,3
ЦП 2	0,999**	–	173,7	48,2	149,2	177,9	239,6
ЦП 3	0,582	0,201	–	221,7	280,2	12,5	112,9
ЦП 4	0,999	0,819	0,813	–	128,6	225,8	282,5
ЦП 5	0,897	0,683	0,552	0,999	–	278,4	291,6
ЦП 6	0,776	0,569	0,307	0,619	0,735	–	100,4
ЦП 7	0,827	0,601	0,418	0,999	0,999	0,706	–

*Обозначения: как в таблице 1.

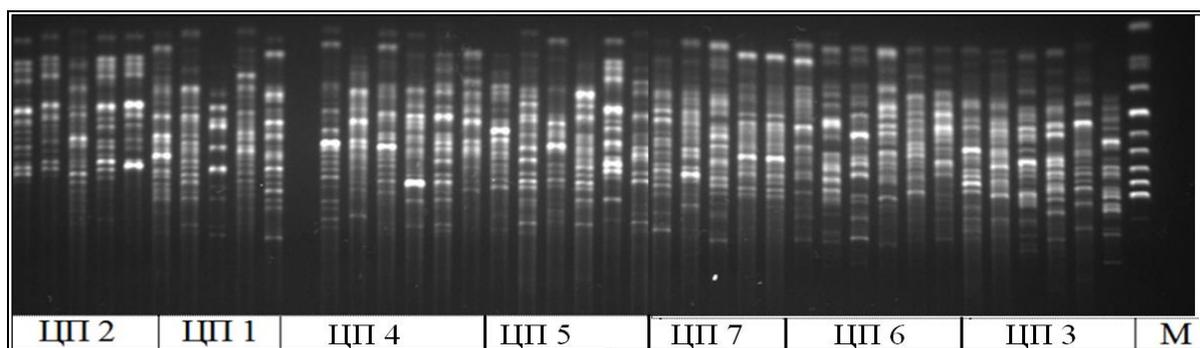


Рис. 2. Электрофореграмма распределения ISSR-спектров в ценопопуляциях *Rhodiola rosea*, полученная с праймером НВ-12; М – маркёр

У особей *A. villosa* обнаружено наиболее высокое межпопуляционное (88–99 %) и внутривидовое (97 %) сходство по распределению ISSR-маркёров (табл. 3, рис. 3). Высокая генетическая меж- и внутривидовая гомогенность по распределению ISSR-маркёров в популяциях может быть обусловлена географической изоляцией ЦП *A. villosa*, произрастающих в северной части РА, вдали от основного ареала видовой разнообразия, расположенного в горных районах Средней Азии [4]. По литературным данным, при исследовании генетической структуры популяций *A. villosa* с помощью AFLP-маркеров, несмотря на сильную фрагментацию, в ЦП в Кулундинской степи (Южная Сибирь) наблюдалось умеренное генетическое разнообразие и слабая дифференциация [5]. По данным авторов, такая умеренная гетерогенность может быть связана с большой продолжительностью жизни особей в популяциях, составляющей десятки лет. В Северном Алтае *A. villosa* живёт недолго, так как растения элиминируются для пересадки на садовые участки и при прокладке коммуникаций.

Таким образом, использование метода ISSR-маркирования позволило оценить параметры генетической структуры у данных дикорастущих видов и установить, что для размножения и введения в культуру у *R. carthamoides* и *R. rosea* семенной материал целесообразно отбирать из ненарушенных условий. Гомогенность генетической структуры ЦП у *A. villosa* свидетельствует об уязвимости и может оказать негативное влияние на его интродукционный потенциал.

Таблица 3 – Генетическое сходство и географические расстояния (км) между ЦП *Adonis villosa* в Республике Алтай

№ ЦП	ЦП 1	ЦП 2	ЦП 3	ЦП 4	ЦП 5	ЦП 6
ЦП 1	–	36,4*	30,9	23,0	10,9	6,9
ЦП 2	0,992928**	–	63,6	57,2	47,2	30,2
ЦП 3	0,999044	0,997098	–	8,4	25,4	37,4
ЦП 4	0,991608	0,988324	0,992614	–	16,9	27,5
ЦП 5	0,995612	0,993561	0,996279	0,993747	–	17,7
ЦП 6	0,918385	0,884179	0,90974	0,929987	0,895944	–

*Обозначения: как в таблицах 1–2.

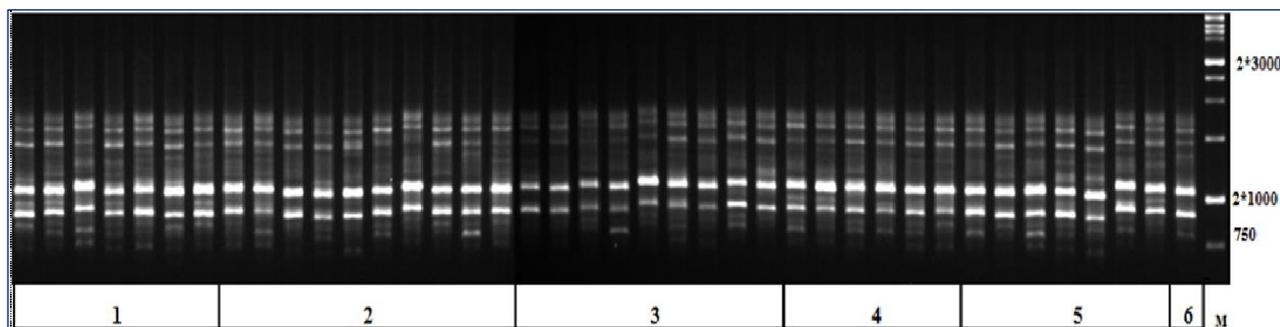


Рис. 3. ISSR – профиль фрагментов *Adonis villosa*, амплифицированных с праймером UBC-857

Финансирование: Исследование выполнено в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН № АААА-А21-121011290025-2.

Список литературы

- 1 Кубан И.Н., Дорогина О.В., Жмудь Е.В. Состояние ценопопуляций редкого вида *Rhaponticum carthamoides* (Asteraceae) в Республике Алтай // Растительный мир Азиатской России. 2018. № 3(31). С. 66–76.
- 2 Kylin M. Genetic diversity of Roseroot (*Rhodiola rosea* L.) from Sweden, Greenland and Faroe Islands Swedish University of Agricultural Sciences The Faculty of landscape Planning, Horticulture and Agriculture Science Plant Breeding and Biotechnology Collaboration with the Nordic Genetic Resource Center (NordGen) Master's thesis in Biology 30 HEC Advanced E MSc in Horticulture programme Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU Alnarp. 2010. 58 p.
- 3 Кубан И.Н., Жмудь Е.В., Ачимова А.А., Дорогина О.В. Генетическая дифференциация *Rhodiola rosea* (Crassulaceae) в Республике Алтай по ISSR-маркёрам // Экологические системы и приборы. 2023. № 4. С. 3–10.
- 4 Seidl A., Tremetsberger K., Pfanzelt S., Lindhuber L., Kropf M., Neuffer B., Blattner F.R., Király G., Smirnov S.V., Friesen N., Shmakov A.I., Plenk K., Batlai O., Hurka H., Bernhardt K.-G. Genotyping-by-sequencing reveals range expansion of *Adonis vernalis* (Ranunculaceae) from Southeastern Europe into the zonal Euro-Siberian steppe // Sci. Rep. 2022. Vol. 12. 19074.
- 5 Rosche C., Heinicke S., Hensen I., Silantyeva M.M., Stolz J., Gröning S., Karsten W. Spatio-environmental determinants of the genetic structure of three steppe species in a highly fragmented landscape // Basic and Applied Ecology. 2018. 28. P. 48–59.

Подбор и апробация молекулярных маркеров для селекции садовых роз на устойчивость к черной пятнистости

*Зыкова В.К. *, к.б.н., с.н.с.; Цюпка В.А., к.б.н., с.н.с.; Хайленко Е.В., м.н.с.*

ФГБУН Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Ялта, Россия

**email: zykova.vk@mail.ru*

*Черная пятнистость – одно из наиболее вредоносных заболеваний *Rosa L.*, вызываемое грибом *Diplocarpon rosae*. 12 генотипов садовых роз с известной устойчивостью к черной пятнистости были использованы для апробации 9 маркеров к кодирующей и не кодирующей последовательности генов *Rdr 1* и *Rdr 3*, отвечающих за устойчивость к этому заболеванию. Выявлены 2 маркера, которые в условиях Южного берега Крыма позволяют определить устойчивые генотипы. Эти маркеры рекомендуются для дальнейшего использования в MAS-селекции садовых роз на устойчивость к черной пятнистости.*

*Ключевые слова: *Rosa L.*; *Diplocarpon rosae*; MAS-селекция; Южный берег Крыма*

Selection and testing of molecular markers for breeding garden roses for resistance to black spot

*Zykova V.K. *, Tsiupka V.A., Khailenko E.V.*

The Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center RAS, Yalta, Russia

**email: zykova.vk@mail.ru*

*Black spot is one of the most harmful diseases of garden roses, caused by the fungus *Diplocarpon rosae*. 12 genotypes of garden roses with known resistance to black spot were used to test 9 markers for the coding and non-coding sequence of the *Rdr 1* and *Rdr 3* genes, which are responsible for resistance to this disease. Two markers that make it possible to identify resistant genotypes in the conditions of the Southern coast of Crimea have been identified. These markers are recommended for further use in MAS selection of garden roses for resistance to black spot.*

*Key words: *Rosa L.*; *Diplocarpon rosae*; MAS selection; Southern coast of Crimea*

В последние десятилетия в селекционной работе по повышению устойчивости к болезням у сельскохозяйственных культур высокая эффективность продемонстрирована при использовании подхода MAS-селекции [1, 2]. Одним из объяснений этого является моногенный характер наследования устойчивости ко многим бактериальным и грибным заболеваниям [3].

Одним из наиболее вредоносных заболеваний *Rosa L.* является черная пятнистость, вызываемая грибом *Diplocarpon rosae* F.A. Wolf. Возбудитель обнаруживается почти везде, где розы выращивают в открытом грунте, а большинство современных сортов садовых роз восприимчивы хотя бы к одной из 13 зарегистрированных рас [4, 5]. Устойчивость роз к *D. rosae* является монолокусным признаком. На сегодняшний день известно четыре гена устойчивости к данному заболеванию: *Rdr1*, *Rdr2*, *Rdr3* и *Rdr4*, отвечающих за устойчивость к одной или нескольким расам возбудителя [5].

Так как наиболее распространены расы 7 и 8, целью нашего исследования была апробация в условиях Южного берега Крыма маркеров, подобранных из кодирующей и не кодирующей последовательности генов *Rdr 1* и *Rdr 3*, отвечающих за устойчивость к этим расам. Для проведения скрининга были отобраны 12 генотипов садовых роз, для которых информация об устойчивости или же, напротив, поражаемости черной пятнистостью была получена путем многолетних полевых наблюдений.

ДНК выделяли из молодых неповрежденных листьев растений *ex situ* одним из классических способов с применением цетилтриметиламмоний бромида (2×ЦТАБ) [6] с добавлением 2%-го поливинилпирролидона (ПВП). Учитывая значительное накопление вторичных метаболитов (фенольных соединений и полисахаридов) в тканях листа у представителей рода *Rosa L.*, при выделении ДНК в лизирующий раствор добавляли ПВП и β-меркаптоэтонол (таким образом 2×СТАВ содержал 2 % ПВП и 20 % β-меркаптоэтонол).

Качество и количество полученной ДНК оценивали на нанофотометре NanoPhotometer NP80 (Implen, Германия).

Аmplификацию проводили с применением наборов BioMaster HS-Taq PCR (Биолабмикс, Российская Федерация) и 5X ScreenMix-HS (Евроген, Российская Федерация) в соответствии с протоколом производителя. ПЦР проводили в термоциклере C1000™ Thermal Cycler (Bio-Rad, Сингапур).

Для скрининга было использовано 9 маркеров. Оптимизированные температуры отжига праймеров и их нуклеотидные последовательности приведены в таблице 1.

Условия ПЦР были следующими: начальная денатурация – 95 °С – 2 мин, с последующими 35 циклами: денатурация – 95 °С – 30 с, отжиг – T_m °С – 45 с, элонгация – 72 °С – 1 мин, с итоговой элонгацией при 72° С в течение 10 мин. Амплификацию всех локусов проводили два раза после оптимизации программы ПЦР и концентрации реагентов. Для постановки реакции брали одинаковую концентрацию образцов ДНК (25 нг/мкл). Для детекции использовали генетический анализатор – автоматическую систему для капиллярного электрофореза Tare

Station 4200 (Agilent Technologies, Germany) с картриджами ScreenTape и наборами реагентов (точность определения до 2 нуклеотидов).

Таблица 1 – Маркеры устойчивости к черной пятнистости садовых роз, отобранные для апробации

Название маркера	F	R	Ожидаемый размер продукта, bp	Tm (°C)*	Ссылка
Rd1LRR	AGGCTTCAACAATT GCC	GGAATTTCACTTCCA GGA	276	60	[7]
muRdr1A	ACAAGTGTTCAG ATCCACAAG	AGTGC GGTCGGTAA TCAAGA	200	60	[7]
RGA	TTTGC GTCTTCTTG CTAA	CTTCTTCAGGCTCAC ATTTC	348	56	[9]
29Mic	ACAAAACATGCCCT CTTGCT	GCTCTTGAGGCATG AATTGG	124	58	[9]
155SSR	GAAAAGAACGAGG GGTTCC	ACGGTCGGTAATCA AGATGC	119	58	[9, 5]
69Mic	GGTTGGGTTTTATT TGCTTTG	ACGCAAGAAAATGA GGGGTA	226	60	[9]
69E24	TCA GGT GGG TGA GCT TCA AT	TGA TTA GCT TGC CGG TTC TT	156	58	[5]
RMS015	TAA TGT AGG CAG ATA TAA AGG AGT	GCA GCT GCA CAA CAA GGA A	57	58	[5]
ND5ESCAR	GTT TTG AGT ATC TCC TTG ATC	AAT GAA GTA GGA GAA AGA AAG A	108	55	[5]

*-оптимизированная температура отжига праймеров

В результате проведенных исследований целевые аллельные варианты, ожидаемые при дифференциации устойчивых и восприимчивых генотипов, получены для всех маркеров за исключением ND5ESCAR, однако корреляция с наблюдаемым фенотипическим распределением отмечена только для маркеров Rd1LRR и 69E24 (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты скрининга молекулярных маркеров, апробированных для оценки устойчивости роз к черной пятнистости (*D. rosae*)

Генотипы		Маркеры								
		<i>Rdr1</i>								<i>Rdr3</i>
		Rd1L RR	muRdr1 A	RGA	29Mic	155SS R	69Mic	69E2 4	RMS01 5	ND5E SCAR
'Кружевница'	с*	-	+	-	+	+	-	-	-	-
'Frohsinn'	в	-	+	+	+	-	-	-	-	-
'Christophe Colomb'	у	+	+	+	-	+	-	+	+	-
'Anthony Meiland'	в	-	+	+	+	-	-	-	+	-
'Борисфен'	у	+	+	+	+	-	-	-	+	-
'Line Renaud'	с	-	+	-	+	-	+	+	+	-
<i>R. fedtschenkoana</i>	у	+	+	+	-	-	+	+	+	-
Гибридная форма №1	у	+	+	-	+	+	-	-	+	-
'Kordes Sondermeldung'	в	-	+	-	+	-	-	-	+	-
'General MacArthur'	в	-	+	-	+	+	-	-	+	-
<i>R. bracteata</i>	у	-	+	-	+	-	-	+	-	-
<i>R. hugonis</i>	у	+	+	-	+	+	-	-	+	-

*- у – устойчивые сорта, с – сорта со средней степенью устойчивости, в – восприимчивые сорта.

Таким образом, установлено, что маркеры Rd1LRR и 69E24 в условиях Южного берега Крыма позволяют провести оценку генотипов по степени устойчивости к черной пятнистости. Полученные с их помощью результаты совпадают с полевыми наблюдениями за проявлением симптомов заболевания. Отобранные в результате апробации маркеры Rd1LRR и 69E24 рекомендуется для использования при селекции садовых роз на устойчивость к черной пятнистости.

Список литературы

- 1 Van Damme V., Gomez-Paniagua H., de Vicente M.C. The GCP molecular marker toolkit, an instrument for use in breeding food security crops // *Molecular Breeding*. 2011. V. 28. P. 597–610.
- 2 Brumlop, S., Finckh, M.R. Applications and potentials of marker assisted selection (MAS) in plant breeding: final report of the F+E project "Applications and Potentials of Smart Breeding" (FKZ 350 889 0020) on behalf of the Federal Agency for Nature Conservation / Bundesamt für Naturschutz. 2011.
- 3 Miah, G., Rafii M.Y., Ismail M.R., Puteh A.B., Rahim H.A., Asfaliza R., Latif M.A. Blast resistance in rice: a review of conventional breeding to molecular approaches // *Molecular Biology Reports*. 2013. Vol. 40. P. 2369–2388.
- 4 Gachomo E.W., Dehne H.W., Steiner U. Microscopic evidence for the hemibiotrophic nature of *Diplocarpon rosae*, cause of black spot disease of rose // *Physiol Mol Plant Pathol*. 2006. Vol. 69. P. 86–92.
- 5 Whitaker V.M., Bradeen J.M., Debener T., Biber A., Hokanson S.C. Rdr3, a novel locus conferring black spot disease resistance in tetraploid rose: genetic analysis, LRR profiling, and SCAR marker development // *Theor Appl Genet*. 2010. Vol. 120. P. 573–585.
- 6 Супрун И.И., Степанов И.В., Лободина Е.В., Токмаков С.В. Методы молекулярного ДНК-маркирования в оценке генетического разнообразия косточковых культур // *Научные Труды СКФНЦСВВ*. 2019. Т. 23. С. 31–39.
- 7 Terefe-Ayana, D., Debener, T. An SSR from the leucine-rich repeat region of the rose Rdr1 gene family is a useful resistance gene analogue marker for roses and other Rosaceae // *Plant Breed*. 2011. Vol. 130. P. 291–293.
- 8 Rouet, C. Mapping black spot disease resistance and cold hardiness in garden roses (*Rosa x hybrida*). Doctoral dissertation, University of Guelph, 2021.
- 9 Biber A., Kaufmann H., Linde M., Spiller M., Terefe D., Debener T. Molecular markers from a BAC contig spanning the Rdr1 locus: a tool for marker-assisted selection in roses // *Theor. Appl. Genet*. 2010. P. 765–773.

Генофонд для селекции пшеницы мягкой яровой в условиях Омской области

*Зырянов Б.В. *, аспирант, Белан И.А., к.с.-х.н., зав. лабораторией; Россеева Л.П., к.с.-х.н., в.н.с.; Блохина Н.П., в.н.с.; Мухина Я.В., н.с.; Пугачева Н.С., н.с.*

Омский аграрный научный центр, г. Омск, Россия

** email: boriska_zyryanov@mail.ru*

В статье отражены результаты испытания в 2022 и 2023 гг. 186 генотипов (95 из России и 91 из Германии) в «Омский АНЦ». Выделены формы, которые могут служить источниками при создании сортов, возделываемых в Западной Сибири.

Ключевые слова: яровая пшеница; генофонд; сорт; вегетационный период; устойчивость; урожайность

Gene pool for breeding soft spring wheat in the Omsk region

Zyryanov B.V., Igor A. Belan I.A., Rosseeva L.P., Blokhina N.P., Mukhina Ya. V., Pugacheva N. S.*

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russia

** email: boriska_zyryanov@mail.ru*

The article reflects the results of the test in 2022 and 2023 186 genotypes (95 from Russia and 91 from Germany) at the Omsk ANC. Forms that can serve as sources for creating varieties cultivated in Western Siberia are identified.

Key words: spring wheat; gene pool; variety; growing season; stability; yield

Пшеница – одна из самых распространенных злаковых культур. Зерно пшеницы является не только сырьем для производства хлебобулочных и кондитерских изделий, но и ценным экспортным товаром. Крупнейшими странами по площади пашни являются США – около 186 млн га, Индия – 166 млн га, Россия – 130 млн га, Китай – 92 млн га, Канада – 45 млн га и Бразилия – 43 млн га. Омская область вошла в двадцатку крупнейших регионов страны по посевным площадям пшеницы. Объем площадей, занятых пшеницей мягкой яровой в Омской области в 2021 г. – 1,29 млн га, в 2022 г. – 1,19 млн га, в 2023 г. – 1,16 млн га, из них более 90 % занимали сортовые посевы. Доля сортов селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» достигла 60–70 % от общих посевов пшеницы мягкой яровой [1].

Веками эта культура изменялась, отбирались наиболее ценные формы, создавались гибридные генотипы. Приоритетное развитие получило направление

селекции, ориентированное на высокую урожайность, качество зерна и адаптивность [2–4]. Важность селекции на адаптивность определяется тем, что в настоящее время наблюдается глобальное потепление климата, появление новых и распространение имеющихся заболеваний. Обновление генетического материала за счет интродуцирования новых исходных форм является основой селекции сельскохозяйственных культур.

По метеорологическим условиям 2022 г. характеризовался как засушливый (ГТК май-август = 1,00). По месяцам ГТК колебалось от 0,45 (май) до 1,90 (июль). Погодные условия 2023 г. были недостаточные по увлажнению (ГТК май-август = 0,84). Однако он был очень контрастным по декадам – от отсутствия осадков (I декада мая и II сентября) до избытка (III декада июня, 150,4 % от среднемноголетней). По месяцам ГТК колебался 0,77 до 93.

Полевые исследования по проекту НЦМУ (Научный центр мирового уровня, Санкт-Петербург) выполнялись на базе селекционного севооборота лаборатории ФГБНУ «Омский АНЦ» в зоне южной лесостепи Омской области.

Посев проводился в оптимальные для культуры и региона сроки (12–13 мая) с нормой высева 5,0 млн. всхожих зерен/га. Предшественник – пар. Площадь делянки составила 1 м², повторность двукратная. В течение 2 лет (2022 и 2023 гг.) изучено 186 генотипов (95 из России и 91 из Германии).

Фенологические наблюдения и учёты выполнялись в соответствии с «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [5]. В лабораторных условиях, применяя автоматизированное рабочее место селекционера (АРМС), проводили анализ по 5 элементам продуктивности колоса (длина колоса, число колосков, озерненность колоса, масса зерна колоса, массы 1000 зерен). Результаты исследований статистически обработаны по Б.А. Доспехову [6]. с использованием пакета программ STATISTICA 10.0.

Всходы получены на 10-й день после проведения посева. Наступление фазы колошения у основной части сортообразцов отмечено в период 1 июля-12 июля, но были формы и с поздним выколашиванием (15–20 июля). У изучаемых сортообразцов продолжительность периода «всходы-колошение» составила 41–70 суток, у местных стандартов Памяти Азиева – 39 суток, Дуэт – 42 и Элемент 22 – 46 суток. Самый короткий период «всходы-колошение» 38 суток у следующих форм – Императорка (РФ, Хакассия), Иркутская-49 (РФ, Иркутская область) и ГДС-11(РФ, Ленинградская область), наиболее продолжительный (62 суток) у TRI 828 (Германия). Изменчивость была слабой независимо от повторности и года изучения (Cv 9,1–9,6).

Наступление восковой спелости зерна наблюдалось в период с 5 по 15 августа в 2022 г. и с 7 по 20 августа в 2023 г. Продолжительность периода всходы-

восковая спелость у среднераннего стандарта Памяти Азиева – 77 суток, средне-спелого Дуэт – 81 и среднепозднего Элемент 22 – 85 суток. Позднеспелые генотипы созревали в III декаде августа (24–26). К скороспелым генотипам (76, 77 суток) относились – Новосибирская 22 (РФ, Новосибирская область), Новосибирская 15 (РФ, Новосибирская область), ГДС-11 (РФ, Ленинградская область), Императорка (РФ, Хакассия) и Иркутская-49 (РФ, Иркутская область).

Анализ генотипов по странам Россия и Германия показал (табл. 1), что у форм из Германии период всходы-колошение был на 5 суток продолжительнее, чем у форм из России, и созревали они на 6 суток позднее. Генотипы из Германии имели более короткий стебель в сравнении с формами России (на 6 см меньше) и по урожайности они уступали сортам России на 75,8 г/м².

Таблица 1 – Характеристика генотипов по урожайности, фенологическим фазам и высоте растений у генотипов России и Германии, в среднем за 2022 и 2023 гг.

Статистические данные	Всходы-колошение, сутки		Всходы-восковая спелость, сутки		Высота растений, см		Урожайность, г/м ²	
	Россия	Германия	Россия	Германия	Россия	Германия	Россия	Германия
Среднее	42	47	80	86	79	73	168,1	93,2
Интервал	11	23	13	18	54	44	227,2	215,2
Минимум	38	39	76	77	44	49	73,2	6,3
Максимум	50	62	89	95	97	93	300,4	221,5
Cv	6	8	3	5	11	12	25,7	44,8

Анализ данных коэффициента вариации показал, что независимо от происхождения генотипов, вариация по периодам всходы-колошение и всходы-восковая спелость была незначительной (Cv <10), а высоты растений – средняя (Cv <20). По урожайности изменчивость была значительной (у генотипов из России Cv = 25,7; Германии – 44,8).

Анализ по элементам структуры колоса (табл. 2) показал, что формы из Германии превосходили сорта из России по длине колоса на 0,6 см и числу колосков в колосе – 1,1 шт. Однако формы из Германии уступали сортам из России по признакам: число зерен в колосе – на 2,3 шт.; массе зерна с колоса – 0,1 г и массе 1000 зерен – 1,0 г.

Расчет коэффициента вариации выявил, независимо от происхождения, среднее варьирование по признакам длина колоса, число колосков и зерен в колосе, а также массе 1000 зерен (Cv колебался от 9,6 до 18,9). Значительная изменчивость отмечена у массы зерна с главного колоса (Cv > 20).

В течение двух лет погодные условия в I и II июля (высокая температура и недобор осадков) были неблагоприятны для развития бурой (*Puccinia triticina* Eriks.), а поражение растений стеблевой ржавчиной (*Puccinia graminis* Pers.) отсутствовало. Позднее появление в 2022 году бурой ржавчины на посевах не привело к значительным потерям урожайности. Метеорологические условия июня

месяца 2022 г. были благоприятны для развития патогена мучнистой росы (*Blumeria graminis* DC.), а в 2023г. они были менее благоприятны для возбудителя. Результаты учетов показали, что количество форм, которые не поражались патогеном увеличилось более чем на 10 %, а высокой восприимчивостью уменьшилось на 17,2 %.

Таблица 2 – Результаты анализа структуры элементов колоса у генотипов России и Германии, в среднем за 2022 и 2023 гг.

Статистические данные	Длина колоса, см.		Число колосков, шт.		Число зерен в колосе, шт.		Масса зерна с главного колоса, г		Масса 1000 зерен, г	
	Россия	Германия	Россия	Германия	Россия	Германия	Россия	Германия	Россия	Германия
Среднее	9,5	10,1	13,4	14,5	30,1	27,8	1,02	0,93	33,9	32,9
Интервал	4,4	7,4	7,3	7,5	24,0	28,3	0,90	1,16	26,7	19,5
Минимум	7,6	5,2	10,8	11,3	19,1	9,8	0,62	0,27	21,5	22,3
Максимум	12,0	12,6	18,1	18,8	43,1	38,1	1,51	1,43	48,2	41,8
Cv	9,6	11,1	10,1	10,9	14,2	18,9	21,52	22,5	16,7	11,3

Расчет коэффициента вариации выявил, независимо от происхождения, среднее варьирование по признакам длина колоса, число колосков и зерен в колосе, а также массе 1000 зерен (Cv колебался от 9,6 до 18,9). Значительная изменчивость отмечена у массы зерна с главного колоса (Cv > 20).

В течение двух лет погодные условия в I и II июля (высокая температура и недобор осадков) были неблагоприятны для развития бурой (*Puccinia triticina* Eriks.), а поражение растений стеблевой ржавчиной (*Puccinia graminis* Pers.) отсутствовало. Позднее появление в 2022 году бурой ржавчины на посевах не привело к значительным потерям урожайности. Метеорологические условия июня месяца 2022 г. были благоприятны для развития патогена мучнистой росы (*Blumeria graminis* DC.), а в 2023г. они были менее благоприятны для возбудителя. Результаты учетов показали, что количество форм, которые не поражались патогеном увеличилось более чем на 10 %, а высокой восприимчивостью уменьшилось на 17,2 %.

Таким образом, изучение 186 коллекционных образцов пшеницы мягкой яровой (95 сортов из России и 91 генотип из Германии) позволили выделить генотипы, которые могут служить источниками при создании сортов, возделываемых в Западной Сибири.

Список литературы

- 1 АБ-Центр – Экспертно-аналитический центр агробизнеса. URL: <https://ab-centre.ru/> (дата обращения: 26.02.2021)
- 2 Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная научная дисциплина. Теория и практика. Краснодар: Просвещение-Юг; 2010. 485 с.

- 3 Неттевич Э.Д. О совершенствовании сортов яровой пшеницы, возделываемых в Центральном регионе России // Селекция и семеноводство. – 2000. № 4. – С. 10-14.
- 4 Хлесткина Е.К., Журавлева Е.В., Пшеничникова Т.А. и [др.] Реализация генетического потенциала сортов мягкой пшеницы под влиянием условий внешней среды: современные возможности улучшения качества зерна и хлебопекарной продукции // Сельскохозяйственная биология. № 3, Т. 52. 2017. С. 501-514. doi 10.15389/agrobiology/2017/3/501rus.
- 5 Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Технологическая оценка зерновых, крупяных и бобовых. М.: 1988. 121 с.
- 6 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 415 с.

DOI 10.18699/GPB2024-37

Изучение генетической коллекции мискантуса по устойчивости к абиотическим стрессам

Капустянчик С.Ю., д.с.-х.н., с.н.с. сектора интродукции и технологии возделывания с.-х. культур.

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, р.п. Краснообск, Россия

**email: kapustyanchik@bionet.nsc.ru*

*В 2017–2022 гг. на научно-экспериментальной базе СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН была проведена оценка коллекции мискантуса, представленная видами сахароцветного (*M. sacchariflorus*) 20 образцов и гигантского (*M. giganteus*) 1 образец на устойчивость к абиотическим стрессам. Исследуемые растения показали устойчивость по отношению к совокупности местных экологических факторов: не поражались болезнями и вредителями на протяжении 5 лет интродукции. Все интродуцированные образцы мискантуса оказались устойчивыми к местным зимним температурам за период исследований. Исследуемые образцы (за исключением образцов 13, 15, 27) проходили все этапы онтогенеза, однако жизнеспособных семян не формировали. При этом отмечено, что собранный исходный материал отличается по ритмам цветения (конец августа – сентябрь). По результатам проведенных исследований к числу перспективных образцов с высокой продуктивностью можно отнести мискантус сахароцветный под номерами 3, 12, 18, 19, 21, 23 и 25.*

Ключевые слова: мискантус сахароцветный; мискантус гигантский; устойчивость; биологические показатели; морфологические признаки

Study of the genetic collection of miscanthus for resistance to abiotic stress

Kapustyanchik S.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher sector of introduction and technology of cultivation of agricultural crops

*Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia
email: kapustyanchik@bionet.nsc.ru*

*The miscanthus collection was assessed in 2017–2022 on the experimental base of SibRIPP&B – Branch of IC&G SB RAS. The collection is represented by *M. sacchariflorus* 20 samples and *M. giganteus* 1 sample. The assessment was carried out for resistance to abiotic stress. The studied plants showed resistance to local environmental factors: they were not affected by diseases and pests during 5 years of introduction. All introduced miscanthus samples proved to be resistant to local winter temperatures during the study period. The studied samples (with the exception of samples 13, 15, 27) went through all stages of ontogenesis, but did not form viable seeds. The source material differs in flowering rhythms (late August – September). Promising samples with high productivity include *M. sacchariflorus* under numbers 3, 12, 18, 19, 21, 23 and 25.*

Key words: sugary miscanthus; gigantic miscanthus; resistance; biological indicators; morphological characteristics

Одним из новых направлений работ в селекции растений можно считать изучение и адаптация в регионы России культуры мискантус, выращиваемой с основной целью производства энергии и технической продукции. Культура высоко адаптивна, устойчива и неприхотлива к климатическим и почвенным условиям, характеризуется быстрым ростом и развитием, коротким вегетационным периодом отдельных видов [1–3].

В Сибири мискантус достаточно известен в качестве декоративного растения. Проблема выращивания культуры в целях получения биомассы в условиях Сибири остается практически не изученной. Возникла необходимость селекции мискантуса, способного поддерживать высокую продуктивность в рамках лимитирующих факторов континентального климата.

Объектами опыта являлись растительных образцы мискантуса. Цель опыта: оценить по комплексу признаков устойчивость растительных образцов мискантуса к абиотическим стрессам. Задачи: изучить морфологические и биологические показатели перспективности исходных образцов мискантуса в условиях континентального климата.

Питомник исходного материала заложен на научно-экспериментальной базе СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН (Новосибирская область, п. Мичуринский, 54°53'16,6"N, 82°59'37,3E") в 2017 г. на серых лесных глубокооуглеенных почвах[4]. Посадка осуществлялась гнездовым способом. Площадь одной микроделанки 120×120 см. Мискантус высаживали рассадой по 5 растений на деланку.

Повторность опыта 3-кратная. Исследования проводили в 2017–2022 гг. Морфологические признаки и биологические показатели оценивали ежегодно в течение вегетации растений.

Гидротермические условия лет исследования были контрастными. По данным «АМС Огурцово» в вегетационные периоды культуры (май–сентябрь): в 2019 и 2021 гг. сумма осадков составила 248 и 231 мм, сумма температур 2283 и 2380 °С соответственно; в 2017, 2018 и 2020 гг. сумма осадков составила 316, 297 и 314 мм, сумма температур 2340, 2199 и 2493 °С соответственно; в 2022 г. сумма осадков составила 150 мм, сумма температур 2420 °С, при среднемноголетних значениях 263 мм и 2248 °С. Из этих данных следует, что 2017, 2018 и 2020 гг. были умеренно переувлажненными (ГТК₀₅₋₀₉ составляет 1,3); 2019 г. (ГТК₀₅₋₀₉ составляет 1,1) и 2021 г. (ГТК₀₅₋₀₉ составляет 0,9) – увлажненными; 2022 г. (ГТК₀₅₋₀₉ составляет 0,6) был засушливым.

В данном исследовании культивируются два вида рода – мискантус сахароцветный (*M. sacchariflorus* (Maxim.) Hack.) – 20 образцов и мискантус гигантский (*M. giganteus*) – 1 образец. (табл. 1).

Таблица 1 – Перечень образцов мискантуса

№ образца	Видовая принадлежность образца
1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 25	<i>M. sacchariflorus</i>
27	<i>M. giganteus</i>

Примечание: образцы были получены от ИЦиГ СО РАН (г. Новосибирск)

Отличительные признаки видов мискантуса основаны на морфологическом анализе, которые оценивали путем глазомерной оценки, измерений и по балльным шкалам.

В первый год посадки происходит адаптация растений к полевым условиям произрастания. По показателям прироста за вегетацию (высота и масса растений) можно судить о приживаемости исходного материала. Так в изучаемых образцах наиболее продуктивными отмечены следующие номера: 1, 2, 5, 8, 14, 19, 22, 23, имеющие высоту растений в пределах от 78 до 107 см и массу 74–100 г /10 растений (табл. 2).

В 2018 г. к окончанию вегетационного периода образцы сформировали достаточно плотный травостой и полностью распределились по деляночной площади. По результатам исследований адаптивных качеств интродуцентов (5-балльная шкала морозостойкости), повреждаемости болезнями (5-балльные шкалы повреждаемости ржавчиной и мучнистой росой) и вредителями [5, 6], образцы получили предварительную оценку перспективности (табл. 3).

Таблица 2 – Морфологические особенности исходного материала мискантуса интродуцированного на территорию лесостепи Западной Сибири (n=4, M±SEM)

№	2017 г. (год посадки)			2019–2020 гг.				2021–2022 гг.				Обли-ст-ть, %	Диаметр стеблей, мм	Фаза на момент уборки биомассы
	Высота растений, см	Масса 10 растений, г	Об-лист-ть, %	Высота, см	Густота стебл., шт./м ²	Кол-во метелок, шт./м ²	Масса снопа, г/м ²	Высота, см	Густота стебл., шт./м ²	Кол-во метелок, шт./м ²	Масса снопа, г/м ²			
1	83,3±11,0	89,3±3,8	51±1	157,0±1,4	102±25	14±4	277,0±29,7	151,6±3,7	212±32	48±11	498±38,8	54±1	3,5±0,3	отмирание
2	85,4±25,8	82,1±2,1	40±1	164,5±12,0	94±13	15±5	274,8±33,6	139,1±22,2	324±26	15±4	574±27,1	49±4	3,4±0,5	цветение
3	118,7±25,8	31,8±3,9	41±4	182,5±33,2	133±15	37±3	298,0±30,4	165,1±27,6	302±35	15±6	587,8±29,6	46±1	4,3±0,4	отмирание
5	78,2±25,8	74,4±5,7	31±5	166,0±18,4	100±11	25±7	284,3±18,0	169,6±11,9	262±21	28±8	642±37,0	54±2	3,5±0,5	начало цвет.
7	95,6±13,2	52,9±10,5	50±3	141,0±11,3	96±13	15±8	215,3±39,2	132,4±9,3	238±23	6±3	496,3±38,8	56±5	3,4±0,6	начало цвет.
8	78,5±13,7	97,5±4,3	53±1	138,5±12,0	55±18	11±5	158,0±28,8	164±9,9	244±28	80±29	643,6±28,5	50±7	3,5±0,3	отмирание
9	79,7±12,6	44,7±3,6	46±3	151,5±10,6	136±16	57±12	323,3±24,9	172,6±8,4	204±26	128±36	775,6±49,2	51±3	3,1±0,4	отмирание
11	91,3±7,0	52,2±5,0	54±1	152,0±12,6	83±18	45±14	237,3±15,3	148±7,9	156±15	100±24	562,4±37,1	54±5	3,3±0,5	отмирание
12	84,7±13,4	53,9±1,7	56±2	184,5±14,1	68±8,	56±8	230,5±33,9	160,6±12,4	304±14	174±49	1353,6±56,9	49±2	3,6±0,5	отмирание
13	85,6±18,6	60,42±3,4	43±1	149,0±16,2	84±17	0	194,8±23,0	147,95±12,1	316±29	16±3	589,42±26,0	52±5	3,3±0,3	начало цвет.
14	86,1±20,3	99,1±4,1	48±2	151,0±14,1	75±18	12±3	198,0±22,3	149,9±21,4	336±31	10±4	648±35,4	45±6	4,1±0,6	начало цвет.
15	65,7±10,2	32,6±3,4	52±1	134,5±11,3	83±19	0	183,8±24,8	152,2±23,8	240±17	0	540±19,1	52±5	2,7±0,3	флаговый лист
16	74,3±13,7	45,4±2,2	45±1	160,5±9,1	118±17	12±6	267,3±30,0	173,6±10,5	332±28	84±29	991,8±42,2	46±2	3,3±0,3	отмирание
17	81,3±21,9	48,9±3,5	44±1	149,5±9,1	98,5±11	42±17	212,8±23,7	165,7±15,7	298±31	16±5	584±26,7	48±6	2,8±0,4	цветение
18	90,4±20,0	62,4±4,4	44±1	189,5±7,7	92±19	66±19	240,3±31,5	168,2±15,8	272±20	41±14	594±15,7	45±1	3,6±0,2	отмирание
19	113,4±21,2	91,9±3,8	46±2	180,5±7,8	84±12	49±12	250,3±32,9	154,45±19,7	276±22	104±25	690,32±28,7	47±4	3,5±0,5	отмирание
21	84,8±23,8	69,4±0,6	47±1	211,0±28,2	103±17	66±9	332,3±11,0	168,6±12,8	222±18	52±18	585,7±28,5	45±2	3,2±0,6	отмирание
22	107,3±16,4	99,7±1,1	50±1	161,5±5,6	127±12	29±8	244,8±12,4	147,9±15,7	308±35	46±14	680±29,7	53±3	3,3±0,4	отмирание
23	81,2±19,4	83,4±2,9	53±1	160,5±14,8	72±13	50±13	210,5±31,1	152,7±16,0	356±2533	108±29	844,6±38,6	48±6	3,5±0,4	отмирание
25	87,5±18,6	54,4±0,9	49±2	144,0±4,9	110±15	64±16	242,5±6,4	147,1±7,8	284±25	20±5	582±24,1	45±3	2,9±0,4	отмирание
27	145,7±33,9	57,3±6,5	32±1	184,0±25,4	54±18	0	168,5±24,0	195±10,4	270±27	0	1381±49,2	49±7	5,1±0,6	нарастание

Все интродуцированные образцы мискантуса оказались устойчивыми к местным зимним температурам, болезням и вредителям, но у некоторых образцов не наступала генеративная фаза.

В 2019, 2020 гг. на сформированных деляночных площадях проводили анализ морфологических показателей растений. Стебель был прямостоячий у всех изучаемых образцов. Заметны различия в кущении: *M. giganteus* более компактен в отличие от *M. sacchariflorus*. Ризомы *M. Sacchariflorus* имеют широкие ползучие и толстые корневища. *M. giganteus* характеризуется укороченным типом корневищ, которые утолщены, уплотнены и менее разветвлены. В наших условиях все образцы мискантус размножаются делением куста, не давая жизнеспособных семян. Метелка (султана) (оценивались образцы, достигшие фазы цветения) – веерообразная, пушистая, с длинными осями и множеством кистей, в начале цветения (конец августа – начало сентября у большинства образцов) серебристая, затем, к середине – концу сентября белого цвета. Причем, в период цветения листья растений теряют зеленую окраску и становятся медно-желтыми.

Для оценки наземной биомассы мискантуса основными признаками являются высота полога, количество стеблей, диаметр стебля. По данным показателям, внутривидовые различия были высокими: высота растений варьировала в широких пределах – от 134 до 184 см, диаметр стебля – от 3,1 до 4,8 мм, количество стеблей на 1 м² составило от 55 до 136 шт./м². *M. giganteus*, представленный одним образцом, имел высоту 184 см и диаметр стебля 5,9 мм и 54 стебля на м². Сухое вещество также варьировало в зависимости от генотипов и достигало 158–332 г/ м².

Проведенный анализ по морфологическим и биологическим признакам (см. табл. 2 и 3), несмотря на высокую перспективность практически большинства образцов, позволил выделить следующие перспективные образцы – 2, 3, 8, 9–12, 16–21, 23, 25: их продуктивность колебалась от 210 до 332 г/м². Причем образцы 3, 12, 18, 19, 21, 23 и 25 достигли фазы отмирания, что говорит о лучшей приспособительной функции к условиям произрастания при получении сырья с низким содержанием влаги.

Таким образом, в условиях интродукции изучены образцы рода Мискантус, включающие 21 образец. Исследуемые растения показали устойчивость по отношению к совокупности местных экологических факторов, не поражались болезнями и вредителями на протяжении 5 лет интродукции. Все интродуцированные образцы мискантуса оказались устойчивыми к местным зимним температурам за период исследований. Исследуемые в наших условиях образцы (за исключением образцов 13, 15, 27) проходили все этапы онтогенеза, однако жизнеспособных семян не формировали. При этом отмечено, что собранный исходный материал

отличается по ритмам цветения (конец августа – сентябрь). По результатам проведенных исследований к числу перспективных образцов с высокой продуктивностью можно отнести мискантус сахароцветный под номерами 3, 12, 18, 19, 21, 23 и 25.

Таблица 3 – Биологические показатели и оценка перспективности образцов мискантуса при интродукции в 2018–2022 гг.

№ образца	Начало вегетации	Начало генеративной фазы	Устойчивость к болезням и вредителям	Зимо- и морозоустойчивость	Зона зимостойкости	Группа перспективности
1	29.05/07.06	14.09/15.09	0	5	2	I
2	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
3	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
5	29.05/07.06	14.09/15.09	0	5	2	I
7	29.05/07.06	14.09/15.09	0	5	2	I
8	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
9	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
11	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
12	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
13	29.05/07.06	*	0	5	2	II
14	29.05/07.06	14.09/15.09	0	5	2	I
15	29.05/07.06	*	0	5	2	II
16	29.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
17	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
18	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
19	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
21	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
22	29.05/07.06	14.09/15.09	0	5	2	I
23	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
25	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
27	29.05/07.06	*	0	5	2	II

*Образцы, у которых генеративная фаза не наступила.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Список литературы

- 1 Dong H., Green S.V., Nishiwaki A., Yamada T., Stewart J.R., Deuter M., Sacks E.J. Winter hardiness of Miscanthus (I): Overwintering ability and yield of new Miscanthus $\frac{1}{2}$ giganteus geno-types in Illinois and Arkansas. *Global Change Biology — Bioenergy*, 2018, 11(5): 691–705. doi: 10.1111/gcbb.12588.
- 2 Dorogina O.V., Vasil'eva O.Yu., Nuzhdina N.S., Buglova L.V., Gismatulina Yu.A., Zhmud' E.V., Zueva G.A., Komina O.V., Tsybchenko E.A. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 2018, 22(5): 553–559 doi: 10.18699/VJ18.394.
- 3 Nunn C., Hastings A.F.S.J., Kalinina O., Özgüven M., Schüle H., Tarakanov I.G., Van Der Weijde T., Anisimov A.A., Iqbal Y., Kiesel A., Khokhlov N.F., McCalmont J.P., Meyer H., Mos M., Schwarz K.U., Trindade L.M., Lewandowski I., Clifton-Brown J.C. Environmental influences on the growing season duration and ripening of diverse Miscanthus germplasm

grown in six countries. *Frontiers in Plant Science*, 2017. № 8. P. 1–14. doi: 10.3389/fpls.2017.00907.

4 Классификация и диагностика почв СССР // М.: Колос, 1977. 224 с.

5 Зоны морозостойкости, USDA-зоны, температурные значения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pro-rasteniya.ru/glossariy/zoni-morozostoykosti-usda-zonitemperaturnieznacheniya> (дата обращения: 20.03.2022).

6 Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1989. Вып. 2: 195 с.

DOI 10.18699/GPB2024-38

Редактирование генома возделываемых сортов пшеницы и ячменя с использованием направленной нуклеазы Cas9 для улучшения сельскохозяйственных признаков

Киселёва А.А.^{1,2}, к.б.н., с.н.с.; Тимонова Е.М.^{1,2}, к.б.н., н.с.; Бережная А.А.², м.н.с.; Короткова А.М.^{1,2}, м.н.с.; Коложвари А.Э.¹, лаб-иссл.; Нестеров М.А.^{1,2}, м.н.с.; Кочетов А.В.^{1,2}, д.б.н., ак., директор; Салина Е.А.^{1,2}, д.б.н., г.н.с., проф.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Курчатовский геномный центр, Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: antkiseleva@bionet.nsc.ru

В данной работе мы адаптировали протоколы для биолистической трансформации возделываемых сортов пшеницы и ячменя. С использованием данного подхода мы получили растения линии Велют с ускоренным колошением благодаря редактированию генов PPD-1 и растения ячменя сорта «Целинный 5» с голозерным фенотипом в результате редактирования гена NUD.

Ключевые слова: мягкая пшеница; ячмень; геномное редактирование

Genome editing of wheat and barley cultivars using Cas9 nuclease to improve agricultural traits

Kiseleva A.A., Timonova E.M., Berezhnaya A.A., Korotkova A.M., Kolozhvari A.E., Nesterov M.A., Kochetov A.V., Salina E.A.

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

Kurchatov Genomics Center of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: antkiseleva@bionet.nsc.ru

In this work, we adapted protocols for biolistic transformation of cultivated varieties of barley and wheat. Using this approach, we obtained wheat plants of the Velut line with accelerated heading due to editing of the PPD-1 genes and barley plants of

the Tselinny 5 variety with a naked grain phenotype resulted from mutations in NUD gene.

Key words: common wheat; barley; genome editing

Главными методологиями улучшения сельскохозяйственных культур в современном сельском хозяйстве являются скрещивание, мутагенез и трансгенез. Скрещивание является наиболее традиционным подходом, и оно сейчас дополняется современными технологиями, такими как маркер-опосредованная селекция, то есть скрещивание основано на информации о маркерах и генах, связанных с важными признаками. Но этот подход имеет ряд недостатков, таких как перенос нецелевых фрагментов генома и низкая скорость создания сортов. После 2010 годов стали появляться работы и исследования по редактированию генома растений с использованием CRISPR/Cas9. Этот подход позволяет более точно и предсказуемо вносить изменения в целевые гены, не оставляя следов чужеродных последовательностей [1].

В селекционных работах использование этого подхода открывает новые возможности для целенаправленного улучшения многих сельскохозяйственных культур. Пшеница (*Triticum aestivum* L.) и ячмень (*Hordeum vulgare* L.) являются одними из важнейших зерновых культур в мире. Мягкая пшеница является третьей по величине продовольственной культурой в мире и важным источником нашего ежедневного рациона во всем мире. Ячмень является четвертой по значимости зерновой культурой с точки зрения производства и используется в качестве диплоидной модели для более сложных полиплоидных злаков, таких как гексаплоидная пшеница.

Чаще всего для трансформации культурных растений используют биобаллистику или агробактериальную трансформацию вектором, который содержит все необходимые элементы для геномного редактирования. У этих подходов есть ряд недостатков и ограничений. Основной – невозможность редактировать немодельные сорта растений, поскольку многие признаки, такие как регенерационная способность или склонность к трансформации, у большинства сельскохозяйственных культур является очень генотип-специфичным [2].

Трансформация пшеницы дополнительно затруднена из-за большого размера генома и полиплоидии. Помимо получения улучшенных генотипов, целью настоящего исследования была оптимизация метода геномного редактирования на основе системы CRISPR/Cas9 с использованием бомбардировки частицами для немодельных сортов ячменя и пшеницы.

Для изменения времени колошения линии мягкой пшеницы Велют, которая отличается высокой продуктивностью и устойчивостью к патогенам, в качестве генов-мишеней выбрали гены *PPD-1*, которые регулируют чувствительность

растения к фотопериоду. В результате биобаллистической трансформации вектором, содержащим сразу две направляющие РНК, была получена коллекция из 52 растений с мутациями по целевым генам, у 7 из которых отсутствовала встройка вектора. Данную генетическую модель мы использовали для изучения влияния различных мутаций в промоторных областях генов *PPD-1* на время колошения.

Для редактирования ячменя был выбран ген *NUD*, мутации в котором приводят к формированию голозерного фенотипа. Голозерный ячмень имеет более высокое содержание в зерне белка и лизина, более высокое содержание β -глюкана, а также его переработка проще и дешевле [3]. Поскольку способность к регенерации остается проблемой для культивируемых сортов ячменя, мы использовали бинарный ДНК-вектор JD633, содержащий химеру генов *GRF4-GIF1*, которые кодируют факторы роста, для повышения эффективности регенерации [4]. Нами получено пять растений T0 ячменя сорта «Целинный 5», несущих несколько моно- и биаллельных мутаций в гене *NUD*. Два из них представляют собой свободные от встройки вектора растения и были использованы для получения стабильных линий T1.

Таким образом, в ходе работы, используя усовершенствованные протоколы биолиственной трансформации, мы получили растения возделываемых сортов ячменя и пшеницы с отредактированными сельскохозяйственно-значимыми генами.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Курчатовского Геномного Центра ИЦиГ СО РАН № 075-15-2019-1662.

Список литературы

- 1 Chen, Kunling, Yanpeng Wang, Rui Zhang, Huawei Zhang, and Caixia Gao. 2019. "CRISPR/Cas Genome Editing and Precision Plant Breeding in Agriculture." *Annual Review of Plant Biology* 70 (1): 667–97. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100049>.
- 2 Cardi, Teodoro, Jana Murovec, Allah Bakhsh, Justyna Boniecka, Tobias Brueggemann, Simon E. Bull, Tom Eeckhaut, et al. 2023. "CRISPR/Cas-Mediated Plant Genome Editing: Outstanding Challenges a Decade after Implementation." *Trends in Plant Science* xx (xx): 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.05.012>.
- 3 Железнов, А.В., Т.В. Кукоева, and Н.Б. Железнова. 2013. "Ячмень Голозерный: Происхождение, Распространение и Перспективы Использования." *Вавиловский Журнал Генетики и Селекции*. 17 (2): 286–97. <https://vavilov.elpub.ru/jour/article/view/150>.
- 4 Debernardi, Juan M., David M. Tricoli, Maria F. Ercoli, Sadiye Hayta, Pamela Ronald, Javier F. Palatnik, and Jorge Dubcovsky. 2020. "A GRF–GIF Chimeric Protein Improves the Regeneration Efficiency of Transgenic Plants." *Nature Biotechnology* 38 (11): 1274–79. <https://doi.org/10.1038/s41587-020-0703-0>.

Механизмы действия *Sr2* гена возрастной устойчивости пшеницы к стеблевой ржавчине

*Кнауб В.В.**, аспирант; *Плотникова Л.Я.*, д. б. н., профессор.

ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Россия

**email: vv.knaub06.06.01@omgau.org*

*Ген возрастной устойчивости *Sr2* сохраняет эффективность против стеблевой ржавчины пшеницы более века, но механизмы его действия ранее не изучали. Изучено взаимодействие сорта *Arthur (Sr2)* с изолятами западносибирской популяции *Puccinia graminis f. sp. tritici* в фазах проростков и колошения. Действие *Sr2* гена приводило к частичному подавлению формирования аппрессориев, нарушению проникновения патогена в устьица и прекращению развития основной части колоний на ранних этапах без реакции сверхчувствительности. К моменту спороношения в зоне пустул отмечено накопление перекиси водорода и отмирание клеток растений. Механизмы действия *Sr2* усиливались с возрастом растений.*

*Ключевые слова: *Triticum aestivum*; стеблевая ржавчина; *Sr2*; возрастная устойчивость*

Mechanisms of action of the *Sr2* gene of wheat adult plant resistance to stem rust

Knaub V.V., Plotnikova L.Ya.

FSBEI of HE «Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin», Omsk, Russia

**email: vv.knaub06.06.01@omgau.org*

*Adult plant resistance gene *Sr2* has been effective against wheat stem rust for more than a century, but the mechanisms of its action have not been studied before. Interaction of cv. *Arthur (Sr2)* with isolates of the West Siberian population of *Puccinia graminis f. sp. tritici* was studied at seedlings and earing phases. The action of the *Sr2* gene led to partial suppression of appressoria formation, prevention of pathogen penetration into the stomata and inhibition of the development of the main part of colonies in the early stages without hypersensitivity reaction. Hydrogen peroxide accumulation and plant cell death were noted at pustule zones by the time of sporulation. Defence mechanisms controlled by the *Sr2* increased at adult stage.*

*Key words: *Triticum aestivum*; stem rust; *Sr2* gene; adult resistance*

Россия является одним из лидеров по производству и экспорту зерна в мире. Увеличению сборов зерна препятствует регулярное развитие грибных болезней, включая стеблевую ржавчину пшеницы (возбудитель – биотрофный гриб *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Eriks. et Henn, *Pgt*). Для стабильной защиты необходимо вводить в сорта гены, обеспечивающие длительную устойчивость к болезни. Длительной названа устойчивость, эффективная при широкомасштабном возделывании сорта в условиях, благоприятствующих развитию болезни [1]. Среди набора известных генов устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr2*, проявляющийся у взрослых растений (Adult plant resistance, APR), сохраняет эффективность с 1920-х гг. Особенностью APR генов является усиление защитного эффекта на поздних стадиях развития растений [2]. Проявления APR были ранее изучены на примере генов устойчивости к бурой ржавчине [2–4]. Однако информация об особенностях проявления гена *Sr2* отсутствует. Для перспективной селекции сортов с длительной устойчивостью актуально изучение механизмов действия гена *Sr2*.

Целью исследований было изучение цитофизиологических проявлений гена возрастной устойчивости *Sr2* на стадии проростков и взрослых растений.

Материалы и методы. Объектом исследований был сорт яровой мягкой пшеницы Arthur (*Sr2*). Контролем служил восприимчивый к болезни сорт мягкой пшеницы Серебристая. Растения в фазах 10-суточных проростков и колошения заражали изолятами, выделенными из западносибирской популяции *Pgt*. В ходе исследований была проведена визуальная оценка реакции сортов [5]. С помощью цитологических методов были изучены особенности развития инфекционных структур *Pgt*. Проведено цитохимическое исследование защитных реакций: реакции сверхчувствительности (СВЧ); накопления активных форм кислорода супероксид-аниона $O_2^{\cdot-}$ и перекиси водорода H_2O_2 ; синтеза каллозы, фенольных веществ и лигнина (по автофлуоресценции) [6].

Результаты исследований показали, что сорт Серебристая был восприимчив к стеблевой ржавчине (реакция 4) на ранних и поздних стадиях развития. Сорт Arthur проявил устойчивую реакцию к двум изолятам *Pgt* на стадии проростков (реакция 2), а на стадии колошения на растениях уменьшились размеры пустул при увеличении зоны некроза вокруг них (реакция 2–) (см. таблицу).

Цитологические исследования показали, что на поверхности листьев восприимчивого и устойчивого сортов прорастание спор было высоким, независимо от возраста растений. На сорте Серебристая с возрастом растений увеличилась интенсивность проникновения гриба в устьица при небольшом снижении доли образовавшихся колоний и пустул (в 1,2 раза). На проростках сорта Arthur было достоверно подавлено образование аппрессориев (в 1,1–1,3 раза). При заражении взрослых растений сорта Arthur изолятом 2 также было подавлено образование

аппрессориев (в 1,3 раза) и меньшая доля аппрессориев формировалась на устьицах. Наиболее заметными проявлениями действия гена *Sr2* были: 1) увеличение доли инокулюма, погибшего на стадиях аппрессория или подустыичной везикулы после проникновения в устьица; 2) подавление развития большей части колоний на ранних этапах развития в тканях. На стадии проростков в сорте Arthur развивалось меньше колоний, по сравнению с восприимчивым сортом, в 6,5–11,8 раз, а пустул – в 11–23 раза (в разных комбинациях). На стадии колошения доля отмерших колоний увеличивалась, в сравнении с проростками (в 1,9–2,3 раза), и образовалось меньше пустул (в 4,8–14 раз, в зависимости от изолята).

Развитие *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Eriks. et Henn на поверхности и в тканях сорта мягкой пшеницы Arthur (*Sr2*) на стадиях проростков и взрослых растений

Комбинация	Реакция	Доля, %					Распределение колоний по площади, %		
		проросших спор	аппрессориев от проросших спор	аппрессориев на устьицах от их общего количества	непроросших аппрессориев на устьицах	колоний/пустул от проросших спор	площадь, тыс. мкм ²		
							1,9–4,0	4,1–6,0	≤6,1
фаза проростков									
Серебристая-изолят 1+2 – контроль	4	84,8	19,2	100	83,3	29,4/19,4	14,7	–	85,3
Arthur (<i>Sr2</i>) – изолят 1	2	84,2	14,3*	100	92,3*	4,5*/1,2*	50,0	25,0	25,0
Arthur (<i>Sr2</i>) – изолят 2	2	92,8*	16,7*	91,6*	95,1*	2,5*/0,83*	49,8	33,2	17,0
НСР _{0,05}	–	3,9	2,9	5,4	4,2	1,9/0,33	–	–	–
фаза колошения									
Серебристая-изолят 1+2 – контроль	4	88,3	15,2	100,0	57,9	25,3/15,8	8,2	11,0	81,8
Arthur (<i>Sr2</i>) – изолят 1	2–	90,7	20,3*	97,4	86,4*	2,3*/0,25*	66,6	22,2	11,2
Arthur (<i>Sr2</i>) – изолят 2	2–	95,2*	11,5*	78,5*	72,5*	1,1*/0,06*	75,0	20,0	5,0
НСР _{0,05}	–	4,2	3,2	4,7	4,7	1,33/0,31	–	–	–

Примечание: * достоверно при $p \leq 0,05$.

Изучение защитных реакций показало, что окислительный взрыв при контакте аппрессориев с замыкающими клетками устьиц сорта Arthur не проявлялся. Большая часть аппрессориев оставалась на устьицах или патоген прекращал развитие после образования подустыичных везикул. Через 2 суток в цитоплазме гриба накапливалась перекись водорода (H₂O₂). Большая часть колоний имела вакуолизированные инфекционные гифы и малое число гаусторий (1–2 шт./колонию). Вероятно, такие колонии отмирали от голодания на ранних этапах развития. В зоне погибших колоний не выявлены реакция СВЧ, синтез каллозы и

лигнина. Через 5 суток после инокуляции на структурах гриба накапливалась H_2O_2 , что свидетельствует об активации оксидантных систем растения. В единичных случаях развития пустул к моменту спороношения отмечено интенсивное накопление H_2O_2 , отмирание окружающих клеток растений и автофлуоресценция их цитоплазмы. Активация защитных реакций на поздних этапах развития болезни может быть связана с развитием индуцированной устойчивости после узнавания продуктов разложения структур гриба.

Ранее защитные механизмы APR были изучены на примере генов устойчивости к бурой ржавчине. При заражении растений с геном *Lr34* изолятом из марокканской популяции *P. triticina* установлено, что значительная часть колоний погибала на разных этапах развития без реакции СВЧ, а спорогенез гриба был значительно подавлен [3]. При заражении западносибирскими изолятами *P. triticina* линий *Lr12*, *Lr13*, *Lr34* и *Lr37* было выявлено значительное подавление формирования аппрессориев, их гибель на устьицах в результате окислительного взрыва, а также отмирание колоний от голодания в результате нарушения развития гаусторий. Ингибирующие эффекты генов усиливались у взрослых растений, особенно при пониженных температурах [2, 4].

Сравнение результатов взаимодействия *Pgt* и *P. triticina* с растениями с APR-генами показывает, что *Sr2* в меньшей степени подавляет развитие аппрессориев и не провоцирует окислительный взрыв на устьицах, но интенсивно блокирует развитие колоний на ранних этапах развития в тканях за счёт нарушения развития гаусторий. Отличительной чертой действия гена *Sr2* является активация защитных реакций на стадии спороношения. Вероятно, APR сорта Arthur определялась как пассивными механизмами защиты в форме химического состава растений, так и развитием индуцированной устойчивости на поздних стадиях патогенеза.

Выводы:

Защитное действие гена *Sr2* возрастной устойчивости к стеблевой ржавчине определялось:

1) гибелью значительной части инокулюма на поверхности растений за счет частичного подавления образования аппрессориев, нарушения проникновения в устьица или остановки на стадии подустыичной везикулы;

2) отмиранием колоний с малым числом гаусторий от голодания, но без проявления окислительного взрыва, реакции СВЧ и накопления фенолов. Активные защитные реакции растений проявлялись на стадии спороношения в форме накопления H_2O_2 и фенольных веществ в зоне пустул;

3) защитные механизмы усиливались с возрастом растений.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-24-20067.

Список литературы

- 1 Johnson R., Lamberti F., Waller J.M., Vander Graaff N.A. Genetic background of durable resistance // Durable resistance. In Crops. Plenum Press, New York, 1983. P. 152–163.
- 2 Плотникова Л.Я., Штубей Т.Ю. Проявление устойчивости взрослых растений пшеницы к *Puccinia triticina*, детерминированной генами *Lr13*, *Lr22b* и *Lr35* // Микология и фитопатология. 2009. Т. 43. В. 3. С. 258–271.
- 3 Rubiales D., Niks R. E. Characterization of *Lr34*, a major gene conferring nonhypersensitive resistance to wheat leaf rust // Plant Dis. 1995. Vol. 79. N 12. P. 1208–1212.
- 4 Плотникова Л.Я., Штубей Т.Ю. Эффективность генов возрастной устойчивости пшеницы к бурой ржавчине *Lr22b*, *Lr34*, *Lr37* в Западной Сибири и цитофизиологическая основа их действия // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 1. С. 123–131.
- 5 Roelfs A.P., Martens J.W. An international system of nomenclature for *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Phytopathology. 1988. Vol. 78. P. 526–533.
- 6 Плотникова Л.Я., Мешкова Л.В. Эволюция цитофизиологических взаимоотношений возбудителя бурой ржавчины и пшеницы при преодолении устойчивости, детерминированной геном *Lr19* // Микология и фитопатология. 2009. Т. 43. В. 4. С. 343–357.

DOI 10.18699/GPB2024-40

Получение микроклубней картофеля *in vitro*

Колошина К.А. *, н.с.; Полухин Н.И., к. с.-х.н., в.н.с.

СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: kristina.koloshina@yandex.ru

Целью данного исследования было изучение процесса получения микроклубней картофеля *in vitro*. Растения картофеля культивировали на питательной среде Мурасиге и Скуга. В данном исследовании наиболее влиятельным фактором оказались сортовые особенности.

Ключевые слова: картофель; *in vitro*; MS; микроклубни

Obtaining potato microtubers *in vitro*

Koloshina K., research fellow, Polukhin N., PhD in Agricultural Science, leading researcher.

SibRIPP&B – branch ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: kristina.koloshina@yandex.ru

The purpose of this study was to study the process of obtaining potato microtubers *in vitro*. Potato plants were cultivated on Murashige and Skoog nutrient medium. In this study, varietal characteristics were the most influential factor.

Key words: potatoes; *in vitro*; MS; microtubers

В оригинальном семеноводстве картофеля все большее внимание уделяется получению микроклубней в культуре *in vitro*, который широко применяется для массового размножения оздоровленного пробирочного материала в системе семеноводства.

Микроклубни можно использовать в качестве материала для хранения коллекционных образцов, поддержания и размножения коллекции культурных и диких клубненосных видов картофеля. В промышленных масштабах микроклубни используются для поддержания рабочих коллекций, ускоренного размножения особо ценных образцов и ведения семеноводства в экстремальных условиях [1, 2].

По мнению многих авторов, этот метод значительно упрощает и удешевляет семеноводческий процесс. У микроклубней, полученных в пробирках, есть преимущества по сравнению со стандартными семенными клубнями: они свободны от патогенов, а благодаря малому размеру и массе их проще хранить и транспортировать [3].

Для получения максимального выхода микроклубней с одного микрорастения необходимо оптимизировать условия культивирования картофеля *in vitro* – фотопериод, объем питательной среды, выбор источника углеводного питания и его концентрации, а также выбор регуляторов роста ауксиновой и цитокининовой природы. Должны учитываться количество продуктивных эксплантов, размер, вес и количество клубней [4, 5].

Цель исследования – определить состав питательной среды для получения микроклубней картофеля *in vitro*.

Исследование проведено в секторе селекции, семеноводства и технологии возделывания картофеля, СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН. Материалом для исследования служили *in vitro* растения картофеля 5 сортов.

Для получения микроклубней использовалась питательная среда Мурасиге и Скуга с содержанием сахарозы 80 мг/л, аденина 0,1 мл/л и салициловой кислоты 0,1 мл/л. Повторность 4-кратная. В колбу объемом 250 мл помещали по 10 стеблевых черенков, полученных из пробирочных растений. В процессе выращивания световой период продолжался 25 дней, а затем колбы помещали в темную комнату до уборки. В световой период температуру поддерживали на уровне 20–22 °С, в темный период – 16–18 °С. Статистическую обработку проводили с использованием пакета данных Microsoft Office Excel 2010.

При применении питательной среды без индукторов клубнеобразования установлено, что по сортам Сокур и Легенда отмечен наибольший процент растений сформировавших микроклубни. Количество микроклубней у сортов Легенда, Юна и Сокур составило 81,74 и 73 соответственно. Было отмечено, что масса микроклубней варьировала от 306 до 400 мг (табл. 1).

Таблица 1 – Образование микроклубней картофеля *in vitro*, MS

Сорт	Кол-во посаженных растений, шт.	Кол-во растений, сформировавших клубни		Получено микроклубней, шт.	Кол-во микроклубней с 1 растения, шт.	Средняя масса 1 микроклубня, мг
		шт.	%			
Юна	50	45	90	73	1,6	353
Терра	50	39	77	67	1,8	328
Легенда	50	46	91	81	1,8	306
Златка	50	38	76	57	1,5	400
Сокур	50	48	95	74	1,6	393
НСР ₀₅		3,15	3,12	3,04	0,89	2,18

В исследовании наиболее влиятельным фактором оказались сортовые особенности. Лучшие показатели по клубнеобразованию отмечены по сортам Легенда, Юна и Сокур. При выращивании микроклубней сортов Златка и Терра выявлено, что растения этих сортов обладают пониженной способностью клубнеобразования, не зависимо от условий культивирования. Средняя масса микроклубней при выращивании растений на питательной среде с салициловой кислотой меньше микроклубней полученных на других вариантах питательной среды в 2,5 раза (табл. 2, 3).

Таблица 2 – Образование микроклубней картофеля *in vitro*, MS+аденин

Сорт	Кол-во посаженных растений, шт.	Кол-во растений, сформировавших клубни		Получено микроклубней, шт.	Кол-во микроклубней с 1 растения, шт.	Средняя масса 1 микроклубня, мг
		шт.	%			
Юна	50	49	98	97	2,0	356
Терра	50	43	86	81	1,9	349
Легенда	50	47	94	104	2,2	327
Златка	50	48	96	91	1,9	403
Сокур	50	50	99	98	2,0	377
НСР		2,12	3,14	5,72	1,02	2,01

Таблица 3 – Образование микроклубней картофеля *in vitro*, MS+салициловая кислота

Сорт	Кол-во посаженных растений, шт.	Кол-во растений, сформировавших клубни		Получено микроклубней, шт.	Кол-во микроклубней с 1 растения, шт.	Средняя масса 1 микроклубня, мг
		шт.	%			
Юна	50	46	92	94	2,0	164
Терра	50	41	81	88	2,1	148
Легенда	50	46	91	100	2,2	173
Златка	50	42	84	87	2,1	141
Сокур	50	50	99	98	2,0	143
НСР		2,15	1,36	2,68	0,71	0,56

В ходе исследования был изучен процесс получения микроклубней картофеля *in vitro* на классической питательной среде Мурасиге и Скуга с добавлением различных индукторов клубнеобразования.

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0033.

Список литературы

- 1 Токбергенова Ж.А. Индуктор ускоренного получения микроклубней картофеля *in vitro* // Картофель и овощи. 2010. № 3. С. 23–24.
- 2 Тустубаева Ш. Т., Кузьмина Г. Н., Акзамбек А. М. Применение технологии получения микроклубней картофеля *in vitro* для оригинального семеноводства // Актуальные научные исследования в современном мире. 2018. № 1-8 (33). С. 33–39.
- 3 Семчук Н.Н., Шишов А.Д., Сердюк А.С., Симаков Е.А., Митюшкин А.В., Овэс Е.В. Модульная технология ускоренного размножения новых перспективных сортов картофеля // Вестник НовГУ. 2012. № 67.
- 4 Овэс Е.В., Колесова О.С., Жевора С.В. Инновационный способ выращивания микроклубней картофеля *in vitro* // Картофелеводство: сб. научн. тр. Минск. 2016. С. 353–361.
- 5 Кокшарова М.К. Микроклубни как посадочный материал // Картофель и овощи. 2016. № 3. С. 31–32.

DOI 10.18699/GPB2024-41

Перспективы использования свойств митогеномов в биотехнологии и селекции сельскохозяйственных растений

*Константинов Ю.М. *, д.б.н., зав. лабораторией.*

*ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН,
Иркутск, Россия*

**email: yukon@sifibr.irk.ru*

*Рассматриваются вопросы использования свойств митогеномов растений в решении задач биотехнологии по разработке экспрессионных систем для получения рекомбинантных белков на основе митохондрий. Во всех отношениях наиболее перспективными кандидатами на роль генетических векторов интегративного и репликативного типа для *Zea mays* являются линейные и кольцевые плазмиды (S1, S2, S3) этих органелл. Концевые инвертированные повторы (КИП) на концах линейных плазмид способствуют их более активному транспорту в митохондрии по сравнению с фрагментами ДНК той же длины, но без КИП. В свою очередь, регистрация активности митохондриальных систем синтеза РНК и ДНК *in organello* может быть использована в лабораторных условиях для отбора селекционных образцов по признаку урожайности в селекции сельскохозяйственных растений.*

Ключевые слова: кукуруза; митохондрии; линейные и кольцевые плазмиды Zea mays; импорт ДНК в митохондрии; интеграция плазмиды в митогеном; вставки митохондриальных плазмид в митогеном; система синтеза нуклеиновых кислот in organello

Prospects for using the properties of mitogenomes in biotechnology and selection of agricultural plant species

*Konstantinov Y.M. **,

Siberian institute of plant physiology and biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

**email: yukon@sifibr.irk.ru*

The issues of using the properties of plant mitogenomes in solving biotechnology problems in developing expression systems for producing recombinant proteins based on mitochondria are considered. In all respects, the most promising candidates for the role of genetic vectors of integrative and replicative type for Zea mays are linear and circular plasmids (S1, S2, S3) of these organelles. Terminal inverted repeats (TIRs) at the ends of linear plasmids contribute to their more active transport into mitochondria compared to DNA fragments of the same length, but without TIRs. In turn, the determination of RNA- and DNA- synthesizing activity in organello can be used in laboratory conditions for the selection of breeding samples based on yield in the breeding of agricultural plants.

Key words: corn, mitochondria; linear and circular plasmids of Zea mays; DNA import into mitochondria; integration of plasmids into the mitogenome; system of nucleic acids synthesis in organello

Митохондрии играют ключевую роль в прохождении всех этапов онтогенеза растительного организма, начиная с эмбрионального. Нормальное функционирование этих органелл обеспечивается согласованной экспрессией митохондриального и ядерного геномов, последний при этом кодирует подавляющее число митохондриальных белков и регуляторных факторов митохондрий. Фундаментальной особенностью митохондрий является их способность после изолирования из тканей и органов сохранять *in organello* определенное время функцию дыхания и окислительного фосфорилирования, а также способность к синтезу ДНК, РНК и белка. Структура и функции митохондриального генома многих видов высших (в том, числе таких важных сельскохозяйственных растений как кукуруза, соя, картофель и др.) к настоящему времени изучены достаточно подробно [1], что создает возможность разностороннего использования свойств растительных митогеномов для решения актуальных вопросов биотехнологии и селекции. Митогеномы покрытосеменных растений отличаются от таковых животных и дрожжей помимо поразительно больших размеров (200–2400 т.п.н.) и

высокой рекомбинационной активности наличием видоспецифических наборов кольцевых и линейных плазмид, которые способны поддерживаться как в автономном, так и интегрированном в митохондриальную хромосому состоянии (см. таблицу).

Митохондриальные плазмиды растений (на основе данных [2])

Вид	Размер, т.п.н.	Структура	Интеграция в МИТОГЕНОМ
<i>Beta vulgaris</i> <i>var. maritima</i>	1,3;1,4;1,44;1,6 1,4	кольцевая линейная	н.и.* +
<i>Chenopodium album</i>	1,3	кольцевая	н.и.
<i>Brassica campestris</i>	11,3	линейная	+
<i>Brassica napus</i> , <i>Brassica rapa</i>	11,6	линейная	-
<i>Daucus carota</i>	9,2	линейная	+
<i>Gossipium</i>	2,4; 6,5	кольцевая	н.и.
<i>Heliantus annuus</i>	1,4; 1,8	кольцевая	-
<i>Lupinus albus</i>	1,4;1,2	кольцевая	-
<i>Oenothera berteriana</i>	6,3-13,5	кольцевая	н.и.
<i>Oryza sativa</i>	0.97; 1.5; 1.55; 2.14	кольцевая	-
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	1.16; 1.35	кольцевая	н.и.
<i>Sorghum bicolor</i>	1.36; 1.7; 2.3 5.3; 5.7	кольцевая линейная	- -
<i>Triticum aestivum</i>	0.3–6.0	кольцевая	н.и.
<i>Triticum compactum</i>	0.3–6.0	кольцевая	н.и.
<i>Vicia faba</i>	1.48; 1.7; 1.7	кольцевая	н.и.
<i>Zea mays</i> S-тип ЦМС	6.4; 5.45	линейная	+
RU-тип цитоплазмы	7.46; 5.45	линейная	+
N-тип цитоплазмы	2.1; 2.3	линейная	-
N-тип цитоплазмы	1.4; 1.9	кольцевая	н.и.
<i>Zea diploperennis</i>	5.4; 7.4	линейная	н.и.
<i>Zea luxurians</i>	0.75; 5.4	линейная	н.и.

н.и.* – не исследовано.

Наличие у линейных митохондриальных плазмид свойств автономного репликона, а также их способность к активному транспорту (импорту) в митохондрии благодаря наличию в своем составе концевых инвертированных повторов в условиях как *in vitro*, так и *in vivo* [3, 4] позволяет рассматривать их в качестве перспективных средств доставки генетического материала в эти органеллы при решении широкого круга задач биотехнологии, наиболее важными из которых является конструирование митохондриальных генетических векторов и разработка системы генетической трансформации митохондрий. В пользу достижимости этих целей свидетельствуют результаты работы [5], в которой продемонстрирована в системе *in organello* не только доставка генетических конструкций в митохондрии, но и успешная интеграция последовательности репортерного гена

gfp в митогеном трех видов высших растений (*Zea mays*, *Solanum tuberosum*, *Nicotiana tabacum*) по принципу гомологичной рекомбинации. Условием встройки в главный митохондриальный геном фрагмента экзогенной ДНК было наличие у последнего фланков длиной ~ 500 п.н., гомологичных резидентному митогеному [5]. В развитие этого направления недавно в системе *in organello* проведено изучение эффективности регуляторных последовательностей митохондриальных генов, фланкирующих ДНК экзогенного происхождения [6]. Обнаружено, что уровень транскрипции GFP под контролем промоторов митохондриальных генов RRN26 или COXI *in organello* коррелирует с уровнем транскрипции этих генов, наблюдаемым *in vivo*. Таким образом, описанная в работе [6] система импорта и транскрипции рекомбинантной ДНК *in organello* зарекомендовала себя в качестве полезного биотехнологического инструмента для тестирования элементов генетических конструкций для последующего их применения в экспрессионной системе на основе митохондрий *in vivo*. Несмотря на связанные с ней большие ожидания и непрекращающиеся попытки создания [7], разработка надежной системы генетической трансформации митохондрий высших растений *in vivo* затруднена из-за отсутствия метода селекции трансхондриомных клеток. Использование для этих целей антибиотиков, как это имеет место в случае селекции транспластомных растений [8], полностью исключено, поскольку антибиотики являются сильнейшими ингибиторами дыхательной цепи митохондрий.

Одним из относительно малоиспользуемых в современных исследованиях свойств митогеномов является способность изолированных митохондрий при создании необходимых условий осуществлять биосинтез РНК, ДНК и белка *in organello*. Определение кинетики синтеза вышеназванных биополимеров проводили с использованием препаратов свежеизолированных митохондрий в пределах 20-минутного интервала времени [9]. С учетом важности генетических признаков, в кодировании которых принимают участие митогеномы, оправданы попытки исследований вопроса о взаимосвязи между генетическими характеристиками изолированных митохондрий и продуктивностью растений. На основании изучения кинетических параметров синтеза мтРНК в изолированных митохондриях 74 линий и гибридов кукурузы нами установлено существование достоверной зависимости между уровнем транскрипционной активности мтДНК определенного генотипа и величиной урожайности этого генотипа. Оказалось, что скорость синтеза РНК митохондриями связана отрицательной корреляционной зависимостью с урожайностью зерна (коэффициент корреляции равен $-0,96$ – $-0,99$ ($P < 0,01$)). Наличие такой связи подтверждено не только для линий и гибридов *Zea mays*, но и сортов картофеля и гороха. На основе этих результатов нами был разработан новый молекулярно-биологический способ оценки урожай-

ности у зерновых и других сельскохозяйственных культур [10, 11]. Способ позволяет осуществлять в лабораторных условиях две важных для селекционного процесса процедуры: (1) оценку потенциальной продуктивности селекционного образца относительно генотипа-стандарта; (2) количественное определение потенциальной продуктивности образца с использованием экспериментальной кривой, характеризующей зависимость между активностью синтеза мтРНК в митохондриях 4–5 генотипов-стандартов и величиной урожайности этих генотипов. Отобранные с использованием такого способа новые растительные генотипы с увеличенной относительно стандарта урожайностью зерна могут быть далее включены в систему генетико-селекционных испытаний по классической схеме, что в конечном итоге позволит значительно сократить сроки создания новых высокопродуктивных форм зерновых и зернобобовых культур.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках проекта под № гос. регистрации № 122041100052-0.

Список литературы

- 1 Gualberto J.M., Newton K.J. Plant mitochondrial genomes: dynamics and mechanisms of mutation // *Annu. Rev. Plant Biol.* 2017. V.68. P. 225–252.
- 2 Koulintchenko M.V., Dietrich A., Konstantinov Y.M. Mitochondrial genetic transformation via biotechnological approaches or natural competence mechanism: do we have a choice? // *Biopolymers and Cell.* 2012. V. 28, № 4. С. 261–266.
- 3 Koulintchenko M., Konstantinov Y., Dietrich A. Plant mitochondria actively import DNA via the permeability transition pore complex // *The EMBO Journal.* 2003. V.22, N.6. P.1245–1254.
- 4 Тарасенко Т.А., Тарасенко В.И., Кулинченко М.В., Клименко Е.С., Константинов Ю.М. Импорт ДНК в митохондрии растений: комплексный подход для изучения *in organello* и *in vivo* // *Биохимия.* 2019. Т.84. С.1036–1048.
- 5 Mileshina D., Koulintchenko M., Konstantinov Y., Dietrich A. Transfection of plant mitochondria and in organello gene integration // *Nucleic Acids Res.* 2011. V.39(17):e115.
- 6 Тарасенко В.И., Тарасенко Т.А., Горбенко И.В., Константинов Ю.М., Кулинченко М.В. Дифференциальная экспрессия чужеродного гена в митохондриях арабидопсиса в системе *in organello* // *Молекулярная биология.* 2023. Т. 57, № 3. С. 460–470
- 7 Rozov S.M., Zagorskaya A.A., Konstantinov Y.M., Deineko E.V. Three parts of the plant genome: on the way to success in the production of recombinant proteins // *Plants.* 2023. V.12, № 38.
- 8 Щелкунов С.Н., Константинов Ю.М., Дейнеко Е.В. Транспластомные растения // *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2011. Т.15. С.808–817.
- 9 Константинов Ю.М., Машенков А.С., Луценко Г.Н., Подсосонный В.А. Реципрокная зависимость между активностями синтеза РНК и ДНК в митохондриях разных генотипов кукурузы // *Доклады РАН.* 1993. Т. 328. № 6. С. 747–749.
- 10 Константинов Ю.М., Луценко Г.Н., Подсосонный В.А. Способ определения потенциальной урожайности линий кукурузы // *Авторское свидетельство № 1677888.*
- 11 Константинов Ю.М., Луценко Г.Н., Подсосонный В.А. Способ оценки урожайности у зерновых и зернобобовых культур // *Авторское свидетельство № 1543576.*

Влияние криоконсервации на всхожесть семян *Glycyrrhiza glabra* L.

*Корзина Н.В. *, к.б.н., зав. лаб. морфогенеза и депонирования растений in vitro; Иванова Н.Н., к.б.н., с.н.с.*

ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Ялта, Россия

**email: natali.korz@yandex.ru*

*В 2024 году в НБС-ННЦ начаты исследования по изучению отдельных этапов криоконсервации семян дикорастущего вида *Glycyrrhiza glabra* L. Оценка лабораторной всхожести семян показала, что глубокое замораживание не оказало значительного влияния на жизнеспособность в сравнении с контрольным вариантом, однако способствовало увеличению периода прорастания. Всхожесть в контроле составила 40,7 %, после погружения в жидкий азот – 38,6 %.*

*Ключевые слова: *Glycyrrhiza glabra* L.; проросток; сверхнизкая температура; семена*

Influence of cryopreservation on the germination of *Glycyrrhiza glabra* L. seeds

*Korzina N.V. *, Ph.D., Head. lab. morphogenesis and deposition of plants in vitro; Ivanova N.N., Ph.D., senior researcher*

FGBUN Order of the Red Banner of Labor Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia

**email: natali.korz@yandex.ru*

*The research was carried out at the NBG-NSC to study individual stages of cryopreservation of seeds of the wild species *Glycyrrhiza glabra* L. in 2024. The evaluation of laboratory seed germination showed that deep freezing did not have a significant effect on viability compared to the control option, but contributed to an increase in the germination period. Germination in the control was 40,7 %, after immersion in liquid nitrogen – 38,6 %.*

*Key words: *Glycyrrhiza glabra* L.; seedling; ultra-low temperature; seeds*

Угроза биоразнообразию в условиях возрастания антропогенной нагрузки и климатических изменений актуализирует задачу по сохранению дикорастущих редких и эндемичных видов. Применение биотехнологических методов в сочетании с долговременным хранением семенного материала при сверхнизких температурах является одним из способов решения этой проблемы [1–6]. Целью настоящей работы являлось исследование влияния жидкого азота (–196 °С) на всхожесть семян редкого вида Крыма *Glycyrrhiza glabra* L.

В качестве объекта исследования использовали семена редкого вида Крымской флоры солодки голой *Glycyrrhiza glabra* L. Вид псаммофитона, литоралофитона, галофитона. Ксеромезофит, гелиофит. В заказнике «Арабатский» и на Камыш-Бурунской косе формирует моноценозы с проективным покрытием от 60–80 % до 100 %. Размножается вегетативно, редко семенами. Согласно Красной книге факторами угроз для данного вида является антропогенное воздействие на природные экотопы [7]. Сбор семян проводился в августе–сентябре 2020 г. Образцы хранили при температуре 4 ± 1 в бумажных пакетах, вложенных в полиэтиленовые пакеты с Zip-lock застежкой в холодильнике Indesit DF 5201 X RM. Срок хранения составил 36 месяцев.

Для определения всхожести семян их разделили на 3 партии по 10 шт. в каждой ($n=30$), в рулоне из фильтровальной бумаги ставили в стакан с дистиллированной водой, который помещали в климатическую камеру с температурой $24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Энергию прорастания (ЭП) семян фиксировали через 3 суток, лабораторную всхожесть (ЛВ) – через 7 суток. Для семян после погружения в жидкий азот ЭП и ЛВ посчитывали через 3 и 9 суток.

Вычисление ЭП проводили по формуле: $\text{ЭП} = \frac{n}{N} * 100\%$,

где n – количество семян, проросших за $1/2$ или $1/3$ срока проращивания, N – общее количество семян в опыте.

Вычисление ЛВ выполняли по аналогичной формуле, предварительно удаляя проросшие и погибшие семена. Жизнеспособность семян оценивали, суммируя проценты ЭП и ЛВ [8, 9].

В опыте по криосохранению проводили закаливание семян в морозильной камере при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 14 суток. Семена *G. glabra* распределяли в криопробирки по 35 шт. ($n=70$) и погружали в жидкий азот ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) на 3 часа. Размораживание криопробирок с семенами выполняли двумя способами: 1) при комнатной температуре в течение 30 мин; 2) погружением в теплую воду (температура $40\text{ }^{\circ}\text{C}$) на 1 мин.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью STATISTICA for Windows 10.0 (StatSoft, Inc).

Известно, что семена постепенно теряют всхожесть с течением времени даже в условиях хранения при низких положительных температурах ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$) Также семена многих видов не имеют ярко выраженного покоя, но энергия прорастания их низка в силу их неоднородности, в том числе, по степени зрелости [10]. У дикорастущих растений растянутость периода прорастания выражена особенно сильно. В связи с этим для семян, хранящихся в течение четырех лет при $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, провели опыт на определение энергии прорастания и всхожести.

Все семена ($n=30$), помещенные в рулоны фильтровальной бумаги, через 3 суток увеличились в размерах, у 5 шт. проклюнулся зародышевый корешок,

что соответствует 16,7 % энергии прорастания у солодки голой. Для определения лабораторной всхожести проросшие и погибшие семена удаляли, оставшиеся повторно помещали в бумажный рулон, который погружали в емкость с водой.

Измерение лабораторной всхожести *G. glabra* через 7 суток показало прорастание еще 24% семян, оставшиеся были набухшими и потемневшими. Таким образом, процент жизнеспособности *G. glabra* составил 40,7 % (ЭП + ЛВ = 16,7+24,0) по данным 7 суток измерений.

Развитие проростков из семян *G. glabra*, прошедших обработку сверхнизкой температурой $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, наблюдали во всех исследуемых условиях размораживания: оттаивании при комнатной температуре и в теплой воде. Через трое суток наблюдали 3 основных состояния семян после воздействия жидким азотом: 1) плотные, темно-коричневые, без визуальных изменений; 2) набухшие, увеличившиеся в размерах; 3) семена с появившимся зародышевым корешком. ЭП в варианте размораживанием при комнатной температуре составила 2,9 % ($n=35$), при погружении в воду – 11,4 % ($n=35$). ЭП всех семян в опыте составила 7,14 % ($n=70$).

Визуальный анализ семенного материала спустя 9 суток показал, что проростки исследуемого вида *G. glabra* имели хорошо развитый главный корень без значительных повреждений или деформаций, отмечено раскрытие семядолей желтого цвета и формирование корневых волосков (рис. 1).



Рис. 1. Этапы развития семян *G. glabra* в течение 9 суток после криообработки: А – набухание семени; Б – разрыв кожуры; В, Г – удлинение гипокотиля; Д – вынос семядолей; Е – развертывание семядолей. Масштаб 1 см

Лабораторная всхожесть проростков после оттаивания при комнатной температуре и в воде составила 40,0 и 22,9 % ($n = 35$) соответственно, процент проросших семян в разных условиях через 9 суток – 42,9 и 34,3 %. Статистическая разница между вариантами размораживания семенного материала оказалась незначительна, и не позволяет оказать предпочтение какому-либо из них на данном этапе исследований. ЛВ всех развившихся после криообработки семян составила 38,6 % ($n=70$).

Развившиеся проростки были высажены в субстрат для проверки на жизнеспособность, спустя 9 суток растения удлинились, появились первые настоящие зеленые листья (рис. 2).



Рис. 2. Проростки *G. glabra*, развившиеся из прошедших криообработку семян *ex situ*

Таким образом, погружение семян редкого вида флоры Крыма *G. glabra* в жидкий азот не привело к заметному снижению энергии прорастания (38,6 %) по сравнению вариантом проращивания в стандартных условиях (40,7 %). При этом необходимо учесть, что не проросшие семена могли изначально быть невсхожими вследствие длительного хранения. Наличие набухших семян и различной степени сформированности проростков свидетельствует о растянутости периода их прорастания. Эксперимент показал, что криоконсервацию можно рассматривать как перспективный способ длительного хранения семян данного вида.

Финансирование: Работа выполнена по Госзаданию FNNS-2022-0002 ФГБУН «НБС-ННЦ» на оборудовании УНУ «Научный центр биотехнологии, геномики и депонирования растений» («ФИТОБИОГЕН») ФГБУН «НБС-ННЦ» (Ялта, Россия).

Список литературы

- 1 Chen S.-L., Luo H.-M., Wu Q., Li C.-F., Steinmetz A. Conservation and sustainable use of medicinal plants: problems, progress and prospects // Chinese Medicine. 2016. Vol. 11. No. 37. P. 2–10. DOI:10.1186/s13020-016-0108-7
- 2 Engelmann F. Present development and use of *in vitro* culture techniques for the conservation of plant genetic resources // Acta Hort. 1997. Vol. 447. P. 471–475. DOI: 10.17660/ActaHortic.1997.447.96
- 3 Sarasan W., Cripps G., Ramsay M., Atherton C., McMichen M., Prendergast G., Rowntree J. Conservation *in vitro* of threatened plants – progress in the past decade // *In Vitro Cell. Biol. Plant*. 2006. Vol. 42. N 3. P. 206–214. DOI:10.1079/IVP2006769
- 4 Cruz-Cruz C.A., González-Arno M.T., Engelmann F. Biotechnology and Conservation of Plant Biodiversity // Resources. 2013. Vol. 2. P. 73–95. DOI:10.3390/resources2020073
- 5 Romadanova N., Kushnarenko S., Karasholakova L. Development of a common PVS2 vitrification method for cryopreservation of several fruit *in vitro* // Cellular & Developmental Biology. 2017. Vol. 53. No 4. P. 382–393. DOI:10.1007/s11627-017-9849-y

- 6 Ковальчук И.Ю., Кушнарченко С.В., Турдиев Т.Т., Мухитдинова З.Р., Фролов С.Н., Ромаданова Н.В., Рид Б.М. Создание криобанка гермоплазмы плодовых и ягодных культур: Методические рекомендации. Алматы, 2011. 44 с.
- 7 Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / Отв. ред. д.б.н., проф. А.В. Ена и к.б.н. А.В. Фатерыга. Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ». 2015. 480 с.
- 8 Кушнарченко С.В., Мухитдинова З.Р., Аралбаева М.М. Криоконсервация семян. Методические рекомендации. Алматы: TST-Company, 2011. 33 с.
- 9 Справочник по проращиванию покоящихся семян / М.Г. Николаева, М.В. Разумова, В.Н. Гладкова; Отв. ред. М.Ф. Данилова. Л.: Наука: Ленингр. отд-ние, 1985. 348 с.
- 10 Дорогина О.В., Елисафенко Т.В. Некоторые аспекты изучения биологии прорастания семян редких и исчезающих видов // Криохранилище семян: итоги и перспективы. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2014. С. 92–99.

DOI 10.18699/GPB2024-43

Скрининг сортов *Linum usitatissimum* L. по комбинационной способности в системе диаллельных скрещиваний

*Королев К.П. *, к.с.-х.н., н.с.; Боме Н.А., д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой. ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия
email: korolevkonstantin799@gmail.com

Представлены результаты оценки сортов льна по общей и специфической комбинационной способности. Выделены генотипы с положительными эффектами ОКС и СКС у льна-долгунца (Ярок, Грант, Betertelsdorf 6884/60) и льна масличного (Северный, Нилин, Бирюза) по отдельным количественным признакам.

Ключевые слова: лен; гибридизация; комбинационная способность; продуктивность

Screening of *Linum usitatissimum* L. varieties for combining ability in a system of diallelic crosses

*Korolev K.P. *, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher; Bome N. A., Doctor of Agricultural Sciences, Head. Departments.*

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Tyumen State University, Tyumen, Russia

**email: korolevkonstantin799@gmail.com*

The results of assessing flax varieties for general and specific combining ability are presented. Genotypes with positive effects of GCA and SCA were identified in fiber flax (Yarok, Grant, Betertelsdorf 6884/60) and linseeds (Severny, Nilin, Biryuza) based on individual quantitative traits.

Key words: flax; hybridization; combinative ability; productivity

Лен является ценным культурным растением многостороннего использования. Повышение продуктивности агроценозов возможно с привлечением новых сортов льна с широким биоклиматическим потенциалом, создание которых должно быть основано на использовании разнообразных селекционно-генетических подходов.

Известным и часто используемым является диаллельный анализ. Работы по определению эффектов комбинационной способности выполнены на пшенице [2, 9, 12], подсолнечнике [11], сорго [13], кукурузе [3], картофеле [8], однако на льне они фрагментарны [1, 4, 5, 7]. Метод, основанный на системе диаллельных скрещиваний, предложенный В. Griffing [10], позволяет провести оценку исходных форм и гибридов уже первом поколении (F_1). Исходя из этого и ускорения возможности отбора выбрали эту схему скрещиваний.

С целью создания нового исходного материала льна для условий Тюменской области выполняли межсортовые скрещивания по диаллельной схеме на опытном полигоне для изучения генетического разнообразия культурных растений ($57^{\circ}21'$ с.ш. и $66^{\circ}04'$ в.д.; биостанция «Озеро Кучак» ТюмГУ, Нижнетавдинский р-н, Тюменская область). Гибридизацию проводили в соответствии с общепринятой методикой [7]. В качестве родительских форм льна-долгунца использовали сорта из Беларуси (Ярок, Грант), Германии (Betertelsdorf 6884/60), Франции (Alizee), льна масличного – сорта из России (Северный, Нилин, Бирюза), Франции (Antares). Сорта предварительно изучены в коллекционном питомнике, для скрещиваний подобраны по индивидуальным селекционно ценным характеристикам. Изучено 4 исходных сорта и 12 гибридных комбинаций льна-долгунца и соответственно 4 и 12 льна масличного. Завязываемость семян в комбинациях льна-долгунца составила 77,1 % (2017 г.), льна масличного – 69,4 %. (2018 г.).

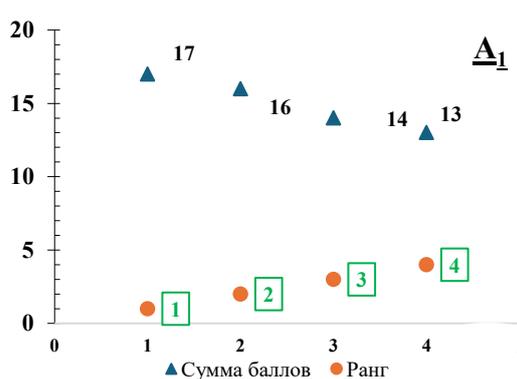
На основании выполненного многофакторного дисперсионного анализа установлены достоверные различия ($p > 0,01$) между генотипами льна. Изученная группа сортов характеризовалась как положительными, так и отрицательными эффектами ОКС и СКС. Выделены сорта с наиболее высокими эффектами комбинационной способности (см. таблицу).

Сорта льна с максимальными положительными эффектами общей (ОКС) и специфической (СКС) комбинационной способности по некоторым количественным признакам

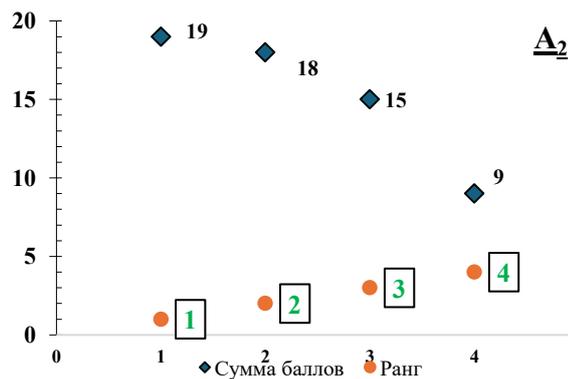
Высота растений	Длина соцветия	Число коробочек	Масса стебля	Содержание волокна
Лен-долгунец				
Betertelsdorf 6884/60 (ОКС), Betertelsdorf 6884/60 (СКС)	Ярок (ОКС), Грант (ОКС), Грант (СКС)	Betertelsdorf 6884/60 (ОКС), Ярок (СКС), Грант (СКС)	Грант (ОКС), Ярок (СКС)	Betertelsdorf 6884/60 (ОКС), Ярок (СКС)
Лен масличный				
Нилин (ОКС), Северный (СКС)	Бирюза (ОКС), Северный (ОКС), Antares (СКС)	Бирюза (СКС)	–	–

У льна-долгунца отмечен сорт Betertelsdorf 6884/60 с максимальным уровнем ОКС по высоте растений (10,11), числу коробочек (4,98), содержанию волокна (1,19). Сорт льна масличного Северный продемонстрировал положительные эффекты ОКС по высоте растения (10,2) и длине соцветия (8,23), а сорт Бирюза по числу коробочек (4,16). По вариансам СКС по трем признакам (число коробочек, масса стебля, содержание волокна) отмечен сорт льна-долгунца Ярок (1,03; 7,51; 3,21) и льна масличного Antares (3,21), Нилин (1,03), Бирюза (2,13), имеющие положительные эффекты СКС по изученным признакам соответственно. Лучшими сортами льна-долгунца, имеющими наибольшие положительные эффекты общей и специфической комбинационной способности, являются сорта Betertelsdorf 6884/60 по высоте растений, Грант по длине соцветия.

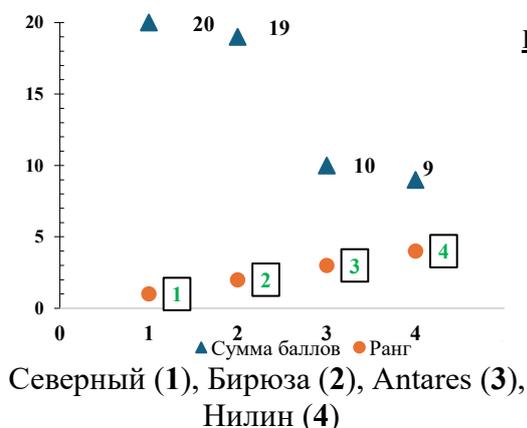
Сочетание в одном генотипе максимального количества хозяйственно ценных признаков обуславливает возможность получения в дальнейшем нового ценного селекционного материала. Данные по ОКС и СКС льна были обработаны, а сорта сравнили с использованием метода баллового ранжирования (см. рисунок).



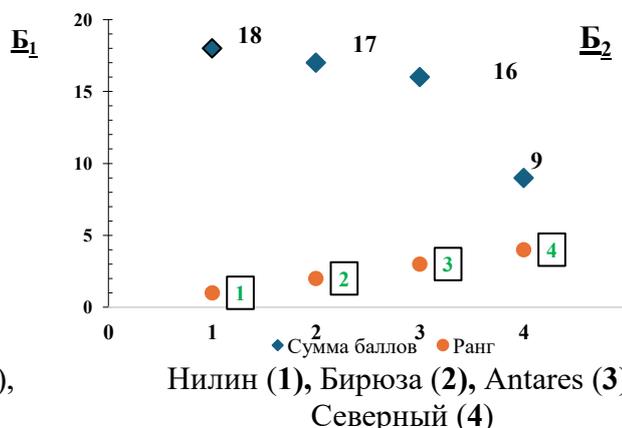
А₁
Betertelsdorf 6884/60 (1), Грант (2),
Ярок (3), Alizee (4)



А₂
Ярок (1), Betertelsdorf 6884/60 (2),
Грант (3), Alizee (4)



Б₁
Северный (1), Бирюза (2), Antares (3),
Нилин (4)



Б₂
Нилин (1), Бирюза (2), Antares (3),
Северный (4)

Результаты баллового ранжирования сортов льна-долгунца и льна масличного по общей (А₁, Б₁) и специфической (А₂, Б₂) комбинационной способности

Из сортов по общей комбинационной способности (ОКС) следует отметить Betertelsdorf 6884/60, Грант, Северный, Бирюза по специфической комбинационной способности (СКС) Ярок, Нилин, Бирюза.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлен достоверный эффект комбинационной способности по изученной группе сортов. Выделены генотипы, с высокими положительными эффектами общей и специфической комбинационной способности, которые можно рекомендовать для использования в селекционном процессе в условиях Тюменской области.

Список литературы

- 1 Голуб И.А. Диаллельный анализ признаков продуктивности, качества и фотосинтетической активности // Земледелие и защита растений. 2013. №5. С. 52–56.
- 2 Джаббаров И.Ш., Маджидова Т.Р. Комбинационная способность сортообразцов мягкой яровой пшеницы по признаку «длина стебля» // Научное обозрение. Биологические науки. 2017. № 4. С. 16–20.
- 3 Кривошеев Г.Я. Общая и специфическая комбинационная способность самоопыленных линий кукурузы по признаку урожайность зерна // Научный журнал Куб ГАУ. 2014. № 104 (10). С. 1–11.
- 4 Маслинская М.Е. Комбинационная способность сортообразцов льна масличного в различных схемах скрещивания и поколениях гибридов // Масличные культуры. 2012. № 2. С.74–78.
- 5 Полонецкая Л.М. Диаллельный анализ комбинационной способности сортов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по признакам продуктивности и качества волокна // Весці нац. акад. Белар., сер. біял. навук. 2002. № 3. С. 38–41.
- 6 Рогаш А.Р., Дунаева Г.В. К вопросу о методике гибридизации льна // Лен и конопля. 1969. № 6. С. 32–33.
- 7 Хотылева Л.В., Полонецкая Л.М. Генетический контроль количественных признаков и оценка комбинационной способности сортов льна-долгунца в F₁ и F₂ // Сельскохозяйственная биология. 1987. № 1. С. 72–75.
- 8 Шанина Е.П. Комбинационная способность исходных родительских форм картофеля // Картофелеводство. 2012. Т. 20. С. 63–68.
- 9 Юсов В.С. Изменчивость комбинационной способности твердой пшеницы в зависимости от условий выращивания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 2. С. 451–454.
- 10 Griffing V.A. Generalized approach to the use of diallelic crosses in quantitative heredity // Australian Journal of Biological Sciences. 1956. Vol.10. P. 31–50.
- 11 Deglen L., Alibert G., Lesigne P. Inheritance of resistance to stem canker (*Phomopsis helianthi*) in sunflower // Plant pathology. 1999. Vol. 48(4). P. 559–563.
- 12 Khaled A.G.A., Hamam K.A., Motawea M.H. Genetic studies of tissue culture response and some agronomic characteristics of Egyptian bread wheat // Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. 2013. Vol.11. P.79–86.
- 13 Makanda I., Tonguna P., Derera J. Combination of ability and superiority of sorghum germplasm cultivars for grain yield under tropical low- and mid-elevation conditions // Field crop research. 2010. Vol. 116. P. 75–85.

Создание и оценка исходного материала декоративно-цветущих растений *Clarkia Pursh* на юге Западной Сибири

Королева Е.В.^{1}; Фотев Ю.В.^{1,2} к.с.-х.н., с.н.с., доцент.*

¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», Новосибирск, Россия

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

**email: coroleva-nsk@yandex.ru*

*Региональный ассортимент однолетних цветочных культур представлен в основном сортами зарубежной селекции, неприспособленными к природно-климатическим условиям юга Западной Сибири. На базе Новосибирского государственного аграрного университета с 2010 г. ведется работа по созданию исходного материала декоративных растений рода *Clarkia Pursh*.*

*Ключевые слова: *Clarkia*; отбор; гибридизация; наследование окраски цветка; сорт*

Creation and evaluation of source material for decorative flowering plants *Clarkia Pursh* in the south of Western Siberia

Koroleva E. V.^{1}, Fotev Yu. V.^{1,2}*

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**email: coroleva-nsk@yandex.ru*

*The regional assortment of annual flower crops is represented mainly by varieties of foreign selection, unadapted to the natural and climatic conditions of the south of Western Siberia. Since 2010, at the Novosibirsk State Agrarian University, work has been underway to create source material for ornamental plants of the genus *Clarkia Pursh*.*

*Key words: *Clarkia*; selection; hybridization; inheritance of flower color; variety*

Цветочное оформление территории города Новосибирска и в целом городов Западной Сибири напрямую зависит от качества сортового материала однолетних цветочных культур, представленного в основном зарубежной селекцией, часто невыравненного по основным декоративным признакам (окраске и форме цветка, габитусу) и неадаптированного к местному, резко континентальному климату. В нашем регионе ассортимент декоративных летников весьма ограничен и представлен культурами, требующими затрат на выращивание рассады: агератум, астра, амарант, бегония, тагетес, вербена, петуния и сальвия [1].

Однолетние декоративно-цветущие растения рода *Clarkia* Pursh отличаются высокими декоративными качествами и продолжительным цветением, способностью выдерживать пониженные температуры и заморозки до -3°C , что позволяет выращивать их в цветниках без рассады – посевом семян в открытый грунт. В настоящее время по всему миру вновь возник большой интерес к этой культуре как для использования ее в ландшафтном дизайне и оформлении городских цветников, так и для производства срезочной и горшечной продукции в промышленном цветоводстве.

Известно 42 вида кларкии, все они, кроме *C. tenella* (Cavanilles) H. Lewis & M. Lewis, которая встречается в регионах со средиземноморским климатом в Аргентине и Чили, являются эндемиками западной части Северной Америки. В декоративном садоводстве и цветоводстве распространены сорта и гибриды *C. amoena* (Lehm.) A. Nelson & J. F. Macbr., включающей подвиды: *C. amoena* subsp. *lindleyi* (Douglas) H.F. Lewis & M.R. Lewis и *C. amoena* subsp. *whitneyi* (A. Gray) H. Lewis & M. Lewis, *C. unguiculata* Lindl. и *C. pulchella* Pursh, особенно широко культивируемой в Европе [2].

За рубежом селекцией растений рода *Clarkia* Pursh начали заниматься в 20–40-е гг. прошлого столетия. Учеными H. Rasmuson [3], G. Hiorth [4, 5] были проведены работы по межвидовым и межродовым скрещиваниям различных видов *C. amoena* (син. *Godetia amoena* (Lehm.) G. Don) и *Clarkia amoena* subsp. *whitneyi* (син. *Godetia whitneyi* (A. Gray) T. Moore). С 1980-х годов по настоящее время продолжается изучение характера наследования пигментации лепестков у кларкии. Lin R-C и M. D. Rausher идентифицировали фактор транскрипции R2R3-MYB, ответственный за антоциановую пигментацию базальной области («чашечки») на лепестке. Функциональная мутация гена CgsMYB12 формирует белую чашу на фоне розового лепестка у *Clarkia gracilis* ssp. *Sonomensis* (C. L. Hitchc.) H. Lewis & M. Lewis, родственного вида *C. amoena* [6].

В России селекцией кларкии начала заниматься Г. В. Острякова, в 60-е гг. XX века на Воронежской овощной опытной станции ей были выведены сорта кларкии ноготковой (*C. unguiculata* Lindl.): Радость, Наша радость, Солнышко, Хавское солнышко [7].

В Западной Сибири работы по селекции кларкии (*C. amoena* (Lehm.) A. Nelson & J. F. Macbr.) были начаты в 90-е гг. XX века в Центральном Сибирском ботаническом саду (ЦСБС СО РАН). В настоящее время эта работа ведется на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Новосибирский государственный аграрный университет (ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ).

Сегодня, государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по Российской Федерации включает только 8 сортов кларкии:

Малиновая чаша (2023), Лиловая фея (2023), Персиковая чаша (2024), Фарфоровая чаша (2024), Коралловые рифы (2024) – оригинатор ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ; Свадебный букет (2009), Радость (2008) – оригинатор фермерское хозяйство «КАПРИС» (Краснодарский край); Девичий румянец (2022) – оригинатор ООО «Ваше хозяйство» [8].

Опыт по созданию и оценке исходного материала кларкии (*Clarkia Pursh*) закладывался на коллекционном участке учебно-производственного хозяйства «Сад Мичуринцев» (55.0312880° с.ш., 82.9903190° в.д.) ФГБОУ ВО Новосибирского ГАУ. Родительские формы, гибридное потомство и перспективные семьи высевали вручную. Образцы размещали рендомизированно в четырехкратной повторности, площадь питания растений составляла 0,25 × 0,25 м, площадь деленок в гибридном питомнике – 1,2 м². При создании исходного материала кларкии использовались следующие методы: гибридизация, инбридинг, индивидуальный, семейственно-групповой и массовый отборы.

Сорт кларкии Малиновая чаша – был получен путем гибридизации выделенных в 2010 г. из сорта Красавица материнских форм растений с красной ($F^e F^e C S b b$ и $F^e f^e C s b b$) и темно-розовой окраской цветков ($F^e f^e c C b b$) со светлой каймой по основанию и краю лепестка с гомозиготной отцовской формой светло-розовой с карминовым пятном ($b b c c G G$) в центре лепестка. В результате возвратных, насыщающих скрещиваний растений с красными цветками и светло-розовой каймой лепестка (гены E и F находящиеся в одной паре гомологичных хромосом по Н. Rasmuson = F^e Niorth, гены C и B отвечают за розовую и фиолетовую окраску) и растений со светло-розовыми почти белыми цветками с пурпурно-карминовым пятном ($b b c c G G$) было получено потомство: 16 растений с темной пурпурно-красной окраской с светло розовой каймой ($F^e G b b C c$), 16 растений с пурпурно-красной окраской и светло розовой каймой ($F^e G b b c c$), 16 растений розовых с крупным пятном ($f^e G b b C c$), 16 растений светло розовых почти белых с пятном, что в целом составило 64 гибридных растения: 32 растения с яркими пурпурно-красными цветками со светло розовой каймой (малиновые) и 32 растения отцовского фенотипа но с более крупным пятном, которое возможно стало результатом взаимодействия двух генов G и F.

Это не противоречит данным полученным в опытах Н. Rasmuson (1921) и G. Niorth (1948) и указывает на гетерозиготность материнских растений по генам $F^e f^e$ и Cc, что соответствует теоретическому расщеплению 1:1.

В потомстве F_2 от принудительного самоопыления гибридов F_1 с насыщенной малиновой окраской ($F^e G b b C c$) в популяции появились растения различной насыщенности красного, пурпурного, розового цветов в следующем наблюдаемом соотношении фенотипов и теоретическом – генотипов: 6 растений темно красных с розовой каймой (4 $F^e F^e b b C C$) : 18 красных растений со светлой каймой

(8 F^eF^e bbCc : 4 F^eF^ebbcc) : 18 темно-пурпурно-красных с розовой каймой (8 F^eGbbCC) : 62 пурпурно-красных со светлой каймой (16 F^eG bbCc и 8 F^eGbbcc) : 20 светло розовых почти белых с центральным пятном (8 bbCcGG и 4 bbccGG) : 4 bbCCGG розовых с центральным пятном, что в целом соответствует соотношению: 1 (24 красных) : 3 (80 пурпурных) : 1 (24 с центральным пятном). Это подтверждает нашу гипотезу о том, что сочетание генов F^e и G, отвечающее за малиновую (пурпурно-красную) окраску является доминантным как в отношении растений с красными цветками, так и в отношении растений с центральным пятном на лепестке цветков. Теоретическое соотношение генотипов получилось 1:2:1, что может говорить как о полимерном взаимодействии генов, так и о возможности неполного доминирования. Однако если рассматривать этот результат как отношение растений с красными цветками по гену F^e к растениям с пятном, то оно вполне соответствует моногибридному расщеплению 3:1 при уровнях значимости p < (0,05, 0,01, 0,002), что подтверждает факт доминантности гена F^e (см. таблицу).

Анализ расщепления гибридов F₂

Комбинация скрещивания	Родительский фенотип	Фенотип F ₁	Число анализированных растений	Ожидаемое расщепление F ₂ (3:1)		Фактическое расщепление F ₂		X ²
				пурпурные	с пятном	пурпурные	с пятном	
♀ FeGbbCc × ♂ FeGbbCc	Красные цветки со светлой каймой × светло розовые цветки с центральным пятном	пурпурно-красные цветки со светло-розовой каймой	128	96	32	104	24	3,3
♀ F ^e G-Vbcc × ♂ F ^e G-Vbcc	Темно-розовые цветки со светлой каймой × светло розовые цветки с центральным пятном	Пурпурно-красные с фиолетовой каймой	128	96	32	104	24	3,3

В третьем поколении F₃ мы продолжили принудительное самоопыление гибридов F₂ из отобранных пурпурно-красных и пурпурно-фиолетовых линий со светлой каймой по основанию и краю лепестка. В четвертом поколении был произведен отбор элитных растений с малиновой окраской цветков. В F₅ проводилось испытание лучших семей в селекционном питомнике, а в F₆ в контрольном питомнике проводилось предварительное зональное сортоиспытание потомства

лучших семей, которые свободно переопылялись между собой и проводился массовый отбор растений с малиновыми цветками. Контрольное и конкурсное сортоиспытание проводилось в F₇ и F₈, при этом полностью повторяемость растений с малиновой окраской достигла 98,0 %, из которых до 2,0 % выщепляются растения с аллелями G и F^c с пурпурно-карминовым пятном.

Таким образом, использование в селекционном процессе признака пурпурно-красной (малиновой) окраски цветков у кларкии (*C. amoena* (Lehm.) A. Nelson & J. F. Macbr.) послужило основанием для создания нового сорта Малиновая чаша.

Список литературы

- 1 Королева Е.В. Изучение декоративного потенциала популяций *Clarkia Pursh* в условиях лесостепи Западной Сибири // Известия Горского государственного аграрного университета. 2022. Т. 59-4. С. 173–183.
- 2 Флора Северной Америки. URL: <http://dev.floranorthamerica.org/Clarkia>.
- 3 Rasmuson H. Beitrage zu einer genetischen Analyse zweier Godetia– Arten und ihrer Bastarde // Hereditas. Vol. II. 1921. P. 248–280.
- 4 Hiorth G. Zur Genetik und Systematik der Gattung Godetia // Z. Ver-erbungslehre. 1941. N 79. P. 99–219.
- 5 Hiorth G. // Über Hemmungssysteme bei Godetia whitneyi // MGG - Molecular and General Genetics. 1948. N 82 (1). P. 12–63. DOI: 10.1007/BF00308398.
- 6 Lin R.-C., Rausher M.D. R2R3-MYB genes control petal pigmentation patterning in *Clarkia gracilis* ssp. *sonomensis* (Onagraceae) // New Phytol. 2021. V. 229. P. 1147–1162. <https://doi.org/10.1111/nph.16908>.
- 7 Сычева С.В., Деревенских О.А., Деревщюков С.Н. Селекция астры и других летников. Настоящее и будущее Воронежской овощной опытной станции // Известия ФНЦО. 2022. № 3–4. С. 38–46. DOI 10.18619/2658-4832-2022-3-4-38-46.
- 8 Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений. URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-sel-ektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/>.

DOI 10.18699/GPB2024-45

Изучение наследования классификационных признаков и скороспелости у пшениц

Кручинина Ю.В. *, м.н.с.

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: kruchinina2023@yandex.ru

В процессе разработки классификаций, которые несли бы в себе информацию и о филогенезе, и о генетической структуре видов, актуальной задачей является аннотирование всех крупных и мелких таксонов и дальнейшее хранение

этой информации в общедоступных базах данных. Для растений пшеницы подавляющее большинство классификационных (таксономически значимых) признаков, являются признаками колоса. С помощью гибридологического анализа скороспелых форм пшеницы проводился анализ наследования видоспецифических признаков, с целью установления модельных для построения БД. Показана возможность обучить нейронную сеть разделять колосья пшеницы по видам, что является важной задачей высокопроизводительного фенотипирования.

Ключевые слова: пшеница; видоспецифические признак; классификация; гибридологический анализ; скороспелость; фенотипирование

Research on the inheritance of classification traits and earliness in wheat

*Kruchinina Y.V.**

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

**email: kruchinina2023@yandex.ru*

In the process of developing classifications that would carry information about both phylogeny and genetic structure of species, the annotation of all large and small taxa and further storage of this information in public databases is an urgent task. For wheat plants, the vast majority of classification (taxonomically important) traits, are spikelet traits. Using hybridological analysis of earliness forms of wheat, the inheritance of species-specific traits was analyzed in order to establish model traits for the construction of databases. The possibility to train a neural network to separate wheat spikes by species was shown, which is an important task of high-throughput phenotyping.

Key words: wheat; species-specific traits; classification; hybridological analysis; earliness; phenotyping

Важным вектором изучения современной генетики возделываемых сельскохозяйственных растений, включая и пшеницу, является поиск, изучение и вовлечение в биоразнообразие дикорастущих видов-сородичей [1]. Актуальными становятся исследования по определению аутентичности образцов и видов пшениц с целью сохранения и дальнейшего использования в генетических и селекционных экспериментах [2]. Помимо этого, необходимо иметь полную информацию об уже имеющихся видах, а именно, понимать какими признаками характеризуется каждый из них, а также как эти признаки наследуются.

Анализ видоспецифических признаков колоса у растений пшеницы на данный момент – трудоёмкое занятие, в связи с тем, что изучение наследования предполагает большую выборку образцов, а анализировать их приходится вручную. В связи с этим привлечение методов биоинформатики даст не только воз-

возможность посмотреть на задачи селекции под другим углом, но и поможет облегчить процесс фенотипирования колосьев.

Цель работы: изучить таксономически значимые (классификационные) признаки у пшениц разного уровня ploидности, проанализировать их наследование и создать на их основе базу данных цифровых изображений рода *Triticum* L. для их классификации.

Для осуществления выше поставленной цели, из коллекции сектора генетики пшениц ИЦиГ СО РАН (г. Новосибирск) была взята для исследования пшеница разного уровня ploидности (ди-, тетра-, гекса-, окта- и декаploидная) (см. таблицу). В связи с тем, что не все видоспецифические признаки могут служить модельными для построения БД, был проведен гибридологический анализ тетраploидных видов пшеницы для анализа наследования классификационных признаков. Получено более 50 форм F₁ гибридов и более 20 форм F₂ гибридов. Посредством применения метода хи-квадрат (χ^2) оценивались гипотезы о характере наследования признаков.

В процессе реализации машинного обучения для предсказания формы колоса (спельтоидная, нормальная, компактная) изучаемые растения на первом этапе необходимо оценить вручную. Этот процесс включает визуальную оценку колосьев, а также разметку цифровых изображений пшеницы. На следующем этапе изображения колосьев обрабатываются путём использования различных моделей, наиболее часто используемых для задач фенотипирования растений (модель сечений, 4-угольников и радиальная модель). Затем производится оценка точности предсказания формы колоса посредством подсчёта F меры качества [3].

К данному моменту времени процесс машинного обучения направлен на фенотипирование по признаку формы колоса [4]. Однако существуют и другие таксономически значимые признаки, посредством которых можно было бы производить распределение цифровых изображений колосьев не только по уровню ploидности, но и по видам.

Для выбора признаков, которые могли бы послужить модельными, был проведен гибридологический анализ, а далее подсчёт статистических данных. Необходимо понять, будут ли морфологические признаки, важные для разделения изображений по видам, наследоваться по Менделю (3:1) в межвидовых гибридах. Если гипотеза о моногенном наследовании подтверждается, то видоспецифический признак можно брать в качестве модельного для реализации дальнейшего машинного обучения.

По результатам проделанной работы, для дальнейших исследований были выбраны следующие признаки:

- Тетраploидная пшеница: спельтоидность (ген Q), тетраостость (ген ta), полонникумность (ген PI), ветвистоколосость (ген bh);

Число образцов, колосьев и фотографий, сделанных на основании имеющегося материала

Вид пшеницы	Число образцов	Число колосьев	Число фото
Диплоидные виды пшеницы ($2n = 2x = 14$)			
<i>T. monococcum</i>	18	131	655
<i>T. urartu</i>	10	25	125
<i>T. boeoticum</i>	7	29	145
<i>T. sinskajae</i>	1	1	5
Σ	36	186	930
Тетраплоидные виды пшеницы ($2n = 4x = 28$)			
<i>T. dicoccoides</i>	18	116	580
<i>T. timopheevii</i>	21	165	825
<i>T. durum</i>	24	218	1090
<i>T. aethiopicum</i>	29	262	1310
<i>T. dicoccum</i>	19	167	835
<i>T. carthlicum</i>	20	164	820
<i>T. polonicum</i>	18	165	825
<i>T. turgidum</i>	14	127	635
<i>T. turanicum</i>	1	8	40
<i>T. araraticum</i>	1	10	50
<i>T. militinae</i>	1	8	40
Σ	166	1410	7050
Гексаплоидные виды пшеницы ($2n = 6x = 42$)			
<i>T. vavilovii</i>	4	33	165
<i>T. macha</i>	8	60	300
<i>T. aestivum</i>	11	126	630
<i>T. antiquorum</i>	2	17	85
<i>T. compactum</i>	3	27	135
<i>T. petropavlovskyi</i>	8	74	370
<i>T. yunnanense</i>	5	46	230
<i>T. spelta</i>	4	38	190
<i>T. sphaerococcum</i>	2	20	100
<i>T. tibetanum</i>	1	4	20
<i>T. timococcum</i>	1	8	40
<i>T. kiharae</i>	1	5	25
<i>T. dimococcum</i>	1	10	50
<i>T. zhukovskyi</i>	1	11	55
Σ	52	479	2395
Октаплоидные виды пшеницы ($2n = 8x = 56$)			
<i>T. soveticum</i>	1	6	30
<i>T. flaksbergeri</i>	1	9	45
Σ	2	15	75
Декаплоидные виды пшеницы ($2n = 10x = 70$)			
<i>T. borisovii</i>	1	7	35
Σ	1	7	35
Изученные F ₁ гибриды			
Σ	112	581	2905
Изученные F ₂ гибриды			
Σ	32	1623	8115
Σ Σ	401	4301	21505

- Гексаплоидная пшеница: спельтоидность (ген *Q*), компактность (ген *C2*), круглозёрность (ген *s*), ветвистоклосость (ген *V*).

На основании проведённого фенотипирования создана БД цифровых изображений колосьев (<http://spikedroid.biores.cytogen.ru/en>), которая на данном этапе содержит 2 коллекции:

- Коллекция F₂ гибридов *T. aestivum* × *T. yunnanense* – 124 растения – 620 фото.
- Коллекция 7 гексаплоидных видов пшениц (*T. sphaerococcum*, *T. spelta*, *T. macha*, *T. compactum*, *T. antiquorum*, *T. aestivum*, *T. yunnanense*) и 1 амфиплоида (*Amphyploid speltiforme*) – 256 растений – 1280 фото.

Необходимость создания актуальной совершенной БД обусловлена не только созданием информационного продукта на рынке услуг для биологов, но и самой БД, которая позволила бы суммировать весь накопленный материал и упростить задачу изучения таксономии рода *Triticum* L. как начинающим исследователям, так и опытным ученым.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ 22-16-20026 и правительства Новосибирской области.

Список литературы

- 1 Гончаров Н.П. Определитель разновидностей мягкой и твердой пшениц. 2 изд-е. Новосибирск: Сибирское отд-ние Российской акад. наук, 2009. 65 с.
- 2 Дзюбенко Н.И. Коллекции генетических ресурсов растений ВИР: история и современное состояние // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Спб ВИР. Санкт-Петербург: Т. 169, 2012. С. 4–40.
- 3 Afonnikov D.A., Genaev M.A., Doroshkov A.V., Komyshev E.G., Pshenichnikova T.A. Methods of high-throughput plant phenotyping for large-scale breeding and genetic experiments // Russian journal of genetics. 2016. Vol. 52. №. 7. P. 688–701.
- 4 Genaev M.F., Komyshev E.G., Kruchinina Y.V., Goncharov N.P., Afonnikov D.A., Smirnov N.V. Morphometry of the wheat spike by analyzing 2D images // Agronomy. 2019. № 7. P. 390.

DOI 10.18699/GPB2024-46

Селекционная схема получения голозёрных изогенных линий ячменя с повышенным содержанием антоцианов в зерне на основе сорта Ворсинский 2

Кукоева Т.В. * ст.л.; Шоева О.Ю. к.б.н., с.н.с.

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: kukoeva@bionet.nsc.ru

В 2023 году при помощи маркер-ориентированного отбора (*Marker-Selection MAS*), была разработана схема получения голозёрных изогенных линий ячменя с повышенным содержанием антоцианов в зерне на основе сорта *Vorsinsky2*.

Ключевые слова: голозёрный ячмень; ДНК-маркер; антоцианы; *Ant2*; *HvMuc2*; *Nud1*

Breeding scheme for obtaining naked isogenic lines of barley with an increased content of anthocyanins in the grain into the *Vorsinsky 2* variety

Kukoeva T.V., Shoeva O.Yu.

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*In 2023, with the help of marker-oriented selection (*Marker-Selection MAS*), a scheme was developed for obtaining naked isogenic lines of barley with a high content of anthocyanins in the grain using the *Vorsinsky2* variety.*

*Key words: naked barley; DNA marker; anthocyanins; *Ant2*; *HvMuc2*; *Nud1**

Голозёрный ячмень является ценным источником питательных веществ. Он характеризуется высоким содержанием белка и незаменимых аминокислот, прежде всего лизина, превышающие содержание в плёнчатых ячменях. Также содержатся фенилаланин, метионин и треонин, жиры, β -глюканы, стерины, флавоноиды, фитофенолы, обладающие антиоксидантными свойствами [1, 2].

Различия между плёнчатым и голозёрным ячменём контролируется единственным геном *Nud1*, локализованным на длинном плече хромосомы 7Н, между SCAS-маркерами КТ2 и КТ4 [3, 4]. Плёнчатая зерновка является доминантным признаком, а голая зерновка – рецессивным. С помощью секвенирования было показано, что у всех голозёрных образцов присутствует делеция почти 17 тысяч пар нуклеотидов на хромосоме 7Н, охватывающая ген *Nud1*. Были разработаны диагностические ДНК-маркеры для выявления доминантных и рецессивных аллелей этого гена [5].

Голозёрный ячмень можно использовать в различных сферах: для производства крупы, для кормовых целей, в пивоваренной промышленности (немного изменив технологический процесс), а также как хлебное растение [6]. Но почти все сорта голозёрного ячменя имеют ряд недостатков, которые сдерживают его распространение: нестабильность урожайности, низкая засухоустойчивость и устойчивость к полеганию, низкая устойчивость к грибным заболеваниям. Самый основной недостаток выпячивание центрального зародышевого корешка за пределы сферы поверхности зерновки, что обуславливает повышенный травматизм семян при обмолоте и, как следствие, пониженную их полевую всхожесть. Необходимо вести селекцию на устранение этих недостатков. Но есть и много

положительных признаков.

Голозёрные ячмени не требуют затрат на освобождение от цветочных плёнок. Он в большей степени отвечает технологическим качествам при производстве ячневой и перловой крупы. Благодаря высокому содержанию белка, каши из голозёрного ячменя более питательны и калорийны. Поэтому, замена хотя бы части плёнчатого ячменя на голозёрный, может оказаться весьма целесообразной. Для повышения пищевой ценности ячменя сегодня актуальным направлением является селекция на содержание антоцианов в зерне.

У ячменя накопление антоцианов может происходить в перикарпе зерновки под контролем регуляторных генов *Ant1* (картирован в коротком плече хромосомы 7Н) и *Ant2* (2НL), в результате чего зерно приобретает фиолетовую окраску, либо в алейроне под контролем гена *HvMyс2* (4НL) – тогда зерно имеет голубую окраску. К настоящему времени выделены нуклеотидные последовательности перечисленных регуляторных генов и разработаны диагностические ДНК-маркеры, позволяющие уже во втором поколении (F₂) отбирать гомозиготные по соответствующим генам растения. [7].

В нашей лаборатории на основе среднеспелого сорта Ворсинский 2, пивоваренного и пищевого назначения Алтайской селекции, разработана схема получения голозёрных изогенных линий с антоциановой пигментацией зерна, с окрашенным перикарпом и алейронового слоя. Сорт Ворсинский 2, включён в Госреестр по Западно-Сибирскому (10) региону. Рекомендован для возделывания в Алтайском крае в зонах Кулундинской степи и Предгорья Алтая и Тюменской области.

Было проведено скрещивание плёнчатой фиолетовозёрной линии Ворс2-PLP BC₆F₆ (*Ant1*, *Ant2*) и голозёрной голубозёрной линии Ворс2-BA BC₆F₆ (*HvMyс2*, *Nud1*). Из полученных гибридов F₂ с помощью ДНК маркёров из 285 растений отобраны растения с различными комбинациями доминантных и рецессивных аллелей генов *Ant2* и *HvMyс2*, но несущих рецессивный аллель гена *Nud1* в гомозиготном или гетерозиготном состоянии. В результате на основе сорта Ворсинский 2 отобрано 8 голозёрных и 7 плёнчатых линий с фиолетовой, голубой и черной окраской зерна (см. таблицу).

В дальнейшем аналогично этой схеме, будут отобраны голозёрные изогенные линии с окрашенной зерновкой на сортах Танай и Алей. Полученные линии будут оценены по содержанию белка, антоцианов, фенолов и антиоксидантной активности.

Отобранные в F₂ голозёрные и плёнчатые растения на основе сорта Ворсинский 2

№ растения	Аллельное состояние гена <i>Ant2</i>	Аллельное состояние гена <i>HvMyс2</i>	Аллельное состояние гена <i>Nud1</i>	Окраска зерна	Плёнчатость
1-9	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>nud1 nud1</i>	чёрная	голозёрное
2-8	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>nud1 nud1</i>	чёрная	голозёрное
2-13	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>nud1 nud1</i>	чёрная	голозёрное
3-46	<i>ant2 ant2</i>	<i>hvmyc2 hvmyc2</i>	<i>nud1 nud1</i>	белая	голозёрное
2-25	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>hvmyc2 hvmyc2</i>	<i>nud1 nud1</i>	фиолетовая	голозёрное
4-8	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>hvmyc2 hvmyc2</i>	<i>nud1 nud1</i>	фиолетовая	голозёрное
4-14	<i>ant2 ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>nud1 nud1</i>	голубая	голозёрное
5-19	<i>ant2 ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>nud1 nud1</i>	голубая	голозёрное
2-40	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	чёрная	плёнчатое
4-30	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	чёрная	плёнчатое
5-10	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	чёрная	плёнчатое
3-11	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	фиолетовая	плёнчатое
3-47	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>hvmyc2 hvmyc2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	фиолетовая	плёнчатое
4-46	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>hvmyc2 hvmyc2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	фиолетовая	плёнчатое
3-20	<i>ant2 ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	голубая	плёнчатое

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 21-76-10024.

Список литературы

- 1 Аниськов Н.И., Поползухин П.В., Николаев П.Н., Сафонова И.В. Агробиологическая ценность сортов ярового ячменя Омский голозёрный 1 и Омский голозёрный 2. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 6. С. 24–29.
- 2 Mains B., Vallejos C., Hayes P. Multi-use naked barley: A new frontier. J Cereal Sci. 2021;102:103370. DOI 10.1016/j.jcs.2021.103370.
- 3 Ftdak G., Tsuchya T., Helgason S.B. Use of monotelotrisomics for linkage mapping in barley // Canadian Journal of Genetics and Cytology 1972. V 14. P 949–957.
- 4 Kikuchi S., Taketa S., Ichii M., Kawasaki S. Efficient fine mapping of naked caropsis gene (*nud*) by HEGS (High Efficiency Genome Scanning) AFLP in barley // Theoretical and applied Genetics 2003. V 108 P 73–78.
- 5 Taketa S., Amano S., Tsujino Y., Sato T., Saisho D., Kakeda K., Nomura M., Suzuki T., Matsumoto T., Sato K., Kanamori H., Kawasaki S., Takeda K. Barley grain with adhering hulls is controlled by an ERF family transcription factor gene regulating a lipid biosynthesis pathway. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2008. No105. P. 4062–4067. DOI: 10.1073/pnas.0711034105
- 6 Быковец А.Г. Голозёрный ячмень, его разнообразие и пути селекции. М.: Сельхозгиз, 1949. 87с.
- 7 Шоева О.Ю., Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Гены, контролирующие синтез флавоноидных и меланиновых пигментов ячменя // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(3). С. 333–342.

**Генофонд сортов суданской травы селекции
ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» Нижневолжского региона**

Куколева С.С., к.с.-х.н., с.н.с.

*Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт
сорго и кукурузы, Саратов, Россия
email: lily74-88@mail.ru*

Суданская трава является ценной кормовой культурой, способной давать высокие урожаи зелёной массы и сена во всех зонах её возделывания. В результате селекционной работы по суданской траве в Реестр селекционных достижений РФ включено 10 сортов, а сорт Эмма проходит Государственное сортоиспытание. К раннеспелым относятся сорта – Спартанка, Юбилейная 20, Зональская 6, Констанция, Эмма, Евгения; к среднеспелым – Удача, Мечта Поволжья, Амбиция, Аллегория, Фортуна. Проведена оценка сортов суданской травы по комплексу хозяйственно ценных признаков за 2021–2023 гг. Наибольшей продуктивностью отличились сорта института Аллегория и Амбиция.

Ключевые слова: суданская трава; селекция; продуктивность; сорт; статистический анализ

**The gene pool of varieties of Sudanese grass selected
by the Federal State Budgetary Scientific Institution RosNIISK «Rossorgo»
of the Lower Volga region**

Kukoleva S.S.

*Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Maize
“Rossorgo”, Saratov, Russia*

Sudanese grass is a valuable forage crop capable of producing high yields of green mass and hay in all zones of its cultivation. As a result of breeding work on Sudanese grass, 10 varieties are included in the Register of Breeding Achievements of the Russian Federation, and the Emma variety is undergoing State variety testing. Early ripening includes varieties - Spartanka, Yubilejnaya 20, Zonal'skaya 6, Konstanciya, Emma, Evgeniya; to the average - Udacha, Mechta Povolzh'ya, Ambiciya, Allegoriya, Fortuna. The varieties of Sudanese grass were assessed according to a complex of economic and valuable signs for 2021-2023. The highest productivity was distinguished by the varieties of the Allegoriya and Ambiciya institute.

Key words: sudan grass; breeding; productivity; variety; statistical analysis

Суданская трава отличается высокой продуктивностью, кормовой ценностью, универсальностью использования, давать высокие и стабильные урожаи в

условиях дефицита влаги [1]. Генофонд суданской травы, сформированный в ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», характеризуется обширным генетическим и фенотипическим разнообразием, скороспелостью, высоким качеством зерна, устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам. Особое внимание селекционеры уделяют поиску, сохранению, идентификации и применению источников хозяйственно ценных признаков. При создании исходного материала в селекции суданской травы используется инцухт, что позволяет в сравнительно короткое время получить константные гомозиготные формы травянистого сорго и в дальнейшем сохранить их в чистоте [2]. Для подбора компонентов новых сортов проводится анализ хозяйственно полезных признаков селекционных линий собственной селекции и сортообразцов из мировой коллекции [3]. Направление селекции по созданию сортов-популяций ведется и в настоящее время.

Цель исследований – изучить сорта суданской травы селекции института ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» по хозяйственно ценным признакам.

Материал и методика. Объектами исследования являются сорта суданской травы селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Посев проводился на опытном поле института во второй декаде мая 2021–2023 гг. сеялкой СКС-6-10. Густота стояния – 120 тыс. растений/га. Площадь делянки составила 7,7 м². Посев проведен широкорядным способом с междурядьем 70 см. Агротехника выращивания – зональная: разработанная научными учреждениями Нижнего Поволжья. Оценка морфометрических признаков и урожайности образцов суданской травы выполнена согласно Широкому унифицированному классификатору возделываемых видов рода *Sorghum* Moench [4]. Статистическая обработка результатов исследований выполнена с помощью программы «AGROS 2.09» методами дисперсионного и статистического анализа выборки [5]

Сравнительная оценка сортов суданской травы в вегетационные периоды 2021–2023 гг. позволила дать более точный анализ изучаемых показателей растений. Для определения степени варьирования признаков проведен анализ статистических параметров выборки по морфометрическим показателям и элементам продуктивности сортов за период вегетации 2021–2023 гг. (см. таблицу). Высота растений через 30 дней от всходов суданской травы варьировала в среднем за 2021–2023 гг. в диапазоне: 34,87–71,35 см, средняя по питомнику составила 57,01 см, коэффициент вариации – 17,58 %. Оценка величины показателей проведена в сравнении с сортом-стандартом Спартанка, которая показала самую значительную интенсивность начального роста – 71,35 см. Высота растений при созревании варьировала от 166,87 см до 270,77 см, средняя высота равнялась 198,01 см, при коэффициенте вариации 17,55 %. Выявлены 6 сортов, достоверно превысившие стандарт (на 12,4–62,2 %) по величине признака, к которым отнесены: Удача – 204,17 см, Эмма – 187,87 см, Евгения – 195,37 см, Амбиция –

270,77 см, Аллегория – 258,07 см, Фортуна – 187,67 см. Показатель «площадь наибольшего листа» у растений суданской травы в питомнике варьировал в значительных пределах 85,17–291,00 см², средняя величина составила 146,26 см при V=44,18 %. Достоверно превысили стандарт по величине показателя сорта: Удача – 174,20 см², Констанция – 150,50 см², Амбиция – 291,00 см², Аллегория – 237,57 см². По показателю «площадь флагового листа» у сортов выявлена такая же высокая изменчивость (V=41,75 %), превысили стандарт по величине признака сорта Амбиция – 128,27 см² и Аллегория 119,87 см². Величина признака «выдвинутость ножки метелки у стандарта составил 25,80 см, его достоверно превысил лишь один сорт Эмма – 36,40 см. Показатель длина соцветия является одним из элементов продуктивности суданской травы, в питомнике он показал среднюю изменчивость: варьирование признака составило 26,80–44,83 см, средняя величина равнялась 34,32 см, коэффициент вариации –15,60 %. При длине соцветия у стандарта (31,90 см) выявлены сорта с существенно большим соцветием: Констанция – 39,40 см, Амбиция – 44,83 см, Аллегория – 40,27 см, что превзошло стандарт на 23,5–40,5 %.

Элемент семенной продуктивности масса 1000 семян у сортов суданской травы варьировал в меньшей степени (V=9,56 %): от 13,83 г до 18,83 г со средней по питомнику 16,87 г. Величина показателя стандарта равнялась 16,03 г, три сорта превысили его по массе 1000 семян: Удача – 18,83 г, Констанция – 18,17 г, Эмма – 18,50 г.

Сорта суданской травы обнаружили среднюю изменчивость по урожайности семян (V=14,88 %) и урожайности биомассы (V=18,50 %). При урожайности семян стандарта 2,69 т/га, выявлены сорта, превосходящие стандарт: Констанция – 3,07 т/га Эмма – 2,85 т/га, Амбиция – 3,34 т/га. По урожайности биомассы сорта стандарта Спартанка (14,07 т/га) достоверно более высокая урожайность установлена у сортов Амбиция – 22,57 т/га и Аллегория – 19,61 т/га. По общей и продуктивной кустистости растений суданской травы отмечено среднее варьирование величины признаков – V=25,21 и 24,43 % соответственно. Изученные сорта оказались на уровне стандарта по величине показателей.

Варьирование селекционно ценных параметров у сортов суданской травы позволяет сформировать исходный материал с учетом селекционной программы. В процессе селекции созданы сорта суданской травы, которые допущены к использованию по 4 регионам Российской Федерации: Средневолжский, Нижневолжский, Уральский, Западно-Сибирский. В результате оценки сортов суданской травы по комплексу хозяйственно ценных признаков отмечены сорта-популярный Аллегория и Амбиция, которые по продуктивности не уступают гибридам.

Характеристика сортов и селекционных линий суданской травы питомника конкурсного сортоизучения по морфометрическим показателям и элементам продуктивности зерна и биомассы, 2021–2023 гг.

Образец	Высота, см		Площадь листа, см ²		Соцветие, см			Масса 1000 семян, г	Урожайность, т/га		Кустистость, шт./растение	
	30 дней от всходов	при созревании	наибольшего	флагового	выдвину- тость ножки	длина	ширина		зерна	биомассы	общая	продуктив- ная
Спартанка St	71,35	166,93	85,17	51,07	25,80	31,90	19,87	16,03	2,69	14,07	4,57	4,07
Юбилейная 20	56,10	184,47	114,30	53,10	18,57	31,53	21,03	15,53	2,08	13,58	4,10	3,72
Зональская б	55,30	166,87	99,77	51,60	9,77	32,90	23,27	14,77	2,76	16,86	4,08	3,53
Удача	34,87	204,17	174,20	71,67	23,30	32,13	24,30	18,83	2,57	12,69	2,86	2,64
Констанция	50,83	178,20	150,50	78,83	12,47	39,40	29,57	18,17	3,07	16,50	2,52	2,03
Эмма	58,57	187,87	108,77	55,33	36,40	28,97	20,93	18,50	2,85	14,71	3,68	2,76
Мечта Поволжья	67,33	177,67	105,30	34,23	26,63	26,80	20,30	17,20	2,00	13,37	4,96	4,34
Евгения	63,97	195,37	106,87	55,47	28,50	36,53	29,57	13,83	2,42	17,05	4,35	3,47
Амбиция	52,02	270,77	291,00	128,27	21,27	44,83	34,67	17,60	3,34	22,57	2,89	2,30
Аллегория	64,73	258,07	237,57	119,87	15,97	40,27	27,90	17,77	2,50	19,61	2,25	2,46
Фортуна	52,07	187,67	135,40	78,80	19,07	32,23	23,50	17,33	2,72	15,28	3,09	2,86
F _{факт}	2,79*	33,95*	12,06*	6,09*	14,27*	10,12*	3,51*	1,47	1,03	3,49*	1,06	1,97
НСР ₀₅	17,70	17,60	54,89	35,30	5,97	4,97	7,55	–	–	4,68	–	–
Значение признака (min...max)	34,87– 71,35	166,87– 270,77	85,17– 291,00	34,23– 128,27	9,77– 36,40	26,80– 44,83	19,87– 34,67	13,83– 18,83	2,00–3,34	12,69– 22,57	2,25–4,96	2,03–4,34
Средняя и её ошибка	57,01± 3,02	198,01± 10,48	146,26± 19,48	70,75± 8,91	21,61± 2,30	34,32± 1,61	24,99± 1,45	16,87± 0,49	2,64± 0,12	16,03± 0,89	3,58± 0,27	3,11± 0,23
Коэффициент вариации V, (%)	17,58	17,55	44,18	41,75	35,33	15,60	19,20	9,56	14,88	18,50	25,21	24,43

Финансирование: Исследования по теме проводились в период с 2021 по 2023 г. по государственному заданию Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 082-00219-21-00 от 12.01.2021, № 082-00084-22-00 от 10.01.2022, № 082-00205-23-00 от 31.01.2023.

Список литературы

- 1 Лаптина Ю.А., Куликова Н.А. Приемы повышения продуктивности суданской травы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 211-221.
- 2 Куколева С.С. Создание и изучение исходного материала для селекции травянистого сорго в условиях Нижнего Поволжья: дис. ... канд. с.-х. наук / ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ. 2022. 286 с.
- 3 Семин Д.С., Костина Г.И., Ляцева С.В., Кибальник О.П. и др. Подбор и оценка исходного материала для селекции суданской травы в условиях Саратовской области // Сб. по материалам Межд. науч.-практ. конф. «Стратегические задачи аграрного образования и науки». Екатеринбург: УрГАУ, 2015. С. 378-384.
- 4 Якушевский Е.С., Варадинов С.Г., Корнейчук В.А., Баняи Л. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum Moench*. Л., 1982. 34 с.
- 5 Мартынов С.П. Статистический и биометрико-генетический анализ в растениеводстве и селекции. Пакет программ "AGROS 2.09". Тверь. 1999.

DOI 10.18699/GPB2024-48

Опыт выращивания *Vaccinium macrocarpon* Aiton на юге Хабаровского края

*Купцова В.А. *, с.н.с., Михайличенко О.А., зав. лаб.*

*Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
Хабаровский федеральный исследовательский центр, г. Хабаровск, Россия*

**email: victoria@ivep.as.khb.ru*

*В статье приводятся характеристики побегов и ягод сортов клюквы крупноплодной (*Vaccinium macrocarpon* Aiton) зарубежной селекции – *Bergman*, *McFarlin*, *Ben Lear*, *Stevens*, *Early Black*.*

*Ключевые слова: клюква крупноплодная; сорта; плагиотропные; орто-
тропные; вегетационный период*

Experience of growing *Vaccinium macrocarpon* Aiton in the south of Khabarovsk Territory

*Kuptsova V. A. *, Mikhailichenko O. A.*

Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk Federal Research Center, Khabarovsk, Russia

*email: victoria@ivep.as.khb.ru

*The features of the berries and shoots of the large-fruited cranberry cultivars (*Vaccinium macrocarpon* Aiton) of foreign selection – Bergman, McFarlin, Ben Lear, Stevens, and Early Black – are presented in the article.*

Key words: large-fruited cranberry; cultivars; plagiotropic; orthotropic; growing season

В современных условиях развития сельского хозяйства потребность населения в плодово-ягодной продукции остается неудовлетворенным. Удаленность, низкая и нерегулярная урожайность осложняют организацию заготовки ягод в диких популяциях. Интерес к клюкве как плодово-ягодной культуре в нашей стране возник недавно. Одним из важных факторов при оценке перспективности введения этого вида в культуру является то, что ее можно выращивать на малоценных для сельскохозяйственного использования земель – выработанных торфяниках и заболоченных землях. Кроме того, возрастающая хозяйственная деятельность на юге Дальнего Востока и природные пожары, в результате которых выгорают огромные лесные и болотные массивы, ведет к сокращению площадей естественных ягодников.

Таким образом, проведение исследований по интродукции существующих высокоурожайных сортов клюквы зарубежной селекции на юге Дальнего Востока представляется весьма актуальным и перспективным.

Материалы и методы

Работы по исследованию возможности выращивания сортовой клюквы в условиях открытого грунта на базе ДВНИИСХ ДВО РАН проводятся с 2020 г. Для закладки плантаций использовали так называемый сухой метод выращивания, не требующий создания сложной и дорогостоящей чечковой системы. Режим полива особенно в первый месяц после посадки составлял примерно 10 л/м² в день, в дальнейшем полив варьировал в зависимости от температуры и влажности воздуха, осуществлялся с учетом осадков, и, таким образом, был близок к оптимальному – около 100 мм в неделю

Объектом исследования являлись сорта клюквы крупноплодной (*Vaccinium macrocarpon* Aiton) зарубежной селекции – Bergman, McFarlin, Ben Lear, Stevens, Early Black.

Описание морфологических признаков плодов (форма, размеры) и изучение особенностей роста побегов клюквы американской селекции, проводились по известным методикам [1, 2]. Урожайность ягод американских сортов не оценивалась в связи с выеданием их птицами.

Статистическую обработку результатов исследований проводили при помощи пакета Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Климат южной части Хабаровского края – муссонный, с холодной малоснежной зимой и влажным жарким летом. До 90 % осадков выпадает с апреля по октябрь, особенно много их в июле и августе. В южной части Хабаровского края суммы активных температур колеблются в пределах 2400–2600 °С, продолжительность вегетационного периода 200 дней достаточна для выращивания сортовой крупноплодной клюквы. Средняя продолжительность безморозного периода составляет 159 дней по Хабаровской метеостанции Средненоголетняя годовая сумма осадков 695 мм [3].

Количество дней зимой, когда температуры устойчиво держатся на отметке ниже 20 °С в среднем около 46. На этот период для американской крупноплодной клюквы требуется укрытие, так как при температуре ниже –20 °С у нее могут обмерзать генеративные почки и концы вегетативных побегов. Самым чувствительным к воздействию зимних температур оказался сорт *Ben Lear* – у 60 % вегетативных побегов погибла их верхняя часть. У остальных сортов американской селекции частичная гибель вследствие обмерзания их верхушек наблюдалась у 5–15 % вегетативных побегов. Однако морозобойные повреждения генеративных побегов значительно снижаются после мульчирования плантации слоем песка или торфа. Кроме того, после зимнего периода у всех сортов клюквы наблюдалось выпирание от 5% до 10 % растений.

В условиях Приамурья активный рост побегов американских сортов приходится на конец мая–начало июня, период цветения начинается в середине июня и продолжается до начала июля (сорты *Bergman* и *McFarlin*), единичные цветы (сорты *Stevens*, *Ben Lear* и *Early Black*) встречались до середины июля. Плоды образуются с начала до конца июля, созревание плодов происходит в конце сентября–начале октября.

Параметры вегетативных и генеративных побегов клюквы и листьев показаны в таблице. У сортов клюквы американской селекции плагиотропные (вегетативные) побеги были более мощными по сравнению с ортотропными (генеративными): толщина плагиотропных находится в пределах 1,0–2,5 мм, ортотропных – 0,5–1,0 мм (см. таблицу). Прирост вегетативных побегов сортовой клюквы колеблется от 44 до 120 см. Самые высокие показатели прироста наблюдались у *McFarlin*, минимальные – у *Stevens*.

Длина генеративных побегов у американских сортов от 6 до 15 см (см. таблицу). Максимальная средняя длина генеративных побегов (12 см) отмечена у сорта *McFarlin*. У остальных американских сортов средняя длина генеративных побегов составила 8–9 см.

Параметры побегов и листьев сортов американской селекции

Сорт	Плагитропные побеги					Ортотропные побеги				
	Толщина побегов, мм	Годичный прирост побегов, мм	Ширина листьев, мм	Длина листьев, мм	Кол-во листьев на 10 см	Толщина побегов, мм	Длина побегов, мм	Ширина листьев, мм	Длина листьев, мм	Кол-во листьев на 10 см
McFarlin	$\frac{2,1 \pm 0,3}{1,8-2,5^*}$	$\frac{1030 \pm 128}{840-1200}$	$\frac{5,7 \pm 0,3}{4-7}$	$\frac{13,3 \pm 0,4}{10-15}$	$\frac{8 \pm 1}{7-11}$	$\frac{0,9 \pm 0,1}{0,8-1,0}$	$\frac{120 \pm 29}{90-150}$	$\frac{4,0 \pm 0,4}{3-9}$	$\frac{10,5 \pm 0,4}{8-14}$	$\frac{39 \pm 4}{35-46}$
Ben Lear	$\frac{2,0 \pm 0,2}{1,8-2,0}$	$\frac{937 \pm 119}{850-1000}$	$\frac{6,6 \pm 0,3}{5-8}$	$\frac{11,7 \pm 0,4}{9-14}$	$\frac{7 \pm 1}{5-9}$	$\frac{0,6 \pm 0,1}{0,5-0,6}$	$\frac{77 \pm 6}{70-85}$	$\frac{4,0 \pm 0,4}{3-5}$	$\frac{8,7 \pm 0,6}{6-10}$	$\frac{54 \pm 17}{40-71}$
Bergmann	$\frac{1,6 \pm 0,5}{1,0-2,5}$	$\frac{732 \pm 219}{500-1070}$	$\frac{4,9 \pm 0,2}{4-7}$	$\frac{11,1 \pm 0,5}{9-13}$	$\frac{10 \pm 1}{5-14}$	$\frac{0,5 \pm 0,0}{0,5-0,6}$	$\frac{86 \pm 11}{60-110}$	$\frac{3,1 \pm 0,4}{2-5}$	$\frac{7,8 \pm 0,6}{6-10}$	$\frac{46 \pm 4}{39-54}$
Early Black	$\frac{2,1 \pm 0,5}{1,5-2,5}$	$\frac{694 \pm 164}{540-900}$	$\frac{5,7 \pm 0,3}{5-7}$	$\frac{13,1 \pm 0,6}{10-16}$	$\frac{9 \pm 1}{8-11}$	$\frac{0,7 \pm 0,2}{0,5-0,9}$	$\frac{89 \pm 16}{70-110}$	$\frac{3,4 \pm 0,3}{3-5}$	$\frac{10,5 \pm 0,7}{9-13}$	$\frac{44 \pm 1}{40-47}$
Stevens	$\frac{2,1 \pm 0,3}{1,8-2,5}$	$\frac{530 \pm 106}{440-660}$	$\frac{5,4 \pm 0,3}{5-7}$	$\frac{11,6 \pm 0,7}{8-15}$	$\frac{11 \pm 1}{8-16}$	$\frac{0,9 \pm 0,1}{0,6-1,0}$	$\frac{89 \pm 15}{65-130}$	$\frac{4,8 \pm 0,3}{4-6}$	$\frac{10,1 \pm 0,6}{8-13}$	$\frac{43 \pm 8}{29-64}$

Примечание. *Над чертой указаны *средние* значения, под чертой *минимальные–максимальные* значения.

Таблица 2 – Параметры ягод сортов американской селекции

Сорт	Диаметр, мм		Высота, мм		Соотношение высоты к диаметру ягоды	Масса, г		Встречающаяся форма ягод
	$\frac{M \pm tm}{}$	CV, %	$\frac{M \pm tm}{}$	CV, %		$\frac{M \pm tm}{}$	CV, %	
Ben Lear	$\frac{12,2 \pm 0,9}{9-14}$	3,3	$\frac{15,7 \pm 1,1}{12-18,5}$	3,4	1,29	$\frac{1,7 \pm 0,4}{1,0-2,2}$	9,6	Грушевидная, овальная, яйцевидная
McFarlin	$\frac{12,5 \pm 1,2}{9-15}$	4,4	$\frac{14,4 \pm 1,4}{11-19}$	44	1,15	$\frac{1,8 \pm 0,3}{0,8-2,6}$	8,1	Округло-овальная, шаровидная, овальная
Early Black	$\frac{12,8 \pm 0,3}{6-16}$	1,4	$\frac{15,6 \pm 0,5}{9-20}$	1,5	1,22	$\frac{2,0 \pm 0,1}{0,6-3,3}$	2,6	Грушевидная, колокольчиковая, овальная, округло-овальная
Stevens	$\frac{13,6 \pm 0,5}{9-17}$	2,0	$\frac{16,4 \pm 0,7}{11-20}$	2,0	1,21	$\frac{2,2 \pm 0,2}{0,9-3,5}$	4,0	Округло-овальная, овальная

Примечание, *Над чертой указаны *средние* значения, под чертой *минимальные–максимальные* значения.

У американских сортов по сравнению с генеративными побегами вегетативные выделяются более крупными листьями. Ширина листовой пластинки вегетативных побегов американских сортов колеблется от 4 до 7 мм, а длина от 8 до 16 мм. Самые крупные листовые пластинки отмечены у вегетативных побегов Ben Lear, самые мелкие – у Bergmann.

Длина листовой пластинки генеративных побегов сортовой клюквы колеблется в пределах 6–14 мм, а ширина – 2–9 мм. Самые крупные листовые пластинки отмечены у генеративных побегов Stevens, самые мелкие – у сорта Bergmann.

Генеративные и вегетативные побеги американских сортов различаются параметрами облиственности: количеству листьев на 10 см. Облиственность вегетативных побегов колеблется от 5 до 16 шт./10 см, а генеративных от 29 до 71 шт./10 см. Минимальные показатели облиственности вегетативных побегов наблюдаются у Ben Lear, максимальные – у Stevens. У генеративных побегов американских сортов минимальные показатели облиственности наблюдаются у сорта Bergmann, максимальные – у сорта Ben Lear.

Форма и размеры ягод сортов показаны в таблице 2. Плоды клюквы различались по размерам. Средние значения диаметра варьировали от 12,2 мм у плодов сорта Ben Lear до 13,6 мм у плодов сорта Stevens. Средние значения высоты плодов клюквы колебались от 14,4 мм у сорта McFarlin до 16,4 мм у сорта Stevens.

Масса одной ягоды сортов клюквы американской селекции варьировала в диапазоне от 0,6 (Early Black) до 3,5 г (Stevens). Максимальная средняя масса одной ягоды отмечена у сорта Stevens ($2,2 \pm 0,2$ г), минимальная – у сорта Ben Lear ($1,7 \pm 0,4$ г).

Заключение

Как показали результаты наших исследований, в южной части Хабаровского края целесообразно выращивать ранние (Ben Lear, Early Black) и средние и среднепоздние (Stevens, Bergmann) сорта клюквы. В отдельные годы с низкими суммами активных температур, особенно для поздних сортов (McFarlin), необходимо использовать укрывные материалы. Самые крупными размерами и максимальной массой ягод из американских сортов клюквы характеризуется сорт Stevens.

Список литературы

- 1 Программа и методика интродукции и сортоизучения клюквы и брусники. Кострома, 1999. 20 с.
- 2 Татаринцев А.С., Заец В.К., Кузьмин А.Я. Селекция и сортоведение плодовых и ягодных культур. М.: Сельхозгиз, 1960. 408 с.
- 3 Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области Владивосток-Хабаровск. Дальнаука, 2000. 174 с.

Минеральный состав зерна интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом тетраплоидных видов рода *Triticum*

Леонова И.Н. *, д.б.н., в.н.с., Виниченко Н.А., инженер, Салина Е.А., д.б.н., г.н.с.

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

*email: leonova@bionet.nsc.ru

*Проведена сравнительная оценка содержания семи химических элементов в зерне интрогрессивных линий с генетическим материалом *T. durum*, *T. dicoccum*, *T. dicoccoides* и *T. timopheevii*. Показано, что тетраплоидные виды и интрогрессивные линии превышают родительские сорта мягкой пшеницы по содержанию кальция, калия, меди, железа, марганца и цинка. Линии, содержащие фрагменты интрогрессии от *T. timopheevii* и *T. dicoccum*, отличаются высоким содержанием цинка и железа. Рекомендованы перспективные образцы с повышенными показателями нескольких элементов для улучшения минерального состава зерна.*

Ключевые слова: мягкая пшеница; интрогрессивные линии; микроэлементы; макроэлементы

Mineral composition of grains of introgression lines of bread wheat with genetic material of tetraploid species of the genus *Triticum*

Leonova I.N. *, Vinichenko N.A., Salina E.A.

Institute of cytology and genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: leonova@bionet.nsc.ru

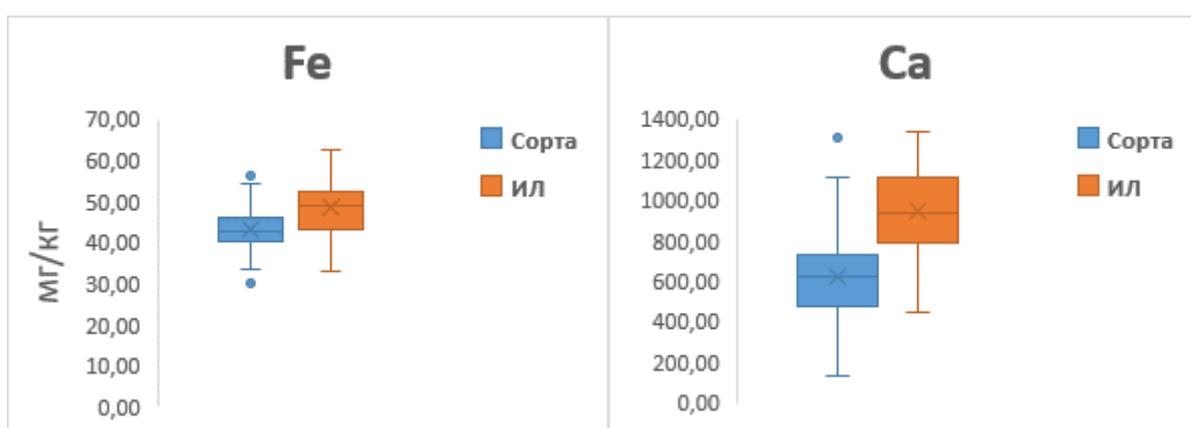
*A comparative evaluation of the seven chemical elements composition in the grain of introgression lines with the genetic material of *T. durum*, *T. dicoccum*, *T. dicoccoides* and *T. timopheevii* was carried out. It was shown that tetraploid species and introgression lines exceed the parental varieties of bread wheat in the content of calcium, potassium, copper, iron, manganese and zinc. Lines containing introgression fragments from *T. timopheevii* and *T. dicoccum* are distinguished by high zinc and iron content. Promising samples with increased levels of several elements are recommended to improve the mineral composition of grain.*

Key words: bread wheat; introgression lines; microelements; macroelements

Пшеница играет ключевую роль для человека как источник полноценного растительного белка, витаминов и микроэлементов. Создание высокоурожайных и адаптивных сортов привело к снижению таких показателей как содержание

белка и клейковины в зерне и минерального состава [1, 2]. Поиск источников генетических факторов для повышения качества зерна современных сортов является актуальной проблемой селекции. Большим потенциалом для расширения генетического разнообразия мягкой пшеницы по хозяйственно важным признакам обладают дикорастущие и культурные родственники пшеницы [3]. Целью данной работы был скрининг коллекции интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом тетраплоидных видов рода *Triticum* по минеральному составу зерна. В работе было изучено 50 интрогрессивных линий, полученных от скрещивания сортов мягкой пшеницы с *T. durum*, *T. dicoccum*, *T. dicoccoides* и *T. timopheevii*. Для анализа микро- и макроэлементов был использован растительный материал, выращенный в полевых условиях Новосибирской области в 2018–2019 гг. Содержание микро- (Fe, Zn, Cu, Mn) и макроэлементов (Mg, Ca, K) определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе ContrAA 800D (Analytik Jena, Германия). Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программ Statistica v.10.0.

Результаты показали значительную вариабельность содержания химических элементов в зерне в зависимости от генотипа образца: Cu – 2,1–5,9 мг/кг; Fe – 29,9–66,6 мг/кг; Mn – 27,8–52,6 мг/кг; Zn – 27,2–70,3 мг/кг; Ca – 441–1334 мг/кг; Mg – 1181–2022 мг/кг; K – 3500–6683 мг/кг. Анализ содержания нутриентов в зерне изученной коллекции свидетельствует о том, что интрогрессивные линии достоверно превышали исходные сорта мягкой пшеницы по содержанию всех химических элементов, за исключением магния (см. рисунок).



Содержание железа и кальция у интрогрессивных линий и исходных родительских сортов мягкой пшеницы

Отмечены различия в концентрации химических элементов в зависимости от тетраплоидного вида, использованного в гибридизации при создании интрогрессивных линий. Наиболее высокие показатели содержания цинка и железа были показаны для большинства линий, полученных с участием *T. timopheevii* и *T. dicoccum*, тогда как для линии с генетическим материалом *T. durum* характерны высокое содержание кальция и меди в зерне.

В результате проведенного исследования были отобраны образцы, отличающиеся повышенным содержанием нескольких химических элементов: л. 29 (Mg, Fe), л. 221-1 (K, Mn), л. 744 (Ca, Cu, Mn), л. 10 (Ca, K, Fe), л. 190-4 (Mn, Ca, Fe), л. 25-2 (Mg, Cu, Zn). Линии могут быть использованы в селекционных схемах при создании сортов с повышенным содержанием минерального состава.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-16-00041, <https://rscf.ru/project/23-16-00041>).

Список литературы

- 1 Митрофанова О.П., Хакимова А.Г. Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. С. 545–554. DOI 10.18699/VJ16.177
- 2 Мелешкина Е.П. Актуальные вопросы качества зерна // Хлебопродукты. 2018. № 10. С. 42–44. DOI 10.32462/0235-2508-2018-0-10-42-44
- 3 Zeibig F., Kilian B., Frei M. The grain quality of wheat wild relatives in the evolutionary context // Theor. Appl. Genet. 2022. V. 135. P. 4029–4048. DOI 10.1007/s00122-021-04013-8

DOI 10.18699/GPB2024-50

Изменчивость шишек и семян в клоновом архиве сосны кедровой сибирской в Краснообске

*Лихенко Н.Н.**, к.с.-х.н., в.н.с.; *Епанчинцева А.П.*, агроном 1 категории.

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

**email: lihenko.n@yandex.ru*

Приведены данные за 2019 и 2021 гг., характеризующие размеры шишек и семян клонов плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской, произрастающих на территории дендрария СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН. По совокупности признаков в 2021 г. выделились клоны №№ 26 и 111.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская; клон; шишка

Variability of cones and seeds in the clonal archive of Siberian cedar pine in Krasnoobsk

*Likhenko N.N.**, *Chudnaya A.P.*

SibRIPP&B – branch ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia

**email: lihenko.n@yandex.ru*

The data for 2019 and 2021, characterizing the sizes of cones and seeds of clones of plus trees of Siberian cedar pine, which are grows in the arboretum of SibRIPP&B – branch ICG SB RAS, are presented. According to the totality of features, clones No. 26 & 111 stood out in 2021.

Key words: Siberian cedar pine; clone; cone

Одно из уникальных свойств кедровых сосен является их орехоплодная продукция. В ядрах ореха содержится до 66 % жира, 15 % углеводов и около 17 % белков, в составе которых выявлено 19 аминокислот, 70 % из них отнесены к незаменимым (триптофан, лизин, метионин, аргинин, валин, лейцин, треонин) [1]. Важную роль для создания орехоплодных селекционных плантаций представляют клоновые архивы кедра сибирского. Использование для прививки черенков, отобранных с лучших по продуктивности плюсовых деревьев, позволяет сократить время вступления в плодоношение за счет переноса биологического возраста. Таким образом, изучение плодоношения в условиях интродукции дает возможность отбора ценных форм.

Исследования проведены в условиях дендрария СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН, в клоновом архиве, при создании которого были использованы привои с плюсовых деревьев кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour), отобранных и аттестованных в Колыванском лесхозе Новосибирской области. Клоновый архив был заложен весной 1990 г. на площади 1 га с размещением по садовому типу для обеспечения перекрестного опыления. 147 растений расположены рядами с запада на восток, поперек господствующих ветров высажена лесозащитная полоса из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

В ходе эксперимента у 13 клонов сосны кедровой сибирской было изучено плодоношение в урожайные годы в 2019 и 2021. Сбор зрелых шишек проведен 1 сентября. Раздельно собранные образцы промаркированы в соответствии с номером клона. Просушены при комнатной температуре и влажности в течение двух месяцев. Собранный материал позволил провести анализ количественных параметров шишек и семян (длина шишек, диаметр в средней части, масса шишек, количество семян в шишке, масса семян в шишке). Крупность шишек определяли в соответствии с классификацией, предложенной Л.Ф. Правдиным [2]: крупные – более 8 см, средние – 6–8 см, мелкие – менее 6 см. Геометрическая форма была определена инструментально с использованием коэффициента формы (по отношению ширины к длине): коэффициент менее 0,80 – шишки цилиндрические, 0,81–0,90 – яйцевидные, более 0,90 – округлые. По числу семян в шишках: многосемянные (120 шт. и более) и малосемянные (50 шт. и менее) [3]. За основу брали шишку, сформированную у кедра сибирского в таежных условиях, длиной от 5 до 13 см, диаметром от 4 до 8 см [4], весом от 50 до 58 г, с массой

1000 шт. семян в пределах 200–250 г [5]. Для оценки уровня изменчивости количественных признаков использовали шкалу, разработанную С.А. Мамаевым [6].

Целью нашей работы было исследовать семеношение и структуру шишек у клонов *Pinus sibirica* Du Tour, в условиях лесостепи Приобья в дендрарии СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН.

Лесостепь Приобья характеризуется резко континентальным климатом, что связано с географическим положением. Сезоны года выражены неравномерно: зима суровая и продолжительная, лето умеренно жаркое, но довольно короткое. Весна и осень непродолжительные, со свойственной территории неустойчивой погодой. Характерной особенностью климата является активная ветровая деятельность на протяжении всего года. Нередки засухи с суховеями [7].

Результаты сравнительной характеристики биометрических показателей шишек клонов сосны кедровой представлены в таблице. В ходе исследований было установлено, что образцы имеют преимущественно цилиндрическую форму, поскольку форма шишек зависит от отношения ее ширины к длине [3]. Средняя длина шишек и диаметр за 2019 и 2021 годы наблюдений в клоновом архиве изменялась незначительно. Уровень изменчивости длины шишек от низкого до среднего (CV 6,5–17,0 %). Диаметр средней шишки находился в пределах $3,6 \pm 0,1$ см до $5,0 \pm 0,1$ см, уровень изменчивости низкий, показатель менее вариабелен, чем длина. В соответствии с классификацией, предложенной Л.Ф. Правдиным [2], в 2019 и 2021 гг. шишки формировались от мелких до средних размеров. По массе в 2021 г. относительно полнозерновые шишки отмечались у пяти клонов № № 26, 92, 97, 100, 28 – вес более 20 г. Самая легкая шишка, 11,3 г, была у клона № 94. Масса средней шишки практически по всем клонам в 2021 г. гораздо легче, уровень изменчивости признака от среднего до очень высокого. Это связано с увеличением доли недоразвитых (неоплодотворенные семяпочки и погибшие до оплодотворения) и дефектных (пустые, гнилые, беззародышевые) семян (см. рисунок). Факторы, влияющие на возникновение недоразвитых и дефектных семян, могут быть различны.

Сравнение средних величин по массе семян в шишке клонов за два года, несомненно, меньше в 2021 г., как следствие увеличения доли недоразвитых и дефектных семян. Масса 1000 шт. полнозернистых семян в 2021 г. почти у всех клонов незначительно уменьшилась, лишь у клона № 24 осталась близка к 2019 году – $216,7 \pm 12,1$ и $215,8 \pm 4,9$ г соответственно.

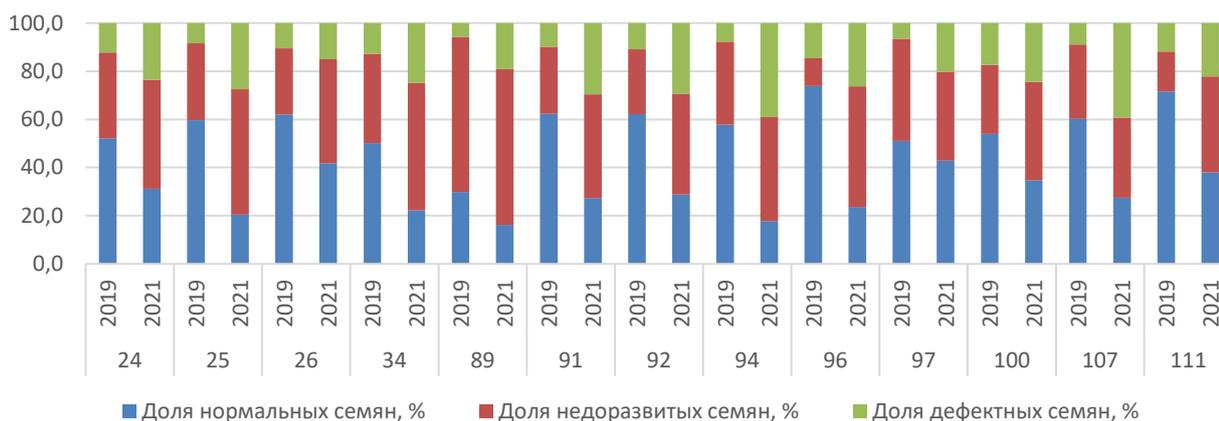
Распределение семян в шишке по категориям определяется наличием нормальных семян (полнозернистых), недоразвитых, дефектных прекративших свое развитие на различных стадиях. Эффективность процесса опыления-оплодотворения у растений характеризуется долей семенификации [8]. Неблагоприятные

Сравнительная характеристика биометрических показателей шишек клонов сосны сибирской

№ клона	Год	Длина шишки, см		Диаметр шишки, см		Масса шишки, г		Число семян в шишке, шт.		Масса семян в шишке, г		Масса 1000 шт. полнозернистых семян, г	
		$\bar{X}_{cp} \pm s_x^*$	CV, %	$\bar{X}_{cp} \pm s_x$	CV, %	$\bar{X}_{cp} \pm s_x$	CV, %	$\bar{X}_{cp} \pm s_x$	CV, %	$\bar{X}_{cp} \pm s_x$	CV, %	$\bar{X}_{cp} \pm s_x$	CV, %
24	2019	5,7±0,1	8,8	3,6±0,1	6,0	20,8±0,7	15,9	91,9±2,5	13,8	12,8±0,5	20,3	215,8±4,9	11,3
	2021	5,5±0,2	12,2	4,7±0,1	9,9	17,6±1,8	39	95,8±2,9	11,8	10,9±0,9	31,5	216,7±12,1	21,6
25	2019	6,0±0,1	11,5	4,5±0,1	8,3	29,3±1,1	18,3	91,2±2,7	14,8	16,1±0,7	21,0	244,1±5,6	6,6
	2021	5,9±0,2	15,6	4,8±0,1	9,7	17,6±1,8	39	105,1±4,6	16,9	9,2±0,8	35,6	202,0±13,2	25,3
26	2019	6,2±0,1	9,7	4,4±0,1	8,3	30,5±1,3	21,4	99,9±3,2	16,1	16,0±0,8	25,4	215,9±6,2	14,3
	2021	6,2±0,2	15,3	5,1±0,1	7,6	25,5±2,1	31,4	110,5±5,3	18,5	13,2±1,4	40,9	201,3±10,5	40,7
34	2019	5,8±0,2	13,2	3,9±0,1	8,4	26,0±1,2	22,7	98,5±4,4	22,5	14,3±0,9	29,9	227,2±6,5	14,3
	2021	5,9±0,2	11,3	4,5±0,1	7,4	19,3±1,8	36,2	108,1±5,5	19,7	8,5±1,2	56,6	216,7±12,7	22,8
89	2019	5,9±0,1	6,4	4,2±0,1	5,0	24,1±0,6	12,9	91,6±3,5	19,2	8,2±0,3	20,4	254,6±4,7	9,3
	2021	6,4±0,2	14,0	4,6±0,1	6,1	19,9±1,5	30	113,5±6,0	20,4	7,3±0,8	44,7	216,7±10,7	19,1
91	2019	6,5±0,1	9,6	4,6±0,1	5,9	36,9±1,1	15,3	96,2±2,3	12,0	18,1±0,7	19,6	245,8±6,4	12,9
	2021	5,6±0,2	17,0	4,2±0,1	13,7	18,0±1,6	34,9	84,0±4,2	19,6	8,9±0,8	35,5	212,0±6,3	11,4
92	2019	6,1±0,1	9,5	4,3±0,1	9,3	31,7±1,1	16,7	99,0±2,3	11,6	16,9±0,6	18,6	225,3±5,4	12,1
	2021	6,2±0,2	11,7	5,0±0,1	9,2	23,2±1,7	27,9	98,0±4,1	16,4	10,9±0,1	36,2	220,0±10,0	17,5
94	2019	6,3±0,1	10,8	4,6±0,1	9,1	34,8±1,9	27,4	111,4±4,3	19,2	18,6±1,1	30,5	235,8±7,3	15,5
	2021	5,6±0,2	11,6	4,3±0,1	5,8	11,3±1,9	63,8	102,0±4,4	16,8	8,3±1,0	45,7	196,0±6,9	26,9
96	2019	6,9±0,2	13,6	4,7±0,1	13,6	48,3±3,2	32,6	95,5±3,8	19,8	19,9±1,1	27,1	256,7±5,7	11,0
	2021	5,3±0,3	19,2	4,2±0,1	9,2	17,1±1,8	40,5	89,4±4,9	21,3	8,1±1,0	49,5	218,7±9,9	17,5
97	2019	4,7±0,1	9,2	3,8±0,1	9,1	19,9±0,6	15,4	88,4±1,4	7,9	10,1±0,7	31,8	200,6±2,9	7,2
	2021	5,7±0,1	6,5	4,6±0,1	5,2	20,4±0,9	17,9	82,3±3,4	16,1	9,8±0,9	33,6	201,0±8,4	16,2
100	2019	6,5±0,1	10,2	4,6±0,1	8,6	31,0±1,4	21,9	87,4±2,2	12,7	15,7±0,7	23,0	232,5±11,0	23,6
	2021	6,1±0,2	10,0	4,8±0,1	8,7	25,0±1,8	27,8	105±4,2	15,5	12,0±1,0	31,6	196,0±10,4	20,6
107	2019	5,5±0,1	11,7	4,2±0,1	6,8	25,1±1,1	21,0	96,7±2,2	11,5	15,3±0,7	23,2	208,8±6,1	14,6
	2021	5,3±0,2	14,5	4,2±0,1	11,4	18,7±1,6	33,9	92,8±3,9	16,1	9,7±1,0	40,9	188,0±5,0	10,3
111	2019	6,4±0,2	12,4	4,7±0,1	9,8	35,2±2,0	28,3	85,6±3,2	6,5	18,2±1,2	32,3	244,1±7,0	14,4
	2021	6,6±0,2	11,5	5,0±0,1	9,5	28,6±1,7	22,7	105,4±3,5	13	13,3±1,0	29,9	208,0±13,3	25,7

* $\bar{X}_{cp} \pm s_x$ – среднее значение признака с учетом среднего квадратического отклонения; $\lim x$ – максимальное и минимальное значения признака; CV – коэффициент вариации.

климатические условия в год развития озими и в год формирования семян сказываются как на размерах, так и на количестве полных и пустых семян [9]. Распределение доли семян по категориям за оба года показывает, что в 2021 г. гораздо меньше нормальных семян (полнозернистых), чем в 2019 г., при этом количество недоразвитых и дефектных увеличилось. Доля нормальных полнозернистых семян от 19,4 до 30 % составила у восьми клонов, от 30 до 40 % у трех клонов и только у двух клонов сформировалось от 40 до 46,5 %. Семь клонов имеют долю недоразвитых семян выше 40 %, четыре клон – выше 50 % и два клон – выше 30 %. Подобное распределение клонов и в доле дефектных семян.



Распределение семян в шишке по категориям: нормальные (нормально развитые оплодотворенные семяпочки); недоразвитые (неоплодотворенные семяпочки и погибшие до оплодотворения); дефектные (пустые, гнилые, беззародышевые)

Заключение

Неоднородность погодных условий 2019 и 2021 гг. обусловили существенные различия в семеношении. Анализ за 2019 и 2021 гг. структуры шишек клонов сосны кедровой сибирской при интродукции показал, что параметры длины и диаметра шишек отличаются меньшим уровнем изменчивости. Среди наиболее варьирующих признаков масса шишки, масса семян в шишке, число нормальных, недоразвитых и дефектных семян. Доля полнозернистых семян в условиях 2021г. в дендрарии СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН лежит в пределах 19,4–46,5 %. В 2021 г. наибольшей долей нормальных полнозернистых семян выделились два клон: № 111 – 41,6 % и № 26 – 46,5 %. С целью дальнейшего изучения сосны кедровой сибирской необходим дополнительный анализ динамики урожайности по годам.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Список литературы

- 1 Читоркин В.В. Культура кедр сибирского и рациональное землепользование // Кулундинская степь: прошлое, настоящее и будущее. Барнаул: Изд-во Алтайского университета, 2003. С. 108–115.

- 2 Правдин Л.Ф. Селекция и семеноводство кедр сибирского // Плодоношение кедр сибирского в Восточной Сибири. М.: АН СССР, 1963. С. 5–21.
- 3 Братилова Н.П., Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Биология и формовое разнообразие сосны кедровой сибирской // Экопотенциал. 2014. № 1. С. 120–127.
- 4 Бех И.А., Таран И.В. Сибирское чудо-дерево. Новосибирск: Наука, 1979. 126 с.
- 5 Некрасова Т.П. Биологические основы семеношения кедр сибирского. Новосибирск, 1972. 273 с.
- 6 Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1973. 284 с.
- 7 Воронина Л.В., Гриценко А.Г. Климат и экология Новосибирской области. Новосибирск: СГГА, 2011. 228 с.
- 8 Вайнагий В.И. Методика статистической обработки материала по семенной продуктивности растений на примере *Potentilla aurea* L // Растительные ресурсы. 1973. Т. 9. № 2. С. 287–296.
- 9 Путенихин В.П., Путенихина К.В., Шигалов З.Х. Кедр сибирский в Башкирском Предуралье и на Южном Урале: биологические и лесоводственные особенности при интродукции. Уфа: Башк. энцикл., 2017. 248 с.

DOI 10.18699/GPB2024-51

Биоразнообразие винограда в России и селекция с использованием отечественных автохтонных сортов

*Лиховской В.В., д.с.-х.н., директор; Волынкин В.А. *, д.с.-х.н., гл.н.с.; Полулях А.А., к.с.-х.н., зав. сектором, в.н.с.; Студенникова Н.Л., к.с.-х.н., зав. лабораторией, в.н.с.; Котоловец З.В., к.с.-х.н., с.н.с.*

ФГБУН Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, Крым, Ялта, Россия

**email: volynkin@magarach-institut.ru*

*Биоразнообразие культуры винограда семейства Vitaceae Juss. подсемейства Vitoideae Planch. на территории России в настоящее время представлено в естественных ареалах распространения 7 видами, относящимися к 3 родам. Наибольший интерес представляют, в частности, реликтовые эндемичные формы, относящиеся к подвиду *Vitis vinifera ssp. sylvestris* Gmel., который считается диким предком культурного винограда и сорта, произошедшие от этого подвида, в том числе автохтонные сорта винограда Крыма. По результатам оценки 72 автохтонных сортов винограда Крыма по показателям урожайности, качества винограда и устойчивости к стресс-факторам среды выделены винные сорта Мисгюли кара (среднего срока созревания), Капитан Яни кара и Кок пандас (среднепозднего срока созревания), Сары пандас (позднего срока созревания) как источники ценных хозяйственных признаков. Отобранные сорта, как источники ценных признаков были использованы в селекционной программе улучшения автохтонных сортов винограда Крыма, установлена селекционная ценность изученных популяций, проявление истинного гетерозиса и степени доминирования в потомстве и в результате отбора*

перспективных форм были зарегистрированы два новых винных сорта винограда Кефесия Магарача и Янтарный Магарача.

Ключевые слова: виноград; род; вид; автохтонные сорта; селекция

Biodiversity of grapes in Russia and breeding with the use of domestic autochthonous varieties

*Likhovskoi V.V., Volynkin V.A. *, Polulyakh A.A., Studennikova N.L., Kotolovets Z.V.*

All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking Magarach RAS, Yalta, Republic of Crimea, Russia

**email: volynkin@magarach-institut.ru*

Biodiversity of grape family Vitaceae Juss. subfamily Vitoideae Planch. on the territory of Russia in natural habitats is currently represented by 7 species, which belong to 3 genera. Relict endemic forms, which belong to the subspecies Vitis vinifera ssp. sylvestris Gmel., and considered to be wild ancestors of cultivated grapes, as well as the cultivars evolved from this subspecies, including autochthonous grape varieties of Crimea, are of outstanding interest. Based on the assessment results of 72 autochthonous grape varieties of Crimea in terms of cropping capacity, grape quality and resistance to environmental stress factors, wine varieties 'Misgiuli Kara' (medium ripening period), 'Kapitan Yani Kara' and 'Kok Pandas' (medium-late ripening period), 'Sary Pandas' (late ripening period) were identified as sources of valuable economic characteristics. The selected varieties, as sources of valuable characteristics, were used in the breeding program for improvement of autochthonous grape varieties of Crimea. Breeding value of the studied populations, manifestation of true heterosis and the progeny dominance degree were established. As a breeding result of promising forms, two new wine grape varieties 'Kefesiya Magaracha' and 'Yantarnyi Magaracha' were registered.

Key words: grapes; genus; species; autochthonous varieties; breeding

Биоразнообразие форм и сортов культуры винограда (семейства *Vitaceae* Juss.) формировалось в процессе длительной естественной эволюции и в настоящее время можно говорить как о сохранившихся, дошедших до наших дней реликтовых, в том числе эндемичных формах, так и исторически утраченных, которые можно встретить только в результате археологических исследований. Всего в подсемействе *Vitoideae* Planch. семейства *Vitaceae* Juss. выделяют 14 родов и 550 видов. Следует отметить, что на территории России в настоящее время в естественном ареале распространения сохранилось 7 видов относящихся к 3 родам. Некоторые из них представляют интерес только с ботанической точки зрения для изучения процессов естественной эволюции, некоторые для изучения диких предков современных культурных сортов, а также селекции новых поколений отечественных сортов винограда [1, 2].

Хорошо известно, что виноград *Vitis vinifera* L. одна из важнейших садоводче-

ских культур, выращивание которой датируется 5000–6000 гг. до н.э. [3] и для каждого виноградарского региона характерен свой уникальный местный сортимент винограда, который формировался на протяжении длительного времени в определённых условиях, и обладает рядом ценных свойств и признаков [4].

Необходимо отметить, что в настоящее время в России на Дону, в Дагестане, в Крыму в естественном ареале сохранился в качестве реликтовых эндемичных форм подвид *Vitis vinifera* ssp. *sylvestris* Gmel., который считается диким предком культурного винограда *Vitis vinifera* ssp. *sativa* D.C. и произошедшие от него, в частности, автохтонные сорта винограда Крыма [5].

По результатам оценки 72 автохтонных сортов винограда Крыма по показателям урожайности, качества винограда и устойчивости к стресс-факторам среды выделены винные сорта Мисгюли кара (среднего срока созревания), Капитан Яни кара и Кок пандас (среднепозднего срока созревания), Сары пандас (позднего срока созревания) как источники ценных хозяйственных признаков (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристики автохтонных сортов винограда Крыма Ампелографическая коллекция «Магарач»

Наименование сорта	Урожай с куста, кг				Устойчивость к оидиуму листьев, балл *	Устойчивость к оидиуму ягод, балл *	Устойчивость к серой гнили ягод, балл	Устойчивость к засухе, балл**		
	Урожай с куста, кг	Среднее отклонение (a)	Стандартное отклонение, s0	Коэффициент вариации (V), %				Сохранение листьев на кусте	Ожоги листьев	Тургор ягод***
Джеват кара (контроль)	2,7	0,4	0,7	26	7	7	7	5	7	1
Капсельский (контроль)	2,7	0,4	0,7	26	7	7	7	5	5	1
Капитан Яни кара	3,8	0,5	0,8	21	7	7	7	5	5	1
Кок пандас	4,8	0,5	0,7	26	7	7	7	9	7	9
Мисгюли кара	3,7	0,4	0,5	15	7	5	3	7	5	1
Сары пандас	4,2	0,6	1,0	24	7	7	7	7	5	1
НСР	0,5	0,1	0,1	4,1	0,5	0,6	0,9	1,5	1	2,9

* Оценка поражаемости оидиумом листьев и гроздей: 9 баллов – повреждений не выявлено; 7 – повреждено до 10 % тканей или органов; 5 – до 25 %; 3 – до 50 %; 1 – более 50 %.

** Оценка степени устойчивости к засухе: 9 баллов – повреждений не выявлено; 7 – повреждено до 10 % тканей или органов; 5 – до 25 %; 3 – до 50 %; 1 – более 50 %.

*** Тургор ягод: 1 балл – слабый; 9 баллов – в норме.

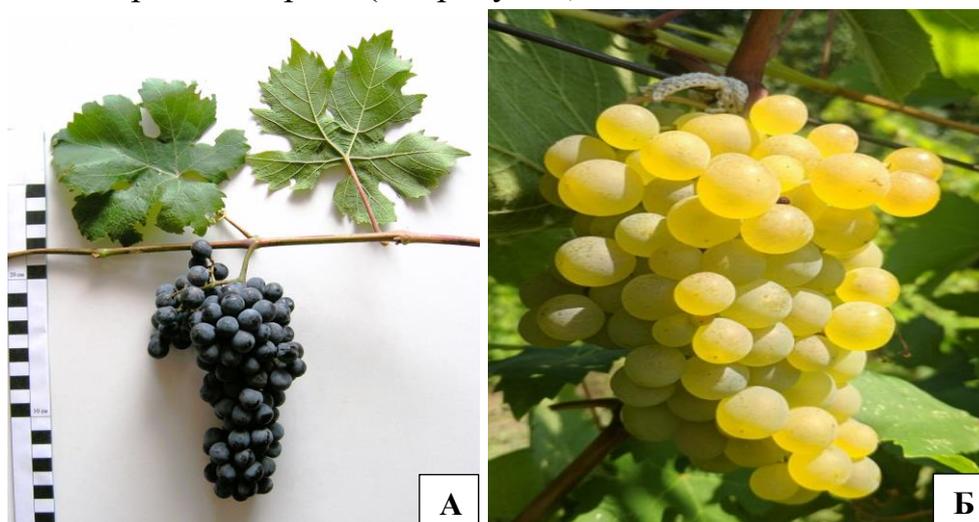
Автохтонные сорта и дикорастущие виды часто несут ценные для селекции гены, которые могут быть востребованными на определённом этапе [6]. Н.И. Вавилов писал: «Начиная практическую селекцию, необходимо, прежде всего, хорошо знать местный сортимент. Он должен служить исходным материалом для дальнейшего улучшения сортов» [7].

Во ВНИИВиВ «Магарач» реализуется селекционная программа по улучшению автохтонных сортов винограда Крыма традиционным методом генеративной гибридизации (табл. 2).

Таблица 2 – Селекционная ценность популяций винограда скрещиваний с крымскими автохтонными сортами

Популяция/ элитный сеянец	Продуктивность побега по сырой массе грозди, г/побег			Массовая концентрация сахаров, г/дм ³		
	Степень доминиро- вания	Гетерозис, % (истинный)	Селекцион- ная ценность, %	Степень домини- рования	Гетерозис, % (истинный)	Селекцион- ная ценность, %
Кок Пандас × Спартанец Магарача	+0,60	-8,00	6,7	+0,33	-9,60	6,7
М №11-08-13-3	+2,53	+24,50	6,7	+11,80	+11,60	6,7
Мисгюли кара × Спартанец Магарача	-0,41	-28,20	11,9	+2,70	+0,34	52,9
М № 10-08-13-1	+1,76	+11,04	5,9	+2,60	+5,30	5,9
Мисгюли кара × Ифигения	-0,90	-25,70	5,6	+1,40	+8,00	22,2
М № 10-08-4-4	+2,82	+40,40	5,6	+1,67	+2,60	5,6

В гибридизации были использованы отобранные автохтонные сорта винограда как источники ценных биологических и хозяйственных признаков. Схема скрещиваний осуществлялась для возможности проведения гибридологического анализа, когда одна и та же гибридная форма (сорт) скрещивались с различными другими исходными формами (сортами). Оценивалась селекционная ценность, гетерозис и степень доминирования. По совокупности продукционных и качественных характеристик были отобраны перспективные элитные формы: М №11-08-13-3 (Кок Пандас × Спартанец Магарача), М № 10-08-13-1 (Мисгюли кара × Спартанец Магарача), М № 10-08-4-4 (Мисгюли кара × Ифигения). Некоторые из них уже зарегистрированы как новые сорта винограда (см. рисунок).



Новые винные сорта винограда селекции ВНИИВиВ «Магарач»:

А – Кефесия Магарача (М. №10-8-3 – Кефесия × Ифигения);

Б – Янтарный Магарача (М. № 11-08-13-3 – Кок Пандас × Спартанец Магарача)

Культивирование улучшенных автохтонных сортов винограда Крыма позволит с одной стороны эффективно развивать виноградовинодельческую отрасль в стране, так и сохранять аутентичность виноградарства и виноделия России.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках научного проекта 075-15-2021-559NIR.

Список литературы

- 1 Денисов Н.И. Вопросы охраны Виноградовых (*Vitaceae* Juss.) Российского Дальнего Востока // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2016. Т. 177. № 4. С. 5–17
- 2 Volynkin V., Likhovskoy V., Polulyakh A., Levchenko S., Ostroukhova E., Vasylyk I., Peskova I. Native Grape Varieties of The Euro-Asian Eco-Geographical Region of Russia: Taxonomic, Biological and Agro-economic Specificity of Cultivars From Crimea // Book Title: *Vitis: Biology and Species*. Nova Science Publishers, Inc. NY USA. 2020. P. 45–72
- 3 Mullins M.G.; Bouquet A.; Williams L.E. *Biology of the Grapevine* // Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2003; 239 p.
- 4 Ильницкая Е.Т., Наумова Л.Г., Ганич В.А., Токмаков С.В., Макаркина М.В. Генетический полиморфизм редких и малораспространенных аборигенных донских генотипов *Vitis vinifera* L. // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2019. № 21(3); С. 191–197.
- 5 Volynkin V., Polulyakh A., Levchenko S., Vasylyk I., Likhovskoi V. Autochthonous grape species, varieties and cultivars of Crimea // *Acta Hort.* 2019. 1259. P. 91–98.
- 6 Grassi F., De Lorenzis G. Back to the Origins: Background and Perspectives of Grapevine Domestication // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. 22. 4518
- 7 Вавилов Н.И. Теоретические основы селекции // М.: Наука, 1987. 511 с.

DOI 10.18699/GPB2024-52

Изучение кариотипов жизненных форм люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.)

Мальшиева Н.Ю.^{1*}, к.с.-х.н., с.н.с., Мякошина Ю.А.², к.б.н., м.н.с.

¹Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия
*email: nataliem1@yandex.ru

В 2022 году в Ботаническом институте им. Комарова РАН было проведено изучение кариотипов монокарпика и двух поликарптиков люцерны хмелевидной из разных географических точек из коллекции ВИР. Жизненные формы, монокарпик и поликарптики с ярко выраженными морфологическими различиями имеют одинаковое число хромосом $2n=16$. Метафазные пластинки всех трех образцов с 5 парами метацентрических и 3 парами субметацентрических хромосом.

Ключевые слова: кариотип; монокарпик; поликарпик; генетические ресурсы; люцерна хмелевидная

Study of karyotypes of life forms of black medic (*Medicago lupulina* L.)

Malysheva N.Yu. *, Myakoshina Yu. A.

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR);

Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences.

*email: natalieml@yandex.ru

The karyotypes of one monocarpic and two polycarpic forms of black medic from the VIR collection were studied in 2022 at the Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences. Accessions originate from different geographical points. The chromosome number of monocarpic and polycarpic accessions of black medic is the same $2n = 16$. Metaphase plates of all three accessions have 5 pairs of metacentric and 3 pairs of submetacentric chromosomes.

Key words: karyotype; monocarpic; polycarpic; genetic resources; black medic

Люцерна хмелевидная (*Medicago lupulina* L.) является представителем подрода *Lupularia* семейства бобовых (*Fabaceae*). Вид пластичный; он распространился с семенами других сельскохозяйственных культур в качестве сорняка в умеренной и субтропической зонах повсеместно. Люцерна хмелевидная с высоким потенциалом размножения, высокой осыпаемостью зрелых семян и сохранением семян в почве в течение ряда лет служит как культура пастбищная, противозерозийная на нарушенных местообитаниях и насыпях вдоль дорог. Вид предлагают использовать как покровную и сидератную культуру. [1–5]. Люцерну хмелевидную мало используется в производстве; в мире известно около десяти сортов.

Люцерна хмелевидная – неоднородный вид. У него обнаружено несколько жизненными форм, различающихся по морфологическим признакам: монокарпики, бикарпики и поликарпики. Монокарпики плодоносят единственный раз в жизни, проживая один сезон или более, отмирая после плодоношения. Бикарпики и поликарпики в первый год жизни образуют розетку из укороченных олиственных побегов с немногочисленными генеративными побегами и могут дать небольшое количество семян. На второй год жизни растения из обеих групп обильно плодоносят. Бикарпики после плодоношения полностью отмирают. Поликарпики перезимовывают и дают семена на третий и последний год жизни [6].

На определенных стадиях развития растения трех жизненных форм хорошо различимы (рис. 1). Монокарпики не образуют прикорневую розетку из листьев; все образующиеся побеги – генеративные с индетерминантным ростом (рис. 1, а). Бикарпики формируют прижатую прикорневую розетку и генеративные побеги с детерминантным ростом (см. рис. 1, б). Поликарпики – с прямостоячей прикорневой розеткой из крупных листьев с длинными черешками и генеративными побегами с детерминантным ростом, на верхушке которых расположено сложное соцветие (см. рис. 1, в).

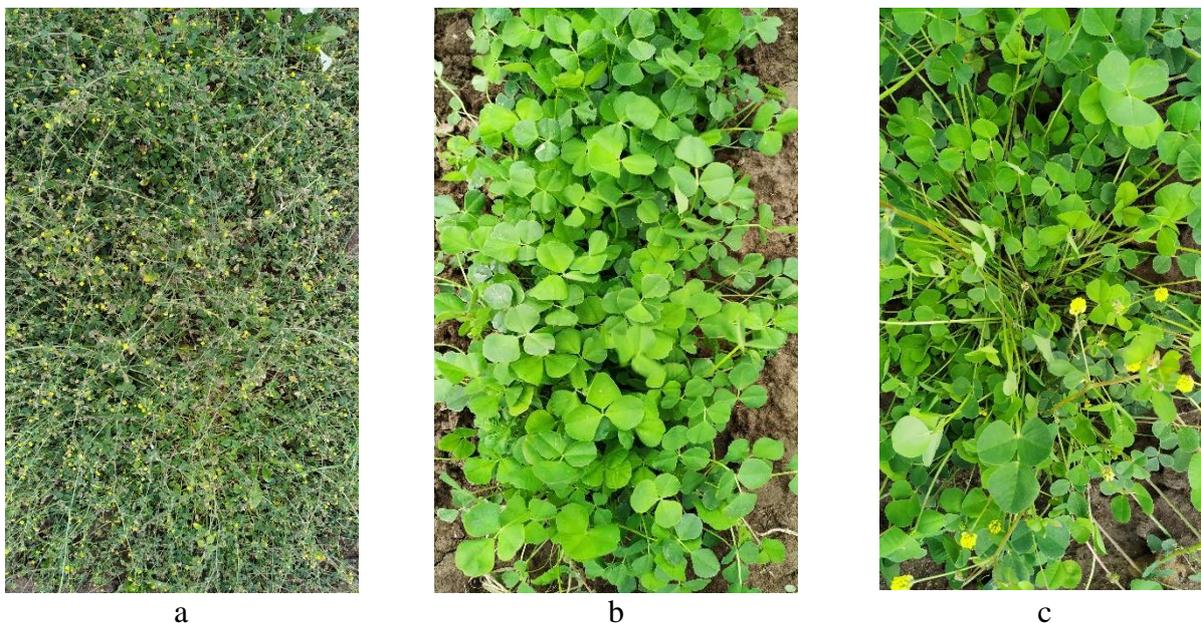


Рис. 1. Растения люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.): монокарпик к-34574 из Австралии, бикарпик к-48504 из Псковской области, поликарпик сорт Nordol к-43251 из Дании

Ареал поликарпиков приурочен к Северной и Средней Европе. Бикарпики отмечены в Псковской, Новгородской, Ленинградской областях. Монокарпики встречаются повсеместно.

Помимо морфологических различий обнаружены различия в биохимическом составе [7]. Сорта-поликарпики (в том числе один бикарпик) содержат наибольшее количество аскорбиновой кислоты и моносахаров, а дикорастущие монокарпики – антоцианов и дисахаров.

В публикациях, касающихся кариотипов, люцерну хмелевидную указывают как диплоидный и тетраплоидный вид [8, 9]. Диплоидные формы находили во всех исследованиях. Информация о тетраплоидной форме была впервые опубликована В.П. Чеховым при работе с гербарием Томского университета [10]. Позднее тетраплоид не был обнаружен ни в одном исследовании. По мнению В.П. Чехова, тетраплоидная люцерна хмелевидная (рис. 2, а), распространена в Европе, умеренной Азии и Северной Африке, а диплоидная форма (см. рис. 2, б) приурочена к Средиземноморью и Южной России.



Рис. 2. Хромосомы люцерны хмелевидной (а – тетраплоид, б – диплоид) (по Чехову, 1932)

В настоящей работе предпринята попытка сравнить кариотипы двух жизненных форм люцерны хмелевидной коллекции ВИР из разных географических точек.

Из коллекции ВИР были выбраны ранее изученные в полевых условиях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории» в 2018–2023 годах образцы к-34574 из Австралии (монокарпик), к-38396 из Великобритании (поликарпик), сорт Nordol к-43251 из Дании (поликарпик).

Изучение проводилось на пророщенных семенах. Временные давленные препараты готовились по общепринятой методике [11, 12]. На представленных изображениях видно, что хромосомное число у всех трех образцов люцерны хмелевидной одинаковое $2n = 16$ (рис. 3).

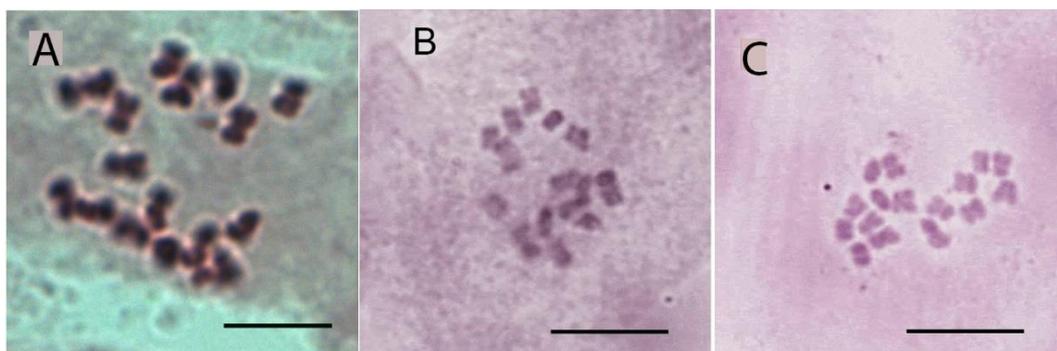


Рис. 3. Метафазных хромосомы люцерны хмелевидной $2n=16$.

А – к-43251 сорт Nordol из Дании (поликарпик), В – к-38396 из Великобритании (поликарпик),
С – к-34574 из Австралии (монокарпик)

При детальном рассмотрении метафазных пластинок можно выделить 5 пар метацентрических и 3 пары субметацентрических хромосом. Такая структура кариотипа свойственна всем трем образцам. Аналогичные результаты по хромосомным числам ранее были получены у дикорастущих образцов из коллекции ВИР: у монокарпика к-5358 из Италии, бикарпика к-48504 из Псковской области, поликарпика к-31076 из Литвы [13].

Таким образом, изучение кариотипов моно-, би- и поликарпических образцов люцерны хмелевидной из коллекции ВИР, имеющих разное географическое происхождение, в настоящем и предыдущем исследованиях показало, что данные образцы характеризуются одинаковым набором хромосом $2n=16$.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту FGEM-2022-0002.

Список литературы

- 1 Sims J.R., Koala S., Ditterline R.L., Wiesner L.E. Registration of ‘George’ black medic // Crop Science. 1985. V. 25. P. 709–710.
- 2 Wilson L.C. Characteristics of black medic (*Medicago lupulina* L.) seed dormancy loss in Western Canada. Department of Plant Science University of Manitoba Winnipeg. MB. 2005.
- 3 Entz M.H., Thiessen Martens J.R., May W., Lafond G.P. Black medic (*Medicago lupulina*)

- germplasm screening for use as a self-regenerating cover crop on the Canadian Prairies // Canadian Journal of Plant Science. 2007. V. 87. P. 873–878.
- 4 Amer N., Al Chami Z., Al Bitar L., Mondelli D., Dumontet S. Evaluation of *Atriplex halimus*, *Medicago lupulina* and *Portulaca oleracea* for phytoremediation of Ni, Pb and Zn // International Journal of Phytoremediation. 2013. V. 15. Is. 5. P. 498–512.
- 5 Matanzas N., Aff E., Díaz T. E., Gallego J.R. Phytoremediation potential of native herbaceous plant species growing on a paradigmatic brownfield site // Water, air, and soil pollution. 2021. V. 232. P. 290.
- 6 Малышева Н.Ю. Биологическое разнообразие люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.) // Vavilovia. 2021. Т. 4. № 4. С. 1–10.
- 7 Малышева Н.Ю., Шеленга Т.В., Соловьева А.Е., Малышев Л.Л. Особенности биохимического состава жизненных форм люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.) // Экологическая генетика. 2022. Т. 20. № 3. С. 231–242.
- 8 Lesins K., Lesins I. Genus *Medicago* (Leguminosae). A taxogenetic study. Hague-Boston-London: Dr. W. Junk bv Publishers; 1979.
- 9 Small E. Alfalfa and relatives: evolution and classification of *Medicago*. Ottawa: NRC Research Press. 2011.
- 10 Чехов В.П. Карио-систематический анализ трибы Trifoliae D.C. (сем. Leguminosae Juss.) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1932. Серия 2. № 1. С. 119–131.
- 11 Абрамова Л.И., Орлова И.Н. Цитологическая и цитоэмбриологическая техника (для исследования культурных растений). Методические указания. 1982. Л.: ВИР. 118 с.
- 12 Навашин М.С. Методика цитологического исследования для селекционных целей. 1936. М. 87 с.
- 13 Yulia A. Myakoshina, Natalia Yu. Malysheva, Galina I. Pendinen, Violetta V. Kotseruba & Eduard M. Machs. IAPT chromosome data 38/7. (K. Marhold & J. Kučera (Eds.), & al. IAPT chromosome data 38. Taxon. 2022. V. 71. №. 6. P. 1357

DOI 10.18699/GPB2024-53

Генофонд озимой ржи для селекции на продуктивность в лесостепной зоне Среднего Поволжья

Маннапова Г.С. *, к.с.-х.н., в.н.с.; Пономарева М.Л., д.б.н., профессор, г.н.с.; Пономарев С.Н., д.с.-х.н., г.н.с.; Гильмуллина Л.Ф., к.с.-х.н., с.н.с.; Фомин С.И., к.с.-х.н., с.н.с.; Илалова Л.В., н.с.; Сайфутдинова Д.Д., н.с.; Гараева Н.Ш., н.с.

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФГБУН
ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

*email: mgs1980@mail.ru

В работе обобщены многолетние исследования по изучению генофонда озимой ржи из коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения в лесостепной зоне Среднего Поволжья (Республика Татарстан, ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН). Представлены результаты варьирования урожайности сортообразцов в различные по агрометеорологическим условиям годы. Выявлены источники высокой продуктивности и устойчивости к наиболее проявляемым в регионе абиотическим и биотическим стрессам.

Ключевые слова: озимая рожь; коллекционные образцы ВИР; урожайность; генофонд; источники высокой продуктивности

Winter rye gene pool for selection of productivity in the forest-steppe zone of the Middle Volga region

Mannapova G.S, Ponomareva M.L., Ponomarev S.N., Gilmullina L.F., Fomin S.I., Ila-lova L.V., Saifutdinova D.D., Garaeva N.Sh.*

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture FRC KazSC of RAS, Kazan, Russia

**email: mgs1980@mail.ru*

The paper presents a summary of long-term studies on the winter rye gene pool from the VIR collection of different ecological and geographical origin in the forest-steppe zone of the Middle Volga region (Republic of Tatarstan, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture FRC KazSC of RAS). The results of variation of yield of varieties in different agrometeorological conditions of years are presented. Sources of high productivity and resistance to the most manifested in the region abiotic and biotic stresses are revealed.

Key words: winter rye; VIR collection samples; yield; gene pool; sources of high productivity

В современных рыночных условиях возрастает роль сорта как важного фактора повышения продуктивности культуры. Урожайность – достаточно сложный признак, варьирование которого происходит под действием многих абиотических и биотических факторов. В условиях севера Среднего Поволжья наблюдается частое чередование острозасушливых и благоприятных по влагообеспеченности лет, морозных и многоснежных зим. Изменение климата значительно увеличивает амплитуду колебаний метеофакторов по годам, что влияет на динамику видового и расового состава патогенов, частоты встречаемости и вредоносности заболеваний, особенно снежной плесени [2, 3].

В связи с этим, круг селекционных задач значительно расширяется. Селекционные программы по озимым культурам, проводимые в этом регионе и направленные на повышение урожайности, параллельно устремлены на улучшение засухоустойчивости, зимостойкости, полеганию, устойчивости к снежной плесени [2, 5].

Ускорение и повышение эффективности селекции напрямую зависит от генетического разнообразия исходного материала и привлечения в селекционный процесс новых источников и доноров устойчивости к стрессовым факторам. В селекции озимой ржи в условиях лесостепи Среднего Поволжья также большое внимание уделяется изучению коллекции и правильному подбору родительских форм.

Изучение коллекционных образцов ВИР озимой ржи выполнено в 2019–2023 годах на селекционно-семеноводческой базе ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН (Республика Татарстан, Лаишевский район, село Большие Кабаны). Организацию полевых

испытаний и биометрические измерения осуществляли в соответствии с Методическими указаниями по изучению мировой коллекции ВИР (1981) [1]. Через каждые двадцать деленок высевался стандартный сорт Радонь (2019–2021 гг.) и Тантана (2022–2023 гг.). Для сравнения коллекционного материала по годам использовали «средний стандарт», усредняя значения признаков двух стандартных сортов. Размножение коллекционных образцов для последующего посева осуществлялось под изоляционными кабинами.

Всего изучено 54 сортообразца из коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения. Большая часть генофонда озимой ржи имеет российское происхождение (60 %). Зарубежный генофонд представлен белорусскими (13 %), польскими (8 %), украинскими (4 %), латвийскими (4 %), а также единичными аргентинскими, испанскими, американскими, канадскими, уругвайскими, китайскими сортообразцами.

Погодные условия за годы испытаний характеризовались контрастностью проявления экстремальных и благоприятных явлений. В 2019 году отмечено эпифитотийное поражение посевов озимых культур снежной плесенью. Весенне-летний период 2021 года характеризовался сильной засушливостью от фазы трубкования растений до формирования зерна. В 2020 и 2023 годах наблюдался очень ранний сход снега с полей (21 и 27 марта соответственно, в остальные другие годы 8–17 апреля) и возврат весенних заморозков. Максимальные значения глубины промерзания почвы в годы исследований варьировали от 37 см (2020 год) до 63 см (2021 год), а толщины снежного покрова – от 35 см (2020 год) до 78 см (2021 год). Продолжительность холодного периода колебалась от 128 (2020 год) до 153 (2021 год) дней, значения ГТК за весенне-летний период – в пределах 0,58 (2021 год, засуха) – 2,57 (2020, избыточное увлажнение). В 2020, 2022 и 2023 годах вегетация растений озимой ржи проходила при наиболее благоприятных условиях.

Статистическую и графическую обработку данных провели с помощью пакета программ XLSTAT 2019.2.2.59614.

В комплексе основных хозяйственно ценных признаков коллекционных образцов озимой ржи большое значение уделяется урожайности. Ящичная диаграмма (box plots) наглядно демонстрирует, что наименьшие длины бокс-плотов и усов отмечались в 2019, 2021 и 2023 годах, указывая на жесткость влияния стрессовых факторов среды на продуктивность сортообразцов озимой ржи (рис. 1). В 2019 году отмечена самая низкая средняя урожайность генофонда озимой ржи, которая составила $142,9 \pm 60,8$ с лимитными значениями от 58 до 272 г/м^2 . В острозасушливом 2021 году средняя урожайность по опыту составила $453,6 \pm 122,4$, амплитуда варьирования была в пределах $170,0 - 690,0 \text{ г/м}^2$. В 2023 году размах урожайности составил от 312 до 692 г/м^2 , при средней по году $515,5 \pm 85,6 \text{ г/м}^2$.

Судя по длине ящика и усов диаграммы, наиболее благоприятные условия внешней среды были в 2020 и 2022 годах. Урожайность коллекционных образцов в

данные годы колебалась от 150 до 870 и от 200 до 755 г/м², при средних значениях 510,4±158,3 и 472,2±157,3 г/м² соответственно. Медиальные значения близки к средним, что указывает на нормальность распределения значений урожайности сортообразцов независимо от погодных факторов. Только в благоприятном 2022 году урожайность большей части коллекционных образцов была меньше среднего значения по опыту (среднее – 472, медиана – 422 г/м²). Это указывает на то, что в исследуемом генофонде недостаточно сортообразцов, отзывчивых на улучшение условий среды. Наиболее высокие средние значения урожайности генофонда отмечены в 2020, 2022 и 2023 гг.

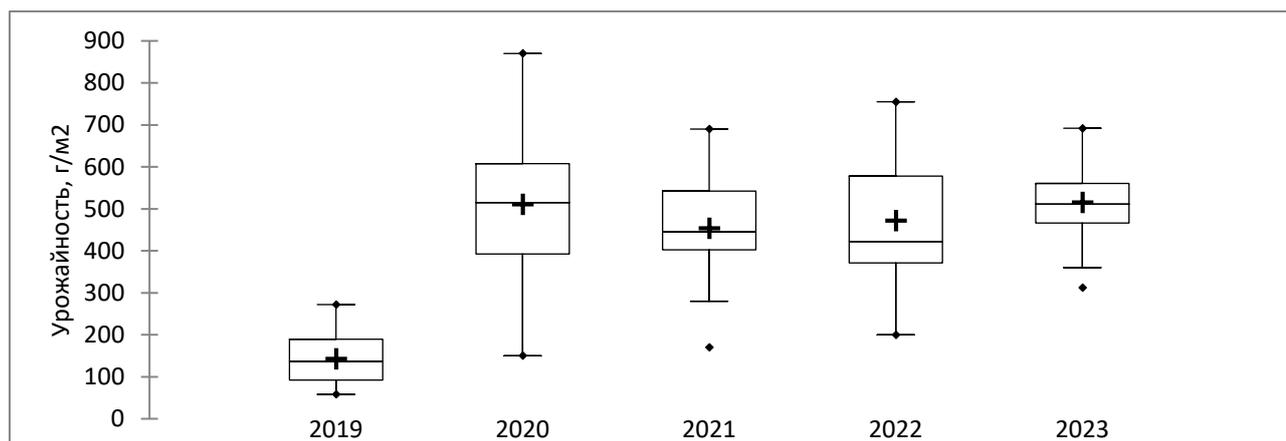


Рис. 1. Диаграмма размаха, показывающая изменчивость урожайности у коллекционного генофонда озимой ржи в 2019–2023 гг. Тело ящика – интерквартильный размах (IQR), показывающий отклонение 25 и 75 % разброса от средней и медианы.

Горизонтальная линия посередине ящика – медиана. Медиана является альтернативной для среднего значения выборки, который указан в теле ящика знаком плюс. Вертикальные линии вне ящиков «усы» характеризуют минимальные и максимальные значения количественного признака. Точки вне ящиков – выбросы, характеризующие нетипично аномальные значения признаков, искажающие результат

Если устойчивый исходный материал отбирается в годы экстремального проявления абиотического стресса, то высокопродуктивный и отзывчивый на улучшение условий среды селекционный материал, отбирается в годы с наиболее благоприятными погодными условиями [4].

В результате многолетнего изучения коллекционного генофонда озимой ржи нами выделено 25 источников высокой продуктивности, у которых урожайность выше значения Q3 (табл. 1). Большая часть выявленных источников продуктивности имеют российское (16 шт.) и белорусское (6 шт.) происхождение.

Также выявлены источники устойчивости к наиболее часто проявляемым абиотическим и биотическим стрессам (табл. 2). Более высокой засухоустойчивостью, устойчивостью к снежной плесени и зимостойкостью отличались российские сортообразцы.

Таблица 1 – Источники озимой ржи для селекции на высокую продуктивность

Признак	Источники	Происхождение
Урожайность, 578–870 г/м ²	Грань, Ирина, Память Попова, Славия, Фаленская 4, Таловская 2, Солнышко, Саратовская 7, Татьяна, Ольга, Уральская 2, Чишминская 3-2, Парча, Таловская 41, Орловская 9-2, Синильга	Россия
	Альнара, Ясельда, Талисман, Зарница, Бирюза, Зубровка	Беларусь
	Adar	Польша
	Jana	Латвия
	ВПК	Украина

Таблица 2 – Источники озимой ржи для селекции на устойчивость к абиотическим стрессам

Признак	Источники	Происхождение
Засухоустойчивость	Саратовская 7, Ирина, Карстен 2, Орловская 9-2	Россия
	Кондакт	Польша
Устойчивость к снежной плесени	Россиянка 2, Роксана, Синильга, Ольга, Славия, Таловская 44, Орловская 9-2, Державинская 50, Марусенька	Россия
	Нива	Беларусь
Зимостойкость, выше 4,5 балла	Синильга, Ольга, Славия, Державинская 50, Уральская 3-2, Чишминская 3-2, Таловская 2	Россия
	Талисман, Альнара	Беларусь
	ВПК	Украина
	Toseuchi	США

Таким образом, проведен анализ урожайности и других хозяйственно ценных признаков 54 сортообразцов из коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения в условиях лесостепной зоны Средневолжского региона РФ. В результате многолетнего изучения выделены источники высокой продуктивности, а также сортообразцы, характеризующиеся высокой засухоустойчивостью, зимостойкостью и устойчивостью к снежной плесени. Выявленные источники продуктивности и устойчивости к абиотическим стрессам будут активно использоваться в программах гибридизации для создания качественно нового исходного материала для селекции.

Список литературы

- 1 Методические указания по изучению мировой коллекции ржи. Ленинград, 1981. 20 с.
- 2 Пономарев С.Н., Пономарева М.Л., Маннапова Г.С., Фомин С.И. Особенности формирования урожайности озимой ржи в контрастных гидротермических условиях севера Средневолжья // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2022. № 4 (44). С. 151–162.
- 3 Пономарева М.Л., Пономарев С.Н., Маннапова Г.С., Илалова Л.В. Фитосанитарный мониторинг наиболее вредоносных болезней озимой ржи в Республике Татарстан // *Вестник КрасГАУ*. 2019. № 9. С. 27–34
- 4 Самофалов А.П., Подгорный С.В. Исходный материал в селекции озимой пшеницы на продуктивность // *Аграрный вестник Урала*. 2014. № 5 (123). С. 13–16
- 5 Фоменко М.А., Грабовец А.И., Олейникова Т.А. Особенности селекционного улучшения озимой пшеницы в степной зоне Ростовской области // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2020. № 5. С. 18–22.

Изучение вариабельности ряда количественных признаков ячменя, используемых при испытаниях на охраноспособность

Маренкова А.Г.^{1,2}, аспирант, лаборант-исследователь; Рубец В.С.¹, д.б.н., в.н.с.; Пыльнев В.В.², д.б.н., проф.*

¹*ВНИИСБ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», Москва, Россия*

²*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*

**email: lina.marko@mail.ru*

В статье представлены особенности проявления некоторых количественных признаков ярового ячменя, используемых в методике для оценки сортов на охраноспособность.

Ключевые слова: яровой ячмень; сортовой признак; охраноспособность; отличимость; длина колоса; длина остей; длина первого членика колосового стержня

To explore the variability of a variety of quantitative characteristics of barley used in tests for protection

Marenkova A.G.^{1,2}, Rubets V.S.¹, Pylnev V.V.²*

¹*All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia*

²*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*

**email: lina.marko@mail.ru*

The article presents the features of the expression of some quantitative characteristics of spring barley used in the methodology for assessing varieties for protection.

Key words: spring barley; varietal feature; assessing; distinctiveness; ear length; awn length; length of the first segment of the rachis of the ear

Ячмень – универсальная культура, выращиваемая для кормовых и пищевых целей и пивоварения. Широкий спектр использования ячменя подтверждает необходимость создания новых сортов. Для оценки сортовой чистоты семенных посевов ячменя используются сортовой и грунтовой контроль. Согласно Решению Совета Евразийской экономической комиссии от 30 января 2022 г. о «Единых методах определения сортовых качеств семян сельскохозяйственных растений в рамках Евразийского экономического союза» [1], метод грунтового контроля следует считать обязательным для оценки сортовых качеств сельскохозяйственных растений наравне с апробацией.

Грунтовой контроль, в отличие от апробации, позволяет проводить наблюдения за испытываемыми растениями в течение всего вегетационного периода по ряду мор-

фологических признаков. Он проводится согласно «Методике проведения испытаний селекционных достижений на отличимость, однородность и стабильность» [2] (далее – Методика). Испытуемые сорта по морфологическим признакам сравниваются с сортами-эталоном (сортами, которые высеваются совместно с изучаемыми образцами в опыте для демонстрации степеней выраженности признаков). В Российской Федерации в настоящее время в данной Методике в качестве эталонов представлены большей частью сорта ячменя зарубежной селекции. Так как эти сорта часто недоступны на территории России, изучение и подбор отечественных сортов с различной степенью проявления сортовых признаков для их использования в качестве эталонов весьма актуальны в рамках импортозамещения.

Целью исследования является изучение вариабельности ряда количественных признаков ячменя, используемых при испытаниях на охраноспособность, и выделение сортов-кандидатов в эталоны для создания отечественной коллекции.

Изученные нами количественные признаки, используемые для оценки отличимости, однородности и стабильности сортов ячменя, а также степень их выраженности, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Степень выраженности количественных признаков

Признак	Степень выраженности признака
Длина колоса	3 – короткий 5 – средний 7 – длинный
Длина остей	1 – очень короткие 3 – короткие 5 – средние 7 – длинные
Длина первого членика колосового стержня	3 – короткий 5 – средний 7 – длинный

Исследовался 71 сортообразец ярового ячменя, семена сортообразцов представлены ФГБУ «Госсорткомиссия». Посев был проведен в 2023 году на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Согласно Методике, все указанные признаки наблюдали в фазы 80–92 по шкале Зодака (начало восковой спелости – полная спелость) [2]. В нашем исследовании измерялось 20 растений сорта без выбора с пробных площадок ручных посевов. Полученные значения были математически обработаны: посчитаны среднее арифметическое, стандартное отклонение и ошибка средней, а также необходимые для дальнейшего анализа коэффициент вариации и границы доверительного интервала. Доверительный интервал позволяет достоверно выделить группы сортов, соответствующие определённому индексу. Если интервалы перекрываются, это значит, что сорт имеет промежуточный индекс по признаку и эталоном служить не может.

Таким образом, отбирались только сорта, у которых доверительные интервалы

не перекрываются, а коэффициент вариации находится в пределах допустимого (до 10–15 %).

По признаку «длина колоса» выявили следующие градации (табл. 2).

Таблица 2 – Распределение сортов по градации признака «длина колоса»*

Степень выраженности признака	Образцы
3 – короткий	1601 410 2ц (15 %) , Дина, Быйан (13 %) , Краснояржский 6 (12 %) , Надёжный (13 %) , Поволжский 49 (12 %) , Благодар (15 %) , Грис, Прерия (14 %) , Эльф
5 – средний	Осколец, Рафаэль (11 %) , Такмак (11 %) , Хаджибей, Эллинор (12 %) , Эней УА (12 %) , Омский 90 (14 %) , Ача (13 %) , Бином (15 %) , Биос 1 (12 %) , Владимир, Квенч (12 %) , Лаишевский (11 %) , Ручей (11 %) , Боярин (14 %)
7 – длинный	Любояр (11 %) , Приморец (12 %)

* – Здесь и далее **жирным шрифтом** отмечены сорта, коэффициент вариации признака которых равен 10–20 % (не является значительным, но довольно высок). Коэффициент вариации в данном случае указан в скобках. Не выделенные шрифтом сорта имеют незначительный коэффициент вариации (менее или равный 10 %).

По признаку «длина остей» выявили следующие градации (табл. 3). Образцов с индексами 5 и 7 в 2023 году обнаружено не было.

Таблица 3 – Распределение сортов по градации признака «длина остей»

Степень выраженности признака	Образцы
1 – очень короткие	Краснояржский 91
3 – короткие	Биом, Надёжный, Анна, Биос 1, Благодар, Грэйс, Прерия, Рафаэль, Атамин, Ручей, Челябинский 96; Эсма, ТСХА 15, Ача, Батик (12 %) , Краснояржский 6, Омский 91, Амидала, Владимир, Гетьман, КВС Алисиана, КВС Джесси, КВС Ирина, Ратник (13 %) , Такмак, Эльф, Боярин (13 %)

По признаку «длина первого членика колосового стержня» выявили следующие градации (табл. 4).

Таблица 4 – Распределение сортов по градации признака «длина первого членика колосового стержня»

Степень выраженности признака	Образцы
3 – короткий	Надёжный, Грейс (15 %)
5 – средний	Одесский 22 (15 %) , Омский 91 (15 %) , Амидала (11 %) , Хаджибей (13 %) , КВС Хоббс, Такмак, Натасья, Дивный (12 %)
7 – длинный	Разновидность Viridiinerme (13 %)

Таким образом, нами выделены сортообразцы ячменя, которые могут служить эталонами по изученным признакам. В качестве эталонов по нескольким признакам рекомендуются следующие сорта: Краснояржский 6 – короткий колос, короткие ости; Рафаэль – средний колос, средние ости; Такмак – средний колос, короткие

ости, средняя длина первого члена стержня; Надёжный – короткие ости, короткий первый членок стержня.

Стабильность проявления сортами указанных признаков необходимо проверить, проведя дальнейшие исследования.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках технического задания МСХ РФ.

Список литературы

- 1 Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 30.01.2020 № 10 «О единых методах определения сортовых качеств семян сельскохозяйственных растений в рамках Евразийского экономического союза»: дата вступления в силу 01.01.2021 // Россельхознадзор: офиц. сайт. – URL: <https://fsvps.gov.ru/ru/fsvps/laws/7584.html> (дата обращения 02.11.2022). – Текст электронный.
- 2 Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Ячмень (*Hordeum vulgare* L. sensu lato) 18.08.2005 г. № 12-06/36 // ФГБОУ «Госсорткомиссия»: офиц. сайт. – URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php> (дата обращения 21.02.2024). – Текст электронный.

DOI 10.18699/GPB2024-55

Проблемы верификации гибридов карликовых берез на примере образца из горной популяции Алтая

Медведева С.О.^{1}, Черепанова О.Е.¹, Филиппов Е.Г.¹, Тептина А.Ю.²*

¹*ФГБУН Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

²*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия*

**email: so.medvedeva@gmail.com*

*В 2023 году в процессе экспедиции в горную тундру Алтайского горного массива, были обнаружены образцы *Betula nana* L., предположительно имеющие гибридную природу. Ранее уже высказывались предположения о гибридизации *B. nana* с симпатическим видом – *Betula pubescens* Ehrh., с образованием триплоидных гибридов. На территории России находки гибридов карликовых берез встречаются не часто и подтверждаются исключительно по морфологическим признакам. Отмеченные нами гибриды прошли ступенчатую верификацию с применением современных молекулярно-генетических и цитологических методов анализа. Полученные данные свидетельствуют о триплоидном геноме одного образца и диплоидном всех остальных образцов.*

Ключевые слова: плоидность; гибридизация; береза карликовая; содержание ДНК; размер генома; проточная цитометрия

Problems of verification of dwarf birch hybrids using the example of a sample from the Altai mountain population

Medvedeva S.O.^{1*}, Cherepanova O.E.¹, Filippov E.G.¹, Teptina A.Yu.²

¹Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

*email: so.medvedeva@gmail.com

In 2023, during an expedition to the mountain tundra of the Altai mountain range, samples of *Betula nana* L. were discovered, presumably of a hybrid nature. Previously, suggestions have been made about the hybridization of *B. nana* with a sympatric species – *Betula pubescens* Ehrh., with the formation of triploid hybrids. On the territory of Russia, finds of dwarf birch hybrids are not common and are confirmed solely by morphological characteristics. The hybrids we noted underwent step-by-step verification using modern molecular genetic and cytological methods of analysis. The data obtained indicate a triploid genome of one sample and a diploid genome of all other samples.

Key words: ploidy; hybridization; dwarf birch; DNA content; genome size; flow cytometry

Гибридизация – достаточно распространенное явление в процессе видообразования у растений, предположительно около 11 % древесных видов произошли в результате гибридизационных процессов [1]. Межвидовая гибридизация между близкородственными видами в естественных условиях у некоторых таксономических групп происходит достаточно часто, как, например, у представителей рода *Betula*, включающего более 60 таксонов, среди которых встречаются полиплоидные виды [2]. При этом, накоплено относительно мало экспериментальных данных подтверждающих формирование новых форм в результате гибридизации, а также указывающих на приобретение в процессе гибридизации новых адаптаций к изменяющимся условиям среды. Наибольший интерес, среди всего многообразия видов, входящих в род *Betula*, представляют *B. pubescens* (4n), *B. pendula* (2n), *B. nana* (2n), широко распространённые по территории Евразии [3].

Гибридизация *B. nana* с другими видами берез из секции *Betula* малоизученна и представляет практическую ценность для селекции и понимания эволюционных процессов. Как в отечественной, так и в зарубежной литературе встречается описание межвидовых гибридов карликовой березы (*B. nana*) с *B. pendula* Roth. и с *B. pubescens* Ehrh. [1, 4].

Большинство исследовательских работ, описывавших процессы гибридизации между *B. nana*, *B. pubescens* охватывают территорию Европейской части ареалов данных видов, при этом на территории РФ гибридов, подтвержденных не только морфологическими, и иными инструментальными методами ранее обнаружено не

было. Цель нашей работы заключалась в верификации гибридного происхождения некоторых представителей *B. nana*, произрастающих в горной тундре на территории алтайского горного массива.

Всего было собрано по 17–20 побегов *B. nana* с 3х популяции (Семинский перевал, Онгудайский голец, Сарлык), а также 7 побегов *B. pendula* и 2 побега предположительно гибридных растений с популяции Семинский перевал (см. таблицу). Расстояние между отдельными растениями составило не менее 20 м для получения максимальной изменчивости. Подробная методика пробоподготовки, условий и информация об используемых праймерах для проведения цитологических и молекулярно-генетических исследований приведена в наших более ранних работах [5, 6].

Относительное содержание ДНК и размер генома представителей р. *Betula*

Вид	Географические координаты	2С Содержание ДНК, пг	Предполагаемая плоидность
<i>B. nana</i>	Семинский перевал 51°02'43" с. ш. 85°36'15" в. д.	0,96	2
<i>B. pendula</i>	Семинский перевал 51°02'43" с. ш. 85°36'15" в. д.	0,97	2
<i>Betula</i> гибрид №1	Семинский перевал 51°02'43" с. ш. 85°36'15" в. д.	1,42	3
<i>Betula</i> гибрид №2	Семинский перевал 51°02'43" с. ш. 85°36'15" в. д.	0,97	2
<i>B. nana</i>	Онгудайский голец 50°44'53" с. ш. 86°08'18" в. д.	0,98	2
<i>B. nana</i>	Сарлык 51°04'43" с. ш. 85°44'05" в. д.	0,97	2
<i>B. pubescens</i>	Иремель 54°32'00" с. ш. 58°50'20" в. д.	1,82	4

Визуализацию и обработку гистограмм проводили с использованием штатного программного обеспечения проточного цитометра CyView (Partec, GmbH, Германия). Расчет содержания ДНК и статистическую обработку проводили методами параметрической статистики в Microsoft Excel 2003. Итоговые данные представляют собой среднюю арифметическую величину и стандартную ошибку средней арифметической величины.

Анализ изменчивости полиморфизма транскрибируемого межгенного спейсера (ITS 1–2) ядерной рДНК проведен на материале, полученном из предварительно высушенных в силикагеле листьев берез. Изучение внутригеномного полиморфизма последовательностей ITS 1 и ITS 2 у выявленного триплоидного гибрида проведено

методом NGS с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ. Секвенирование негибридных образцов проводили по методу Сэнгера с использованием BrilliantDye v. 3.1 kit (Gene Analyzers 3130; NimaGen, Netherlands). Редактирование и выравнивание полученных последовательностей выполнялось в программах BioEdit7.0 [7] и Mega6 [8].

В результате анализа последовательности ITS 1–2 отметили его слабую изменчивость у берез, что, вероятно, связано с их длительным жизненным циклом [9]. При этом мутации характерные исключительно для *B. nana* отсутствуют, что не позволяет нам верифицировать данный таксон. Часто при анализе хроматограмм сиквенсных реакций ITS 1–2 видны двойные пики, что затрудняет работу с гибридными организмами. В случае с триплоидным гибридом прочитать последовательность ITS 1 и ITS 2 удалось только методом NGS, что дало нам информацию о ведущих цепях и вероятных родителях, которыми предположительно являются *B. nana*, *B. pubescens*. Последнюю рядом с местом произрастания гибрида обнаружить не удалось.

Метод проточной цитометрии, широко используемый исследователями при работе с видами рода *Betula*, представляется авторам более удобным и перспективным для поиска гибридов, происходящих от видов разной ploидности и произрастающих на территории России. Всего в ходе работы было измерено содержание ДНК у 5 образцов с каждой популяции, а также у двух предполагаемых гибридных образцов.

Проанализированные образцы карликовой березы оказались диплоидными. Гибриды показали различные уровни ploидности (см. таблицу). Для контроля в анализ были включены образцы *B. pendula*, произрастающие с местом нахождения гибридов, а также образцы *B. pubescens* с горы Большой Ирмель (Южный Урал).

Общая разрешающая способность фрагментов ITS1 и ITS2 оказалась достаточно низкой для разграничения таксонов рода. Обнаруженные точечные мутации позволили верифицировать только выборочные образцы карликовой березы.

Результаты проточной цитометрии свидетельствуют о существовании малочисленных триплоидных гибридов *B. nana* × *B. pubescens* в популяциях берез, произрастающих в лесном массиве горной тундры на Алтае. Для верификации родительских видов у диплоидных гибридов, необходимо проводить дополнительный подбор изменчивых фрагментов небольшого размера для анализа методом NGS.

Малочисленность гибридов частично указывает на то, что гибридизация между таксонами *B. nana* и *B. pubescens* является редким явлением и, возможно, чаще встречается в более северных районах Западной Евразии.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ № 23-24-00598.

Список литературы

1 Ellstrand N.C., Whitkus R., Rieseberg L.H. Distribution of spontaneous plant hybrids // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1996. Vol. 93. P. 5090-5093

2 Anamthawat-Jónsson K., Thórsson T., Temsch E. M., Greilhuber J. Icelandic Birch Polyploids.

- The Case of a Perfect Fit in Genome Size // Journal of Botany. 2010: 347254.
- 3Tsuda Y., Semerikov V., Sebastiani F., Vendramin G.G., Lascoux M. Multispecies genetic structure and hybridization in the *Betula* genus across Eurasia //Molecular Ecology. 2017. № 26. P. 589–605.
- 4Thorsson Æ. Th., Palsson S., Sigurgeirsson A., Ananthawat-Jonsson K. Morphological variation among *Betula nana* (diploid), *B. pubescens* (tetraploid) and their triploid hybrids in Iceland // Annals of Botany. 2007. № 99 (6). P. 1183–1193.
- 5Медведева С.О., Черепанова О.Е., Толкач О.В., Пономарев В.И., Малосиева Г.В. Данные по изменчивости региона ITS 1-2 ядерной рибосомальной ДНК *Betula turkestanica*, *B. tianschanica*, *B. procurva* //Лесохозяйственная информация. 2023. № 2. С. 127–135.
- 6Медведева С.О., Черепанова О.Е., Тептина А.Ю. Определение размера генома *Betula nana* L. // В сборнике: Актуальные вопросы охраны биоразнообразия. Материалы III Международной научной конференции. Отв. редактор А.Р. Ишбирдин. 2022. С. 105–107.
- 7Hall, T.A. Bioedit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT / T.A. Hall // Nucl. Acid Symp. 1999. № 41. P. 95–98. DOI: 10.12691/ajmr-3-2-1.
- 8K. Tamura, G. Stecher, D. Peterson, A. Filipiński, S. Kumar. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0 // Molecular biology and evolution. 2013. Т.30. № 12. P. 2725–2729. DOI: 10.1093/molbev/mst197.
- 9Tarieiev A., Gailing O., Krutovsky K. Resolving the phylogeny of birch (*Betula* L.) using both nucleotide sequence and secondary structure of highly polymorphic ITS1 and ITS2 barcoding loci.

DOI 10.18699/GPB2024-56

Изменчивость плодов разных сортов яблони домашней (*Malus domestica* Borkh) в Ботаническом саду им. Вс.М. Крутовского

Моксина Н.В. *, к.с.-х.н., доц.; Коломыцев М.В., инженер-исследователь; Шпилев В.С., инженер-исследователь

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, Россия

*email: n.moksina2010@yandex.ru

Приведены результаты изучения изменчивости массы плодов яблони домашней, произрастающей в мемориальной части Ботанического сада им. Вс.М. Крутовского. Выделены сорта, отличающиеся высокими показателями для дальнейшей селекционной работы.

Ключевые слова: яблоня домашняя; сорт; изменчивость; плоды; масса

Variability of fruits of different varieties of domestic apple (*Malus domestica* Borkh) in the botanical garden named after Vs. M. Krutovsky

Moksina N.V. *, Kolomytsev M.V., Shpilev V.S.

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. Krasnoyarsk, Russia

*email: n.moksina2010@yandex.ru

The results of studying the variability of the mass of the fruits of the domestic apple tree growing in the memorial part of the Botanical Garden named after Vs.M. Krutovsky are presented. Varieties with high indicators for further breeding work have been identified.

Key words: domestic apple tree; variety; variability; fruits; weight

Основной плодовой культурой умеренного пояса России и всего северного полушария является яблоня, занимая первое место по площади и валовому производству плодов. В Сибири она также занимает значительную долю среди плодовых культур в садах потребительского типа [1].

Ведущее значение яблони в плодоводстве обусловлено её агробиологическими особенностями. Благодаря большому разнообразию видового состава род *Malus* обладает большой изменчивостью и приспособляемостью к различным почвенно-климатическим условиям.

Плоды яблони пользуются большим спросом у потребителей, характеризуются высокими товарными, вкусовыми и диетическими качествами. Они пригодны для потребления в свежем виде на протяжении года и различных видов переработки [2].

Известно, что сорта народной селекции, как правило, характеризуются отдельными ценными хозяйственно-биологическими признаками, которые обеспечивают им высокую экологическую приспособленность к условиям среды [3].

Объектом исследования являются яблони, произрастающие в Ботаническом саду им. Вс. М. Крутовского. Данная коллекция плодовых культур формировалась с 1904 года [4]. Это уникальный и один из старейших плодовых участков Сибири, включающий 39 культурных сортов яблони домашней (*Malus domestica* Borkh) разного эколого-географического и селекционного происхождения. Коллекция включает шесть сортов селекции Вс. М. Крутовского, десять сортов селекции И.В. Мичурина, один сорт селекции Р.И. Шредера, один сорт зарубежной (новозеландской) селекции, 21 сорт народной селекции, выведенные в европейской части России.

Ботанический сад находится на правом берегу р. Енисей, в устье р. Лалетино. Согласно ландшафтному районированию, данная территория находится на стыке ландшафтов подтайги и южной лесостепи [5].

В настоящее время актуальным является изучение хозяйственно ценных признаков сортов для селекционного использования.

В данной работе приведены результаты изучения изменчивости массы плодов летних и зимних сортов яблони, произрастающей в мемориальной части Ботанического сада им. Вс.М. Крутовского.

В 2020 г. масса плодов более 150 г наблюдалась у экземпляров: № 74 Антоновка обыкновенная (152 г), № 200 и 233 Бисмарк (164 г и 165 г соответственно), № 39 Титовка (165 г). Крупные в 2021 г. плоды были у Антоновки обыкновенной,

Бисмарка, Папировка и Титовки. В 2023 г. плоды более 200 г наблюдались у Антоновки обыкновенной № 67 (201,8 г), Апорта среднерусского (221,5 г), Бисмарка № 52а (202,0 г). Плоды более 150 г – у Антоновки обыкновенной № 189 и 252 (150,1 г и 170,1 г соответственно). У более 30 % экземпляров сорта Бисмарк масса плодов варьировала от 150 до 180г. У сортов Красноярский сибиряк № 10 и Титовка № 39 масса плодов составила 153, 4 и 164,3 г соответственно.

Статистические показатели плодов некоторых сортов (см. таблицу) показывают, что среди летних сортов большей массой плодов отличаются Белый налив и Папировка. Масса плодов сорта Белый налив варьировала от $92,3 \pm 1,96$ г (2020 г.) до $97,3 \pm 3,77$ г (2021 г.). У Папировки наименьший показатель наблюдался в 2021 г. ($95,4 \pm 4,07$ г), максимальный в 2020 г. ($99,0 \pm 2,99$ г). Уровень изменчивости по А.С. Мамаеву [6] средний (от 11,6 % до 17,7 %) в 2020 г., высокий у сортов Аркад стаканчатый, Белый налив и Папировка в 2021 г. Среди зимних сортов максимальные показатели массы плодов наблюдались в 2023 г. Так, у сорта Антоновка обыкновенная данный показатель составил $133,2 \pm 14,49$ г, а у Бисмарка – $146,8 \pm 4,25$ г.

Масса плодов летних и зимних сортов яблони

Наименование сорта	2020 г.		2021 г.		2023	
	Масса плодов, г		Масса плодов, г		Масса плодов, г	
	Хср ± m	V, %	Хср ± m	V, %	Хср ± m	V, %
Летние						
Аркад стаканчатый	$54,6 \pm 1,96$	19,7	$69,4 \pm 2,65$	20,9	$66,8 \pm 2,10$	9,4
Белый налив	$92,3 \pm 1,96$	11,6	$97,3 \pm 3,77$	21,2	$96,2 \pm 3,71$	16,8
Грушовка московская	$50,2 \pm 1,19$	13,0	$58,3 \pm 1,30$	12,2	$56,1 \pm 1,32$	9,7
Золотой шип	$34,1 \pm 1,59$	16,1	$50,5 \pm 1,61$	17,5	$67,3 \pm 2,67$	14,3
Нобилис	$37,7 \pm 1,03$	14,8	$36,8 \pm 1,23$	18,3	$51,5 \pm 2,54$	23,1
Папировка	$99,0 \pm 2,99$	16,5	$95,4 \pm 4,07$	23,4	$96,3 \pm ,05$	12,4
Зимние						
Антоновка обыкновенная	$126,6 \pm ,34$	18,8	$108,8 \pm ,85$	14,3	$133,2 \pm 14,49$	32,6
Аркад зимний	$69,9 \pm 2,12$	16,6	$57,7 \pm 1,60$	15,2	$76,2 \pm 2,15$	8,0
Бисмарк	$126,4 \pm 3,33$	14,6	$112,9 \pm ,07$	19,7	$146,8 \pm 4,25$	15,3
Генерал Орлов	$80,4 \pm 1,09$	7,4	$73,9 \pm 1,82$	13,5	$93,1 \pm 2,07$	8,0

Масса плодов и их одномерность являются показателями товарных и потребительских качеств плодов [7]. В Ботаническом саду им. Вс. М. Крутовского, из представленных в Таблице сортов, можно отнести Белый налив и Папировку, характеризующихся ранним сроком созревания и Антоновку обыкновенную и Бисмарк, относящиеся к зимнему сроку созревания.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Селекция древесных растений» проекта «Селекционно-генетические основы формирования целевых насаждений и рационального использования древесных ресурсов Красноярского края (Енисейская Сибирь) (№ FEFE-2024-0013).

Список литературы

- 1 Нихайчик Г.Ю. Биологические особенности сортов яблони в стланцево-кустовидной форме в условиях умеренно-засушливой и колючей степей Алтайского Приобья: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук : 06.01.05 / Г.Ю. Нихайчик : [Место защиты: Алт. гос. аграр. ун-т]. Барнаул. 2011. 132 с.
- 2 Челебиев Э. Ф., Хозяйственно-биологическая оценка сортов и форм яблони для селекции и промышленного выращивания : автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук : 06.01.05 / Э.Ф. Челебиев; [Место защиты: Ордена Трудового Красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН]. Ялта, 2021. 23 с.
- 3 Седов Е.Н., Красова Н.Г., Янчук Т.В., Корнеева С.А., Галашева А.М. Сорты яблони народной селекции и их роль в совершенствовании сортимента. Садоводство и виноградарство. 2020;(2):14–20. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2020-2-14-20>
- 4 Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Моксина Н.В., Репях М.В. Селекция яблони в Ботаническом саду им. Вс.М. Крутовского. Красноярск: СибГТУ, 2006. 357 с.
- 5 Кириллов М.В. Природа Красноярска и его окрестностей. Красноярск. Красноярское книжное издательство, 1988, 149 с.
- 6 Мамаев А.С. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале) // Успех интродукции растений. М.: Наука, 1973. 283 с.
- 7 Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. (Под общей редакцией академика РАСХН Е. Н. Седова и доктора сельскохозяйственных наук Т.П. Огольцовой.) Орел: Изд-во Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур, 1999. С. 608.

DOI 10.18699/GPB2024-57

Адаптивная селекция пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области

*Мухордова М.Е. *, Белан И.А., Россеева Л.П., Блохина Н.П., Мухина Я.В., Пахотина И.В., Пугачева Н.С.*

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

**email: mukhordova@anc55.ru*

В статье отражены результаты испытания сортообразцов пшеницы мягкой яровой «Омский АНЦ» питомника КСИ 2020–2022 гг. Выделены генотипы, превышающие стандарты по хозяйственно ценным признакам. Методом ПЦР выявлены гены короткостебельности, устойчивости к ржавчине и качества зерна.

Ключевые слова: селекция; мягкая пшеница; короткостебельность

Adaptive breeding of spring bread wheat for the conditions of Western Siberia and Omsk region

*Mukhordova M.E. *, Belan I.A., Rosseeva L.P., Blokhina N.P., Mukhina Ya.V., Pakhotina I.V., Pugacheva N.S.*

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russia

**email: mukhordova@anc55.ru*

The article reflects the results of testing of varietal samples of soft spring wheat "Omsk ASC" of the KSI nursery 2020-2022. Genotypes exceeding the standards for economically valuable traits have been identified. The PCR method revealed the genes of short-stem, rust resistance and grain quality.

Key words: selection; soft spring wheat; short-stem

Пшенице принадлежит одно из ведущих мест в зерновом балансе России. Выведение и внедрение в производство новых сортов пшеницы, сочетающих высокую урожайность и качество зерна, устойчивость к засухе и болезням, является наиболее дешевым и эффективным средством повышения урожайности данной культуры. Сочетание этих свойств в одном генотипе достигается планомерной селекционной работой – от подбора исходного материала для включения в гибридизацию до выделения лучших сортообразцов в питомнике КСИ, используя комплекс методов для анализа полученных данных [1–5].

Полевые исследования (2020–2022 гг.) выполнены на полях лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы на базе ФГБНУ «Омский АНЦ» в зоне южной лесостепи Омской области.

По метеорологическим условиям 2020 и 2021 гг. характеризовались сухими по увлажнению (ГТК май-август = 0,59 и 0,60 соответственно), а 2022 г. – засушливым (ГТК май-август = 1,00). Погодные условия 2021 и 2022 гг. были неблагоприятным для развития бурой и стеблевой ржавчины.

Объектом исследований служили 14 сортообразцов пшеницы мягкой яровой. По продолжительности периода вегетации генотипы разделены: среднеранние – 4 сортообразца (St – Памяти Азиева), по 5 сортообразцов среднеспелых (St – Дуэт) и среднепоздних (St – Элемент 22).

Наблюдения и учёты проводились в соответствии с Методикой ГСИ [6]. Поражаемость форм в полевых условиях к листостебельным патогенам оценивали по международной шкале [7]. Учеты проводили в динамике и рассчитывали индекс устойчивости (ИУ) [8].

С целью объективной характеристики сортообразцов по урожайности рассчитывали показатели: реализация потенциала продуктивности, фактор стабильности (S.F.) и размах урожайности (d) [9].

Для идентификации генов устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине, аллелям генов фотопериода и короткостебельности использовались методы молекулярной генетики. Технологические свойства определяли в лаборатории качества зерна.

Период вегетации у среднеранних сортообразцов, независимо от условий выращивания, равнялся 81 суткам. В 2020 г. (массовое развитие листостебельных патогенов), короткий вегетационный период (72 суток) был у восприимчивого стандарта Памяти Азиева (ИУ=0,9–1,0). Сортообразцы, характеризующиеся высоким уровнем устойчивости к этим патогенам (ИУ=0,05–0,31), созрели на 8–10 суток

позднее. В 2021 и 2022 гг. (поражение ржавчинными патогенами не наблюдалось) стандарт созрел на 5 суток позже (77 суток), а у сортообразцов период вегетации был значительно меньше.

В группе среднеспелых генотипов по вегетационному периоду самым коротким в 2020 г. был стандарт Дуэт (75 суток), который восприимчивый к стеблевой ржавчине, а в 2021 и 2022 гг. его продолжительность равнялась 82 и 81 суткам соответственно. У сортообразцов, характеризующихся устойчивостью к ржавчинным патогенам (ИУ=0,05–0,27), период вегетации составил 78–85 суток.

В группе среднепоздних сортообразцов по вегетационному периоду самым продолжительным в 2020 г. был стандарт Элемент 22 (84 суток), который проявлял высокий уровень устойчивости к стеблевой ржавчине, а в 2021 и 2022 гг. его продолжительность равнялась 88 суткам. У выделенных сортообразцов, характеризующихся устойчивостью к ржавчинным патогенам (ИУ=0,08–0,35), независимо от года период вегетации варьировал от 84–88 суток.

За годы исследований урожайность генотипов зависела как от метеорологических условий, так и устойчивости к заболеваниям (см. таблицу).

Показатели урожайности и стабильности сортообразцов пшеницы мягкой яровой, питомник КСИ, 2020–2022 гг.

Сортообразец / Год	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Средняя	Коэффициент вариации (Cv), %	Реализация потенциала продуктивности, %	Фактор стабильности (S.F.)	Размах урожайно- сти (d), %
Среднеранняя группа спелости								
Памяти Азиева	2,52	4,49	2,57	3,19	35,1	71,2	1,8	43,8
Лют. 7/10-5	6,22	5,17	3,70	5,03	25,1	80,9	1,7	40,5
Лют. 15/10-4	5,67	5,37	3,71	4,92	21,5	86,7	1,5	34,6
Лют. 71/10-5	5,51	4,86	3,22	4,53	26,1	82,2	1,7	41,6
Лют. 234/10-1-9	5,80	5,24	3,23	4,76	28,4	82,1	1,8	44,3
Средняя	5,80	5,16	3,47	4,81				
НСР	0,58	0,56	0,36					
Среднеспелая группа спелости								
Дуэт	2,09	4,36	3,08	3,17	35,8	72,9	2,1	52,0
ДГ. 50-23	5,22	4,90	2,76	4,29	31,2	82,2	1,9	47,1
Лют. 205/12-5	6,32	5,43	3,58	5,11	27,3	80,9	1,8	43,3
Лют. 242/13-10	5,86	5,57	3,20	4,88	29,9	83,2	1,8	45,3
Лют. 243/13-4	5,57	5,11	3,21	4,63	27,0	83,2	1,7	42,3
Лют. 87/16-2	5,53	4,68	3,26	4,49	25,5	81,2	1,7	41,0
Средняя	5,70	5,14	3,20	4,68				
НСР	0,27	0,43	0,41					
Среднепоздняя группа спелости								
Элемент 22	4,63	4,42	3,12	4,06	20,20	87,6	1,5	32,7
Лют. 15/10-1-24	6,59	4,90	2,87	4,79	38,88	72,6	2,3	56,4
Лют. 152/10-5	5,56	4,33	2,81	4,23	32,58	76,1	2,0	49,5
Лют. 224/13-1	5,84	3,99	2,46	4,10	41,28	70,2	2,4	57,8
Лют. 15/16-17	7,27	6,09	4,27	5,88	25,77	80,8	1,7	41,3
Лют. 188/16-9	6,63	5,99	3,55	5,39	30,18	81,3	1,9	46,5
Средняя	6,00	4,41	2,71	4,37				
НСР	0,37	0,45	0,47					

По результатам изучения среднеранних форм выявлено, что урожайность стандарта Памяти Азиева сильно варьировала по годам ($C_v=35,1\%$), реализация потенциала продуктивности составила $71,2\%$. Сортообразцы характеризовались более высоким уровнем потенциальной продуктивности $80,9-86,7\%$, а также имели меньшую изменчивость этого признака $21,5-28,4\%$. При расчете показателей фактора стабильности (S.F.) и размаха урожайности (d) установлено, что Лютесценс 7/10-5 и Лютесценс 15/10-4 имели минимальные значения $1,7$ и $1,5$; $40,5$ и $34,6\%$ соответственно.

В группе среднеспелых генотипов урожайность стандарта Дуэт сильно варьировала ($C_v=35,8\%$), реализация потенциала продуктивности составила $87,6\%$. Сортообразцы Лютесценс 205/12-5 и Лютесценс 242/13-10 за годы изучения превысили стандарт Дуэт на $1,94$ т/га и $1,71$ т/га соответственно. При расчете показателей фактора стабильности (S.F.) и размаха урожайности (d) установлено, что сортообразцы Лютесценс 205/12-5 и Лютесценс 242/13-10 имели самые минимальные значения $1,8$; $43,5$ и $45,3\%$ соответственно.

В группе среднепоздних сортообразцы превысили по урожайности стандарт Элемент 22 на $0,73-1,82$ т/га. Урожайность стандарта характеризовалась средним варьированием ($C_v = 20,2\%$), и реализация потенциала продуктивности составила $87,6\%$. При расчете показателей фактора стабильности (S.F.) и размаха урожайности (d) выявлено, что сортообразцы Лютесценс 15/16-17 и Лютесценс 188/16-9 имели минимальные значения $1,7$ и $1,9$; $41,3$ и $46,5\%$ соответственно.

Таким образом, анализ данных урожайности показал, что среднеранние генотипы Лютесценс 7/10-5 и Лютесценс 15/10-4, среднеспелые Лютесценс 205/12-5 и Лютесценс 242/13-10, среднепоздние Лютесценс 15/16-17 и Лютесценс 188/16-9 обладают более высоким уровнем экологической устойчивости.

По результатам ПЦР-анализа сортообразцов было установлено Лютесценс 205/12-5 и Лютесценс 188/16-9 имеют в своем генотипе аллель *Rht8b* (174 п.н.), что указывает на среднестебельность данных образцов. Изучаемые генотипы также были протестированы на фотонейтральность (гены *Ppd-1*). Во всех испытываемых формах в геноме А была выявлена аллель нечувствительности *Ppd Ala* (338 п.н.). Три сортообразца имели в генетическом профиле гетерозиготное состояние аллелей *Ppd D1*, которые не проявляли максимальную экспрессию. Лютесценс 242/13-10 содержал в своем генотипе аллель чувствительности к фотопериоду (*Ppd D1b*). В связи с этим анализируемые сортообразцы адаптированы к длинному дню зоны Западной Сибири.

Генотипы были диагностированы на наличие аллельных состояний локусов генов качества клейковины *Glu-1*. По всем трем геномам данные образцы показали присутствие аллелей высокомолекулярных глютеинов, ассоциированных с высоким качеством зерна и имели набор аллелей *Glu-A1b*, *Glu-B1b*, *Glu-D1d*. Такое соче-

тание субъединиц ВМСГ указывает на то, что данные сортообразцы могут быть донорами высокого хлебопекарного качества.

Идентификация перспективных форм на наличие генов *Sr25*, *Sr31* и *Sr32* показала, что три изученных сортообразца Лютесценс 205/12-5, Лютесценс 242/13-10 и Лютесценс 15/16-1 имели в своих геномах сочетание сразу двух транслокаций – пшенично-ржаную *IRS.1BL* с генами устойчивости *Lr26/Sr31* и пшенично-пырейную *7DL-7Ai* с генами *Lr19/Sr25*. Лютесценс 188/16-9 содержал один комплекс генов *Lr26/ Sr 31*. В этих генотипах имеется ген *Sr32*.

Оценка образцов среднеранней группы на хлебопекарное качество выявила, что линии Лютесценс 7/10-5, 71/10-5 и 234/10-1-9 уступили стандарту Памяти Азиева на 26-32 г/л по натуре зерна. Лютесценс 15/10-4 достоверно превысил стандарт по содержанию белка в зерне на 0,35 %, силе муки на 117 10-4J и объёму хлеба на 87 см³. Максимальная сила муки у Лютесценс 234/10-1-9.

В среднеспелой группе выделилась линия 87/16-2, которая по содержанию белка и объёму хлеба оказалась на 2,6% и 287 см³ выше стандарта. Дигапроид 50-23 с максимально упругой (132 мм) и сильной клейковиной (618 10-4J) по объёму хлеба оказался на уровне стандарта. Лютесценс 205/12-5 и Лютесценс 242/13/10 с натурой зерна 1 класса, отличаясь лучшей реологией теста, превысили сорт Дуэт и по объёму хлеба на 167 см³.

Среднепоздние генотипы не достигли уровня сорта Элемент 22 по натуре и содержанию белка в зерне, но отличались лучшими физическими свойствами теста и качеством хлеба. Выделилась линия Лютесценс 188/16-9 с высокими реологическими свойствами теста и объёмом хлеба на 130–255 см³ выше сравниваемых образцов, за исключением линии Лютесценс 152/10-5. Лютесценс 15/16-17 с отличными реологическими свойствами теста уровня улучшителя, превысил Элемент 22 по объёму хлеба на 125 см³.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках проекта Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания (№ 0797-2019-0008).

Список литературы

- 1 Койшибаев М. Болезни пшеницы. Анкара, 2018. 365с.
- 2 Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная научная дисциплина. Теория и практика. Краснодар: Просвещение-Юг, 2010. 485 с.
- 3 Гончаров П.Л., Стёпочкин П.И., Немцев Б.Ф., Гончаров Н.П. Пути создания генотипов пшеницы, адаптированных к изменяющимся условиям климата Сибири. Наука и образование. 2013. № 2 (70). С. 112–116.
- 4 Першина Л.А., Белова Л.И., Трубочеева Н.В., Осадчая Т.С., Шумный В.К., Белан И.А., Россеева Л.П., Немченко В.В., Абакумов С.Н. Аллоплазматические рекомбинантные линии (*H. vulgare*)-*T. aestivum* с транслокацией *IRS.1BL*: исходные генотипы для создания сортов мягкой пшеницы. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(5). С. 544–552. DOI 10.18699/VJ18.393

- 5 Хлесткина Е.К. Стратегия новой «зеленой революции» в селекции пшеницы: к юбилею академика РАН Людмилы Андреевны Беспаловой // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. № 183(1). С. 254–258. DOI:10.30901/2227-8834-2022-1-254-258
- 6 Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. М. 1988. 121 с.
- 7 Методы селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах членов СЭВ. Прага. 1988. 321 с.
- 8 Коваленко Е.Д., Коломиец Т.М., Киселева М.И., Жемчужина А.И., Смирнова Л.А., Щербик А.А. Методы оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы устойчивых к бурой ржавчине. Методические рекомендации ВНИИФ, М., 2012. 93 с.
- 9 Барковская Т.А., Гладышева О.В., Кокорева В.Г. Сравнительный анализ нового сорта яровой мягкой пшеницы Арсея с районированными сортами // Зерновое хозяйство России. 2022. № 1(79). С. 30–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-30-34.

DOI 10.18699/GPB2024-58

Характеристика ваху-линий озимой пшеницы в Центральном Нечернозёмном районе

Нагайцев Д.В.

*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
email: rainbowdash1818@yandex.ru*

В 2022 году на опытной полевой станции РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева было проведена оценка урожайности, элементов структуры урожая и качество хлеба из зерна вакси сортов озимой пшеницы.

Ключевые слова: озимая пшеница; урожайность; структура урожая; показатели качества; вакси

Characteristic of winter wheat waxy lines in the central region

Nagaytsew D.V.

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
email: rainbowdash1818@yandex.ru*

In 2022, at the experimental field station of the Moscow Timiryazev Agricultural Academy, an assessment was carried out of the yield and elements of the structure of the harvest of waxy varieties of winter wheat.

Key words: winter wheat; yield; crop structure; quality indicators; waxy

Качество клейковины и крахмала являются одними из многих факторов, определяющими хлебопекарные качества пшеницы. Физические свойства клейковины напрямую связаны с входящими в состав белками – глиадинами и глютеинами, относящиеся к запасным белкам [1].

Крахмал состоит из двух видов молекул – амилозы и амилопектина. В пределах амилопластов синтез амилозы достигается благодаря ферменту GBSS (granule-bound starch synthase), также известного как *ваху*-протеин. *Wx*-протеины кодируются генами под названиями *вакси* (*Wx*). Аллогексаплоиды (AABBDD), т.е. мягкие пшеницы, несут три гомеологичных гена: *Wx-A1* (хромосома 7AS – короткое плечо), *Wx-B1* (7BL – длинное плечо) и *Wx-D1* (7DS – короткое плечо) [2, 3]. В результате объединения трех неактивных нуль-аллеля генов *Wx* созданы формы пшеницы, у которых блокирован синтез фермента GBSS и амилазы, а крахмал состоит только из амилопектина. Такие формы называются «*Ваху*». Пшеница с одним или двумя нуль-аллелями имеет частично блокированный синтез амилозы и называется частично-*вакси* (partial-*ваху*).

Ваху сорта предназначены для производства долго не черствеющего хлеба, других высококачественных хлебобулочных изделий, диетических продуктов, пищевых добавок.

Нами изучались 8 *ваху* перспективных сортообразцов мягкой озимой пшеницы из коллекции кафедры генетики, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Полевые эксперименты проводились на полевой опытной станции университета. Площадь делянок – 1 м², повторность – трёхкратная. Стандартом являлся сорт сильной пшеницы Московская 39.

Анализ урожайности и элементов структуры урожая показал, что из всех изученных сортообразцов только МС-18 незначительно превосходил стандарт (табл. 1). В то же время все изученные *ваху* сортообразцы отличались низкорослостью. Их высота в среднем на 30 % ниже стандарта.

Таблица 1 – Урожайность и элементы структуры урожая изучаемых сортообразцов, 2022 г.

Сортообразец	Урожайность, г/м ²	Высота растений и элементы структуры урожая				Масса 1000 семян, г
		Высота, см	Продуктивная кустистость, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса зерна с растения, г	
МС-9	660	66,0	2,4	1,42	2,78	42,0
МС-12	685	58,4	2,1	1,66	2,86	49,2
МС-8	813	68,9	1,7	2,14	2,77	46,0
МС-18	660	59,7	2,9	1,76	3,89	45,6
65-12 МС-7	665	67,7	1,7	1,74	2,38	42,6
МС-13	675	65,8	3,2	1,64	3,07	45,7
МС-6	668	71,3	2,5	1,53	2,91	45,4
МС-52	660	68,7	2,3	1,68	2,80	40,3
Московская 39	785	94,2	2,4	1,89	3,69	41,3
НСР ₀₅	215,6	5,01	0,54	0,33	0,91	4,68

Повышенной продуктивной кустистостью характеризуются сортообразцы МС-13 и МС-18. Сортообразец МС-8 отличается повышенной по сравнению с другими изучаемыми сортообразцами массой зерна с колоса. Очевидно, это связано с его невысокой продуктивной кустистостью. По массе зерна с растения только МС-18 незначительно превосходил стандарт. По массе 1000 семян МС-6, МС-13, МС-18, МС-8, МС-12 значительно превосходят стандарт, а остальные ваху сортообразцы превосходят стандарт незначительно.

Проведенный нами анализ хлебопекарных качеств ваху образцов показал, что несмотря на свойство этих сортообразцов обеспечивать долго не черствеющий хлеб, их комплексная хлебопекарная характеристика находится на уровне стандарта (табл. 2).

Таблица 2 – Хлебопекарные качества ваху образцов, балл, 2022 г.

	Поверхность	Форма	Цвет корки	Пористость мякиша	Цвет мякиша	Структура мякиша	Вкус	Аромат	Средний балл
МС-9	3	5	5	3	5	4	5	5	4,4
МС-12	3	5	5	4,5	5	5	5	4	4,6
МС-8	4	5	4	4,5	5	4	5	5	4,6
МС-18	4	3	4	4,5	5	4	4	4	4,1
65-12 МС-7	4	5	4,5	5	5	5	5	4	4,7
МС-13	3	5	5	5	5	4,5	5	4	4,6
МС-6	4	4	4	3	5	5	5	4	4,2
МС-52	3	4	5	3	5	5	5	5	4,4
Московская 39	5	4,5	5	4,5	5	4	5	5	4,8

* Работа выполнена под руководством профессора кафедры генетики, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева В.В. Пыльнева.

Список литературы

- 1 Чеботарь С.В., Благодарова Е.М., Куракина Е.А., Семенюк И.В., Полищук А.М., Козуб Н.А., Созинов И.А., Хохлов А.Н., Рыбалка А.И., Сиволап Ю.М. Генетический полиморфизм локусов, определяющих хлебопекарное качество украинских сортов пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 1. С. 87–98.
- 2 Климушина М.В., Дивашук М.Г., Карлов Г.И. Молекулярно-генетическая характеристика коллекции мягкой озимой пшеницы по генам, отвечающим за хлебопекарные и технологические качества муки // Известия ТСХА. 2009. выпуск 3. С. 82.
- 3 Климушина М.В., Гладких Н.И., Дивашук М.Г., Беспалова Л.А., Васильев А.В., Карлов Г.И. Распределение аллелей генов wx в коллекции мягкой пшеницы Краснодарского НИИСХ им. П.П. Лукьяненко / Н.И. Гладких, М.В. Климушина, М.Г. Дивашук, Л.А. Беспалова, А.В. Васильев, Г.И. Карлов // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 1. С. 187–192.

Изучение хозяйственно полезных признаков синтетических гексаплоидных линий яровой пшеницы СИММУТ в условиях ЦРНЗ

Наджодов Б.Б.^{1, 2}, м.н.с., аспирант, Пыльнев В.В.¹, д.б.н., проф., Рубец В.С.², д.б.н., проф., в.н.с., Насырова Ф.Ю.³, д.б.н., проф., зав. лаб.*

¹*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва Россия*

²*Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, Россия*

³*Институт ботаники, физиологии и генетики растений Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан.*

**e mail: boburnajodov@gmail.com*

Изучение 14 синтетических линий пшеницы, полученных от СИММУТ в Центральном районе Нечернозёмной зоны России, выявило линии с высокой устойчивостью к заболеваниям, урожайностью и качеством зерна. Выделенные генотипы №70, № 220, № 150, № 178 демонстрируют генетический потенциал для селекции пшеницы в данной зоне.

Ключевые слова: яровая пшеница; синтетические гексаплоидные линии; хозяйственно ценные признаки

Study of agronomical traits of CIMMYT synthetic hexaploid spring wheat lines in the conditions of the Non-Chernozem zone of Russia

Najodov B.B.^{1, 2}, Pylnev V.V.¹, Rubets V.S.², Nasyrova F.Y.³.*

¹*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*

²*All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia*

³*Institute of Botany, Plant Physiology and Genetics, Tajikistan National Academy of Sciences, Dushanbe, Tajikistan.*

**e mail: boburnajodov@gmail.com*

The study of 14 synthetic wheat lines received from CIMMYT in the Central region of the Non-Black Soil zone of Russia revealed lines with high disease resistance, yield and grain quality. The selected genotypes No.70, 220, 150, 178 show genetic potential for wheat breeding in this zone.

Key words: spring wheat; synthetic hexaploidy line; agronomical traits

Синтетическая гексаплоидная (SH) пшеница (AABB'D'D') была получена путем искусственной гибридизации между тетраплоидной твердой пшеницей (*Triticum turgidum*, AABB) и диплоидным диким видом (*Aegilops tauschii*, D'D'). В течение трех десятилетий Международный центр по улучшению кукурузы и пшеницы (СИММУТ) активно разрабатывал и использовал SHW пшеницу для переноса генов

от *Aegilops tauschii* и твердой пшеницы в гексаплоидную мягкую пшеницу [1]. С момента своего создания, синтетическая гексаплоидная пшеница (SHW) проявила себя как эффективный генетический ресурс для передачи хозяйственно полезных признаков и значимых генов от диких сородичей к культурной пшенице, предоставляя новые источники для увеличения урожайности, засухоустойчивости, устойчивости к болезням [2].

Цель исследования – изучение хозяйственно полезных признаков гексаплоидных линий синтетической пшеницы и выделение перспективных форм для селекции в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны.

Исследование 14 сортообразцов синтетической пшеницы, полученных из СИММУТ (табл. 1), проводилось на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2022 г. В качестве стандарта использовали сорт Злата из (ФИЦ «Немчиновка»). Применялась общепринятая агротехника для зоны проведения исследования. Площадь делянки 1 м², повторность 3-кратная, размещение систематическое. Посев кассетной селекционной сеялкой СКС-6-10, уборка вручную, обмолот на пучково-сноповой молотилке. В процессе вегетации отмечали наступление фенологических фаз, оценивали устойчивость к полеганию согласно методике государственного сортоиспытания по 5-балльной шкале, где 1 – полное полегание, 5 – отсутствие признаков полегания, промежуточные баллы – в зависимости от степени наклона стеблей растений. Устойчивость к болезням – по универсальной 9-балльной шкале ВИР, в которой 1 – очень сильное поражение (восприимчивость); 9 – отсутствие поражения (иммунитет); 3, 5, 7 – разная степень устойчивости.

Таблица 1 – Происхождение линий синтетической яровой пшеницы

№ линии по каталогу СИММУТ	Гибридная комбинация
Злата (st)	F4 (Иволга × Прохоровка)
Линия № 70	Sonata/Vorb.
Линия № 79	Udacha/3/Pastor//Hxl 7573/2*Bau
Линия № 147	Stepnaya 15/3/Qing Haibei/Wbll 1//Brbt 2
Линия № 150	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия № 151	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия № 152	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия № 153	Lutescens 1085/7/Tob/Era//Tob/Cno 67/3/Plo/4/Vee#5/5/Kauz/6/Fret
Линия № 178	Omskaya 37/5/Seri*3//Rl 6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav 92
Линия № 187	Lutescens 210.99.10/4/Milan/Sha 7/3/Croc 1/Ae. squarrosa (224) // Opata
Линия № 215	53.94.98.2/3/T. dicoccum PI 94625/ Ae. squarrosa (372)//3*Pastor/4/ SVK 13.
Линия № 217	Fiton 42/3/ T. dicoccum PI 94625 / Ae. squarrosa (372)//3*Pastor/4/Gvk 1857.
Линия № 220	Lutescens 196.94.6*2/Vorb
Линия № 221	Lutescens 196.94.6*2/Vorb
Линия № 223	Lutescens 196.94.6*2/Vorb

Определение массы 1000 зерен вели по ускоренной стандартной методике (ГОСТ 12042-80), натуры зерна – с помощью микрометода, стекловидности – на

электронном диафаноскопе Янтарь (ГОСТ 10987-76), количества белка – на спектрофотометре «Спектран ИТ».

Экспериментальные данные обработаны при помощи однофакторного дисперсионного анализа с помощью программы DIANA-2006.

В 2022 г. посев проведен в оптимальные сроки – 5 мая. Метеорологические условия практически соответствовали среднеголетним значениям (рис. 1). Межфазный период от посева до всходов соответствовал условиям избытка влаги при недостатке тепла. В целом, за время вегетации выпало 208 мм осадков, что соответствует уровню среднеголетних данных. Сумма активных температур составила 1287 °С.

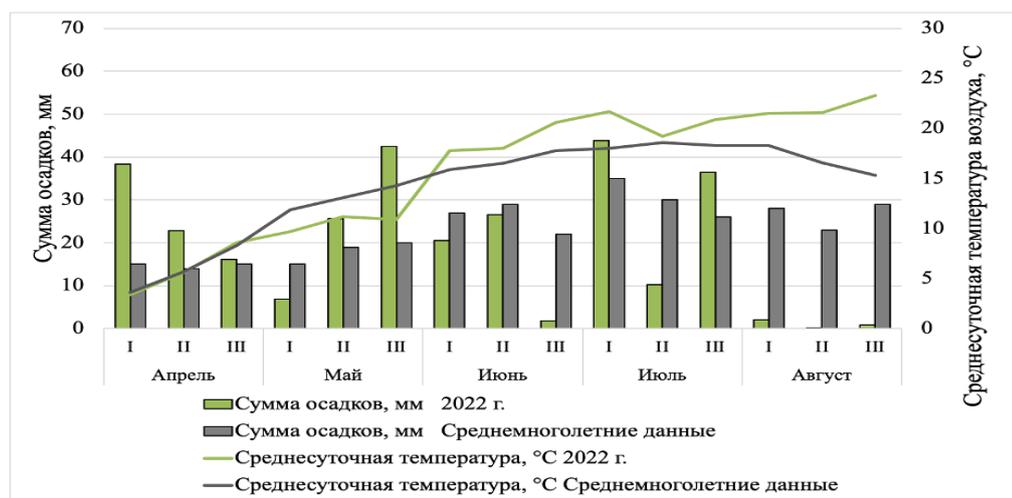


Рис. 1. Метеорологические условия в период вегетации, 2022 г.

Высота растений яровой пшеницы характеризовалась средней величиной (от 88 до 105 см). Самой низкостебельной среди изучаемых линий оказалась линия № 221 (88 см). Наиболее высокорослыми оказались линии №№ 147, 215, 217 (выше от 100 см). Несмотря на большую высоту растений, все сортообразцы характеризовались высокой устойчивостью к полеганию. Также в годы исследований отсутствовал естественный инфекционный фон по бурой ржавчине: у всех сортов не выявлены признаки поражения.

Однако поражение мучнистой росой отмечалось у многих изучаемых линий. Отдельные образцы показали разную степень устойчивости, например, сильнее всего поразились линии №№ 79, 152, 217 (3 балла). Устойчивость остальных линий варьировала в пределах 5–9 баллов (табл. 2).

Стандартный сорт Злата по большинству хозяйственно ценных признаков и свойствам растений превосходила изученные линии пшеницы. Он также показал максимальную урожайность (табл. 3). Однако при этом некоторые линии (№№ 79, 148, 178, 217, 223) находились на уровне стандарта, что говорит об их высоком потенциале. Натура зерна изученных линий колеблется в диапазоне от 780 до 834 г/л, что характеризуется как высокая. Линии №№ 70, 79, 147, 152, 153, 178, 215, 217 обладали максимальной натурой, что потенциально предполагает хороший выход муки при оценке качестве зерна.

Таблица 2 – Высота растений, устойчивость к полеганию и болезням

Название линии	Высота, см	Устойчивость к, балл*		
		полеганию	бурой ржавчине	мучнистой росе
Злата (st)	93	5	9	7
Линия № 70	93	5	9	9
Линия № 79	93	5	9	3
Линия № 147	100	5	9	5
Линия № 150	90	5	9	7
Линия № 151	93	5	9	5
Линия № 152	92	5	9	3
Линия № 153	90	5	9	5
Линия № 178	93	5	9	7
Линия № 187	90	5	9	7
Линия № 215	100	5	9	7
Линия № 217	105	5	9	3
Линия № 220	95	5	9	9
Линия № 221	88	5	9	7
Линия № 223	93	5	9	5

*В 2022 г. отсутствовал естественный инфекционный фон по бурой ржавчине и септориозу.

Таблица 3 – Урожайность и качество зерна сортообразцов яровой пшеницы

Название линии	Урожайность, г/м ²	Натура, г/л	Масса 1000 зерен, г	Стекловидность, %	Содержание, %	
					белка	клейковины
Злата (st)	473,5	805,5	42,5	49,3	13,3	22,2
Линия № 70	387,9	833,5	41,7	43,3	12,7	20,3
Линия № 79	426,4	828,4	44,0	56,2	12,4	20,5
Линия № 147	438,9	807,6	43,5	56,6	12,7	20,8
Линия № 150	357,7	783,9	41,8	64,6	13,4	22,7
Линия № 151	389,8	780,3	44,9	65,3	15,5	26,9
Линия № 152	400,8	814,8	44,2	58,5	12,0	19,8
Линия № 153	370,6	828,4	47,0	57,8	13,0	22,2
Линия № 178	442,3	813,3	41,2	71,6	13,8	24,0
Линия № 187	402,7	786,3	43,2	47,0	12,0	19,4
Линия № 215	409,0	834,7	42,7	56,6	12,8	21,5
Линия № 217	430,5	815,6	52,7	63,7	12,2	20,4
Линия № 220	352,3	785,3	37,8	60,8	12,6	20,7
Линия № 221	361,6	794,1	38,6	69,3	13,9	23,2
Линия № 223	445,6	785,0	39,3	46,8	12,3	19,7
НСР	49,3	9,3	1,7	10,9	0,39	1,1
Коэффициент корреляции с урожайностью, г	–	0,208	0,219	–0,294	0,181	–0,165

Все изученные образцы характеризовались высокими значениями массы 1000 зерен – у большинства выше 40 г. Отдельные линии (№ 153 и № 217) выделяются повышенной массой 1000 зерен (47–53 г соответственно).

Показатели стекловидности у изучаемых линий варьируют от 46,8 до 71,6 %. Ряд линий (№ 150, 178, 217, 220, 221) имели высокое значение показателя (свыше 60 %), что соответствует требованиям, предъявляемым к сильной пшенице.

Среднее содержание белка у линий варьировало в пределах 12–15 % (табл. 3). Линии № 150, № 153 имели значения на уровне стандарта, а № 151, № 178, № 221 – достоверно превосходили его. Содержание клейковины в зерне варьировало в пределах 19–27 %, при этом две линии (№ 151 и № 178) достоверно превышали стандарт.

Исследованные синтетические линии пшеницы демонстрируют высокую устойчивость к полеганию, линии № 70 и № 220 – иммунитет к бурой ржавчине и мучнистой росе, а № 150, № 178, № 187, № 215, № 221 – высокую устойчивость к болезням, что делает их ценными для селекции. Линии № 79, № 148, № 178, № 217, № 223 выделяются высокой урожайностью зерна. Линии № 153, № 217 отличаются высокой крупностью зерна; № 150, № 178, № 217, № 220, № 221 обеспечивают высокую стекловидность зерна даже при избыточном увлажнении. Линии № 151, № 178, № 221 являются источниками высокого содержания белка и клейковины, и рекомендованы для селекции на качество.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-317 от 20 апреля 2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Список литературы

- 1 Rosyara, U. R., et al. (2019). Genetic Contribution of Synthetic Hexaploid Wheat to CIMMYT's Spring Bread Wheat Breeding Germplasm. *Scie. Rep.*, Vol. 9, 12355p.
- 2 Li A. et al. Synthetic Hexaploid Wheat: Yesterday, Today, and Tomorrow. *Engineering*. 2018. Vol. 4 552–558p.

DOI 10.18699/GPB2024-60

Создание сортоиспытательного участка голубики на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Нгамбу Год Гивэн Тэрдон, аспирант; Макаров С.С., д.с.-х.н., научный руководитель; Чудецкий А.И., к.с.-х.н., научный руководитель*

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

**email: makarov_serg44@mail.ru*

В 2023 г. на территории Дендрологического сада имени Р.И. Шредера заложены сортоиспытательные участки ягодных растений и создана биоресурсная коллекция голубики. Представлено 8 сортов голубики высокорослой, 7 сортов голубики узколистной (включая 4 сорта отечественной селекции). Приведены показатели роста и развития 3-летних растений голубики на торфе верхового типа в

условиях г. Москвы.

Ключевые слова: голубика высокорослая; голубика узколистная, сорт, биоресурсная коллекция, адаптация, торф

Creation of a variety testing site of blueberry on the basis of the Russian Timiryazev State Agrarian University

Ngambu God Given Terdon, Makarov S.S. , Chudetsky A.I.,*

Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia

**email: makarov_serg44@mail.ru*

Variety testing plots of berry plants and a bioresource collection of blueberries are established on the territory of the Arboretum named after R.I. Schroeder in 2023. 8 varieties of highbush blueberry, 7 varieties of narrow-leaved blueberry (including 4 varieties of domestic selection) are presented. The growth and development indicators of 3-year-old blueberry plants on high-moor peat under the conditions of Moscow.

Key words: highbush blueberry; narrow-leaved blueberry; cultivar; bioresource collection; adaptation; peat

С научной и экономической точки зрения для развития сельского хозяйства большую ценность представляет создание биоресурсных коллекций, которые можно использовать в инновационной, научной, научно-технической, научно-просветительской или образовательной деятельности, включая сохранение биоразнообразия и использование биологических ресурсов [1]. В условиях увеличения потребительского спроса на ягодную продукцию особое внимание уделяется промышленному производству высокоценных в пищевом и лекарственном отношении лесных ягодных растений. В том или ином ассортименте промышленное выращивание ягодников может быть организовано практически на всей территории России, в различных природно-климатических условиях, и в некоторых регионах страны наблюдается значительный рост объемов такого производства [2, 3].

Голубика имеет высокую пищевую, лекарственную и декоративную ценность, при этом способна успешно произрастать на кислых торфяных почвах и даже выдерживать временные затопления, что делает ее привлекательной для промышленного возделывания. Имеющийся мировой и отечественный опыт практического выращивания голубики в России и во всем мире показывает возможность создания условий для ее успешного плантационного выращивания на выработанных торфяниках месторождениях [4–7]. На большинстве имеющихся ягодных плантаций выращиваются преимущественно зарубежные сорта североамериканских видов – голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L) и голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.), которые далеко не всегда пригодны для выращивания в более северных регионах России. Однако имеются результаты работы российских селекционеров по созданию отечественных сортов голубики узколистной, адаптированных

к природно-климатическим условиям тех или иных регионов, отличающихся от зарубежных большей морозостойкостью, крупноплодностью, высокой урожайностью и устойчивостью к поражению болезнями и вредителями [7, 8].

В 2023 г. на территории Дендрологического сада имени Р.И. Шредера РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва) на площади 0,2 га был заложен сортоиспытательный участок ягодных растений. Территория участка имеет ровный рельеф и относится к влажной зоне умеренно-холодного пояса с дерново-подзолистыми сезоннопромерзающими почвами.

Из сортов голубики высокорослой на участке имеются преимущественно американские сорта ('Bluecrop', 'Bluegold', 'Bonus', 'Duke', 'Patriot'), но также присутствуют и сорта австралийской ('Denise Blue'), новозеландской ('Reka') и польской ('Kaz Pliszka') селекции. Голубика узколистная на испытательном участке представлена полувысокорослыми гибридными сортами американской ('Northblue', 'Northcountry'), шведской ('Putte') и российской ('Лакомка', 'Нерль', 'Нея', 'Поморочка') селекции (см. рисунок). Растения высажены в количестве 10–30 шт. (для разных сортов) в траншеи, заполненные торфом верхового типа ($pH_{KCl} - 2,8-3,1$). Схема посадки – $(1,0-1,5) \times (2,0-2,5)$ м. Между рядами мульчировались древесной щепой и опилками хвойных пород.



a



б

Голубика высокорослая (*a*) и голубика узколистная (*б*)
на сортоиспытательном участке в Дендрологическом саду имени Р.И. Шредера (г. Москва)

Через месяц после посадки отмечено, что растения голубики узколистной имели приживаемость 100 %, кроме сорта Putte (80 %). Меньше была приживаемость растений голубики высокорослой – у сортов Patriot (75 %), Reka (70 %), Duke (60 %) и Bonus (50 %). Приживаемость растений остальных сортов была сравнительно низкой (30 %).

Число побегов растений голубики высокорослой по всем исследуемым сортам составило в среднем 7,6–8,3 шт./саженец, у голубики узколистной – 14,0–25,5 шт./саженец. Средняя длина побега растений через месяц после посадки составила у голубики высокорослой по всем исследованным сортам в среднем 34,8–41,1 см, у голубики узколистной – 8,6–20,1 см. Максимальные значения суммарного прироста побегов среди растений голубики высокорослой выявлены у сорта Patriot (41,1 см), голубики узколистной – у сорта Нерль (25,5 см). Та же тенденция выявлена по числу побегов на одном саженце и по средней длине побега (см. таблицу).

Морфометрические параметры растений голубики 3-летнего возраста на торфе верхового типа в природно-климатических условиях г. Москвы

Сорт	Число побегов, шт./саженец	Средняя длина побега, см	Суммарный прирост побегов, см
Голубика высокорослая			
Bluecrop	8,2±0,08	38,9±0,35	319,5±2,91
Bluegold	7,9±0,06	36,8±0,37	280,27±2,65
Bonus	7,7±0,07	35,5±0,31	257,53±2,14
Denise Blue	8,0±0,11	40,7±0,41	216,25±2,05
Duke	7,7±0,05	35,9±0,39	283,19±2,56
Kaz Pliszka	8,3±0,09	40,1±0,36	334,01±3,20
Patriot	8,9±0,12	41,1±0,38	469,44±3,92
Reka	7,6±0,05	34,8±0,31	252,86±2,09
Голубика узколистная			
Northblue	14,3±0,67	20,1±0,38	278,34±2,60
Northcountry	14,9±0,65	18,2±0,35	258,16±2,19
Putte	14,0±0,51	18,6±0,36	250,46±2,13
Лакомка	24,9±0,59	10,5±0,36	254,36±2,45
Нерль	25,5±0,62	10,2±0,40	258,10±2,08
Нея	24,3±0,61	9,3±0,35	214,94±1,97
Поморочка	25,0±0,52	8,6±0,29	206,15±1,88

Выращиваемые на участке виды и сорта с различными сроками созревания вошли в состав создаваемой биоресурсной коллекции ягодных растений на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Из представленных растений голубики создан банк *in vitro* для дальнейшего массового размножения и поддержания биоресурсной коллекции. Имеющийся научный задел по выращиванию голубики с помощью культуры клеток и тканей подтверждает эффективность и перспективы такого способа размножения [7, 9, 10]. Это позволит сохранить имеющийся ассортимент, адаптированный к природно-климатическим условиям г. Москвы, для дальнейших работ по

сортоизучению, селекции и гибридизации, а также реализации посадочного материала в целях плантационного выращивания и с целью обеспечения отечественных производителей ягодной продукции и питомников в условиях импортозамещения. Планируется пополнение созданной коллекции другими сортами и гибридными формами голубики.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта АО «Россельхозбанк» в рамках реализации проекта «Создание биоресурсной коллекции голубики в условиях Нечерноземной зоны ЕЧР» (договор о предоставлении гранта № РСХБ-063-40/4-2023 от 19.10.2023).

Список литературы

- 1 Казанцев М.Ф. Правовое регулирование в сфере биологических коллекций: система, состояние, развитие // Науч. ежегодник Ин-та философии и права УрО РАН. 2018. Т. 18. № 1. С. 94–143. DOI: 10.17506/tyipl.2016.18.1.94143
- 2 Набиева А.Р. Потребительская кооперация в структуре рынка дикорастущих плодово-ягодных культур и лесных грибов // Вестник Марийского гос. ун-та. Сер.: Сельскохозяйств. науки. Эконом. науки. 2019. Т. 5. № 4. С. 470–480. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-4-470-480
- 3 Латков Н.Ю., Видякин А.В., Коржук А.Б., Латкова Е.В. Анализ и перспективы развития ягодного растениеводства в РФ // International Agricultural Journal. 2020. № 6. С. 48–58. DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10231
- 4 Vahejõe K., Albert T., Noormets M. [et al.]. Berry Cultivation in Cutover Peatlands in Estonia: Agricultural and Economical Aspects // Baltic Forestry. 2010. Vol. 16. No. 2. P. 264–272.
- 5 Рупасова Ж.А., Яковлев А.П., Решетников В.Н. [и др.] Возделывание голубики на торфяных выработках Припятского Полесья (физиолого-биохимические аспекты развития): моногр. Минск: Беларус. навука, 2016. 240 с.
- 6 Тяк Г.В., Курлович Л.Е., Тяк А.В. Биологическая рекультивация выработанных торфяников путем создания посадок лесных ягодных растений // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 2. С. 43–46. DOI: 10.12737/20633.
- 7 Макаров С.С., Виноградова В.С., Тяк Г.В., Бабич Н.А. Теория и практика размножения и плантационного выращивания лесных ягодных растений *Rubus arcticus* L., *Oxycoccus palustris* Pers. и *Vaccinium angustifolium* Ait.: моногр. Караваево: Костромская ГСХА, 2021. 394 с.
- 8 Макеева Г.Ю., Тяк Г.В., Макеев В.А., Макаров С.С. Создание первых российских сортов голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) // Современное садоводство. 2023. № 1. С. 1–14. DOI: 10.52415/23126701_2023_010
- 9 Макаров С.С., Родин С.А., Кузнецова И.Б. [и др.] Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 520–528. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-3-520-528
- 10 Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands // Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal]. 2021. № 2. P. 21–29. DOI: 10.17238/0536-1036-2021-2-21-29

Идентификация и структурно-функциональный анализ гена-кандидата из локуса *Ant27*, контролирующего синтез проантоцианидинов в зерне ячменя (*Hordeum vulgare* L.)

*Орбант М.О. *, инженер, Шоева О.Ю., с.н.с.*

Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

**email: m.bobrova1@g.nsu.ru*

*Рассматривается ген-кандидат на роль гена *Ant27*, участвующего в контроле синтеза проантоцианидинов. В двух независимых мутантах *ant27* были найдены мутации, затрагивающие кодирующую часть гена в случае *ant27.2043* и промотор в случае *ant27.488*.*

*Ключевые слова: *Hordeum vulgare*; ген-кандидат; *Ant27*; *WRKY*; проантоцианидины; маркер-ориентированная селекция*

Identification and structural and functional analysis of a candidate gene from the *Ant27* locus controlling the synthesis of proanthocyanidins in barley grain (*Hordeum vulgare* L.)

*Orbant M.O. *, Engineer, Shoeva O.Yu., Senior Researcher.*

ICiG SB RAS, Novosibirsk, Russia

**email: m.bobrova1@g.nsu.ru*

*A candidate gene for the role of the *Ant27* gene involved in the control of proanthocyanidin synthesis is being considered. Mutations affecting the coding part of the gene in the case of *ant27.2043* and the promoter in the case of *ant27.488* were found in two independent mutants *ant27*.*

*Key words: *Hordeum vulgare*, candidate gene, *Ant27*, *WRKY*, proanthocyanidins, marker-oriented selection*

Ячмень – четвертая по значимости зерновая культура после риса, пшеницы и кукурузы. Ячмень и продукты его переработки используются в продовольственных, технических и кормовых целях. В том числе он широко используется в пивоваренной промышленности, является самым распространенным злаковым, из которого производится солод. Российская Федерация входит в число основных стран-производителей ячменя.

Зерно ячменя накапливает в оболочке (или тесте) ценные вторичные метаболиты – проантоцианидины – полимеры, мономерами которых являются флаван-3-олы (чаще всего катехин, эпикатехин и их сложные эфиры галловой кислоты) [4].

Биосинтез проантоцианидинов регулируется на уровне транскрипции. Важнейшим комплексом, участвующим в этом процессе, является MYB–bHLH(MYC)–WD40(MBW)-регуляторный комплекс.

Проантоцианидины обеспечивают защиту растения от биотических и абиотических стрессов. Они обеспечивают защиту от микробных патогенов, насекомых-вредителей, а их терпкость защищает от поедания растения травоядными животными [7]. Кроме того, проантоцианидины участвуют в контроле развития семян. Они являются ингибиторами роста растений и прорастания семян. Флавоноиды, к которым относятся проантоцианидины, также ответственны за удлинение периода покоя семян [3]. Регуляция прорастания семян проантоцианидинами опосредуется сигнальным путем абсцизовой кислоты [6].

Проантоцианидины также обладают множеством полезных для здоровья человека свойств. Они являются наиболее распространенными природными антиоксидантами и обеспечивают защиту от различных заболеваний, таких как диабет, рак или инсульт [2].

Проантоцианидины обладают антиоксидантной активностью, нейропротекторными и иммуномодулирующими свойствами, защищают сердечно-сосудистую систему, регулируют углеводно-липидный обмен и профилактируют ожирение, оказывают антидиабетическое, противомикробное и противораковое воздействие [8]

Таким образом, богатая проантоцианидинами растительная пища является источником полезных для здоровья соединений, а кроме того, зерно злаковых растений в отличие от других источников флавоноидов (плодовые и ягодные) отличается большей длительностью хранения и более частным употреблением.

В 70–90-х годах прошлого века была получена коллекция мутантов ячменя с нарушенным синтезом антоцианов и/или проантоцианидинов. С помощью теста на аллелизм мутанты были сгруппированы в 30 групп комплементации, названные *Ant* (*Anthocyanin-less*). Эти локусы называют генами синтеза антоцианов и/или проантоцианидинов. На данный момент не для всех локусов известна локализация и молекулярная функция. А выявленные локусы (*Ant13*, *Ant17*, *Ant18*, *Ant19*, *Ant22*, *Ant26*, *Ant30*) либо контролировали ферментативную активность, либо регулировали транскрипционную активность генов, задействованных в биосинтезе [5].

Гены регуляторного комплекса MBW, контролирующего синтез флавоноидных соединений, охарактеризованы не так подробно, как структурные гены биосинтеза проантоцианидинов. В настоящее время ведутся интенсивные работы по выявлению всех компонентов этого комплекса, контролирующего формирование пигментации в различных органах, а также в тканях зерна ячменя. *Ant 27* относится к генам, действие которых до конца не изучено. Он может быть регуляторным геном [5].

Исходя из вышесказанного актуальной задачей является выявление генов, контролирующих синтез проантоцианидинов в растениях для получения сортов злаков с повышенным содержанием этих соединений для потребления в пищу и с пониженным – для пивоваренной промышленности, так как у пива с пониженным содержанием проантоцианидинов не происходит коллоидного помутнения.

Целью работы является выявление и функциональная характеристика генов-

кандидатов из локуса *Ant27*, контролирующего синтез проантоцианидинов в зерне ячменя.

Исследование было проведено с использованием мутантов *ant27.488* и *ant27.2043*. В качестве контроля использовали родительские сорта Zenit и Arena соответственно, на основе которых путем обработки азидом натрия были получены исследуемые мутанты.

Ранее в лаборатории молекулярной генетики полифенольного метаболизма растений ИЦиГ СО РАН с помощью массового сегрегационного анализа был выявлена локализация *Ant27* на хромосоме 5Н между маркерами SCRI_RS_232881 (позиция 330085368 – 330085482) и WOPA1_3928-513 (460768987 – 460769185) [1].

В ходе анализа ортологов генов арабидопсиса, контролирующих биосинтез проантоцианидинов, был выявлен ген-кандидат, относящийся к семейству WRKY ортологичный которому ген ячменя попадает в выявленный ранее район хромосомы 5Н, кроме того фенотип растений арабидопсиса с мутацией в гене WRKY схож с фенотипом мутантов *Ant27*. Была определена нуклеотидная последовательность гена-кандидата, включая промотор, у двух независимых мутантов *ant27.488* и *ant27.2043* и их родительских сортов Zenit и Arena. Кроме этого у исследуемых генотипов была измерена всхожесть и содержание антоцианов в листовых влагалищах для мутантов.

В результате секвенирования у мутанта *ant27.2043* была обнаружена 1 замена в кодирующей части гена WRKY: замена С на Т приводит к замене глутаминовой кислоты на стоп-кодон. У мутанта *ant27.488* не было обнаружено замен в кодирующей части белка относительно его родительского сорта Zenit, но была обнаружена замена G на A в промоторе.

В результате измерения всхожести в течение 7 дней было обнаружено, что всхожесть мутанта *ant27.488* достоверно ниже всхожести его родительского сорта Zenit, а всхожесть мутанта *ant27.2043* ниже его родительского сорта Arena.

В результате измерения содержания антоцианов в листовых влагалищах не было обнаружено различий между мутантами *ant 27.488* и *ant 27.2043* и их родительскими сортами – Zenit и Arena соответственно.

Благодаря выявленным мутациям становится возможной разработка маркеров для маркер-ориентированной селекции растений с повышенным содержанием проантоцианидинов для употребления в пищу и с пониженным – для пивоваренной промышленности.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 21-76-10024.

Список литературы

- 1 Шоева О. Ю. и др. Исследование генетических основ синтеза проантоцианидинов в зерне ячменя для направленной селекции сортов пивоваренного назначения. 2022.

- 2 Crozier A. Dietary phenolics, absorption, mammalian and microbial metabolism and colonic health //Molecular nutrition & food research. 2009. Т. 53. С. 5–6.
- 3 Debeaujon I., Leon-Kloosterziel K. M., Koornneef M. Influence of the testa on seed dormancy, germination, and longevity in Arabidopsis //Plant physiology. 2000. Т. 122. №. 2. С. 403–414.
- 4 Dong C. Protective effect of proanthocyanidins in cadmium induced neurotoxicity in mice // Drug Research. 2014. P. 555–560.
- 5 Jende-Strid B. Genetic control of flavonoid biosynthesis in barley // Hereditas. 1993. V. 119. №. 2. P. 187--204.
- 6 Jia L. et al. Proanthocyanidins inhibit seed germination by maintaining a high level of abscisic acid in Arabidopsis thaliana F // Journal of integrative plant biology. 2012. Т. 54. №. 9. С. 663–673.
- 7 Rauf A. et al. Proanthocyanidins: A comprehensive review //Biomedicine & Pharmacotherapy. 2019. V 116. P. 108999.
- 8 Terao J., Kawai Y., Murota K. Vegetable flavonoids and cardiovascular disease // Asia Pacific journal of clinical nutrition. 2008. №. 17.

DOI 10.18699/GPB2024-62

**Генетическая изменчивость изолятов
пыльной головки пшеницы *Ustilago tritici* (Pers.) Jens.**

*Орлова Е.А. *, к.с.-х.н., в.н.с.; Агеева Е. В., к.с.-х.н., н.с.; Пискарев В. В. к. с.-х. н., зав. лабораторией.*

*Сибирский НИИ растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики СО РАН, Краснообск, Россия
email: Orlova.lena10@yandex.ru

Изучен расовый состав пыльной головки яровой мягкой пшеницы в Новосибирской области. Установлено, что 66 раса не однородна и состоит из более мелких биотипов, различающихся по реакции вирулентности на сортах – дифференциаторах и дополнительном наборе сортов, включенных в исследование.

Ключевые слова: пыльная головня пшеницы; изоляты; раса; сорта-дифференциаторы

**Genetic variability of isolates
of the loose smut of wheat *Ustilago tritici* (Pers.) Jens.**

*Orlova E.A. *, Ageeva E. V. Piskarev V.V.*

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Krasnoobsk, Russia

The racial composition of the loose smut of spring soft wheat in the Novosibirsk region has been studied. It was found that the 66 race is not homogeneous and consists of smaller biotypes that differ in virulence response on differentiator varieties and an additional set of varieties included in the study.

Key words: wheat dusty smut; isolates; race; differentiator varieties

Расовая популяция пыльной головки пшеницы не стабильна. Причины возник-

новения новых рас объясняются рекомбинационными процессами гриба. При половом слиянии гиф разных типов совместимости происходит перекомбинация признаков, что приводит к появлению на растении – хозяине гибридного спорового материала. Таким образом, теоретически каждое новое споровое поколение гриба может отличаться от предыдущего [1]. Знание частоты вирулентности рас в популяции патогена имеет важное значение для определения эффективной устойчивости хозяина.

Целью данной работы было охарактеризовать фенотипы вирулентности изолятов *U. tritici*, наиболее часто встречающейся и распространенной 66 расы пыльной головки яровой мягкой пшеницы.

Исследования по дифференциации рас возбудителя пыльной головки пшеницы проводили с использованием двух наборов сортов-дифференциаторов – тест-набора ВИР, широко используемого в России и канадского, используемого за рубежом [2, 3]. В основу идентификации рас положены признаки вирулентности и агрессивности возбудителя, которые определяются по степени поражения сортов-дифференциаторов в соответствующих наборах.

На вирулентность было оценено 18 изолятов, выделенных из образцов популяций патогена, собранных с различных генотипов мягкой яровой пшеницы. Головные колосья собирали на фитопатологическом участке СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН, расположенном в п. Мичуринский, с коллекционных образцов высеянных на опытном поле растительных ресурсов (р.п. Краснообск), а также с образцов, полученных по программе челночной селекции КАСИБ, высеянных на опытном поле селекции яровой пшенице СибНИИРС – филиала ИЦиГ, расположенном в р.п. Краснообск. Инокуляцию колосьев 2 наборов сортов-дифференциаторов популяцией патогена и отдельными изолятами проводили в зимний период в камере ускоренного выращивания (УВР), с целью исключения перезаражения сортов-дифференциаторов спорами возбудителя пыльной головки пшеницы. За изолят (клон) принимали споровый материал с одного колоса (моносорусный изолят).

На наборе сортов-дифференциаторов ВИР, популяция пыльной головки пшеницы в 2021–2023 гг. тестируется как 66 раса. Эта раса не поражает сорта твердых пшениц (Акмолинка 5, Миндум и Народная), специализирована к сортам мягкой пшеницы и относится к группе *aestivum*. Она поражает сорта Kota, Rumkers Dikkopf, Reward, Diamante, но авирулентна к сортам Московка и Preston (табл. 1).

Одновременная инокуляция дифференцирующего набора из Канады позволила установить, что эта раса состоит из более мелких единиц – биотипов, различающихся между собой по вирулентности к отдельным тест-линиям. Как видно из таблицы 2, в 2021 г. поражение 66-й расой дифференцирующей линии TD-12, несущий ген устойчивости *Ut4*, составило 4,5 %, тип реакции – устойчивый. В 2022–2023 гг. отмечается накопление в популяции пыльной головки биотипов 66 расы, способных преодолеть устойчивость этой линии. Такое же изменение устойчивости по годам отмечается и на тестирующей линии TD-18.

Таблица 1 – Поражение сортов-дифференциаторов ВИР яровой пшеницы популяцией пыльной головки (2021–2023 гг.)

Сорта- дифференциаторы	Поражение по годам, %			Тип реакции		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Московка	5,9	4,3	0	R	R	R
Kota	38,5	22,7	26,2	S	S	S
Preston	0	0,3	6,7	R	R	R
Rumkers Dikkopf	10,2	19,4	10,3	S	S	S
Reward	23,9	51,1	44,4	S	S	S
Diamante	38,9	30,0	18,7	S	S	S
Акмолинка 5	0	0	0	R	R	R
Mindum	0	0	0	R	R	R
Народная	0	0	0	R	R	R
номер расы				66	66	66

Таблица 2 – Реакция канадского набора сортов-дифференциаторов на популяцию пыльной головки яровой пшеницы (инф. фон, 2021–2023 гг.)

Дифференциаторы TD	Процент поражения по годам, %			Тип реакции		
	2021 г.	2022 г.	2023г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
TD-1 Mindum	0	0	0	R*	R	R
TD-2 Renfrey Ut1	0	1,6	0	R	R	R
TD-3 Florence/Aur Ut 1	1,1	1,5	2,9	R	R	R
TD-4 Kota Ut 2	38,5	22,7	26,2	S**	S	S
TD-5 Little club Ut2	22,2	19,1	25,8	S	S	S
TD-6 PJ 69282	1,8	0	0	R	R	R
TD-7 Reward	47,3	51,8	28,3	S	S	S
TD-8 Carma Ut3	20,6	21,4	39,1	S	S	S
TD-9 Kearney	24,2	12,4	22,6	S	S	S
TD-10 Red bobs Ut 1	0	0	0	R	R	R
TD-11 Pentad	0	0	0	R	R	R
TD-12 Thatcher/Regent Ut 4	4,5	15,8	23,2	R	S	S
TD-13 PJ29584/CJ7795	29,5	41,5	30,4	S	S	S
TD-14 Sonop	0	0	1,1	R	R	R
TD-15 H-44/Marquis	1,0	0	4,9	R	R	R
TD-16 Marroqui 588	0	0	0	R	R	R
TD-17 Marquillo/Waratah	0,7	0	0,6	R	R	R
TD-18 Manитай2/Giza144	1,9	2,3	10,1	R	R	S
TD-19 Wakooma	0	0	0	R	R	R

*R – устойчивость, поражение до 10 %; **S – восприимчивость, поражение более 10 %.

Более подробно вопрос физиологической специализации пыльной головки пшеницы изучался на отдельных моносорусных изолятах, собранных с различных генотипов яровой пшеницы. На сортах-дифференциаторах ВИР 66 раса была определена у 18 моносорусных изолятов, которые на канадском дифференцирующем наборе отличались по реакции устойчивости/восприимчивости на тест-линиях TD-12, TD-15 и TD-18. По результатам сравнительного анализа вирулентности, они были объединены в 5 групп. К первой группе было отнесено 5 изолятов, которые по поражению тест-набора были идентичны 66 расе. Они вирулентны к дифференцирующей линии TD-12 с геном *Ut4* и не поражали дифференциаторы TD-15 и TD-18.

Эти споровые образцы, собранные с линии Л 1012 (Алтай) с поля генетиков, ЭР 79-07, л 8-12-18, (линии КАСИБ, Карабалыкский СХОС), 11/009-13-3 (линия КАСИБ, Павлодар) и сорта Радуга. Фенотип второй группы изолятов, собранных с сортов Славина (Новосибирского ГСУ), Обская 2 и Сагма (с фитоучастка) характеризовался авирулентностью к тест-линиям канадского набора TD-12 и TD-18, и вирулентность к TD-15. Основное отличие изолятов, вошедших в 3-ю и 4-ю группы, отмечали по реакции чувствительности к тестовой линии TD-18. Изоляты 3-й группы (4 моносорусных изолята), собранные с образцов Алтайская 110 × Сонет (АлтайНИИСХ), Велютунум 15 и л 128-15 (КАСИБ), Жигулевская (фитоучасток) не поражают дифференцирующую линию TD-18, но вирулентны к линиям TD-12 и TD-15. В 4-ю группу вошли 2 изолята, показавшие восприимчивую реакцию на дифференцирующих линиях TD 12, TD-15 и TD-18, это изоляты с Сибирская 21 (размножение, поле растительные ресурсы), Ильменская 2 (КАСИБ). В 5-ю группу вошли изоляты с Барнаула (л -1107), с поля в Омской области, Калачинского р-на, с Омской 38 (Омск, СибНИИЗХоз), Хакасская (поле растительные ресурсы) Они авирулентны к дифференцирующим линиям TD-12, TD-15, и TD-18 и, по ключу для определения физиологических рас канадского тест-набора, соответствуют 18 расе (табл. 3).

Таблица 3 – Реакция дифференцирующих линий на инокуляцию моносорусными изолятами пыльной головки пшеницы

Канадский набор дифференциаторов	Группы изолятов				
	66 раса (1)	2	3	4	5
Изоляты с сортов	ЭР 79-07, л 8-12-18, (КАСИБ, Карабалыкская СХОС), 11/009-13-3 (КАСИБ, Павлодар), Л 1012 (Алтай) и сорт Радуга	Славина (Новосибирский ГСУ), Обская 2, Сагма (ф/уч)	Алтайская 110 × Сонет (АлтайНИИСХ), Велютунум 15 и л 128-15 КАСИБ, Жигулевская (ф/уч)	Сибирская 21 (размножение, поле растит. ресурсов), Ильменская 2 (КАСИБ)	Л -1107 (Барнаул), изолят с поля в Омской обл., Калачинского р-на, с Омской 38 (Омск, СибНИИЗХоз), Хакасская (поле растит. ресурсы)
TD12 Thatcher/Regent Ut4	S	R	S	S	R
TD-15 H44/ Marquis	R	S	S	S	R
TD-18 Manitau 2/Giza 144	R	R	R	S	R
частота встречаемости изолятов, количество/%	5/27,8	3/16,7	4/22,2	2/11,1	4/22,2

Инокуляция клонами дополнительного набора сортов яровой мягкой пшеницы, включенных в исследование, также показала различие реакции растений на зараже-

ние клонами. Так сорта Алтайская 100, Безенчукская 98, Грекум 114, Новосибирская 15, Новосибирская 44, Новосибирская 61, Памяти Вавенкова, Glenlea, Heines Kolben не поражаются 66 расой и ее клонами. Восприимчивость к этим патотипам отмечена на сортах Ильменская 2, Новосибирская 18, Новосибирская 31, Сибирская 12, Сибирская 21, Скала, Симбирцит, Тулайковская 10, Экада 70.

Различие по устойчивости к 66 расе и ее клонам выявлено на сортах Сибирская 17, Обская 2, Маргарита, Фаворит, AC Vista, Норе, Heines Koga.

Таблица 4 – Реакция сортов яровой пшеницы на инокуляцию моносорусными изолятами пыльной головки пшеницы

Сорта	Поражение, %					
	66 раса	66-1	66-2	66-3	66-4	66-5
Алтайская 100	R	R	R	R	R	R
Безенчукская 98	R	R	R	R	R	R
Грекум 114	R	R	R	R	R	R
Новосибирская 15	R	R	R	R	R	R
Новосибирская 44	R	R	R	R	R	R
Новосибирская 61	R	R	R	R	R	R
Памяти Вавенкова	R	R	R	R	R	R
Glenlea (Ut4Ut6Ut8)	R	R	R	R	R	R
Heines Kolben	R	-	R	R	-	R
Ильменская 2	S	S	S	S	S	S
Новосибирская 18	S	S	S	S	S	S
Новосибирская 31	S	S	S	S	S	S
Сибирская 12	S	S	S	S	S	S
Сибирская 21	S	S	S	S	S	S
Скала	S	S	S	S	S	S
Симбирцит	S	S	S	S	S	S
Тулайковская 10	S	S	S	S	S	S
Экада 70	S	S	S	S	S	S
Сибирская 17	S	R	S	S	S	S
Маргарита	S	S	S	R	S	R
Обская 2	S	S	S	S	R	S
Фаворит	S	R	S	S	S	S
Норе	S	R	S	S	S	-
Heines Koga	S	R	S	S	S	-

Таким образом, одновременное заражение двух дифференцирующих наборов и дополнительное включение в исследование набора сортов яровой мягкой пшеницы, позволило выявить неоднородность 66 расы и предположить, что она состоит как минимум, из 5 биотипов, различающихся между собой по патогенности.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Список литературы

1 Кривченко В.И. Устойчивость зерновых колосовых к возбудителям головневых болезней: ВАСХНИЛ. М.: Колос. 1984. 304 с.

- 2 Дружинин А.Е., Крупнов В.А. Пшеница и пыльная головня. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 208. 164 с.
- 3 Nielsen J, Thomas PL. 1996. Loose smut. In: Wilcoxson RD, Saari EE, editors. Bunt and smut diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico (DF): CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center); p. 33–47.

DOI 10.18699/GPB2024-63

Влияние интрогрессий от *Triticum timopheevii* в хромосому 2В пшеницы на устойчивость к засухе

Пермякова М.Д.^{1*}, д.б.н., ст.н.с.; Пермяков А.В.¹, к.б.н., ст.н.с.; Щукина Л.В.², м.н.с.; Осипова С.В.¹, д.б.н., в.н.с.; Рудиковская Е.Г.¹, к.б.н., ст.н.с.; Поморцев А.В.¹, к.б.н., ст.н.с.; Пшеничникова Т.А.², к.б.н., зав. сектором.

¹ФГНУ Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

²ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: marperm@rambler.ru

Был исследован потенциал засухоустойчивости у трех линий с интрогрессией фрагментов генома *Triticum timopheevii* в хромосоме 2В пшеницы. В условиях смоделированной почвенной засухи были изучены показатели фотосинтеза, содержание фотосинтетических пигментов, свободного пролина и водорастворимых сахаров, активность антиоксидантных ферментов и липоксигеназы, а также фенологические параметры и компоненты урожая. Было установлено, что присутствие интрогрессии в области, фланкированной маркерами Xgwm120-Xgwm047, в хромосоме 2ВL пшеницы Саратовская 29, может способствовать адаптации к широкому спектру неблагоприятных факторов без ущерба для зерновой продуктивности.

Ключевые слова: пшеница *Triticum aestivum* L.; интрогрессия; *Triticum timopheevii*; водный дефицит; стрессоустойчивость

Effect of *Triticum timopheevii* introgressions in 2B chromosome of bread wheat on drought tolerance

Permyakova M.D.^{1*}, Permyakov A.V.¹, Shchukina L.V.², Osipova S.V.¹, Rudikovskaya E.G.¹, Pomortsev A.V.¹, Pshenichnikova T.A.²

¹Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

²Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: marperm@rambler.ru

The drought tolerance potential of three lines with introgression of *Triticum timopheevii* genome fragments in regions of wheat chromosome 2B carrying genes for resistance to pathogenic fungi was investigated. Under simulated soil drought the photo-

synthesis rates, the content of photosynthetic pigments, free proline and water-soluble sugars, the activity of antioxidant enzymes and lipoxygenase, as well as phenological parameters and yield components were studied. It was established that introduction of the introgression in the region, flanked by markers Xgwm120-Xgwm047, in the chromosome 2BL of the wheat Saratovskaya 29, can promote tolerance to a wide range of unfavorable factors without compromising grain yield.

Key words: wheat Triticum aestivum L.; introgression; Triticum timopheevii; water deficiency; stress tolerance

Введение: Стратегия адаптивной интрогрессии сосредоточена на создании генотипов, которые обладают широким спектром стрессоустойчивости, поддерживая высокий фотосинтез, темпы роста и урожайность [1]. *Triticum timopheevii* известен как источник генов устойчивости к болезням. Хромосома 2G этого эндемичного злака несет комплекс генов устойчивости к патогенным грибам [2]. Нашей целью было изучение потенциала засухоустойчивости у линий с интрогрессией *T. timopheevii* в хромосоме 2В пшеницы сорта Саратовская 29 (С29).

Материалы и методы: Объектами исследования были засухоустойчивый сорт С29 и три рекомбинантные линии с участками интрогрессии хромосомы 2G *T. timopheevii* в хромосоме 2В сорта С29 (рис. 1).

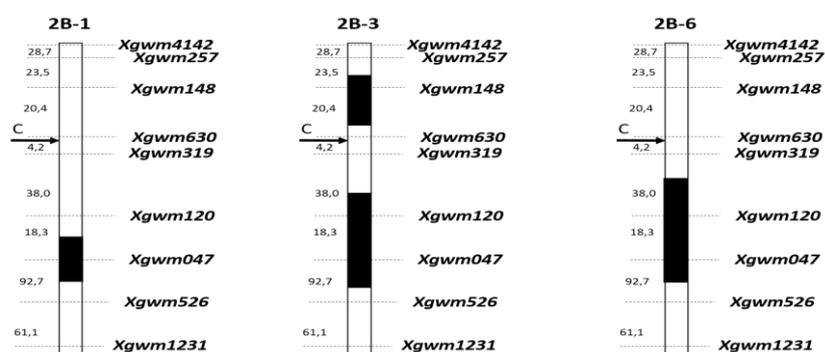


Рис. 1. Схема областей интрогрессий *T. timopheevii* в линиях С29(821 2В)

Выращивание растений в условиях смоделированной почвенной засухи, методы молекулярного анализа и определения параметров подробно описаны ранее [3, 4]. Индекс устойчивости признака к водному дефициту (ИУ %) рассчитывали как отношение среднего значения признака (3–8 биологических повторов) в условиях засухи к среднему значению в контроле в %.

Результаты и обсуждение: *Физиологические параметры.* Сорт С29 независимо от условий водообеспечения показал высокий уровень и стабильность большинства изученных физиологических параметров. В линиях не наблюдалось снижения биомассы и эффективности фотосинтеза при двух режимах водообеспечения. Содержание фотосинтетических пигментов во всех линиях было высоким, а в условиях засухи, подобно сорту-реципиенту, линии показали эффект «stay-green». Все линии превышали исходный сорт по ИУ% параметрам Скорость фотосинтеза (СФ)

и Эффективность использования воды (ЭИВ) (рис. 2). Линия С29(821 2В)-3 отличалась значительным увеличением уровня активности дегидроаскорбат редуктазы (ДГАР) в условиях засухи.

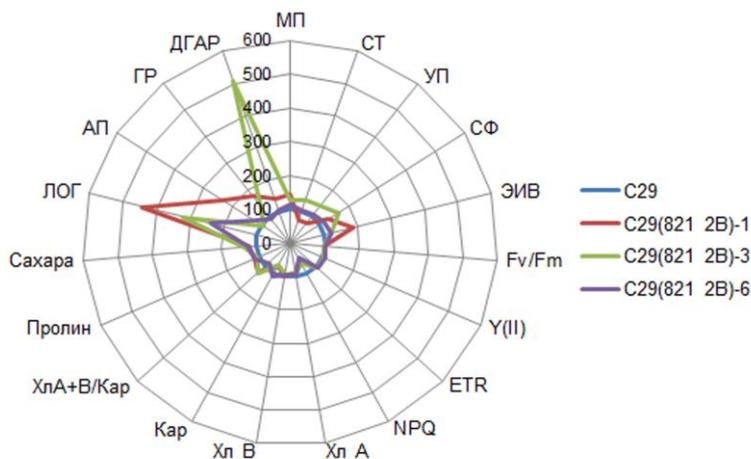


Рис. 2. Индексы устойчивости к засухе физиологических параметров интрогрессивных линий относительно сорта – реципиента. МП – масса побега; СТ – скорость транспирации; УП – устьичная проводимость; СФ – скорость ассимиляции CO_2 или нетто-фотосинтез; ЭИВ – эффективность использования воды; F_v/F_m – максимальный фотохимический квантовый выход в фотосистеме II (ФСII); $Y(II)$ – эффективный фотохимический квантовый выход в ФСII; ETR – скорость электронного транспорта в ФСII; NPQ – нефотохимическое тушение флуоресценции; Хл А, В – содержание хлорофилла А, В; Кар – содержание каротиноидов; ЛОГ, АП, ГР, ДГАР – активность липоксигеназы, аскорбат пероксидазы, глутатион редуктазы, дегидроаскорбат редуктазы

Водный дефицит вызывал у интрогрессивных линий значительное увеличение уровня активности липоксигеназы (ЛОГ) в 2–5 раз превышающее исходный сорт. Это связано с общим для всех линий регионом, обозначенным маркером *Xgwm047*. Интрогрессия в этом регионе также была связана с увеличением содержания пролина и регуляцией активности ферментов антиоксидантной защиты под влиянием засухи.

В отличие от сорта-реципиента интрогрессивные линии показали физиологический ответ на водный дефицит и активацию адаптации. Вероятно, в большой степени это связано жасмонатной (ЖАК) сигнализацией, инициированной ЛОГ. Известно, что сигнальный путь ЖАК участвует как в биотическом, так и абиотическом стрессе растений [5].

Фенологические параметры и компоненты урожая. Все изученные генотипы под влиянием засухи уменьшали число вторичных побегов и связанные параметры – число и вес зерен вторичных побегов (ЧЗВП и ВЗВП), и число зерен с растения (ЧЗР). Линия С29(821 2В)-1 отличалась меньшим снижением ЧЗВП (рис. 3). Интрогрессия у линии С29(8212В)-3 приводила к снижению числа и веса зерен главного колоса (ЧЗГК и ВЗГК). Однако эта линия значительно превышала сорт–реципиент по ИУ% Крупности зерна (КЗ) и связанных параметров ВЗГК и Масса 1000 зерен (М1000з) (рис. 3). Линия С29(821 2В)-6 превышала С29 по ИУ% тех же параметров,

а также по ИУ% ЧЗГК, ВЗГК и озерненности колоса (ОзК), не уступая исходному сорту по зерновой продуктивности в условиях засухи.

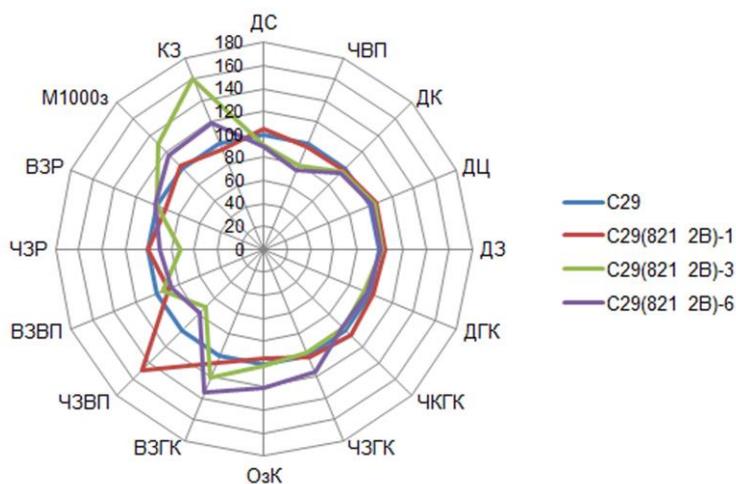


Рис. 3. Индексы устойчивости к засухе фенологических параметров и компонентов урожая интрогрессивных линий относительно сорта-реципиента. ДС – длина стебля; ЧВП – число вторичных побегов; ЧДК – число дней до кущения; ЧДЦ – число дней до цветения; ЧДЗ – число дней до зрелости; ДГК – длина главного колоса; ЧКГК – число колосков главного колоса; ОзК – озерненность колоса (ЧЗГК/ЧКГК); ЧЗГК – число зерен главного колоса; ВЗГК – вес зерен главного колоса; ЧЗВП – число зерен вторичных побегов; ВЗВП – вес зерен вторичных побегов; ЧЗР – число зерен с растения; ВЗР – вес зерен с растения; М1000з – масса 1000 зерен; КЗ – крупность зерна (ВЗГК/ ЧЗГК)

Заметное положительное влияние интрогрессии на продуктивность зерна у линии С29(821 2В)-6 в условиях засухи за счет увеличения озерненности колоса, свидетельствующего об увеличении фертильности, связано с регионом, обозначенном маркером *Xgwm120*. Дополнительная интрогрессия у линии С29(8212В)-3 в коротком плече, в области маркера *Xgwm148*, под влиянием водного дефицита приводила к увеличению размера зерновок, но снижению их числа.

Исходя из литературных данных [6, 7, 8, 9] кластеры генов устойчивости к патогенным грибам расположены в области 690 и 801 Мб хромосомы 2ВL пшеницы, в участке интрогрессии, обозначенном маркером *Xgwm 047*. Эти гены, вероятно, несут благоприятные аллели от высоко иммунного злака *T. timopheevii*. Введение большого набора аллелей генов от *T. timopheevii* в области, фланкированной маркерами *Xgwm120-Xgwm047*, в хромосоме 2ВL пшеницы Саратовская 29, может способствовать адаптации к широкому спектру неблагоприятных факторов без ущерба для зерновой продуктивности.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-04-00481) с использованием оборудования центров коллективного пользования «Биоаналитика» Сибирского института физиологии растений и биохимии СО РАН и лаборатории искусственного выращивания растений Института цитологии и генетики СО РАН.

Список литературы

- 1 Burgarella C., Barnaud A., Kane N.A., Jankowski F., Scarcelli N., Billot C., Vigouroux Y., Berthouly-Salazar C. Adaptive Introgression: An Untapped Evolutionary Mechanism for Crop Adaptation // *Front. Plant Sci.* 2019. V. 10. A. 4.
- 2 Devi U., Grewal S., Yang C.-y., Hubbart-Edwards S., Scholefield D., Ashling S., Burrridge A., King I.P., King J. Development and characterisation of interspecific hybrid lines with genome-wide introgressions from *Triticum timopheevii* in a hexaploid wheat background // *BMC Plant Biol.* 2019. V.19. A.183.
- 3 Пшеничникова Т.А., Пермяков А.В., Осипова С.В., Пермякова М.Д., Рудиковская Е.Г., Верхотуров В.В. Влияние ограниченных интрогрессий от *Triticum timopheevii* Tausch. в геном мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на физиологические и биохимические признаки в условиях полива и засухи // *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2015. Т. 19. № 5. С. 574–580.
- 4 Osipova S., Permyakov A., Konstantinov D. Shchukina L. Rudikovskaya E., Permyakova M., Pshenichnikova T. Variability of photosynthesis parameters and yield in recombinant lines of bread wheat with introgressions from *Triticum timopheevii* into 2A chromosome under different water supply conditions // *CRC.* 2024. V. 52. № 27. P. 101–113.
- 5 Wasternack C., Hause B. Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in *Annals of Botany* // *Ann Bot.* 2013. V. 111. P. 1021–1058.
- 6 Feng J.Y., Wang M.N., Chen, X.M., See D.R., Zheng Y.L., Chao S.M., Wan A.M. Molecular mapping of YrSP and its relationship with other genes for stripe rust resistance in wheat chromosome 2BL // *Phytopathology.* 2015. V.105. P. 1206–1213.
- 7 Wessels E., Prins R., Boshoff W. H. P., Zurn J.D., Acevedo M., Pretorius Z.A. Mapping a Resistance Gene To *Puccinia graminis* sp. *tritici* in the Bread Wheat Cultivar ‘Matlabas’ // *Plant Disease.* 2019. V. 103. P. 2337-2344.
- 8 Wan W., Xiao J., Li M., Tang X., Wen M., Cheruiyot A.K., Li Y., Wang H., Wang X. Fine mapping of wheat powdery mildew resistance gene *Pm6* using 2B/2G homoeologous recombinants induced by the *ph1b* mutant // *Theor Appl Gen.* 2020. V.133. P. 1265–1275.
- 9 Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K. An Update on Resistance Genes and Their Use in the Development of Leaf Rust Resistant Cultivars in Wheat // *Front. Genet.* 2022. V. 13. A. 816057.

DOI 10.18699/GPB2024-64

Аллоплазматические линии (*H. vulgare*)–*T. aestivum* с разным уровнем цитоядерной совместимости: генетические модели и перспективные генотипы для селекции

Першина Л.А.^{1,2*}, д.б.н., г.н.с.; Трубачеева Н.В.^{1,2}, к.б.н., н.с.; Россеева Л.П.³, к.с.-х.н., в.н.с.; Белан И.А.³, к.с.-х.н., в.н.с., зав. лабораторией.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Курчатовский геномный центр ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

³Омский АНЦ, Омск, Россия

*email: pershina@bionet.nsc.ru

На основании ПЦР-анализа 18S/5S мт-повтора среди растений алло-линий мягкой пшеницы, несущих цитоплазму культурного ячменя, выявлены генотипы с незавершенной и завершенной цито-ядерной совместимостью. Алло-линии с незавершенной цито-ядерной совместимостью являются адекватными моделями для изучения локализации генов Rf в хромосомах мягкой пшеницы. Обоснованно, что алло-линии с завершенной цито-ядерной совместимостью могут включаться в интрогрессивную гибридизацию и использоваться для получения перспективных для селекции генотипов.

Ключевые слова: алло-линии (H. vulgare)–T. aestivum; цито-ядерная совместимость; гены Rf; перспективные линии для селекции

Alloplasmic lines (H. vulgare)–T. aestivum with different levels of cytonuclear compatibility: genetic models and genotypes for breeding

*Pershina L.A. *, Trubacheeva N.V., Rosseeva L.P., Belan I.A.*

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

**email: pershina@bionet.nsc.ru*

Based on PCR analysis of the 18S/5S mt-repeat, genotypes with incomplete and complete cyto-nuclear compatibility were identified among plants of allo-lines of bread wheat carrying the cytoplasm of cultivated barley. Allo-lines with incomplete cyto-nuclear compatibility are adequate models for studying the localization of Rf genes in bread wheat chromosomes. It is substantiated that allo-lines with complete cyto-nuclear compatibility can be included in introgressive hybridization and used to obtain genotypes that are promising for breeding.

Key words: allo-lines (H. vulgare)–T. aestivum; cytonuclear compatibility; Rf genes; promising lines for breeding

Аллоплазматические линии (алло-линии) – это генотипы, у которых цитоплазма замещена на чужеродную. У таких генотипов происходят нарушения регуляции прямых и обратных цито-ядерных взаимодействий, и как следствие, изменения в проявлении признаков растений, включая пониженную фертильность или ее полное подавление (ЦМС). У ряда экономически важных культур линии с ЦМС представляют интерес для гибридной селекции, а аллоплазматические генотипы с восстановленной фертильностью – для традиционной селекции в качестве дополнительного источника биоразнообразия. В связи с этим изучение механизмов образования алло-линий и генетического контроля восстановления их фертильности является важной задачей.

В наших работах интрогрессивные ДГ-линии, полученные на основе алло-линий мягкой пшеницы, носителей цитоплазмы культурного ячменя *H. vulgare*, используются при создании нового селекционного материала и сортов мягкой пшеницы [1–3]. Согласно нашим наблюдениям, для этих целей алло-линии должны ха-

рактироваться не только проявлением хозяйственно ценных признаков и восстановлением фертильности, но и завершенностью цито-ядерной совместимости.

В настоящем сообщении обсуждаются результаты, полученные при изучении особенностей алло-линий мягкой пшеницы, несущих цитоплазму *H. vulgare* и характеризующихся разным уровнем цито-ядерной совместимости. В работу включено несколько групп алло-линий, характеризующихся внутри групп одинаковым происхождением, но разным проявлением мужской фертильности у растений. На основании результатов ПЦР-анализа 18S/5S митохондриального (мт) повтора частично стерильные, частично фертильные и часть фертильных растений, у которых выявлена гетероплазмия мт-ДНК (наличие фрагментов 18S/5S мт-ДНК, характерных для ячменя и пшеницы) отнесены к генотипам с незавершенной цито-ядерной совместимостью. У другой части фертильных растений и стабильных по проявлению фертильности растений выявлена гомоплазмия пшеничного типа. У таких генотипов, как показано ранее [4], цитоядерная совместимость завершена.

Растения с разным уровнем мужской фертильности и цито-ядерной совместимости были скрещены в качестве материнских форм с линией сорта Омская 37 (носитель пшенично-ржаной транслокации 1BL.1RS) и пшенично-ржаными замещенными линиями 1A(1R), 1D(1R). По результатам анализа фертильности гибридов в F₁ и F₂ установлено, что хромосомы пшеницы 1BL, 1A и 1D оказывают влияние на фертильность алло-линий с незавершенной цито-ядерной совместимостью, но не влияют на фертильность алло-линий с завершенной цито-ядерной совместимостью. Основываясь на результатах расщепления в F₂ гибридов, полученных от скрещивания частично фертильных растений с линией, носителем пшенично-ржаной транслокации 1BL.1RS, а также пшенично-ржаными замещенными линиями 1R(1A) и 1R(1D), сделано заключение, что короткое плечо хромосомы 1B и хромосомы 1A и 1D несут по одному доминантному гену *Rf* (*restorer-of-fertility*), которые контролируют восстановление фертильности мягкой пшеницы на цитоплазме культурного ячменя. При этом одной дозы этих генов недостаточно для восстановления фертильности полностью стерильных и частично стерильных растений.

Независимость алло-линий с завершенной цито-ядерной совместимостью от влияния хромосом, в которых локализованы гены *Rf*, дает возможность включать такие линии в интрогрессивную гибридизацию без опасения, что замещение отдельных хромосом или их фрагментов приведет к стерильности алло-линий. Подтверждением этому служат данные, включенные в таблицу. В этой таблице приведены результаты селекционных испытаний в 2023 г. (селекционный питомник третьего года изучения, СП-3) дигаллоидных (ДГ) алло-линий (*H. vulgare*)–*T. aestivum*, у которых короткое плечо хромосомы 1B замещено на короткое плечо хромосомы ржи 1R. Из приведенных данных оценки урожайности следует, что эти линии за годы испытаний не утратили фертильность и остаются конкурентно способными в селекционном процессе. В 2024 г. линии ДГ 12/5, ДГ 13/5, ДГ 14/5, ДГ 16/5 и ДГ 17/5

будут изучаться в питомнике конкурсного сортоиспытания (КСИ).

Другими подтверждениями сделанного заключения по поводу алло-линий с завершенной цито-ядерной совместимостью являются и факты возделывания сортов Сигма (с 2015 г.) и Уралосибирская 2 (с 2019 г.), материнским генотипом которых является алло-линия, несущая пшенично-ржаную транслокацию 1BL.1RS [1, 2].

СП-3. Экспериментальное поле лаборатории яровой мягкой пшеницы, г. Омск, 2023 г.

Генотипы	Высота растений	Урожайность	Наличие 1RS.1BL
ДГ 1/5	76	3,49	+
ДГ 4/5	80	3,67	+
ДГ 5/5	80	3,65	+
ДГ 8/5	81	3,57	+
ДГ 9/5	82	3,55	+
ДГ 12/5	80	4,41	+
ДГ 13/5	80	4,02	+
ДГ 14/5	80	4,11	+
ДГ 15/5	78	3,65	+
ДГ 16/5	78	3,75	+
ДГ 17/5	78	3,78	+
ДГ 18/5	80	3,82	+
ДГ 19/5	82	3,92	+
ДГ 20/5	76	3,50	+
НСР _{0,5}		0,27	

Примечание. Выделены линии, включенные КСИ.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках бюджетного проекта FWNR-2022-0017.

Список литературы

- 1 Першина Л.А., Белова Л.И., Трубочеева Н.В., Осадчая Т.С., Шумный В.К., Белан И.А., Россеева Л.П., Немченко В.В., Абакумов С.Н. Аллоплазматические рекомбинантные линии (*H. vulgare*)- *T. aestivum* с транслокацией 1RS.1BL: исходные генотипы для создания сортов яровой мягкой пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 5. С. 544-552.
- 2 Белан И.А., Россеева Л.П., Блохина Н.П., Мухина Я.В., Трубочеева Н.В., Першина Л.А. Использование дигаплоидных линий – ускорение селекционного процесса в создании сортов яровой мягкой пшеницы. В сборнике: Перспективные технологии в аграрном производстве: человек, "цифра", окружающая среда (AgroProd 2021). Материалы международной научно-практической конференции. Омск, 2021. С. 128-133.
- 3 Pershina L., Trubacheeva N., Badaeva E., Belan I., Rosseeva L. Study of androgenic plant families of alloplasmic introgression lines (*H. vulgare*)-*T. aestivum* and the use of sister DH lines in breeding // Plants. 2020. V. 9. № 6. P. 764–816.
- 4 Trubacheeva N.V., Divashuk M.G., Chernook A.G., Belan I.A., Rosseeva L.P., Pershina L.A. The Effect of Chromosome Arm 1BS on the Fertility of Alloplasmic Recombinant Lines in Bread Wheat with the *Hordeum vulgare* Cytoplasm // Plants. 2021. V. 10(6). P. 1120.

Анализ молекулярными маркерами фиолетовой окраски зерна в потомстве отдаленных гибридов тритикале, полбы и пшеницы

Петраш Н.В., м.н.с., Стёпочкин П.И., д.с.-х.н., в.н.с., Морозова Е.В., м.н.с., Шоева О.Ю., к.б.н., с.н.с., Пискарев В.В. к.с.-х.н., зав. лабораторией.*

*Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
СО РАН, Новосибирск, Россия*

**email: pnv11@bionet.nsc.ru*

В статье представлены результаты молекулярного и фенотипического анализа гибридных линий, полученных в отдаленных скрещиваниях тритикале с фиолетовозерными линиями полбы и пшеницы. Для выявления генотипов растений F₃ (Орден × i:S29^{PF}) использовали внутригенный маркер Pp3-diagnostic к гену Pp3, и маркеры Xgwm0111, Xgwm0044 к гену Pp-D1, в случае с комбинацией F₄ (Садко × 27-3/17) - Pp3-diagnostic и Xgwm0046 к гену Pp-B1. Определены генотипы 58 образцов, из которых отобрано 45 фиолетовозерных растений F₄ (Орден × i:S29^{PF}) и 4 растения F₅ (Садко × 27-3/17) с установленными доминантными генами отвечающими за окраску перикарпа зерна.

Ключевые слова: тритикале; отдаленные гибриды; фиолетовое зерно; молекулярные маркеры

Analysis of purple-grain hybrids in distant crosses of triticale, bread wheat and emmer using molecular markers

Petrash N.V., Stepochkin P.I., Morozova E.V., Shoeva O.Yu., Piskarev V.V.*

Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**email: pnv11@bionet.nsc.ru*

The article presents the results of molecular and phenotypic analysis of hybrid lines obtained in distant crossings of triticale with purple-grain lines of emmer and wheat. To identify plant genotypes F₃ (Order × i:S29^{PF}), we used the intragenic marker Pp3-diagnostic for the Pp3 gene, and markers Xgwm0111, Xgwm0044 for the Pp-D1 gene, in the case of the combination F₄ (Sadko × 27-3/17) - Pp3-diagnostic and Xgwm0046 to the Pp-B1 gene. The genotypes of 58 samples were determined, from which 45 purple-grain plants F₄ (Order × i:S29^{PF}) and 4 plants F₅ (Sadko × 27-3/17) with established dominant genes responsible for the color of the grain pericarp were selected.

Key words: triticale; distant hybrids; purple-grain; molecular markers

Стратегия селекции тритикале (×*Triticosecale* Wittmack) как и других зерновых культур претерпевает изменения в соответствии с расширением разнообразия признаков и возникающими новыми требованиями к растительной пищевой продукции.

На сегодняшний день актуальной задачей является создание сортов злаковых культур с повышенным содержанием антоцианов в зерне [12]. Антоцианы представляют собой полифенольные соединения и способны увеличить адаптивные свойства растений, что обусловлено их высокой антиоксидантной активностью [4, 5]. Кроме того, показана польза для здоровья человека при использовании в пищу продуктов богатых антоцианами [8]. Известно, что фиолетовая окраска зерна обусловлена синтезом и накоплением антоцианов в перикарпе зерновки [4]. Этот процесс запускается в результате комплементарного взаимодействия двух ключевых генов *Pp3*, расположенного на 2А хромосоме и одного из трех гомеологичных генов *Pp-1*, картированных на хромосомах 7-й гомеологической группы [11]. Показано участие гена *Rc-1* контролирующего окраску колеоптиле в контроле окраски перикарпа зерна пшеницы (*Rc-1 = Pp-1*), поэтому присутствие гена *Pp-1* возможно контролировать по окраске колеоптиле [9]. Точность отбора по целевому гену *Pp3* контролируется при помощи ПЦР анализа с разработанным внутригенным ДНК-маркером *Pp3-diagnostic* [7]. Создание новых исходных форм тритикале возможно за счет переноса генов, ответственных за биосинтез антоцианов от линий доноров фиолетовой окраски зерна. С этой целью ранее нами были получены отдаленные гибриды тритикале с фиолетовозерными линиями пшеницы и полбы [2].

Целью настоящего исследования является изучение проявления фиолетовой окраски зерна в потомстве отдаленных гибридов тритикале с фиолетовозерными линиями пшеницы и полбы при помощи молекулярных маркеров.

В качестве материала использовали гибриды F₄ и F₃, полученные от скрещивания тритикале с линиями пшеницы и полбы – донорами фиолетовой окраски зерна. В первой комбинации F₄ (Садко × 27-3/17) донором окраски зерна служила фиолетовозёрная полба 27-3/17. Окраска перикарпа была передана полбе от эфиопской пшеницы (*T. aethiopicum* Jakubz.) (TRI 15744) [3]. Вторая комбинация получена от скрещивания тритикале сорта Орден с линией пшеницы i:S29*Pp-D1Pp3*^{PF} (в сокращении – i:S29^{PF}) – донором доминантных аллей генов *Pp3* и *Pp-D1*. ДНК экстрагировали из молодых листьев растений родительских образцов и гибридов третьего (F₃) и четвертого (F₄) поколений в соответствии с методикой, описанной J. Plaschke с соавторами [13]. Выделенную ДНК комбинации F₄ (Садко × 27-3/17) анализировали внутригенным маркером *Pp3-diagnostic*, разработанным к гену *Pp3* и микросателлитным маркером тесно сцепленным с геном *Pp-D1*. Для уточнения генотипа гибридов комбинации F₄ (Садко × 27-3/17) на уровне ДНК использовали внутригенный маркер *Pp3-diagnostic*, разработанный к гену *Pp3* на хромосоме 2А и микросателлитный маркер *Xgwm0046*, фланкирующий ген *Pp-B1* на 7В хромосоме [10, 14]. ДНК комбинации F₃ (Орден × i:S29^{PF}) анализировали маркером *Pp3-diagnostic*, и микросателлитными маркерами (*Xgwm0111*, *Xgwm0044*), фланкирующими ген *Pp-D1* на 7D хромосоме [6]. Процедуру ПЦР с маркерами и разделение продуктов ПЦР в агарозном геле проводили согласно условиям, описанным ранее [1, 7].

В комбинации F₃ (Орден × i:S29^{PF}) было получено три линии под номерами 5, 6 и 7. Фенотипически линия 5 имела белое зерно и окрашенный колиоптиле, линия 6 имела окрашенное зерно и колиоптиле, зерновки линии 7 были со слабой окраской перикарпа и окрашенным колиоптиле. В дальнейшем растения трех линий были проанализированы с помощью молекулярных маркеров: *Pp3-diagnostic*, *Xgwm0111* и *Xgwm0044* (рис. 1 и 2 сверху). Из 15 растений линии 5 выявлено пять растений с генотипом Pp-D1Pp-D1Pp3pp3 и десять растений с генотипом Pp-D1Pp-D1pp3pp3. У линии 6 все 45 растения имели генотип Pp-D1Pp-D1Pp3Pp3. Линия 7 характеризовалась низкой завязываемостью, поэтому нами было получено только два растения. Генотипы этих растений не удалось однозначно определить, поскольку амплифицируемые фрагменты отличались от контролей. Возможно, это связано с хромосомными изменениями, которые часто возникают при отдаленной гибридизации.

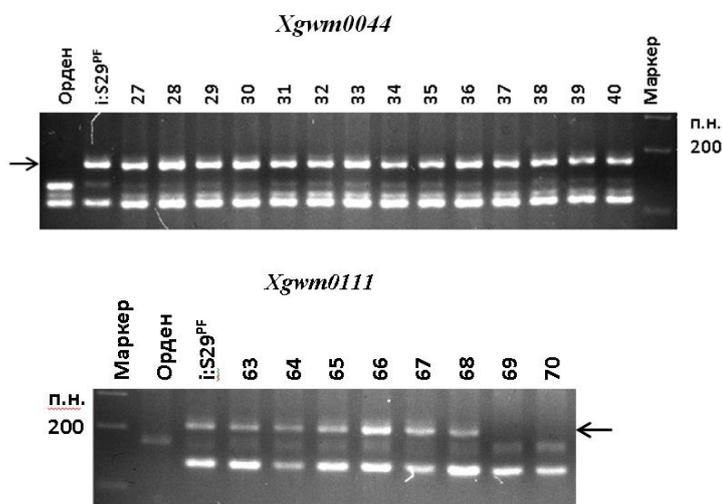


Рис. 1. Электрофореграммы продуктов ПЦР родительских образцов и гибридов F₃ (Орден × i:S29^{PF}) с маркерами *Xgwm0044* и *Xgwm0111*, стрелкой указан продукт ПЦР, соответствующий участку хромосомы 7D с геном *Pp-D1*

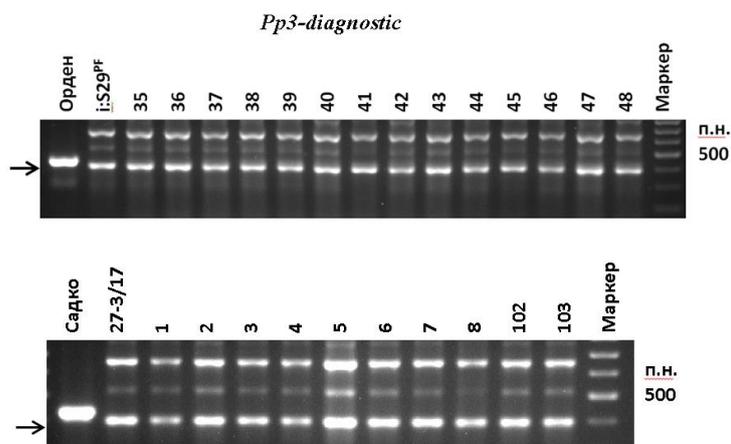


Рис. 2. Электрофореграммы продуктов ПЦР с маркером *Pp3-diagnostic*. Сверху у гибридов F₃ (Орден × i:S29^{PF}) и их родителей, внизу у гибридов F₄ (Садко × 27-3/17) и их родителей; стрелками указан фрагмент ДНК длиной 398 пар нуклеотидов, свидетельствующий о наличии доминантного аллеля гена *Pp3* на 2А хромосоме

У линии 2-1 (Садко × 27-3/17) было получено 10 окрашенных зерновок, полученные из них растения анализировали с помощью молекулярных маркеров (рис. 2, 3). По результатам анализа установлено, что все 10 растений имеют генотип $Pp-V1Pp-V1Pp3Pp3$. При дальнейшем выращивании выяснилось, что фертильными было 4 растения, у которых формировались фиолетовые зерновки.

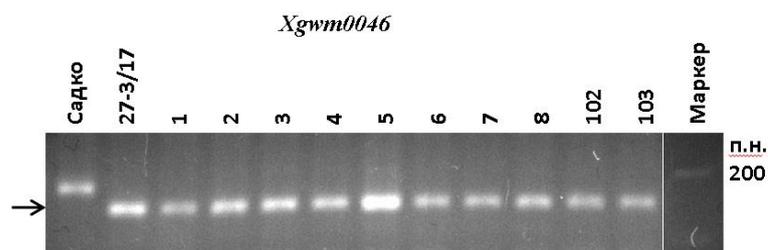


Рис. 3. Электрофореграмма продуктов ПЦР родительских образцов и гибридов F_4 (Садко × 27-3/17) с маркером *Xgwm0046*, стрелкой указан продукт ПЦР, соответствующий участку хромосомы 7В с геном *Pp-V1*

Всего было получено 66 растений у которых проведена визуальная оценка окраски зерна, оценены показатели продуктивности, легкости обмолота, ломкости стержня, наличие опушения на колосоножке. В дальнейшем все линии будут высеяны в поле для размножения и проведения оценок.

В результате нами выделены фиолетовозерные линии отдаленных гибридов тритикале и пшеницы с доминантными генами *Pp3* и *Pp-D1* (рис. 4), а также линии от скрещивания тритикале и полбы с установленными доминантными генами *Pp3* и *Pp-V1* (рис. 5).



Рис. 4. Фотографии зерновок F_4 (Орден × $i:S29^{PF}$) и родительских образцов. Слева направо: тритикале сорта Орден, линия 6-2 F_4 (Орден × $i:S29^{PF}$), линия пшеницы $i:S29^{PF}$



Рис. 5. Фотографии зерновок F_5 (Садко × 27-3/17) и родительских образцов. Слева направо: тритикале сорта Садко, гибрид F_5 (Садко × 27-3/17), линия полбы 27-3/17

Финансирование: работа поддержана бюджетными проектами ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018 и FWNR-2022-0008.

Список литературы

- 1 Гордеева Е.И., Шоева О.Ю., Шаманин В.П., Хлесткина Е.К. Использование молекулярных маркеров в селекции мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с различной антоциановой окраской зерновок. Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. № 9(2). С. 86–99. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-11
- 2 Петраш Н.В., Стёпочкин П.И. Создание фиолетовозерных гибридов в отдаленных скрещиваниях тритикале, мягкой пшеницы и полбы методом эмбриокультуры *in vitro*. Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 9. № 4. С. 183–188. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-25
- 3 Стёпочкин П.И., Гордеева Е.И., Хлесткина Е.К. Маркер-ориентированная селекция в создании гибридных линий *Triticum dicoccon* (Schrank) Schuebl. × *Triticum aethiopicum* Jakubz. с фиолетовоокрашенным зерном. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. № 184(2). С. 139–148. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-139-148
- 4 Хлесткина Е.К. Гены, детерминирующие окраску различных органов пшеницы. Вавил. журн. генет. селекции. 2012. Т. 16. С. 202–216.
- 5 Хлесткина Е.К., Шоева О.Ю., Гордеева Е.И. Гены биосинтеза флавоноидов пшеницы. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014;18(4/1):784–796.
- 6 Хлесткина Е.К., Гордеева Е.И., Шоева О.Ю., Кукоева Т.В., Шаманин В.П., Моргунов А.И. Способ отбора линий яровой мягкой пшеницы с повышенным содержанием антоцианов в зерне. Патент № 2762804 С1, 09.02.2021.
- 7 Шоева О.Ю., Гордеева Е.И., Хлесткина Е.К. Внутригенный ДНК-маркёр для отбора пшеницы с повышенным содержанием антоцианов в перикарпе зерновки. Патент № 2774444, 29.11.2021.
- 8 Юдина Р.С., Гордеева Е.И., Шоева О.Ю., Тихонова М.А., Хлесткина Е.К. Антоцианы как компоненты функционального питания. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 25(2). С. 178–189. DOI 10.18699/VJ21.022.
- 9 Gordeeva E., Shamanin V., Shoeva O., Kukoeva T., Morgounov A., Khlestkina E. The strategy for marker-assisted breeding of anthocyanin-rich spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Western Siberia. Agronomy. 2020. № 10(10). P. 1603. DOI 10.3390/agronomy10101603.
- 10 Khlestkina E.K., Pshenichnikova T.A., Röder M.S., Börner A. Clustering anthocyanin pigmentation genes in wheat group 7 chromosomes. Cereal Research Communications. 2009. № 37(3). С. 391–398. DOI: 10.1556/CRC.37.2009.3.8
- 11 Khlestkina E.K. Genes determining the coloration of different organs in wheat. Russian Journal of Genetics: Applied Research. 2013. № 3(1). P. 54–65.
- 12 Loskutov I.G., Khlestkina E.K. Wheat, barley, and oat breeding for health benefit components in grain. Plants. 2021. 10:86.
- 13 Plaschke J., Ganal M.W., Roeder M.S. Detection of genetic diversity in closely related bread wheat using microsatellite markers. Theor. Appl. Genet. 1995. № 91(6–7). P. 1001–1007. DOI 10.1007/BF00223912.
- 14 Tereshchenko O.Y., Gordeeva E.I., Arbuzova V.S., Börner A., Khlestkina E.K. The D genome carries a gene determining purple grain colour in wheat. Cereal Research Communications. 2012. № 40(3). P. 334–341. DOI: 10.1556/CRC.40.2012.3.2

Ремонтантная земляника в условиях лесостепи Сибири

Петрук В.А., к. с.-х.н, в.н.с.; Боровикова Т.В., к.с.-х.н, с.н.с.

*СФНЦА Сибирский Федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН
п. Краснообск, Россия
email: Lagenaria@mail.ru*

Работа по изучению ремонтантной земляники проводилась в 2022–2023 годы в лаборатории экспериментальных исследований СФНЦА РАН «биополгон». Изучаемые сорта садовой ремонтантной земляники по продуктивности, морозостойкости и устойчивости к болезням могут быть пригодны для выращивания в товарных насаждениях. Для дальнейшего широкого производственного применения можно рекомендовать сорта Сельва и СанАндреас и районированный сорт Елизавета 2.

Ключевые слова: земляника; сорт; ремонтантность; интродукция; серая гниль; белая пятнистость; урожайность

Repair strawberries in the conditions of the Siberian forest-steppe

Petruk V.A., Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher; Borovikova T.V., Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher.

*Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia
email: Lagenaria@mail.ru*

Work on the study of repair strawberries was carried out in 2022-2023 in the laboratory of experimental research of the SFNCA RAS "biopolygon".

The studied varieties of garden repair strawberries in terms of productivity, frost resistance and resistance to diseases may be suitable for growing in commercial plantations. For further wide industrial use, Selva and San Andreas varieties and the zoned Elizabeth 2 variety can be recommended.

Key words: strawberry; variety; remontance; introduction; gray rot; white spot; yield

Ведущей ягодной культурой, имеющей широкое распространение во всех странах, вызывающая большой интерес в среде профессионалов и любителей-садоводов, является земляника садовая. Это одна из наиболее выгодных садовых культур кроме многочисленных своих преимуществ, она имеет более высокий потенциал урожайности и более быструю окупаемость затрат по закладке плантаций [1].

Главным сдерживающим фактором широкого развития промышленного садоводства в Западной Сибири являются неблагоприятные климатические условия с суровой и продолжительной зимой.

Степень акклиматизации растений зависит от соответствия биологических

ритмов интродуцируемых растений с климатическими условиями [2]. Несоответствие ритмов приводит к тому, что растения сильнее подвержены поражениям болезнями и вредителями, они погибают, не плодоносят, вымерзают [3, 4].

Поэтому, необходимо проводить работы по интродукции и сортоизучению земляники, выделять зимостойкие, устойчивые к вредителям и болезням сорта с максимальным проявлением хозяйственно полезных признаков.

Учеты и наблюдения проводили с сентября 2022 по октябрь 2023 гг. на коллекционном участке биополигона согласно «Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» [5].

Агротехника общепринятая для земляники без дополнительного внесения удобрений и стимуляторов роста. Химические средства защиты от болезней и вредителей не применялись.

За период проведения исследований, погодные условия складывались удовлетворительно для роста и развития земляники.

Даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С – 5 мая, 15 °С – 27 мая. Абсолютный максимум в июле составил 32,6 °С (14.07.2023).

Дата последнего весеннего заморозка в воздухе 18 мая (минус 1,3 °С), первого осеннего – 26 сентября (минус 2,2 °С); продолжительность безморозного периода составила 129 дней. В марте осадков выпало выше нормы на 80 %, в апреле и мае наблюдался дефицит на 66,7 % и 84 % соответственно.

В летние месяцы температура воздуха была выше нормы на 1,9–2,1 °С. В июне и июле наблюдался дефицит осадков на 54 и 13 %. В августе осадки превысили среднее многолетнее значение на 91 %.

Изучались такие показатели как, общее состояние растений перед уходом в зиму и весной, зимостойкость, прохождение фенологических фаз, устойчивость к болезням и урожайность.

Изучали девять ремонтантных сортов земляники: Сан-Андреас (Калифорния), Альбион (Италия), Елизавета II (Россия), Сельва (Америка), Остара (Голландия), Пинк-Панда (Англия), Вима-Рина (Голландия); Сеянец F-35 (Россия) и сорт Брайтон (Америка). Схема посадки – 35×100 см, однострочная.

Весной, в период усиленного роста и осенью перед уходом в зиму была проведена оценка общего состояния растений земляники и зимостойкость. В осенний период, растения ремонтантных сортов земляники Альбион, Сельва, Вима-Рина, Сеянец F-35, Остара имели хороший рост, поражения болезнями и вредителями почти незаметны – оценка 4 балла. Сорта Брайтон, Пинк-Панда и Елизавета-2 оценены удовлетворительно в 2 балла (растения с несколько ослабленным ростом, облиственность средняя, поражения болезнями и вредителями в средней степени). Сорт Сан-Андреас перед уходом в зиму имел ослабленный рост, листья не выравнены по высоте и размеру и значительно поражены пятнистостями, слабое состояние – 2 балла.

Зимой 2022–2023 г., сильных продолжительных заморозков не наблюдалось, но неблагоприятные метеоусловия, осенью (мало снега и низкие температуры), оказали влияние на растения.

Отлично перезимовали сорта Брайтон, Пинк-Панда, Сеянец F-35. Сорта Вима-Рина, Сан-Андреас, Елизавета 2 и Остара перезимовали хорошо, на этих сортах отмечены подмерзания до 25 %. Удовлетворительно перезимовали сорта Альбион и Сельва, на которых отмечено до 30 % подмерзание.

Несмотря на зимние повреждения, растения весной восстановились, имели хороший рост, были хорошо облиствены.

Возвратные заморозки в мае (1 и 18 мая) не повлияли на генеративные органы растений, у сортов отлично сохранились цветковые почки.

В таблице 1 представлены фенологические этапы и фазы развития земляники. Период от начала вегетации до начала цветения составил от 17 до 23 дней. Начало цветения у сортов земляники отмечено в период с 22 по 28 мая. Период «цветение – созревание ягод» длился 25–31 день. Самое длительное цветение отмечено у сортов Брайтон и Пинк-Панда – 120–123 дня, самое короткое у сорта Сельва – 87 дней.

Период плодоношения у сортов от 97 до 100 дней. Количество сборов 12–15.

Заморозки 27 сентября, оказались губительными для растений сортов Альбион, Сан-Андерсон и Елизавета-2; сорта Брайтон, Пинк-Панда, Сеянец F-35 и Остара продолжали цвести после 27 сентября. Частично цвели в это время Вима-Рина и Сельва. Конец цветения наступил 28 октября, когда температура воздуха опустилась до $-4,9^{\circ}\text{C}$, что привело к замерзанию цветков и недозрелых ягод.

Жаркая и сухая погода мая – июня повлияли на завязываемость ягод (табл. 1).

Таблица 1 – Завязываемость ягод у ремонтантных сортов земляники, 2023 г.

№ п/п	Сорт	Среднее количество, шт./ куст		% полезной завязи
		цветков	ягод	
1	Брайтон	199,0	151,0	75,00
2	Пинк-Панда	222,6	144,6	64,95
3	Альбион	113,0	92,6	81,94
4	Сельва	134,6	100,6	74,73
5	Вима-Рина	133,0	109,0	81,95
6	Сан-Андреас	107,6	92,0	85,50
7	Елизавета 2	118,0	101,3	85,84
8	Сеянец F-35	180,3	130,6	72,43
9	Остара	200,0	162,6	81,30

Наибольшее количество цветков образовалось у сорта Пинк-Панда, при этом % полезной завязи – наименьший. Наибольший процент полезной завязи у сортов Елизавета 2 и Сан-Андреас, более 85 %. По количеству ягод на куст выделились сорта Остара 162,6 шт., Брайтон 151 шт.

Наиболее распространенными болезнями на землянике являются белая пятнистость листьев и серая гниль.

Сорта и формы земляники не обладают иммунитетом к белой пятнистости, но сильно различаются по устойчивости к ней.

Учитывая потребность в данных исследованиях, была проведена оценка степени поражения растений земляники белой пятнистостью и ягод серой гнилью. В наших условиях перепады температур и избыточное количество осадков в августе, способствовали накоплению возбудителя белой пятнистости гриба *Ramularia tulasnei* Sacc и возбудителя серой гнили ягод гриба *Botrytis cinerea* Pers.

На всех сортах ремонтантной земляники отмечены поражения белой пятнистостью в 2–3 балла. Среднее поражение (2балла) отмечено у сортов Альбион, Сельва, Вима-Рина, Елизавета-2, Сеянец F-35и Остара. Сильное поражения (3балла) отмечено у сорта Брайтон, Пинк-Панда, Сан-Андреас.

Серая гниль является широко распространённой и очень вредоносной болезнью, особенно в регионах с большим количеством осадков и недостатком тепла. Из-за дефицита влаги в первой половине лета поражения ягод серой гнилью не наблюдалось, а в августе, сложились благоприятные условия для развития возбудителя гриба *Botrytis cinerea* Pers (осадков выпало выше нормы на 91 %). Серая гниль отмечена на сортах Брайтон, Пинк-Панда, Вима-Рина и образец 35. Процент поражения был незначительным от 2,4 до 4,4 %. На сортах Альбион, Сельва, Сан-Андреас, Елизавета 2 и Остара поражения серой гнилью не наблюдалось.

Наиболее устойчивыми к серой гнили ягод являются сорта Альбион, Сельва, Сан-Андреас, Елизавета 2 и Остара, толерантными к белой пятнистости – все коллекционные сорта ремонтантной земляники.

Урожайность – один из основных показателей, характеризующих ценность сорта. Урожайность земляники в первую очередь зависит от погодных условий и от количества образовавшихся цветоносов, а затем и ягод на них.

В таблице 2 представлены количественные морфологические признаки.

Таблица 2 – Морфологические признаки ремонтантных сортов земляники, 2023 г.

№ п/п	Сорт	Среднее кол-во штук на 1 растение		Среднее кол-во ягод на 1 цветоносе, шт.	Ягод на п/м, шт.
		цветоносов	ягод		
1	Брайтон	15,3	151,0	9,9	453
2	Пинк-Панда	24,6	144,6	5,9	434
3	Альбион	10,0	92,6	9,3	278
4	Сельва	12,3	100,6	8,2	302
5	Вима-Рина	13,6	109,0	8,0	327
6	Сан-Андреас	13,0	92,0	7,0	276
7	Елизавета 2	12,6	101,3	8,0	304
8	Сеянец F-35	20,3	130,6	6,4	392
9	Остара	19,3	162,6	8,4	488

Самое большое количество ягод (в среднем на 1 растение) образовалось у сортов; Остара – 162,6; Брайтон – 151,0; Пинк-Панда – 144,6. Больше всего ягод на одном цветоносе у сортов Брайтон – 9,9; Альбион – 9,3; и Остара – 8,4. Максимальное количество ягод с погонного метра у сортов Брайтон Пинк-Панда и Остара.

Таблица 3 – Урожайность ремонтантных сортов земляники, 2023 г.

№ п/п	Название сорта	Вес ягоды, г		Урожайность, г	
		средний	максимальный	с одного растения	с погонного метра
1	Брайтон	7,01	13,82	770,3	2310,94
2	Пинк-Панда	4,80	7,11	614,28	1842,84
3	Альбион	14,84	17,31	812,58	2437,74
4	Сельва	15,15	22,04	716,60	2149,81
5	Вима-Рина	14,15	20,00	784,77	2354,31
6	СанАндреас	13,35	24,37	918,72	2756,16
7	Елизавета 2	12,60	18,42	952,21	2856,64
8	Сеянец F-35	12,05	16,01	812,84	2438,53
9	Остара	4,14	8,43	785,92	2357,78

Максимальный средней вес ягоды у сортов Сельва (15,15 г), Альбион (14,84 г) и Вима Рина (14,15 г); минимальный средний вес ягоды – у сортов Остара (4,14 г) и Пинк-Панда (4,8 г).

Крупность ягод земляники варьировала от 7,11 – у сорта Пинк Панда до 24,37 г у сорта СанАндреас. Довольно крупные ягоды у сортов Вима-Рина Сельва, и Елизавета 2.

По урожайности выделились сорта Елизавета 2, Альбион, СанАндреас, Сеянец F-35.

Изучаемые сорта садовой ремонтантной земляники по продуктивности, морозостойкости и устойчивости к болезням могут быть пригодны для выращивания в товарных насаждениях. Для дальнейшего широкого производственного испытания можно рекомендовать сорта Сельва и СанАндреас и районированный сорт Елизавета 2.

Список литературы

- Куликов И.М., Айтжанова С.Д., Андронова Н.В., Борисова А.А., Тумаева Т.А. Модель промышленного сорта земляники садовой для условий средней полосы России.
- Упадышев Т.М., Тумаева Т.А., Борисова А.А., Андронова Н.В., Петрова А.А., Туть Е.А. Особенности формирования полевого репозитория земляники садовой. Аграрная наука Евро-Севера-Востока №5. 2021. С. 715–724.
- Беляев А.А. Болезни и вредители садовых культур Новосибирской области // Научно-практическое руководство по диагностике, профилактике и защитным мероприятиям. Новосибирск, 2013. 128 с.
- Стольников Н.П., Лутов В.И. Промышленная культура земляники в Сибири. Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2009. 207 с.
- Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Рос. акад. с.-х. наук. Всерос. науч.-исслед. ин-т селекции плодовых культур; Под общ. ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 606 с.

Изучение сопряженности процессов газообмена у коллекционных образцов *Trifolium alexandrinum* L. с высокой устойчивостью к абиотическим стрессорам на ювенильном этапе

Печегина Ю.В., н.с.; Думачева Е.В., д.б.н., в.н.с.; Печегин А.Ю., м.н.с.; Гребенников А.А., н.с., Усольцева Е.В., м.н.с.

Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса, г. Лобня, МО, Россия

**email: laboratory_ph@mail.ru*

*Оценка сопряженности основных физиологических процессов и продуктивности селекционных образцов на ювенильных этапах в связи с солеустойчивостью проводилась на 10 селекционных образцах *Trifolium alexandrinum*. Во всех диапазонах освещенности показатели параметров фотосинтетического аппарата: транспирация, межклеточная концентрация CO₂, скорость ассимиляции CO₂, квантовый выход, – устойчивых образцов превышают показатели неустойчивых образцов клевера.*

Ключевые слова: клевер александрийский; солеустойчивость; фотосинтез; квантовый выход; интенсивность ассимиляции; транспирация

Study of conjugation of gas exchange processes in collection specimens of *Trifolium alexandrinum* L. with high tolerance to abiotic stressors at the juvenile stage

Pechegina Y.V.; Dumacheva E.V.; Pechegin A.Y.; Grebennikov A.A.; Usoltseva E.V.

Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Lobnya, MR, Russia

**email: laboratory_ph@mail.ru*

*Assessment of the conjugation of the main physiological processes and productivity of breeding samples at juvenile stages in connection with salt tolerance was carried out on 10 breeding samples of *Trifolium alexandrinum*. In all light ranges, the indices of photosynthetic apparatus parameters: transpiration, intercellular CO₂ concentration, CO₂ assimilation rate, quantum yield, - of resistant samples exceed the indices of unstable clover samples.*

Key words: Alexandrian clover; salt tolerance; photosynthesis; quantum yield; assimilation intensity, transpiration

Однолетние клевера являются перспективным источником высокобелкового корма, особенно в смешанных посевах с однолетними злаковыми травами [1–3].

Они способны подавлять развитие сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур, обладают рядом других полезных свойств. Клевер александрийский (*Trifolium alexandrinum* L.) имеет прямые стебли, высотой растений 25–60 см. Соцветие представляет собой овально-коническую головку. В течение 90–120 дней протекает вегетационный период [4, 5].

На сегодняшний день всего два сорта клевера александрийского зарубежной селекции включены в Госреестр по Российской Федерации: Алекс и Виннер. В связи с этим важно создавать отечественный качественный селекционный материал клевера александрийского с повышенной урожайностью, а также устойчивостью к абиотическим факторам среды.

В ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» изучается биоресурсная коллекция *T. alexandrinum*. В серии предварительных лабораторных опытов 2022 г. по оценке потенциальной солеустойчивости из имеющихся в данной коллекции из 10 образцов *T. alexandrinum* были выделены две группы, условно названные «устойчивые» ($У_{Ал}$) (4 образца) и «неустойчивые» ($НУ_{Ал}$) (6 образцов). Проростки выращивали на торфяном субстрате до 28 суток. Исследования проводили на 28 сутки стандартными методами [6–8]. Концентрация 0,3 М NaCl была выбрана в результате предварительных экспериментов по отработке методики оценки устойчивости селекционных образцов к засолению [9, 10]. Повторность в опыте шестикратная.

У семядольных листьев клевера александрийского (*T. alexandrinum*) на ювенильном этапе оценивали устойчивость показателей интенсивности темнового дыхания и фотосинтеза к воздействию солей NaCl (рис. 1).

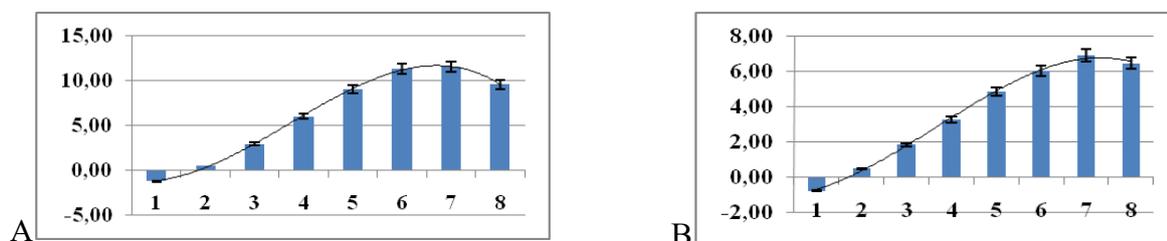


Рис. 1. Динамика интенсивности темнового дыхания и фотосинтеза (А) *T. Alexandrinum* на ювенильном этапе: А – устойчивые, $У_{Ал}$; В – неустойчивые, $НУ_{Ал}$

У устойчивых образцов $У_{Ал}$ интенсивность темнового дыхания составила – 1,18 $\mu\text{M} / \text{m}^2\text{c}$, у $НУ_{Ал}$ – 0,15 $\mu\text{M} / \text{m}^2\text{c}$, (у $У_{Ал}$ в 7,8 раз выше). Интенсивность фотосинтеза при освещенности в диапазоне от 50 $\mu\text{M} / \text{m}^2\text{c}$ до 1500 $\mu\text{M} / \text{m}^2\text{c}$ у $У_{Ал}$ была на 172,0 % выше, чем у $НУ_{Ал}$.

Проведена оценка динамики межклеточной концентрации CO_2 у семядольных листьев *T. alexandrinum*. В целом по опыту, она у $У_{Ал}$ была на 25,8% выше по сравнению с $НУ_{Ал}$. Рассчитали индексы, характеризующие отношение интенсивности ассимиляции к межклеточной концентрации CO_2 (A/C_i). У устойчивых форм *T. alexandrinum отношение A/C_i в среднем на 98,9 % выше, чем у образцов $НУ_{Ал}$.*

Оценивали интенсивность транспирации (E_{mm} , $\text{mM} / \text{m}^2\text{c}$) (рис. 2).

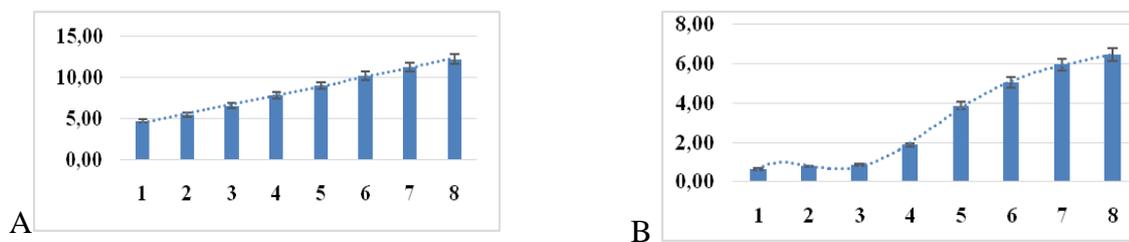


Рис. 2. Динамика интенсивности транспирации *T. alexandrinum* на ювенильном этапе: А – устойчивые, У_{Ал}; В – неустойчивые, НУ_{Ал}

В темноте показатель у У_{Ал} составил 4,70 мм/м²с – в 6,9 раза выше, чем у НУ_{Ал} – 0,68 мм/м²с. В диапазоне освещенности от 50 мкМ/м²с до 1500 мкМ/м²с у У_{Ал} транспирация была в 7,8 раз выше, чем у НУ_{Ал}. Тесно связан с водообменом показатель устьичной проводимости (gs_w, М м⁻² с⁻¹). В целом по опыту, значения устьичной проводимости у У_{Ал} были в 8,8 раз выше по сравнению с НУ_{Ал}.

Квантовый выход фотосинтеза при освещенности от 50 мкМ/м²с до 1500 мкМ/м²с у У_{Ал} превысил на 2,7% показатели НУ_{Ал} (рис. 3).

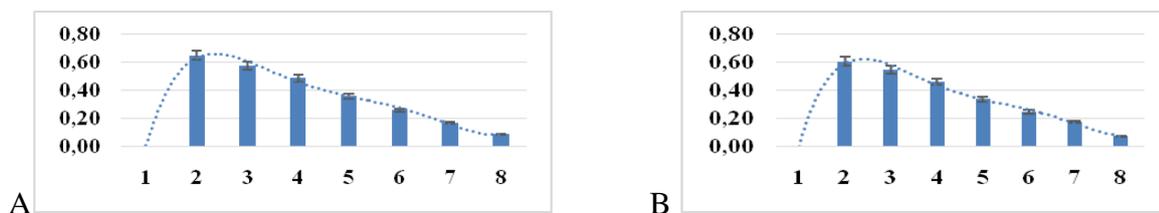


Рис. 3. Динамика квантового выхода фотосинтеза *T. alexandrinum* на ювенильном этапе: А – устойчивые, У_{Ал}; В – неустойчивые, НУ_{Ал}

В таблице приведены уравнения, описывающие световые кривые отдельных комплексных показателей газообмена семядольных листьев *T. alexandrinum* в зависимости от их устойчивости к воздействию солей.

Уравнения полиномиальных функций показателей газообмена семядольных листьев *T. alexandrinum* в зависимости от солеустойчивости

Вариант	Уравнение полиномиальной функции	R ²
Световые кривые фотосинтеза		
А	$-0,1196x^3 + 1,3311x^2 - 1,7155x - 0,5875$	0,9994
В	$-0,0397x^3 + 0,4358x^2 + 0,0143x - 1,0815$	0,9983
Световые кривые межклеточной концентрации CO₂		
А	$0,3608x^3 - 2,4598x^2 - 11,406x + 405,73$	0,9991
В	$-0,2383x^6 + 6,6731x^5 - 73,298x^4 + 395,25x^3 - 1060,4x^2 + 1286x - 361,37$	0,9996

Световые кривые газообмена *T. alexandrinum* на ювенильном этапе зависимости от устойчивости селекционных образцов характеризуются высокими коэффициентами аппроксимации (R²) – от 0,9933 до 0,9999. Полученные данные согласуются с результатами исследований [11].

Таким образом, установлено, что на ювенильном этапе онтогенеза в условиях

солевого стресса на фоне различной интенсивности ФАР отдельные показатели газообмена у устойчивых образцов *T. alexandrinum* превышают параметры неустойчивых форм: по интенсивности темнового дыхания – в 7,8 раз, по скорости ассимиляции CO₂ – на 42,9–75,1 %; межклеточной концентрации CO₂ – на 25,8 %; отношению интенсивности ассимиляции к межклеточной концентрации CO₂ – на 98,9 %; транспирации – в 5,17–12,0 раз; устьичной проводимости – в 8,8 раз, квантовому выходу фотосинтеза на 18,3–47,2 % только при интенсивностях ФАР от 600 μМ/ м²с и более.

Финансирование: Работа выполнена в рамках Нацпроекта «Наука и университеты» в рамках создания молодежных лабораторий по Госзаданию FGGW-2022-0013 «Разработка теоретических основ ускорения интродукции, селекции и повышения эффективности семеноводства сельскохозяйственных растений на основе оценки сопряженности фундаментальных физиологических процессов».

Список литературы

- 1 Бекузарова С.А., Датиева И.А. Снижение загрязненности почв однолетними видами клевера // Известия Горского государственного аграрного университета. 2018. Т. 55. № 3. С. 8–12.
- 2 Бекузарова С.А., Бушуева В.И., Албегов А.И. Однолетние виды клевера – оздоровители почвы // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2017. № S12. С. 208–209.
- 3 Думачева Е.В., Чернявских В.И. Почвенно-ризосферные взаимодействия некоторых видов Fabaceae при возделывании в культуре на карбонатных почвах // Фундаментальные исследования. 2012. № 9–2. С. 351–355.
- 4 Думачева Е.В., Чернявских В.И. Биоресурсный потенциал бобовых трав на меловых обнажениях и карбонатных почвах Европейской России. Белгород: Издательский дом «Белгород», 2014. 44 с.
- 5 Дегтярь О.В., Чернявских В.И. О состоянии степных сообществ юго-востока Белгородской области // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Биология. 2004. № 2. С. 254–258.
- 6 Мокроносов А.Т., Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты / под ред. профессора. И. П. Ермакова. М: Академия. 2006. 448 с.
- 7 Forage production under salt stress / S.E. Smith [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.naaic.org/stdtests/updated/pdfs/ForageProductionUnderSaltStress.pdf> (дата обращения: 28.02.2024).
- 8 Salt tolerance of germinating alfalfa seeds / M.D. Rumbaugh [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.naaic.org/stdtests/updated/pdfs/SaltToleranceGerminatingAlfalfaSeeds.pdf> (дата обращения: 28.02.2024).
- 9 Parsons D., Cherney J.H., Peterson P.R. Preharvest Neutral Detergent Fiber Concentration of Alfalfa as Influenced by Stubble Height // Agronomy journal. 2009. Vol. 101 (4). P. 769–774.
- 10 Dumacheva E.V., Sajfutdinova L.D., Pechegina Yu.V., Maksimova P.V., Usoltseva E.V., Panchenko E.D. Evaluation of the resistance of medicago breeding samples to the action of abiotic stressors at the early stages of ontogenesis // II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023) // BIO Web of Conferences, 010 (2023) CIBTA-II-2023. P. 01088. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237101088>

- 11 Думачева Е.В., Костенко С.И., Чернявских В.И., Печегина Ю.В., Гребенников А.А. Сравнительный анализ скорости ассимиляции CO₂ у однолетних видов *Trifolium* на ювенильном этапе онтогенеза // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник научных трудов, выпуск 32 (80) / ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса». Москва : ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2023. С.14–22.

DOI 10.18699/GPB2024-68

Результаты изучения исходного материала гороха в 2023 году для выделения источников высокой выраженности ценных признаков

Пискарев В.В.^{1}, к.с.-х.н., зав. лабораторией; Сухомлинов, В.Ю.¹, агроном I категории; Морозова Е.В.¹, м.н.с.; Семенова Е.В.², к.б.н., в.н.с.; Мышкин И.А.¹, аспирант.*

¹Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр институт цитологии и генетики Сибирского отделения российской академии наук», Краснообск, Россия

²Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

**email: piskaryov_v@mail.ru*

В результате проведенной научной работы в 2023 году выделены источники высокой выраженности основных хозяйственно ценных признаков гороха: Урожайность (418,8–599,6 г/м²) – 16 сортообразцов; масса семян с 1 растения (7,01–13,71 г) – 18; количество семян на 1 растение (28,5–57,9 шт.) – 18.

Ключевые слова: горох; сортообразец; источник; урожайность; масса семян с 1 растения; количество семян на 1 растение

Results of the study of pea varieties in 2023 to identify sources of high expression of aronomic traits

Piskarev V.V.^{1}, Sukhomlinov, V.Yu.¹, Morozova E.V.¹, Semenova E.V.², Myshkin I.A.¹*

¹Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Krasnoobsk, Russia

²Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint-Petersburg, Russia

**email: piskaryov_v@mail.ru*

As a result of the scientific work carried out in 2023, sources of high expression of the main economically valuable traits of peas were identified: yield (418.8–599.6 g/m²) – 16 varieties; weight of seeds per plant (7.01–13.71 g) – 18; number of seeds per plant (28.5–57.9 pcs.) – 18.

Key words: peas; variety; source; yield; weight of seeds per plant; number of seeds per plant

Горох является самой распространенной зернобобовой культурой, возделываемой в различных регионах Российской Федерации. За последние годы в нашей стране происходит увеличение площадей, засеваемых горохом, и по состоянию на 2022 год посевы гороха занимают 1615,9 тыс. га, при этом прирост к объемам 2021 г. составляет 11,8 % [1].

Обеспечение населения и животноводства достаточным количеством белковых продуктов питания требует создания и широкого внедрения высокопродуктивных сортов гороха [2]. Доля сорта в формировании урожайности по данным разных источников составляет от 30 до 70 %. Это наглядно демонстрирует важную роль селекции в обеспечении устойчивого развития сельского хозяйства. При правильном выборе сорта появляется возможность в максимальной степени использовать потенциал его продуктивности и за счет этого повысить реальные сборы зерна, не увеличивая затрат на производство [3].

Целью исследований является выделение источников высокой урожайности среди исходного материала различных морфотипов для использования в селекции гороха зернового направления, адаптированного к условиям Сибирского региона

Обработка почвы общепринятая для лесостепной зоны: ранневесеннее боронование 15 апреля 2023 г., культивация предпосевная КПС-4,1 в агрегате с трактором МТЗ-80.1. Семена протравили перед посевом препаратом Редиго® Про (ДВ: 150 г/л протиоконазола и 20 г/л тебуконазола) из расчета 0,5 л/т. Обработка гербицидом в фазу 1–3 настоящих листьев гороха (препаратом Юнкер, ВР (40 г/л Имазамокса) с нормой расхода 0,8 л/га). В фазу окончания цветения проведена фунгицидная обработка (препаратом Прозаро® (ДВ: 125 г/л протиоконазол и 125 г/л тебуконазола.) с нормой расхода 1,0 л/га) и инсектицидная обработки (БИ-58 новый, КЭ (400г/л диметоата) с нормой расхода 1,0 л/га).

Посев питомников проведен 10 мая 2023 г. сеялкой ССФК-7 в двух повторениях, площадь делянки 1 м², норма высева 1,2 млн всхожих семян на гектар. Стандарты Русь и Новосибирец. Всходы отмечены 25 мая 2023 г. Уборка проводилась 18 августа 2022 г., комбайном Сампо 130. В период вегетации проводили оценку и фенологические наблюдения согласно методическим указаниям ВИР [4]. Наименьшую существенную разницу рассчитывали по методике Доспехова [5].

В 2023 году отмечали повышенные температуры воздуха в течение всего вегетационного периода в среднем по месяцам и лишь во второй декаде мая и августа температуры были ниже среднемноголетних (–1,3 и –2,0 °С к среднемноголетнему значению). Самое значительное превышение (+8,4 °С) среднемноголетних значений температуры отмечены в 1 декаде июня, при этом осадков за данный период выпало лишь 27,8 % от среднемноголетнего. В целом первая половина вегетационного периода (май–июнь) характеризовалась острым недостатком осадков (14,9 и 47,5 %), тогда как в июле осадков было в пределах нормы (102,1 %) а в августе значительно

больше среднемноголетних значений (167,6 %). Наблюдаемое не равномерное распределение осадков привело к значительному сокращению урожайности в сравнении с более благоприятными годами в первую очередь за счет снижения коэффициента ветвления.

Урожайность достоверно большую ($HCP_{05} = 101,5$), чем стандарт Русь (290,8 г/м²) формировали 10 образцов усатого морфотипа – Kareni (599,6), Велес (584,4) Trendy (551,1), Самат (545,8), Vagoо (466,8), Ostinato (464,7), СГ Л 7577 3 (450,3), Факел (418,8), Сибирский богатырь (415,0) и М 250-8-1 (418,7 г/м²) при этом вегетационный период сортов был схож со стандартом (табл. 1), кроме сорта Факел, который созрел на 4,5 дня раньше стандарта Русь (66,5 дн.). Низкой технологичностью для механизированной уборки может характеризоваться образец М 250-8-1 с высотой прикрепления первого боба на уровне 16,5 см, у остальных сортообразцов от 20 см и выше.

Таблица 1 – Характеристика, выделившихся в результате изучения коллекционных образцов гороха усатого морфотипа, 2023 г.

№ ВИР	Название	1	2	3	4	5	6	7
	Русь (st)	8,5	66,5	42,0	5,13	20,7	250,3	290,8
10084	Триумф Сибири	9,0	64,5	50,0	4,63	28,7	161,7	287,7
9887	Буслай	4,0	64,0	67,5	6,11	32,1	190,3	325,0
10256	Зерноградский усатый	4,0	63,5	81,5	6,14	28,5	217,7	346,1
10107	Ямальский 305	8,0	64,5	65,0	7,01	36,2	193,9	356,7
10229	Рыжик	6,0	61,5	57,5	7,05	21,0	384,6	361,5
10197	Амулет	9,0	63,0	57,5	7,71	32,1	239,9	370,6
10203	ПХП 16 М 3-10	8,0	65,0	57,5	8,35	33,4	250,0	375,5
10210	КМ 11 ВК 22	9,0	64,0	62,5	6,44	28,9	221,9	383,7
10116	М 250-8-1	7,0	66,0	41,0	7,98	32,8	243,0	410,7
10093	Сибирский богатырь	4,0	67,5	95,0	6,93	39,5	176,0	415,0
10089	Факел	9,0	62,0	50,0	6,58	34,4	191,4	418,8
10258	СГ Л 7577 3	7,0	64,5	74,5	7,35	32,0	230,4	450,3
10204	Ostinato	8,0	66,0	65,0	6,88	34,0	202,2	464,7
10077	Vagoо	9,0	69,0	67,0	5,60	29,8	187,8	466,8
10096	Самат	8,0	68,5	72,5	7,36	40,5	184,1	545,8
10073	Trendy	9,0	66,5	62,5	7,06	32,0	219,9	551,1
10095	Велес	7,0	68,5	77,5	8,09	49,2	164,7	584,4
10076	Kareni	9,0	64,5	67,5	8,40	35,7	234,4	599,6
	HCP_{05}	1,5	3,0	13,3	1,31	7,4	46,4	101,5
	Среднее	7,7	64,9	58,4	6,14	28,7	221,1	373,3

1. Устойчивость к полеганию, балл; 2. Продолжительность периода всходы-созревание, дней; 3. Высота растения, см.; 4. Масса зерна с 1 растения, г.; 5. Количество семян с 1 растения, шт.; 6. Масса 1000 зёрен, г; 7. Урожайность, г/м².

Выделены источники высокой выраженности следующих элементов продуктивности:

- количество семян с 1 растения (28,5–49,2 шт.): Kareni, Велес, Trendy, Самат, Vagoо, Ostinato, СГ Л 7577 3, Факел, Сибирский богатырь, М 250-8-1, КМ 11 ВК 22,

ПХП 16 М 3-10, Амулет, Ямальский 305, Зерноградский усатый, Буслай, Триумф Сибири, у сорта Русь – 20,7 шт., НСР₀₅ = 7,4 шт.;

- масса семян с 1 растения (7,01-8,40 г): Kareni, Велес, Trendy, Самат, Ostinato, СГ Л 7577 3, Факел, Сибирский богатырь, М 250-8-1, ПХП 16 М 3-10, Амулет, Рыжик, Ямальский 305, у сорта Русь – 5,13 г, НСР₀₅ = 1,31 г.

Достоверное превышение стандарта Новосибирец (333,5 г/м²) по урожайности выявлено у 6 сортообразцов листочкового морфотипа: Schors Rappoldshofer (569,6), Елегант (531,1), Waldmanns (463,8), Сладкие бусы (454,9), g.0000783 (424,8) и Памяти Попова (424,6 г/м²), при значении НСР₀₅ = 87,5 г/м² (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика, выделившихся в результате изучения коллекционных образцов гороха листочкового морфотипа, 2023 г.

№ ВИР	Название	1	2	3	4	5	6	7
	Новосибирец (st)	1,5	66,8	83,8	5,80	37,8	154,0	333,5
9999	SH 94-63-1-4-2	8,0	61,0	47,0	6,11	24,7	244,3	355,9
10232	Миленок	8,0	63,0	51,5	8,98	57,9	155,2	382,5
10199	Е-026	3,0	70,0	82,5	9,47	39,2	242,5	413,9
10015	Фацет	7,0	60,5	41,5	6,98	23,6	306,9	420,1
10230	Памяти Попова	3,0	60,5	77,5	7,01	33,6	209,1	424,6
10177	g.0000783	1,0	64,0	90,0	7,97	21,5	371,3	424,8
10231	Сладкие бусы	1,0	65,0	112,0	9,37	44,6	210,0	454,9
10195	Waldmanns	1,0	61,5	70,0	8,04	27,3	337,6	463,8
10167	Елегант	1,0	65,0	67,5	10,68	42,7	251,2	531,1
10185	Schors Rappoldshofer	1,0	70,0	90,0	13,71	44,3	309,1	569,6
	НСР ₀₅	2,6	4,3	23,5	2,40	9,9	67,2	87,5
	Среднее	3,4	64,9	72,6	7,25	33,8	224,4	385,6

1. Устойчивость к полеганию, балл; 2. Продолжительность периода всходы-созревание, дней; 3. Высота растения, см.; 4. Масса зерна с 1 растения, г.; 5. Количество семян с 1 растения, шт.; 6. Масса 1000 зёрен, г; 7. Урожайность, г/м².

При этом сортообразец g.0000783 характеризовался ещё и длинным стеблем (112,0 см). Устойчивость к полеганию данных образцов была очень низкая (1–3 балла), но на уровне стандарта Новосибирец (1,5 балла). Высокая устойчивость к полеганию (7 и более баллов) отмечена у трех образцов, формирующих урожайность на уровне стандарта (все образцы формировали короткий стебель 41,5–52,5 см) – Фацет, Миленок и SH 94-63-1-4-2.

В качестве источников высокой выраженности ценных признаков можно рекомендовать следующие сортообразцы:

- по массе семян с 1 растения – Schors Rappoldshofer (13,71), Елегант (10,68), Сладкие бусы (9,37), Е-026 (9,47) и Миленок (8,98 г), у стандарта Новосибирец 5,80 г, НСР₀₅ = 2,40;

- по количеству семян с 1 растения – Миленок (57,9 шт.).

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН FWNR-2022-0018.

Список литературы

- 1 Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии) // Росстат. Федеральная служба государственной статистики [Офиц. сайт]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения: 06.09.2022).
- 2 Багиров В.А., Журавлева Е.В. ВИР: Бюро по прикладной ботанике – Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов имени Н.И. Вавилова // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 7. С. 5–6.
- 3 Алабушев А.В. Сорт как фактор инновационного развития зернового производства // Зерновое хозяйство России. 2011. № 3 (15). С. 8–11.
- 4 Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Филипенко Г.И., Александрова Т.Г., Егорова Г.П., Яньков И.И., Булынец С.В., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых вир: Пополнение, сохранение и изучение: Методические указания. Изд. 2-е, перераб. и доп. Санкт-Петербург: ВИР. 2018. 143 с.
- 5 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник. Изд. 5-е, доп. и перераб. М.: Агропромиздат. 1985. 351 с.

DOI 10.18699/GPB2024-69

Анализ влияния аллелей *Vrn-1* и *Ppd-1* на хозяйственно ценные признаки мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.)

Плотников К.О. инж., Клименко А.И., к.б.н., н.с.; Лашин С.А., к.б.н., в.н.с.*

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

**email: ko.plotnikov@bionet.nsc.ru*

*Время колошения пшеницы в основном определяется генами локусов: *VRN-1* (реакция на яровизацию) и *PPD-1* (реакция на фотопериод). Были изучены пять наборов изогенных линий (NILs) с целью установления влияния вышеупомянутых генов на продолжительность вегетационного периода пшеницы и признаки, связанные с урожайностью. Молекулярные маркеры были использованы для оценки аллельного состава в локусах *VRN-1* и *PPD-1*. Было установлено, что наличие аллеля *Vrn-A1a* влияет на время колошения, в то время как наличие *Ppd-D1a* связано с уменьшением высоты растений.*

*Ключевые слова: *Triticum aestivum*; аллели *VRN-1*; аллели *PPD-1*; скороспелость; урожайность*

Analysis of the effect of *Vrn-1* and *Ppd-1* alleles on adaptive and agronomic traits of common wheat (*Triticum aestivum* L.)

Plotnikov K.O., Klimenko A.I., Lashin S.A.*

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

**email: ko.plotnikov@bionet.nsc.ru*

The earing time of wheat is mainly determined by the genes of the loci: VRN1 (reaction to springization) and PPD-1 (reaction to photoperiod). Five sets of isogenic lines (NILs) were studied in order to establish the effect of the above-mentioned genes on the duration of the growing season of wheat and yield-related traits. Molecular markers were used to assess the allelic composition at the VRN-1 and PPD-1 loci. It was found that the presence of the Vrn-A1a allele affects the earing time, while the presence of Ppd-D1a is associated with a decrease in plant height.

Key words: Triticum aestivum; VRN-1 alleles; PPD-1 alleles; precocity; yield

Адаптивность пшеницы к различным условиям окружающей среды и потенциал урожайности в решающей степени зависят от ее фенологии и способности регулировать переход от вегетативного к репродуктивному развитию [1–3]. Поэтому наиболее привлекательным в условиях глобального изменения климата является создание сортов мягкой пшеницы с коротким вегетационным периодом.

У пшеницы продолжительность вегетационного периода контролируется генами яровизации (*Vrn-1*) и реакции на фотопериод (*Ppd-1*) [4–6].

У мягкой пшеницы реакция на яровизацию контролируется аллелями в локусах *VRN-A1*, *VRN-B1* и *VRN-D1* [7, 8]. Аллельная комбинация гена *Vrn1* определяет, должны ли быть выполнены требования к яровизации (длительному воздействию низких температур) пшеницы. Наличие по крайней мере одного доминантного аллеля *Vrn-1* определяет характер весеннего роста независимо от аллельного состояния других генов, в то время как комбинация всех рецессивных аллелей *Vrn-1* приводит к появлению озимой пшеницы [7, 8]. Таким образом, сорта с доминантным аллелем *Vrn-A1* зацветают раньше, чем сорта с доминантными аллелями *Vrn-B1* или *Vrn-D1*, а растения с доминантным *Vrn-B1* демонстрируют самое позднее время цветения из всех. Благодаря влиянию на рост и развитие, *Vrn1* играет важную роль в адаптации пшеницы и формировании урожайности в различных условиях. Таким образом, для различных агроклиматических зон были определены различные комбинации аллелей *Vrn-1*, обеспечивающие адаптивность пшеницы. Так, согласно исследованию, касающемуся европейских образцов яровой пшеницы, самая высокая средняя урожайность с растения была зафиксирована для генотипов *Vrn-A1* и *Vrn-A1+Vrn-B1*, в то время как раннеспелые носители всех трех доминантных аллелей *Vrn-1* страдали от снижения урожайности.

Как только требования к яровизации будут выполнены, продолжительность светового дня станет еще одним важным фактором индукции цветения пшеницы. Таким образом, нечувствительные к фотопериоду или нейтральные к дневному времени сорта пшеницы быстро цветут на длинном (~16 часов в сутки) и коротком дне (<12 часов в сутки), в то время как чувствительные к фотопериоду сорта быстро цветут в длинные дни и позже в короткие дни. Чувствительность пшеницы к фотопериоду регулируется *Ppd-1*, аллели, которого локализованы на хромосомах 2 A

(*Ppd-A1*), 2B (*Ppd-B1*) и 2D (*Ppd-D1*). К настоящему времени у мягкой пшеницы описано несколько аллелей *Ppd-1* и показано, что аллель *Ppd-D1a* оказывает наиболее сильное влияние на чувствительность пшеницы к фотопериоду и раннее колошение. Аллель *Ppd-1a* широко распространен по всему миру и способствует улучшению адаптивности сортов пшеницы к различным условиям окружающей среды.

Для удовлетворения мирового спроса на пшеницу необходимо провести дальнейшие исследования в области молекулярной генетики регулирования времени созревания растений и его связи с признаками, связанными с урожайностью. Изогенные линии (NILs) – важный инструмент, используемый в генетике сельскохозяйственных культур для детального картирования одного или нескольких специфических локусов. В пределах одного набора все NILs имеют генетически идентичный фон, за исключением специфического целевого генетического локуса/локусов-мишеней. Это означает, что практически любые фенотипические различия, зарегистрированные между NILs, будут обусловлены целевым локусом/локусами-мишенями, и, следовательно, может быть установлена ассоциация фенотип-генотип. В этом исследовании мы использовали пять наборов NILs по локусам *Vrn-1*, всего 14 почти изогенных линий (см. таблицу).

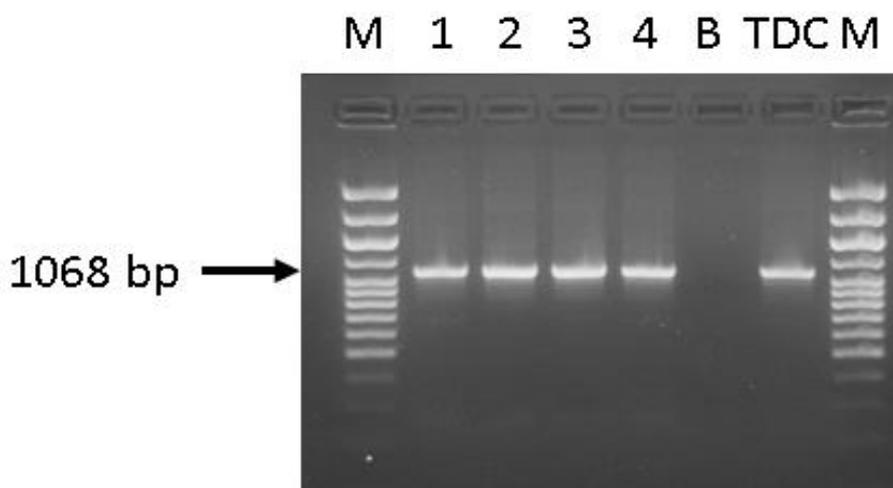
Аллельная комбинация *Vrn-1* NILs, использованных в данном исследовании

Название NILs	Сокращение	Предполагаемый аллельный состав генов <i>Vrn-1</i>
Скороспелка 3b (Vrn1)	Sk3b (Vrn-A1)	<i>Vrn-A1 vrn-B1 vrn-D1</i>
Скороспелка 3b (Vrn2)	Sk3b (Vrn-B1)	<i>vrn-A1 Vrn-B1 vrn-D1</i>
Скороспелка 3b (Vrn3)	Sk3b (Vrn-D1)	<i>vrn-A1 vrn-B1 Vrn-D1</i>
Johnes Fife (Vrn1)	JF (Vrn-A1)	<i>Vrn-A1 vrn-B1 vrn-D1</i>
Johnes Fife (Vrn3)	JF (Vrn-D1)	<i>vrn-A1 vrn-B1 Vrn-D1</i>
Мироновская 808 (Vrn1)	M808 (Vrn-A1)	<i>Vrn-A1 vrn-B1 vrn-D1</i>
Мироновская 808 (Vrn2)	M808 (Vrn-B1)	<i>vrn-A1 Vrn-B1 vrn-D1</i>
Мироновская 808 (Vrn3)	M808 (Vrn-D1)	<i>vrn-A1 vrn-B1 Vrn-D1</i>
Прибой (Vrn1)	Pr (Vrn-A1)	<i>Vrn-A1 vrn-B1 vrn-D1</i>
Прибой (Vrn2)	Pr (Vrn-B1)	<i>vrn-A1 Vrn-B1 vrn-D1</i>
Прибой (Vrn3)	Pr (Vrn-D1)	<i>vrn-A1 vrn-B1 Vrn-D1</i>
Triple Dirk D	TDD	<i>Vrn-A1 vrn-B1 vrn-D1</i>
Triple Dirk B	TDB	<i>vrn-A1 Vrn-B1 vrn-D1</i>
Triple Dirk E	TDE	<i>vrn-A1 vrn-B1 Vrn-D1</i>

Для всех изученных NILs аллельный состав в локусах *Vrn-1* соответствовал предполагаемому. Более того, эти аллели *Vrn-1* совпадали с аллелями, идентифицированными в линиях TDD, TDB и TDE (см. рисунок).

Помимо аллельного состава были установлены различия во времени колошения между NIL были изучены в несколько этапов. Для каждого набора NIL носители аллеля *Vrn-A1a* характеризовались значительно более коротким временем до колошения по сравнению с NIL, которые обладали доминантными аллелями *Vrn-B1* или

Vrn-D1. Помимо этого, достоверные различия во времени колошения были зафиксированы между носителями доминантных аллелей *Ppd-1a* (Sk3b (*Vrn-D1*) и TDE) и носителями рецессивных аллелей *Ppd-1b* (M808 (*Vrn-D1*) и JF (*Vrn-D1*)), а также между JF (*Vrn-D1*) и M808 (*Vrn-D1*).



Определение аллелей *Vrn-1* в NILs: М – ДНК- маркер, 1 – TDB, 2 – Sk3b (*Vrn-B1*), 3 – M808 (*Vrn-B1*), 4 – Pr (*Vrn-B1*), В – вода, TDC – контроль

Результаты показывают, что *Vrn-A1a* и *Ppd-D1a* являются важными генетическими факторами, влияющими на архитектуру растений, показатели урожайности и фенологию. Интересно, что наличие аллелей *Ppd-1a* влияет на время колошения и высоту растения даже при длинном световом дне. В нашем исследовании растения с генотипом *Ppd-1a* в целом демонстрировали ускоренный рост по сравнению с носителями генотипа *Ppd-1b*, что означает, что даже при длительном фотопериоде, характерном для более высоких и средних широт, аллели *Ppd-1a* придают пшенице раннюю урожайность.

В нашем исследовании было изучено влияние различных аллельных комбинаций *Vrn-1* и *Ppd-1* на адаптивные и агрономические признаки пшеницы обыкновенной в условиях, близких к идеальным, имитирующим ситуацию длительного вегетационного периода с благоприятными условиями орошения и длительным фотопериодом. Однако было бы интересно дальнейшее подтверждение эффективности этих NILs в ходе полевых экспериментов в различных агроклиматических зонах и при различных условиях фотопериода. Информация, полученная в этом исследовании, может быть использована селекционерами для ускорения селекционного процесса в направлении адаптации пшеницы к изменяющимся условиям окружающей среды.

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ № 22-16-20026 и Правительства Новосибирской области.

Список литературы

1 Cockram J.; Jones H.; Leigh F.J.; O’Sullivan D.; Powell W.; Laurie D.A.; Greenland A.J. Con-

- trol of Flowering Time in Temperate Cereals: Genes, Domestication, and Sustainable Productivity. *Journal of Experimental Botany* 2007, 58, 1231–1244, doi:10.1093/jxb/erm042;
- 2 Fjellheim S.; Boden S.; Trevaskis B. The Role of Seasonal Flowering Responses in Adaptation of Grasses to Temperate Climates. *Front. Plant Sci.* 2014, 5, doi:10.3389/fpls.2014.00431;
 - 3 Horvath A.; Kiss T.; Berki Z.; Horvath A.D.; Balla K.; Cseh A.; Veisz O.; Karsai I. Effects of Genetic Components of Plant Development on Yield-Related Traits in Wheat (*Triticum Aestivum* L.) under Stress-Free Conditions. *Front. Plant Sci.* 2023, 13, 1070410, doi:10.3389/fpls.2022.1070410;
 - 4 Snape J.W.; Butterworth K.; Whitechurch E.; Worland A.J. Waiting for Fine Times: Genetics of Flowering Time in Wheat. *Euphytica* 2001, 119, 185–190, doi:10.1023/A:1017594422176;
 - 5 Goncharov N.P. Response to Vernalization in Wheat: Its Quantitative or Qualitative Nature. *cereal research communications* 2004, 32, 323–330, doi:10.1007/BF03543317;
 - 6 Distelfeld A.; Li C.; Dubcovsky J. Regulation of Flowering in Temperate Cereals. *Current Opinion in Plant Biology* 2009, 12, 178–184, doi:10.1016/j.pbi.2008.12.010;
 - 7 Law C.N.; Worland A.J.; Giorgi B. The Genetic Control of Ear-Emergence Time by Chromosomes 5A and 5D of Wheat. *Heredity* 1976, 36, 49–58, doi:10.1038/hdy.1976.5;
 - 8 Dubcovsky J.; Lijavetzky D.; Appendino L.; Tranquilli G. Comparative RFLP Mapping of *Triticum Monococcum* Genes Controlling Vernalization Requirement: *Theor Appl Genet* 1998, 97, 968–975, doi:10.1007/s001220050978;

DOI 10.18699/GPB2024-70

Изучение коллекции сои (*Glycine max* (L.) Merr.) для селекции на урожайность и содержание белка в зерне в условиях Западной Сибири

Потапов Д.А.^{1*}, к.с.-х.н., в.н.с., Перфильев Р.Н.², м.н.с., Салина Е.А.², д.б.н., г.н.с., Полюдина Р.И.¹, д.с.-х.н., г.н.с.

¹Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН, Краснообск, Россия

²Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: potapov.dmytry@yandex.ru

Проведено изучение коллекции сортообразцов сои (образцы коллекции генетических ресурсов растений ВИР, учреждений-оригинаторов и собственный селекционный материал). Семенная продуктивность этих образцов составила от 7,0 до 25,5 г/раст. Содержание белка в семенах колебалось в пределах 35,4–43,2 %. Выделены формы, превышающие стандартный сорт по содержанию белка в семенах и семенной продуктивности.

Ключевые слова: соя; селекция; коллекция; содержание белка; урожайность

The study of the soybean collection (*Glycine max* (L.) Merr.) for breeding for yield and protein content in grain under conditions of West Siberia

Potapov D.A.^{1*}, Perfiliev R.N.², Salina E.A.², Polyudina R.I.¹

¹Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies RAS, Krasnoobsk, Russia

The study of the collection of soybean cultivars (accessions from the collection of the genetic resources of VIR plants and originator institutions, as well as own breeding material) has been carried out. The seed productivity of these accessions varied from 7.0 to 25.5 grams per plant. The protein content of the seeds varied from 35.4 % to 43.2 %. Forms that exceed the standard variety with regard to protein content in seeds and seed productivity were identified.

Key words: soybean; breeding; collection; protein content; yield

Соя культурная (*Glycine max* (L.) Merr.), благодаря своим биологическим особенностям, является источником ценного растительного белка и масла [1,2]. Создание высокоурожайных сортов сои с повышенным содержанием белка в зерне является приоритетным направлением в селекционных программах Сибири [3].

Цель работы – изучить изменчивость коллекционных образцов по основным селекционно ценным признакам и выявить среди них перспективные формы для создания сортов, адаптированных к условиям Западной Сибири.

Работа проведена на центральной экспериментальной базе Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Российской академии наук, расположенной в лесостепной зоне Новосибирской области (пос. Краснообск) в 2022–2023 гг. Почва опытных участков – чернозем выщелоченный среднесуглинистый.

Материалом для исследования служили образцы коллекции генетических ресурсов растений ВИР, учреждений-оригинаторов, и собственный селекционный материал, созданный с использованием методов гибридизации, мутагенеза и разных видов отбора.

Закладку питомников, учеты и наблюдения проводили по общепринятым методикам. Посев и уборку растений проводили вручную, учитывали количество растений на делянке. В лабораторных условиях по семенной продуктивности и ее составляющим элементам анализировали 30 растений каждого образца. Содержание белка в зерне сои определяли на инфракрасном экспресс-анализаторе OmegaAnalyzer G (Bruins Instruments, Germany). Для статистической обработки данных использовали пакет прикладных программ «Снедекор» [4].

Результаты изучения 180 сортообразцов сои в коллекционных питомниках показали, что средние значения изученных признаков были выше в 2021 г. (табл. 1). Снижение семенной продуктивности коллекционных образцов сои в 2022 г. по сравнению с 2021 г. связано с засушливыми условиями вегетационного сезона этого года.

Верхние границы размаха изменчивости указывают на возможность отбора форм с высокими показателями по этим признакам, и вовлечения их в селекционный процесс с использованием методов отбора или гибридизации.

Таблица 1 – Семенная продуктивность и содержание белка в семенах у коллекционных образцов сои

Признак	$\bar{x} \pm s_x$		разброс (от–до)	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Семенная продуктивность, г	14,7±0,2	11,5±0,1	7,0–25,5	7,3–17,4
Содержание белка, %	40,1±0,1	39,0±0,1	35,4–43,2	36,2–42,1

Корреляционный анализ не выявил достоверной связи между массой семян на растении и содержанием в них белка ($r = -0,14 \dots -0,28$), что свидетельствует о некоторой возможности максимального выражения этих признаков в одном сорте.

В результате изучения коллекции в 2021–2022 гг. были выделены сортообразцы, превышающие стандартный сорт СибНИИК-315 по содержанию белка в зерне на 0,2–2,4 %. Семенная продуктивность этих образцов достоверно была на уровне стандарта или выше (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика образцов сои с высоким содержанием белка в семенах, 2021–2022 гг.

Линия	Содержание белка		Семенная продуктивность	
	%	± к ст.	г	% к ст.
Protina	43,1	2,4	13,9	113
№ 435	41,6	0,9	10,4	85
№ 232	41,3	0,6	11,7	95
Svetlaya	41,3	0,6	12,1	98
Soer-4	41,2	0,5	12,8	104
Maple Presto	41,1	0,4	13,8	112
№ 136	40,9	0,2	11,5	93
СибНИИК-315, ст.	40,7	0	12,3	100

Таким образом, изучение коллекционных образцов сои позволило выделить материал для создания сортов с повышенным содержанием белка в зерне, адаптированный к условиям Западной Сибири. Получены линии, превышающие стандартный сорт по этому признаку на 2,4 %.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-76-30003).

Список литературы

- 1 Clevinger E.M., Biyashev R., Haak D., Song Q., Pilot G., Saghai Maroof M.A. Identification of quantitative trait loci controlling soybean seed protein and oil content. PLoS One. 2023 Jun 23;18(6):e0286329. doi: 10.1371/journal.pone.0286329.
- 2 Tamagno S, Aznar-Moreno J.A., Durrett T.P., Vara Prasad P.V., Rotundo J.L., Ciampitti I.A. Dynamics of oil and fatty acid accumulation during seed development in historical soybean varieties. Field Crops Research. 2020. 248. 107719. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107719>
- 3 Потапов Д.А., Перфильев Р.Н., Максименко К.В., Щербань А.Б., Полюдина Р.И., Салина Е.А. Создание скороспелых линий сои (*Glycine max* (L.) Merr.) в условиях Западной Сибири // Агронаука. 2023. Том 1. № 1. С.23–27.
- 4 Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. 2-е изд. Краснообск, 2010. 282 с.

Получение нового селекционного материала с транслокацией, несущей ген устойчивости *Lr42*

*Потешкина А.А. *, м. н. с., Апарина В.А., м. н. с., Сухомлинов В.Ю., агроном I категории, Пискарев В.В., к. с.-х. н., зав. лаб. биотехнологии сельскохозяйственных растений.*

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

**email:alina.lisa-91@yandex.ru*

*Селекция на иммунитет повышает урожайность сельскохозяйственных культур, в том числе и яровой мягкой пшеницы. В процессе эволюции постоянно возникают новые расы патогенов, и преодолевается устойчивость эффективных генов. Дикие виды пшеницы несут в себе большое генетическое разнообразие и могут стать источником для переноса эффективных генов устойчивости. Цель исследования заключалась в том, чтобы получить ценный селекционный материал с транслокацией *Lr42*, перенесенной от дикого предка *Aegilops tauschii* Coss. В июле 2022 года была проведена гибридизация и получены гибриды первого поколения, которые осенью были беккроссированы. В 2023 был проведен фитопатологический анализ в лабораторных условиях, для выявления устойчивых рекомбинантов. В результате данного исследования были получены гибриды и беккроссы в количестве 13 и 327 зерен соответственно, а также выделены 19 устойчивых линий в комбинациях Сибирска12×KS91WGRC11 (*Lr42*) × Сибирска12 и Сибирска14 × KS91WGRC11 (*Lr42*) × Сибирска14.*

Ключевые слова: пшеница; бурая ржавчина; транслокация; устойчивость

Obtaining a new breeding material with a translocation carrying the *Lr42* resistance gene

*Poteshkina A.A. *, Aparina V.A, Sukhomlinov V. Yu , Piskarev V.V.*

Siberian Research Institute of Plant Cultivation and Breeding – Branch of Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**email:alina.lisa-91@yandex.ru*

*Breeding for immunity increases crop yields. Wild wheat species carry great genetic diversity and are a source of effective resistance genes. The aim of the study was to obtain valuable breeding material with *Lr42* translocation. As a result of the study, we obtained F_1 and F_1BC_1 in the amount of 13 and 327 grains, respectively. In 2023, a phytopathological analysis was carried out in the laboratory, as a result, we identified 19 resistant lines.*

Key words: wheat; leaf rust; translocation; resistance

Селекция на иммунитет играет огромную роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и яровой мягкой пшеницы. В настоящее время, в современной селекции используют генетическое разнообразие близкородственных видов [1, 2].

Дикие виды пшеницы несут в себе большое количество уникальных генов. Например, виды рода *Aegilops* наиболее привлекательны для определения новых источников эффективных генов устойчивости. *Aegilops tauschii* Coss – прародитель генома D пшеницы. Его привычным местом распространения являются восточная Турция, Пакистан и Китай. *Aegilops tauschii* Coss легко скрещивается с пшеницей, поэтому этот вид часто используют в качестве источника ценных генов, потерянных в процессе селекции современных сортов [3, 4].

Puccinia triticina – одно из самых распространенных заболеваний мягкой пшеницы. Возбудитель в процессе своей жизнедеятельности уменьшает синтез органического вещества в растении, из-за снижения процесса фотосинтеза. Потери урожая при развитии заболевания могут достигать 40 % и выше. На территории Западной Сибири в отдельные годы заболевание достигает размера эпифитотии, при этом потеря урожая может составлять 30 %. Таким образом, создание сортов с интрогрессиями генов устойчивости, является актуальным [5–7].

Ген устойчивости к бурой ржавчине *Lr42* расположен на хромосоме 1DS. В сорт пшеницы Century был введен от дикого предка *Aegilops tauschii* Coss путем прямого скрещивания, затем последовали несколько возвратных с Century. Далее он был выделен в линии зародышевой плазмы KS91WGRC11. Ген *Lr42* широко использовался в международной программе селекции пшеницы CIMMYT, в результате чего, полученные сорта, были внедрены в нескольких странах [8–10].

В задачи исследования входило:

1. Получить гибриды F₁, от скрещивания двух сортов яровой мягкой пшеницы (Сибирская 14 и Сибирская 12) различных групп спелости с донором гена *Lr42*.
2. Получить F₁BC₁ от гибридов первого поколения (Сибирская 12 × KS91WGRC11(*Lr42*); Сибирская 14 × KS91WGRC11 (*Lr42*) при скрещивании с материнскими растениями.
3. Подтвердить наличие и отсутствие транслокации в рекомбинантах с помощью фитопатологического теста.

В июле 2022 года была проведена кастрация материнских форм в момент, когда в материнском растении находятся еще зеленые пыльники. После кастрации с помощью пергаментных изоляторов из бумаги изолировали колос. Через 3–4 суток после кастрации провели искусственное опыление материнских растений «твел»-методом. Для того, чтобы ускорить селекционный процесс, полученные гибриды были высеяны в этот же год в теплице и беккроссированы [11].

В 2023 году посев рекомбинантов и сортов-реципиентов провели на опытном поле лаборатории генофонда растений по черному пару. Посев ручной сажалкой РС-

2 на глубину 5–6 см., площадь питания растений 100 см². Сорто-реципиенты высевали по 2 рядка в 4 повторениях, гибриды (F₂BC₁) по 1 рядку без повторений [11].

Однако в связи с погодными условиями (ГТК в июне составил 0,46, а в июле 0,93, что означает низкую и недостаточную влагообеспеченность) проявления бурой ржавчины не наблюдалось, фитопатологический тест провели в лабораторных условиях по следующей методике:

Посев рекомбинантов осуществили в пластиковые контейнеры (0,7 л), в торфяной субстрат. На 7–10 день после всходов была проведена инокуляция спорами бурой ржавчины. Споры в водной суспензии распылили при помощи пульверизатора. Инокулированные растения помещали во влажную камеру на 24 ч при соблюдении полной темноты. Затем растения выращивали в изолирующих камерах при 16 часовом световом дне и температуре 20–22 °С [12, 13].

Оценку устойчивости провели на 10 день после заражения по шкале Майнса и Джексона (см. таблицу) [14].

Оценка рекомбинантов F₁BC₁ на устойчивость к бурой ржавчине, 2023 г.

Комбинация	Оценка, балл
KS91WGRC11 (<i>Lr42</i>)	1
Хакасская	3
(Сибирская 12 × KS91WGRC11 (<i>Lr42</i>)) × Сибирская 12	
Сибирская 12	3
11.10-3	1
11.2-5	1
13.1-7	1
13.9-2	1
13.8-4	1
13.2-6	1
15.1-2	1
15.4-1	1
15.4-6	1
(Сибирская 14 × KS91WGRC11 (<i>Lr42</i>)) × Сибирская 14	
Сибирская 14	3
25.2-4	2
25.2-5	1
25.4-1	0
25.4-4	1
25.5-8	1
25.6-3	1
25.10-2	1
25.10-7	1
26.2-2	1
26.6-5	1

В результате проведенных исследований были получены гибриды первого поколения в количестве 13 зерен от скрещивания двух сортов яровой мягкой пшеницы (Сибирская 14 и Сибирская 12) различных групп спелости с донором гена *Lr42*. Для того, чтобы ускорить селекционный процесс, полученные гибриды были высеяны в

этот же год в теплице и беккроссированы. По итогам беккроссирования было получено 327 гибридных зерен. С помощью фитопатологический анализа, проведенного в лабораторных условиях, были выделены 19 устойчивых линий, которые будут использованы в дальнейшей селекционной работе.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0008.

Список литературы

- 1 Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Сидоров А.В. Физиологическая специализация возбудителя бурой ржавчины пшеницы в Красноярском крае // Сельскохозяйственная наука. 2019. № 1. С. 29–36.
- 2 Сколотнева Е.С., Кельбин В.Н., Шаманин В.П., Бойко Н.И., Апарина В.А., Салина Е.А. Ген *Sr38*: значение для селекции мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 7. С. 740–745.
- 3 Gaurav K., Arora S., Silva P., Sánchez-Martín J., Horsnell R., Gao L. Population genomic analysis of *Aegilops tauschii* identifies targets for bread wheat improvement // Nature biotechnology. 2022. V 40. P. 422–430.
- 4 Silva P. Breeding strategies for improving pest and disease resistance in wheat. Kansas State University. 2021. P. 188.
- 5 Bolton M.D., Kolmer J.A., Garvin D.F. Wheat Leaf Rust Caused by *Puccinia Triticina*. // Mol. Plant Pathol. 2008. V 9. P. 563–575.
- 6 Hui Wu, Zhanhai Kang, Xing Li, Yanyan Li, Yi Li, Shuo Wang, Daqun Liu. Identification of wheat leaf rust resistance genes wheat cultivars and the improved germplasms // Plant Disease. 2020 P.2669–2680.
- 7 Сочалова Л.П., Бойко Н.И., Потешкина А.А., Пискарев В.В. Эффективные в Новосибирской области гены устойчивости пшеницы к бурой ржавчине в связи с изменчивостью популяции *Puccinia triticina* // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. № 184(2). С. 235–244.
- 8 Guifang Lin, Hui Chen, Bin Tian. Cloning of the broadly effective wheat leaf rust resistance gene *Lr42* transferred from *Aegilops tauschii*. // Nature communications. 2022. P.12.
- 9 Germplasm Releases From The Wheat Genetics Resource Center // Kansas State University URL: https://www.k-state.edu/wgrc/genetic_resources/germ_plasm_releases_from_the_wgrc.html (дата обращения: 09.03.2023).
- 10 Guifang Lin, Hui Chen, Bin Tian, Sunish K. Sehga, Lovepreet Singh Cloning of the broadly effective wheat leaf rust resistance gene *Lr42* transferred from *Aegilops tauschii*. // Nature communications. 2022. P. 1–12.
- 11 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. С. 351.
- 12 Сколотнева Е.С., Кельбин В.Н., Моргунов А.И., Бойко Н.И., Шаманин В.П., Салина Е.А. Расовый состав новосибирской популяции *Puccinia graminis* f. Sp. *Triticici*. // Микология и фитопатология. 2020. № 1. С. 49–58.
- 13 McIntosh RA, Wellings CR, Park RF. Wheat Rusts an atlas of resistance genes. CSIRO publishing. 1995. 204с.
- 14 Гончаров Н.П., Богуславский Р.Л., Орлова Е.А., Белоусова М.Х., Аминов Н.Х., Коновалова А.А., Кондратенко Е.Я., Гульятеева Е.И. Устойчивость амфиплоидов пшениц к возбудителю бурой ржавчины // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 3. С. 95–106.

Исходный материал в селекции яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) на Алтае

*Розова М.А. *, к.с.-х.н., в.н.с., зав.лабораторией; Егиазарян Е.Е., н.с., зав.лабораторией.
Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий, Барнаул, Россия
email: mrosova@yandex.ru

В ФГБНУ ФАНЦА в 2001–2023 гг. проведено многолетнее изучение (2 и более лет) 506 образцов исходного материала различного происхождения. Выявлены сортообразцы с высоким уровнем признаков продуктивности и параметров качества зерна. Включение их в селекционный процесс обеспечило создание за 2011–2023 гг. 5 новых сортов яровой твердой пшеницы с повышенной урожайностью в зависимости от условий до 12,9–14,6 % и улучшенным качеством зерна и продуктов его переработки.

Ключевые слова: селекция; твердая пшеница; исходный материал; сорт; урожайность; качество зерна

Germplasm in spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) breeding in Altai

*Rozova M.A. *, Egiazaryan E.E.*

*Federal Altai scientific center for agrobiotechnologies, Barnaul, Russia
email: mrosova@yandex.ru

Many-year study (two years and more) of 506 genotypes original stock was carried out in 2001–2023 in the Federal Altai scientific center for agrobiotechnologies. Accessions with high level of productivity and grain quality were singled out and included in the breeding process. Awing to this 5 new varieties of spring bread wheat with increased yield up to 12,9–14,6 % in dependence with environments and improved quality of grain and end products have been developed for 2011–2023 period.

Key words: breeding; durum wheat; germplasm; variety; yield; grain quality

Селекционная работа по яровой твердой пшеницы была начата на Алтае в 1928 г. на Барнаульской сельскохозяйственной опытной станции, а на постоянной основе ведется с образования в 1970 г. Алтайского селекционного центра по полевым культурам. За это время создано и внесено в реестр селекционных достижений 14 сортов: Алтайка (1981), Гордеиформе 53 (1991), Алтайская нива (1992), Зарница Алтая (1995), Алтайский янтарь (2001), Алейская (2005), Салют Алтая (2008), Памяти Янченко (2012), Солнечная 573 (2016), Оазис (2017), Безенчукская юбилейная (совместно с СамНИИСХ), Шукшинка (2022), АТП Прима (2023) и АТП Партнёр (2024). В генеалогии алтайских сортов участвовали генотипы основных селекционных учреждений России, а так же стран бывшего СССР: самарские, саратовские,

омские, оренбургские, ростовские, красноярские, казахстанские, украинские и другие. Известные сорта: Харьковская 46 (Украина), Ракета (Красноярский край), Саратовская золотистая (Саратов), Памяти Чеховича, сыгравшие весомую роль в селекции твердой пшеницы в России [1]. В происхождении сортов Алтайская нива, Гордеиформе 53 участвовали образцы, имевшие в происхождении *T. dicoccum* (Shrank) Shuebl, Алейская – *Triticum timopheevii* (Zhyk.).

За период с 2001 по 2023 гг. проведено многолетнее изучение 506 образцов исходного материала, представленных селекционными линиями и сортами собственной селекции – 76, инорайонной селекции – 210, из которых 106 – Самарского НЦ РАН, 33 – Омского АНЦ, 32 – ФАНЦ Юго-Востока, 27 – АНЦ Донской; стран СНГ – 94 (большой частью Казахстана) и стран Дальнего зарубежья – 126.

Как показали исследования по генетическому пулу твердой пшеницы учреждений системы КАСИБ [2], его разнообразие находится на достаточно высоком уровне: средний полиморфизм 91,9 %, среднее значение генетического разнообразия 0,251, информационный индекс Шаннона 0,388 и ожидаемая гетерозиготность 0,233.

Изучение агрономически значимых признаков исходного материала выявило различия на уровне эколого-географических групп, происхождения/ места создания. По показателям зерновой продуктивности выделялся материал самарского, омского, краснодарского происхождения, ряд сортов, созданных совместно. Наиболее высокими значениями отличались сорта Безенчукская нива (+13,0 % к стандарту Памяти Янченко), Омский изумруд (+12,4 %), Безенчукская юбилейная (+11,8 %), Таганрог (+11,4 %), Донэла М (11,3 %), Фея (+10,0 %), Марина (+8,0 %) и некоторые другие. При этом наиболее скороспелыми были сорта ФАНЦ Юго-Востока, АНЦ «Донской», СамНЦ РАН; наиболее позднеспелыми – Омского АНЦ. Блок сортов дальнего зарубежья в целом характеризуется меньшей урожайностью и, главное, её стабильностью. Тем не менее интерес представляют сорта Австрии и Швейцарии. Именно в этих коллекциях есть сорта с превышением над стандартом, которая четче проявляется в благополучные годы. Это сорта Durafinus (+4,3 %; урожайность выше в 4 года из шести), Тессадур (+3,1 %; выше в 1 год из 4) (Австрия), Си Атлант (+2,1 %, выше в 2 года из 4 Швейцария). Последние два сорта внесены в реестр селекционных достижений РФ. За время изучения прибавки к стандарту показали также Divide (США) и Casteldoux (Франция) – соответственно 8,7 и 10,1 %.

Изученные сорта обладают разной сортообразующей способностью. Получены положительные трансгрессии по урожайности с некоторыми сортами с небольшой продуктивностью (Dilse, Alkabo, 2891 Linie 5046 (Nax 2) и др.), но частота получения ценных форм выше при участии в происхождении источников высокой урожайности. Так, линии конкурсного испытания 2023 г. на 45,8 % представлены потомствами скрещиваний между местными генотипами; на 33,9 % потомствами, полу-

ченными с участием самарских образцов; на 6,8 % – омских; по одной линии с участием саратовского и ростовского образцов. На долю родительских форм других стран приходится 6,8 % (дальнее зарубежье) и 3,4 (Казахстан).

Комплекс показателей качества для создания ценных сортов твердой пшеницы охватывает большое их количество. Нами определены основные направления селекции и выявлены источники для их реализации:

- сохранение содержания белка и клейковины на достигнутом уровне: Аннушка, Саратов. Золотистая (Саратов), Новодонская (Ростов), Памяти Янченко, Салют Алтай, Солнечная 573, Г937, Г896, Г1056, Г1057, Г1122 (Алтай), Краснокутка 14, Твердыня, Лариса янтарная, Л247-257/22, Ом.малахит, Г05-42-12, Г01-115-5 и др.;

- улучшение цветковых характеристик зерна/крупки/макарон: АТП Прима, Шукшинка, Солнечная 573, Г677, Г723, Г948 (Алтай), Омский корунд, Омский изумруд, Г01-115-5 (Омск), Памяти Васильчука, Д2177 (Саратов), Безенчукская степная, Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость, Безенчукская параллель (Самара), Таганрог (Самара+Москва), Каргала 228 (Актобе, РК), Tessadur (Австрия), Obelix (Швейцария), Нурерно (Австралия), Trapezio (Греция), *Tritordeum* и др.;

- сохранение уровня и повышение стабильности стекловидности: Г677, Памяти Янченко, Г1057 (Алтай), Омский корунд (Омск), Марина (Самара), Лариса янтарная (Челябинск), Л247-257/22 (Актобе, РК), Камут (*T.turanicum*), Duranegra (Словения), Casteldoux (Франция), Varano, San Carlo (Италия), Anna, Trapezio (Греция), Durtres, Монсаю (Испания), Сарагои (Австралия) и др.;

- улучшение упруго-эластичных свойств клейковины: Памяти Янченко, Шукшинка, АТП Прима, АТП Партнер, Г752, Г888, Г896, Г1082, Г1057 (Алтай), Безенчукская золотистая, Безенчукский подарок, Безенчукская параллель (Самара), Алазар, Таганрог, Бурбон (Самара+Агролига), Елизаветинская, Золотая волна, Тамара, Памяти Васильчука (Саратов), Целина, Кремень (Оренбург), Воронежская 13 (Воронеж), Ясенка (Краснодар), Каргала 228 (Актюбинская обл., РК), Durafinus, Durafox, Stelladur, Tamadur, Tessadur (Австрия), Obelix, Си Нило, Си Атлант (Швейцария), Рустикано, Odisseo (Италия), Tamaroi, Нурерно, Jandaroi, L53188 (Австралия), Kenobi, Duranegra, Duragold (Словения), Кристелла (оз. пш., Ростов) и др.

Отбор по показателям качества ведется, начиная с планирования гибридизации. На первых этапах селекционного процесса при браковке элитных колосьев ведется органолептическая оценка по крупности, выровненности, стекловидности, цвету зерна, отсутствию/уровню проявления симптомов заболеваний. На этапе СП-1 и СП-2 она дополняется SDS-седиментацией и цветом шрота; в контрольного питомнике проводится инструментальная оценка стекловидности, натуры зерна, содержания белка и клейковины, качества клейковины по ИДК, седиментации и индексу глютена и цвета. В конкурсном сортоиспытании снимается 15 показателей, включая параметры качества макарон.

В результате использования вышеозначенного материала в системе оценки урожайности и качества твердой пшеницы, за 2011–2023 г. создано 5 сортов. Было установлено, что новые сорта либо находятся по урожайности на уровне стандарта Памяти Янченко, внесенного в реестр в 2012 г., превосходя его по другим ценным признакам, либо превышают его. В условиях минимальной урожайности (стандарт 3,21 т/га) – на 11,5–14,6 %, максимальной урожайности (стандарт 5,68 т/га) – 2,1–12,9 %. Новые сорта последнего поколения (2022–2024 гг.) имеют улучшенные показатели по актуальным для макаронного производства показателям – упруго-эластичным свойствам клейковины и цвету макаронных изделий.

Производственное и экологическое испытание новых сортов подтвердило их высокие продуктивные свойства. По результатам оценки на макаронных производствах Шукшинка и АТП Прима внесены в Список ценных по качеству сортов твердой пшеницы от Национальной ассоциации производителей макаронных изделий (НАПМИ).

Список литературы

- 1 Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Развитие селекции яровой твердой пшеницы в России (странах бывшего СССР), результаты и перспективы. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. № 27(6). С. 591–608. DOI 10.18699/VJGB-23-71
- 2 Tajibayev D.; Mukin K.; Babkenov A.; Chudinov V.; Dababat A.A.; Jiyenbayeva K.; Kenenbayev S.; Savin T.; Shamanin V.; Tagayev K. et al. Exploring the Agronomic Performance and Molecular Characterization of Diverse Spring Durum Wheat Germplasm in Kazakhstan. Agronomy 2023. № 13. 1955. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071955>

DOI 10.18699/GPB2024-73

Ценный исходный селекционный материал из гексаполоникума

Романов Б.В., к.б.н., с.н.с.

*Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Ростов-на-Дону, Россия
email: triticumrbw@mail.ru*

На полях ФГБНУ ФРАНЦ произведена сравнительная оценка продукционных показателей, выделенной из гексаполоникума линии 2/3-15, с районированными сортами, включая стандартные в регионе. Показано существенное превосходство линии над сортами. Более высокие качественные показатели её зерна, по сравнению со стандартным Дон 107 и, соответственно, линия 2/3-15 признана ценным исходным селекционным материалом.

Ключевые слова: гексаполоникум; линия 2/3-15; сорта; продукционные показатели; качество зерна

Valuable source breeding material from hexaplonicum

Romanov B.V., Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher

*Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Rostov Agrarian Scientific Center,
Rostov-on-Don, Russia
email: triticumrbw@mail.ru*

*A comparative assessment of the production indicators isolated from the hexaplo-
nomic line 2/3-15 with the zoned varieties, including standard ones in the region, was
carried out in the fields of FGBNU FRANTS. The significant superiority of the line over
the varieties is shown. Higher quality indicators of its grain, compared with the standard
Don 107 and, accordingly, the 2/3-15 line is recognized as a valuable source breeding
material.*

*Key words: hexaplo-
nomic; line 2/3-15; varieties; production indicators; grain quality*

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) это главный хлебный злак для чело-
века. Определенная её часть используется на корма в животноводстве. Очевидно,
что к вопросам улучшения мягкой пшеницы придается очень важное значение. Так
селекция позволила поднять её урожайность, к примеру, в Нечерноземье, более чем
в 10 раз [6]. Таким образом, одной из первейших и главных задач селекции, это по-
лучение высокопродуктивных генотипов. Соответственно, при создании таких
форм необходимо использовать образцы, обладающие высокой потенциальной про-
дуктивностью. Учитывая наш многолетний опыт работы с видами пшениц, мы об-
ратили внимание на так называемые образцы гексапологиумов, созданных при
гибридизации (*Triticum aestivum* × *Triticum polonicum*) коллегами из Армении. Более
того, нам было любезно предоставлено несколько таких образцов. Учитывая круп-
ные и стекловидные зерна *T. polonicum*, а также высокое содержание белка (до
26,9 %) у ряда её форм [4] и, надеясь на их скрытые потенциальные возможности,
мы обработали их N-НММ (нитрозометилмочевина). В результате, была получена
высокопродуктивная форма идентичная мягкой пшенице [5]. В дальнейшем из неё
была выделена довольно перспективная линия 2/3-15, которую необходимо было
сравнить с районированными сортами по таким базовым показателям, как количе-
ство и масса зерна с колоса, определяющими, в конечном итоге, при пересчёте на
квадратные метры урожайность [1, 2, 7]. Вместе с тем нельзя забывать и о качестве
зерна [8].

Поэтому цель настоящих исследований сравнить продукционные и каче-
ственные характеристики линии 2/13-15 с современными сортами мягкой пшеницы.

Методика. Объектами исследований служили линия 2/3-15 и сорта мягкой
пшеницы, широко распространённые в нашем регионе, включая и стандартные
Дон 107 и Ермак. Последний все реже используется как стандарт. Предпочтение от-
дается Дон 107.

Опыты проводили в ФГБНУ ФРАНЦ (Федеральный Ростовский аграрный
научный центр) 2020–2023 гг. в Приазовской зоне Ростовской области, на чернозёме

обыкновенный, кратковременно промерзающем. Значительная толща почвы в течение зимнего периода пребывает в активном состоянии. Среднегодовое количество осадков около 500 мм, за тёплый период – до 300 мм. В течение года их распределение неравномерное, особенно в весенне-летнюю вегетацию: периоды с ливневыми, быстро испаряющимися дождями сменяются засухой.

В техническую спелость отбирали по 15–20 продуктивных побегов каждого образца и, после доведения до стандартной влажности, проводили структурный анализ. Качественные показатели зерна определяли в лаборатории общих анализов ФГБНУ ФРАНЦ, по соответствующим апробированным ГОСТам. Математическая обработка по Б.А. Доспехову [3], согласно стандартных программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. На начальном этапе (2020–2021 гг.) исследования, сравнили линию 2/3-15 с двумя сортами: Безостая 100 и Находка, из нашей коллекции видов пшеницы (ростагрнц.рф) (табл. 1). Безостая 100 применялась, как своего рода продолжательница Безостой 1, и она котировалась в нашем регионе довольно высоко, а Находка была приобретена нами недавно, как относительно более «свежий» или новый сорт. Из данных таблицы 1, чётко видно достоверное преимущество линии 2/3-15 практически по всем показателям.

Таблица 1 – Продукционные показатели линии 2/3-15 и современных сортов пшеницы (2021 г.)

Генотип	Длина колоса, см	Количество в колосе, шт.		Масса зерна с колоса, г
		колосков	зёрен	
Линия 2/3-15	15,6	24,4	76,6	3,74
Безостая 100	10,6	22,4	54,7	2,56
Находка	9,6	19,1	61,7	2,62
НСР ₀₅ =	0,8	0,7	5,6	0,32

В следующем сезоне 2021–2022 гг., кроме Безостой 100 и других сортов озимой мягкой пшеницы, в опыты были включены принятые в нашем регионе, как стандартные Дон 107 и Ермак (табл. 2). По данным таблицы 2 опять же наблюдается превосходство линии 2/3-15 над современными районированными сортами, включая Дон 107 и Ермак. Более того наша линия из года в год показывает стабильные результаты и колебания у неё как по длине колоса, так и по количеству колосков минимальные. В 2022 году несколько увеличилось количество зерна с колоса (84,5 шт) и, как следствие, масса зерна с колоса (4,13 г). Наиболее высокую массу зерна с колоса среди использовавшихся сортов показала Донская лира 3,28 г, но и она достоверно уступала линии 2/3-15. Высокие продукционные показатели, линия 2/3-15 предполагают перспективность его, как исходного селекционного материала.

Кроме того, были проверены качественные показатели зерна изучаемой линии. Поэтому был проведён сравнительный анализ содержания белка, клейковины и ИДК со стандартом Дон 107 (табл. 3). Из представленных результатов видно, что качество зерна у Дон 107 на уровне показателей первоклассной пшеницы, поскольку

у неё белок практически 14 % и клейковина 32 %. Однако у линии 2/3-15 эти показатели значительно и выше: 17 и 42 % соответственно. Очевидно, что последняя обладает не только хорошими производственными показателями, но и высоким качеством своего зерна.

Таблица 2 – Производственные показатели линии 2/3-15 и районированных в регионе сортов мягкой пшеницы, включая и стандартные (2022 г.)

Генотип	Длина колоса, см	Количество в колосе, шт.		Масса зерна с колоса, г
		колосков	зёрен	
Линия 2/3-15	15,6	25,3	84,5	4,13
Дон 107	9,6	19,7	64,6	2,81
Безостая 100	10,3	23,2	72,3	2,73
Ермак	8,4	19,2	59,9	2,85
Авеста	9,3	19,7	68,6	2,68
Донская лира	9,5	21,1	76,9	3,28
НСР ₀₅ =	1,2	2,3	11,7	0,43

Таблица 3 – Содержание белка, клейковины и ИДК (2022 г.)

Генотип	Белок, % ГОСТ 10846-91	Клейковина, % ГОСТ Р 54478-2011	ИДК, ед. ГОСТ Р 54478-2011
Дон 107	13,8	32,4	76
Линия 2/3-15	17,2	41,7	89
НСР ₀₅ =	1,6	4,3	10

На заключительном этапе, в сезоне 2022–2023, мы сравнили производственные показатели нашей линии со стандартным Дон107 (табл. 4). При этом выращивали их на разных полях и в табл. 4 даны усреднённые данные. Преимущество линии 2/3-15 не вызывает сомнения. Более того, соответствующие данные, характеризующие производственные показатели линии 2/3-15, вполне воспроизводятся и по годам исследования (табл. 2).

Таблица 4 – Производственные показатели линии 2/3-15 и Дон 107 (2023 г.)

Генотип	Длина колоса, см	Количество в колосе, шт.		Масса зерна с колоса, г
		колосков	зёрен	
Дон 107	10,7	18,9	58,5	2,54
Линия 2/3-15	15,0	25,7	84,6	3,80
НСР ₀₅ =	0,7	0,9	11,1	0,47

Что касается качественных показателей зерна, они у линии 2/3-15 существенно выше, чем у стандартного Дон 107 (табл. 5). Однако в настоящем году у него несколько ниже содержание клейковины 38,2 %, чем в предыдущем 41,7 %. Тем не менее это достоверно больше, по сравнению с Дон 107, у которого в сезоне 2022–2023 белок 15,4 %, а клейковина 31,7 %. Кроме того, весьма симптоматично совпадение ИДК, возможно и случайное, у линии 2/3-15 с показателем прошлого 2022 года.

Таблица 5 – Содержание белка, клейковины и ИДК (2023 г.)

Генотип	Белок, % ГОСТ 10846-91	Клейковина, % ГОСТ Р 54478-2011	ИДК, ед ГОСТ Р 54478-2011
Дон 107	15,4	31,7	95
Линия 2/3-15	17,9	38,2	89
НСР ₀₅ =	1,8	4,5	9

Выводы. Линия 2/3-15, сочетая в себе высокие продукционные и качественные признаки, представляется весьма ценным исходным селекционным материалом.

Финансирование: Исследования выполнены в рамках научного проекта FNFZ-2019-0002.

Список литературы

- 1 Ворончихин В.В., Пыльнев В.В., Рубец В.С. Урожайность и элементы структуры урожая коллекции озимой гексаплоидной тритикале в центральном районе Нечерноземной зоны // Известия Тимирязевской с./х. академии. 2018. 1. С.69–81. DOI: 10.26897/0021-342X-2018-1-69-81.
- 2 Грабовец А.И. Барулина Н.И. Принципы управления наследственностью при селекции озимого тритикале на Дону. Материалы заседания секции тритикале ОСХН РАН он-лайн «Тритикале. Селекция, генетика, агротехника и технологии переработки сырья». Ростов-на-Дону. 2021. С.5–18.
- 3 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351с.
- 4 Пшеницы мира. М.: Агропромиздат. 1987. 559с.
- 5 Романов Б.В., Козлечков Г.А., Таран С.Ф. Высокопродуктивная форма пшеницы из гексаполоникум. Труды V международного симпозиума «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования». М.: РУДН. 2003. Т.II. 392–395.
- 6 Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Крахмалёва М.С., Бугрова В.В. Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: история, методы и результаты // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. 25(4). 367–373. DOI 10/18699/VJ21/53-0
- 7 Стасюк А.И., Леонова И.Н., Пономарёва М.Л. и др. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана // Сельскохозяйственная биология. 2021. № 1. 78–91.
- 8 Vitale J., Adam B., Vitale P. Economics of wheat breeding strategies: focusing on Oklahoma hard red winter wheat/ agronomy. 2020. 10(2). P. 238 DOI 10.3390/agronomy 10020238.
- 9 <http://www.ростагрнц.рф>

DOI 10.18699/GPB2024-74

Межвидовая гибридизация в увеличении биоресурсной коллекции лука

Романов В.С. *, к.с.-х.н., с.н.с.; Молчанова А.В., к.с.-х.н., с.н.с.

Федеральный научный центр овощеводства (ФГБНУ ФНЦО). Московская обл., Одинцовский р-н, п. ВНИИССОК, Россия

*email: romanov_valera@mail.ru

Биоресурсные коллекции лука включают разнообразие селекционных сортов и линий, коммерческих сортов, сортов народной селекции и диких видов, обладающих

множеством генетических признаков. Межвидовая гибридизация внутри рода *Allium L.* имеет основу для увеличения биоресурсов лука. В исследовании оценивали селекционные формы межвидовых гибридов *A. cepa* × *A. vavilovii* и *A. cepa* × *A. fistulosum* с помощью морфологического, фитопатологического и биохимического анализов. Проведенная оценка показала возможность увеличения биоресурсной коллекции лука создаваемыми селекционными формами.

Ключевые слова: биоресурсная коллекция; межвидовая гибридизация; род *Allium L.*; селекционный признак

Interspecific hybridization in increasing the bioresource collection of *Allium*

Romanov V.S. *, Molchanova A.V.

FSBSI Federal Scientific Vegetable Center, Odintsovo region, Moscow oblast, Russia

*email: romanov_valera@mail.ru

Bioresource collections of Alliums include a variety of breeding varieties and lines, commercial varieties, local varieties and wild relatives with many genetic traits. Interspecific hybridization within the genus Allium L. has a basis for increasing the biological resources of onions. The study evaluated the breeding forms of interspecific hybrids A. cepa × A. vavilovii and A. cepa × A. fistulosum using morphological, phytopathological and biochemical analyses. The assessment showed the possibility of increasing the bioresource collection of Allium by the created breeding forms.

Key words: interspecific hybridization; biodiversity; *Allium cepa L.*; *Allium fistulosum L.*; *Allium vavilovii M. Pop et Vved.*; breeding trait

Род *Allium L.* насчитывает более 800 видов. Широко возделываемыми являются: лук репчатый (*Allium cepa L.*), чеснок (*Allium sativum L.*), лук-шалот (*Allium ascalonicum L.*), лук батун (*Allium fistulosum L.*), шнитт-лук (*Allium schoenoprasum L.*), лук алтайский (*Allium altaicum Pall.*) и лук-порей (*Allium porrum L.*) [1].

Биоресурсные коллекции лука включают разнообразие селекционных сортов и линий, коммерческих сортов, сортов народной селекции и диких видов, обладающих множеством генетических признаков [2, 3].

Гибридизация между дикорастущими и культурными видами рода *Allium L.* – один из способов увеличения биоресурсов лука. Это важно для селекционной работы на устойчивость к болезням и вредителям, накоплению важных метаболитов и получению новых источников цитоплазматической мужской стерильности. Полученные на основе межвидовой гибридизации новые уникальные формы растений: рекомбинанты, амфидиплоиды, миксополоиды, анеуплоиды, в зависимости от их генетической природы совместно с инбридингом, кроссбридингом, беккроссированием, полиплоидизацией, скрещивания с промежуточным видом, имеют большой потенциал для создания сортов с благоприятными селекционно ценными признаками [4, 5].

Межвидовая гибридизация внутри рода *Allium* L. вносит ценный вклад в увеличение биоресурсов лука. Цель работы оценить формы межвидовых гибридов лука для пополнения биоресурсной коллекции рода *Allium* L.

Исследования проводили на растениях, формирующих луковицы, инбредных потомств I₁₋₅ от BC₁₋₂ межвидовых гибридов лука комбинаций скрещивания F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*) и F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*). Морфологическая оценка проводилась по селекционным и хозяйственным признакам [6]. В качестве стандарта использовали растения сорта Одинцовец. Растительный материал брали из УНУ «Генетическая коллекция растительных ресурсов ВНИИССОК».

Растения выращивали по технологии возделывания культуры лука репчатого для данной почвенно-климатической зоны [7]. Для оценки на устойчивость к ложной мучнистой росе или пероноспорозу использовали инфекционный фон [8].

Биохимический состав образцов лука определяли в Лабораторно-аналитическом центре ФГБНУ ФНЦО на содержание сухого вещества, моносахаров, суммы сахаров [9] и аскорбиновой кислоты [10].

Статистическую обработку результатов проводили согласно «Методике полевого опыта» [11] с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel.

Оценка межвидовых гибридов лука направлена на выявление разнообразия растений по массе, форме и окраске луковицы, устойчивости к пероноспорозу, а также по биохимическим показателям.

Растения лука образовывали луковицы от 30 до 110 г. В комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. vavilovii* с увеличением инбредного поколения возрастала доля растений с луковицей более 50,0 г. (65,0 % растений I₃BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*)) и 88,0 % растений I₄BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*))). У I₅BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*)) 50,0 % растений было с луковицей более 100 г.

В комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. fistulosum* с увеличением инбредного поколения увеличивался процент растений от BC₁ массой луковицы более 50,0 г. Однако у растений от BC₂ с увеличением инбредного поколения наблюдали наоборот снижение процента таких растений. В этом случае сказывалось сильнейшее действие инбредной депрессии. Растения I₂BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)) и I₄BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)) имели 37,0 % луковиц до 80 г, а у I₁BC₂(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)) и I₄BC₂(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)) 80,0 и 82,0 % луковиц имели массу менее 50 г. Растения стандарта характеризовались массой луковицы 50–100 г.

Растения лука сформировали белые, жёлтые, коричневатые и красные луковицы. В комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. vavilovii* преобладала жёлтая окраска луковиц (89,0–100,0 %). Однако 11,0 % растений I₄BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*)) имели коричневатую окраску луковицы, а 10,0 % растений I₂BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*)) – белую. Появление новых окрасок луковицы можно объяснить генотипической изменчивостью при инбридинге.

Среди растений комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. fistulosum* также преобладала жёлтая (53,0–100,0 %) окраска луковицы. Исключение составили растения I₃BC₂(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)), I₄BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)) с коричневой и I₁BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)) с красной окраской с частотой появления 47,0, 63,0 и 17,0 % соответственно. В стандарте все луковицы – жёлтые.

В комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. vavilovii* растения характеризовались эллиптической и широкоэллиптической формой луковицы с частотой встречаемости от 10,0 до 90,0 %. Исключение составляют растения I₄BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*)), у которых 44,0 % имели широкоэллиптические луковицы, а 56,0 % растений – круглые.

Растения комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. fistulosum* характеризовались эллиптической, широкоэллиптической, круглой и поперечно-эллиптической формой луковицы. У растений I₃BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)) и I₁BC₂(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)) сформировались эллиптические (93,0 %), круглые (7,0 %) и круглые (62,0 %), поперечно-эллиптические (38,0 %) луковицы. Растения стандарта в большей массе образовали луковицы широкоэллиптической и круглой формы 25,0 и 75,0 %.

Фитопатологическая оценка межвидовых гибридов лука первого года вегетации показала, что в зависимости от поколения инбридинга и беккрасса растения обладали различной устойчивостью к пероноспорозу (табл. 1). В комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. vavilovii* у растений I₂BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*)), I₄BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*)) и I₅BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*)) наблюдалось наибольшее число устойчивых растений к пероноспорозу (до 66,7 %). Остальные растения данной комбинации скрещивания оказались неустойчивыми к болезни.

Таблица 1 – Устойчивость растений лука к ложной мучнистой росе, %

Комбинация скрещивания	Поражение пероноспорозом	
	устойчивые	неустойчивые
I ₁ BC ₁ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. vavilovii</i>))	50,0	50,0
I ₂ BC ₁ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. vavilovii</i>))	66,7	33,3
I ₃ BC ₁ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. vavilovii</i>))	47,0	53,0
I ₄ BC ₁ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. vavilovii</i>))	66,7	33,3
I ₅ BC ₁ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. vavilovii</i>))	64,2	35,8
I ₁ BC ₁ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>))	55,0	45,0
I ₁ BC ₂ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>))	30,7	69,3
I ₂ BC ₁ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>))	35,2	64,8
I ₂ BC ₂ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>))	42,3	57,7
I ₃ BC ₁ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>))	46,7	53,3
I ₃ BC ₂ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>))	26,7	73,3
I ₄ BC ₁ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>))	42,5	57,5
I ₄ BC ₂ (F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>))	43,3	57,7
Одинцовец (<i>A. cepa</i> L.)	16,7	83,3

У растений комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. fistulosum* число устойчивых растений к ЛМР варьировала от 26,7 до 55,0 %. У растений I₁BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)) и I₃BC₁(F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*)) относительно устойчивые формы составили 55,0 и 46,7 %. У остальных растений была сильная дифференциация неустойчивых растений от 45,0 до 73,3 %. В контроле наблюдали 83,3 % неустойчивых растений, а также их гибель.

Для проведения биохимической оценки межвидовых гибридов лука отобрали формы лука, выровненные по основным селекционным признакам (табл. 2).

Таблица 2 – Биохимические показатели растений межвидовых гибридов лука

Вариант	Сухое вещество, %	Моносахара, %	Сумма, сахаров, %	Аскорбиновая кислота, мг %	Суммарное содержание антиоксидантов, мг/г в единицах аскорбиновой кислоты	Суммарное содержание антиоксидантов, мг/г в единицах галловой кислоты
I ₅ BC ₁ F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. vavilovii</i>)	15,78	1,43	10,28	12,32	7,09	1,99
I ₅ BC ₁ F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. vavilovii</i>)	15,04	1,15	10,28	14,08	8,22	2,31
I ₄ BC ₂ F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>)	12,93	1,71	9,18	12,32	7,90	2,22
I ₅ BC ₁ F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>)	13,54	1,05	9,52	14,08	5,10	1,43
I ₅ BC ₂ F ₅ (<i>A. cepa</i> × <i>A. fistulosum</i>)	15,05	1,57	11,17	10,56	6,62	1,86
Одинцовец (<i>A. cepa</i> L.) (st.)	15,52	1,44	10,71	7,04	10,10	2,83
НСР ₀₅	0,43	0,35	0,38	4,7	0,43	0,35

Содержание сухого вещества у форм межвидовых гибридов лука составило от 12,93 до 15,78 %. У комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. vavilovii* – на уровне 15 %, то есть на уровне стандарта. У комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. fistulosum* варьирование составляло от 12,93 до 15,05 % в зависимости от поколения инбридинга и беккрасса.

Содержание моносахаров у исследуемых форм составило 1,05–1,71 %. Наибольшее значение данного показателя, превышающее стандарт, наблюдали у комбинации скрещивания *A. cepa* × *A. fistulosum*. По сумме сахаров также наивысшие показатели были установлены у комбинации скрещивания *A. cepa* × *A. fistulosum* – до 11,17.

Содержание аскорбиновой кислоты у форм межвидовых гибридов лука находилось в пределах от 10,56 до 14,08 мг %; в комбинациях скрещивания в поколениях I₅BC₁F₅(*A. cepa* × *A. vavilovii*) и I₅BC₁F₅(*A. cepa* × *A. fistulosum*) превосходило стандарт (7,04 мг %) в 2 раза – 14,08 мг %.

По суммарному содержанию антиоксидантов показатели у форм межвидовых гибридов лука оказались ниже стандарта.

Проведенная оценка показала возможность увеличения биоресурсной коллекции лука получением новых селекционных форм с помощью межвидовой гибридизации, насыщающих скрещиваний и инбридинга.

Список литературы

- 1 Bhowmick B.K., Sarkar S., Roychowdhury D., Patil S.D., Lekhak M.M., Ohri D., Rao S.R., Yadav S.R., Verma R.C., Dhar M.K., Raina S.N., Jha S. *Allium* cytogenetics: a critical review on the Indian taxa // *Comparative Cytogenetics*. 2023. V. 17. P. 129–156.
- 2 McCallum J., Thomson S., Pither-Joyce M., Kenel F., Clarke A., Havey M.J. Genetic Diversity Analysis and Single-nucleotide Polymorphism Marker Development in Cultivated Bulb Onion Based on Expressed Sequence Tag–Simple Sequence Repeat Markers // *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 2008. V. 133. P. 810–818.
- 3 Gurushidze M., Mashayekhi S., Blattner F.R., Friesen N., Fritsch R.M. Phylogenetic relationships of wild and cultivated species of *Allium* section *Cepa* inferred by nuclear rDNA ITS sequence analysis // *Plant Syst. Evol.* 2007. V. 269. P. 259–269.
- 4 Романов В.С. Селекционно-генетические особенности форм межвидовых гибридов лука (создание и оценка) // Дисс. ... канд. с.-х. наук. М., 2008. 166 с.
- 5 Khrustaleva L.I., Kik C. Introgression of *Allium fistulosum* into *A. cepa* mediated by *A. roylei* // *Theor. Appl. Genet.* 2000. V. 100. P. 17–26.
- 6 Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность лук репчатый (*Allium cepa* L.) и лук шалот (*Allium ascalonicum* L.) // RTG/46/2, UPOV, 2000. С. 528–547.
- 7 Пивоваров В.Ф., Ершов И.И., Агафонов А.Ф. Луковые культуры. М. ВНИИССОК. 2001. 500 с.
- 8 Методические указания по селекции луковых культур. М., ВНИИССОК, 1997. 125 с.
- 9 Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.А., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимических исследований. Л.: Агропромиздат. 1987. 430 с.
- 10 Сапожникова Е.В., Дорофеева Л.С. Определение содержания аскорбиновой кислоты в окрашенных растительных экстрактах йодометрическим методом // *Консервная и овощеводческая промышленность*. 1966. № 5. С.29–31.
- 11 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

DOI 10.18699/GPB2024-75

Исследование особенностей осеннего роста и развития и уровня зимостойкости озимой ржи в 2022–2023 гг. в условиях Западной Сибири

Саламатина А.А. *, агроном I категории, аспирант; Ермошкина Н.Н., н.с.

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН), р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия

*email: anepalochka@yandex.ru

В 2022–2023 гг. на полях СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН проведены исследования по определению особенностей роста и развития растений и уровня зимостойкости популяционных сортов и гибридной озимой ржи в условиях Западной

Сибири. Выделены наиболее зимостойкие образцы.

Ключевые слова: озимая рожь; гибридная рожь; зимостойкость

Study of the characteristics of autumn growth and development and the level of winter hardiness of winter rye in 2022–2023 in the conditions of Western Siberia

*Salamatina A. A. *, Ermoshkina N. N.*

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (SibRIPP&B – Branch of IC&G SB RAS), Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

**email: anepalochka@yandex.ru*

In 2022–2023 on the fields of SibRIPP&B – Branch of IC&G SB RAS the research was conducted to determine the features of plant growth and development and the level of winter hardiness of population varieties and hybrid winter rye in the conditions of Western Siberia. The most winter-hardy samples were selected.

Key words: winter rye; hybrid rye; winter hardiness

Введение

Рожь (*Secale cereale* L.) является второй по значимости хлебной культурой в России после пшеницы. Зерно ржи используется в основном для продуктов питания и кормов, а также для производства этанола. Кроме того, её используют в качестве озимой покровной культуры, поскольку осенью она интенсивно разрастается, образуя почвенный покров, защищающий почву от эрозии [7, 8].

При возделывании ржи традиционно используют свободноопыляемые селекционные популяции, но их постепенно заменяют гибридными сортами, дающими более высокие урожаи. Повышение урожайности гибридов объясняется гетерозисом, превосходством гибридов в производительности по сравнению с их родителями [9]. Однако необходимо уделять особое внимание зимостойкости при создании гибридов на основе цитоплазматической мужской стерильности, так как происходит снижение зимостойкости инбредных линий в результате последовательного инбридинга [4]. Рожь обладает относительно высокой засухоустойчивостью за счет хорошо развитой корневой системы и поэтому часто возделывается на малоплодородных почвах, непригодных для большинства других зерновых культур. Нетребовательность ржи является важным преимуществом для будущего развития новых сортов, которые будут противостоять последствиям изменения климата [5].

Выращивание озимых зерновых культур в Западной Сибири значительной степени зависит от выживаемости растений в течение зимы, что может резко повлиять на урожайность семян или биомассы при созревании. Выживаемость растений определяется сложными реакциями, обусловленными окружающей средой, которые вызывают множество изменений, влияющих практически на все поддающиеся измерению морфологические, физиологические и биохимические характеристики растения [6].

В Новосибирской области посев озимой ржи проводится обычно во второй-третьей декадах августа. Теплообеспеченность всходов при посеве в такие сроки вполне достаточна. В конце осенней вегетации у ржи завершается процесс закаливания растений. Под воздействием осенних понижающих температур и солнечного света происходит множество сложных биохимических процессов, приводящих к остановке роста растений, накоплению в растениях высокоэнергетических веществ – сахарозы, глюкозы, а также жиров, белков, крахмала и других веществ, обуславливающих успешную зимовку. После окончания закаливания растения впадают в состояние глубокого покоя и уходят в зиму. Однако в течение зимы и в период ранней весны могут складываться условия, вызывающие гибель озимой ржи [1]. Таким образом, исследования зимостойкости озимой ржи важны для будущего расширения площадей выращивания и объемов производства.

Цель исследования – проведение сравнительного анализа особенностей роста и развития и уровня зимостойкости популяционных сортов и гибридной озимой ржи в условиях Западной Сибири.

Материалы и методы

В качестве материала для проведения исследования использованы 15 сортов популяций и гибридов озимой ржи отечественной и зарубежной селекции. Стандартом высевался сорт Короткостебельная 69 (табл. 1).

Таблица 1 – Происхождение сортообразцов озимой ржи

Оригинатор	Наименование
Красноярский НИИСХ	Енисейка, Синильга
СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН	Короткостебельная 69, Сибирская 87
ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»	Памяти Бамбышева, Марусенька
ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН	Тантана, Радонь
ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого»	Рушник, Графиня
ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка»	Московская 18
KWS (Германия)	КВС Авиатор (F ₁), КВС Этерно (F ₁), КВС Проммо (F ₁), КВС Раво (F ₁),

Исследования проводились в 2022–2023 гг. на полях СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН при посеве по чистому пару. Основой исследований служили данные полевых и лабораторных опытов, учётов и наблюдений. В ходе исследования определены высота растений, количество побегов кущения, вес зеленой массы, зимостойкость и содержание сахаров [2, 3]. Статистическая обработка результатов исследований проводилась на персональном компьютере с использованием программ в составе Microsoft Excel.

Результаты

Вегетационный период 2022–2023 гг. отличался от среднемноголетних данных, как по температурному режиму, так и по количеству осадков. Погодные условия

осени 2022 г. были засушливыми (40–48 % осадков от нормы). Прекращение вегетации установлено 24 октября, что позже средней многолетней даты на 19 дней. Установление снежного покрова зафиксировано 10 ноября. С 23 ноября по 19 декабря установилась аномально-холодная погода с минимальными температурами воздуха от –24 до –32 °С при высоте снежного покрова до 7 см. Минимальная температура почвы на глубине узла кущения составила до –14 °С, а глубина промерзания почвы – 123 см, что составило угрозу гибели растений озимых культур. В январе преобладала теплая погода (отклонение от нормы + 4,2 °С) до плюс 1–3 °С, в отдельные дни минимальная температура воздуха снижалась до минус 30–36 °С (10–12 января) и до минус 30–39 °С (21–22 января). Средняя высота снежного покрова составила 53 см при минимальной температуре на глубине узла кущения минус 9 °С. В феврале установилась холодная погода с минимальными температурами воздуха до –32 °С при высоте снежного покрова 48 см. Сход снега зафиксирован 17–19 апреля. Возобновление вегетации при устойчивой температуре воздуха +5 °С отмечено 26 апреля. Май характеризовался неустойчивой погодой с резкими сменами холодных периодов на жаркие при большом недоборе осадков (15 % месячной нормы).

Несмотря на засушливые погодные условия 2022 года, продолжительный осенний период вегетации способствовал нормальному росту и развитию растений. Длина побегов находилась в пределах 12,3–18,8 см. Наибольшие темпы роста растений отмечены у образцов: Короткостебельная 69, Енисейка, Сибирская 87 и Радонь. По количеству побегов выделились следующие сортообразцы: Синильга (6,0 шт.), Радонь (6,5 шт.) и КВС Проммо (7,45 шт.), они существенно превосходили сорт стандарт Короткостебельная 69. По сумме сахаров сорт стандарт в значительной степени уступал большинству сортов и гибридов, исследуемых в опыте, при этом сорт Графиня (7,3 %) и гибрид КВС Авиатор (6,5 %) накопили наибольшее количество сахаров. Зимостойкость возделываемых сортов ржи значительно варьирует в зависимости от эколого-генетической основы исходного материала, использованного при создании сорта. Зимостойкость популяционных сортов находилась на уровне Короткостебельная 69 (4,8 балла), гибридные формы озимой ржи существенно уступили по этому показателю стандарту и имели очень низкий уровень зимостойкости (0,5–1,8 балла) (табл. 2). В Западной Сибири большое значение имеют высокозимостойкие сорта, наиболее адаптированные к почвенно-климатическим условиям региона. В связи с этим необходимо тщательно подбирать материал для создания сортов и гибридов озимой ржи, для сохранения баланса зимостойкости и урожайности, а также повышения конкурентоспособности ржи в системах сельскохозяйственного производства.

Таким образом направление селекции на зимостойкость является приоритетным в создании новых сортов озимой ржи.

Таблица 2 – Результаты исследования озимой ржи

Наименование	Длина побегов, см	Кол-во побегов, шт.	Вес зел. массы, г	Сумма сахаров, %	Зимостойкость, балл
St. Короткостебельная 69	17,8	4,95	1,97	3,3	4,8
Енисейка	18,5	5,60	2,41	5,8	5,0
Синильга	14,6	6,00	2,04	3,3	5,0
Сибирская 87	18,8	4,55	2,10	4,9	4,8
Памяти Бамбышева	13,7	5,75	1,98	5,4	5,0
Марусенька	12,7	5,40	1,94	5,8	4,7
Тантана	14,5	4,25	1,50	3,5	5,0
Радонь	16,8	6,50	3,00	5,6	4,8
Рушник	12,3	5,35	1,49	5,6	4,7
Графиня	13,1	4,50	1,35	7,3	4,7
Московская 18	12,6	4,10	1,16	6,0	4,5
КВС Авиатор (F ₁)	14,6	5,95	1,88	6,5	1,8
КВС Проммо (F ₁)	13,5	7,45	2,65	5,4	1,0
КВС Этерно (F ₁)	13,3	4,55	1,10	5,4	0,5
КВС Раво (F ₁)	14,6	5,70	2,29	4,9	0,5
Среднее	14,8	5,4	1,9	5,3	3,8
НСР₀₅	1,2	1,03	0,5	0,95	1,38

Список литературы

- 1 Возделывание озимой ржи: стратегия продовольственной безопасности и повышения культуры земледелия: наставления для сельхозпроизводителей / СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН, Департамент по социально-экономическому развитию села Томской области. Томск. 2022. 40 с.
- 2 Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического исследования растений // Л., Агропромиздат. 1987. 430 с.
- 3 Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. Вып. 2. 194 с.
- 4 Уткина Е.И., Кедрова Л.И. Зимостойкость озимой ржи: проблемы и решения // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 1 (том 62). С. 11–18. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.62.1.11-18
- 5 Bahrani H., Båga M.; Larsen J.; Graf R.J.; Laroche A.; Chibbar R.N. The Relationships between Plant Developmental Traits and Winter Field Survival in Rye (*Secale cereale* L.) // Plants. 2021. vol. 10, 2455. DOI: 10.3390/plants10112455.
- 6 Fowler D. B., Byrns B.M., Greer K.J. Overwinter Low-Temperature Responses of Cereals: Analyses and Simulation // Crop Sci. 2014. Vol. 54. P. 2395–2405. DOI: 10.2135/cropsci2014.03.0196.
- 7 Nemeth R., Tömösközi S. Rye: Current state and future trends in research and applications // Acta Alimentaria. 2021. Vol. 50. Is. 4. P. 620–640. DOI: 10.1556/066.2021.00162.
- 8 Sapirstein H.D., Bushuk W., Rye Grain: Its Genetics, Production, and Utilization // Encyclopedia of Food Grains (Second Edition), Academic Press. 2016. vol. 1. P. 159–167. DOI: 10.1016/B978-0-12-394437-5.00017-6.
- 9 Schlegel R., Hybrid breeding boosted molecular genetics in rye // Russ. J. Genet. Appl. Res. 2016. Vol. 6. P. 569–583. DOI:10.1134/S2079059716050105.

Изучение морфологических признаков перспективных форм абрикоса в богарных условиях Оренбургской области

*Саудабаева А.Ж. *, Мушинский А.А.*

Оренбургский филиал ФГБНУ ФНЦ Садоводства, Оренбург, Россия

**email: aleka_87@bk.ru*

*Направление исследований актуально в связи с тем, что изучение и селекция абрикоса (*Prunus armeniaca* L.) является важной научной задачей, так как, данная культура богата питательными и биологически активными веществами, неприхотлива в уходе и отборные формы, произрастающие в коллекции Оренбургского филиала ФГБНУ ФНЦ Садоводства, характеризуются особой адаптацией к экстремальным условиям окружающей среды. Объектом исследований являлись перспективные 5 форм абрикоса, произрастающие в коллекции Оренбургского филиала ФГБНУ ФНЦ Садоводства. Наблюдения выполнялись в течение всего вегетационного периода по общепринятым методикам. Образцы отбирались в фазу полного созревания, определялись урожайность, помологические и биохимические характеристики плодов.*

Ключевые слова: абрикос; урожайность; лист; масса плода

The study of morphological features of promising forms of apricot in rainfed conditions of the Orenburg region

Aliya Zh. Saudabaeva, Aleksandr A. Mushinskiy

Orenburg branch of the Federal State Budgetary Research Center of Horticulture, Orenburg, Russia

**email: aleka_87@bk.ru*

*The direction of research is relevant due to the fact that the study and selection of apricot (*Prunus armeniaca* L.) is an important scientific task, since this crop is rich in nutrients and biologically active substances, unpretentious in care and selected forms growing in the collection of the Orenburg branch of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Center Horticulture, are characterized by a special adaptation to extreme environmental conditions. The object of research was promising forms of apricot growing in the collection of the Orenburg branch of the Federal State Budget Scientific Institution of the Federal Scientific Center for Horticulture. Observations were carried out during the entire growing season according to generally accepted methods. Samples were taken in the phase of full ripening, the yield, pomological and biochemical characteristics of the fruits were determined.*

Key words: apricot; yield; leaf; fruit weight

Абрикос (*Prunus armeniaca* L.) – ценная во всем мире плодовая культура, богатая питательными и биологически активными веществами. В настоящее время абрикос выращивается в промышленном масштабе в 65 странах мира. В течение сезона 2016/2017 годов мировое производство абрикосов выросло до 4,25 млн тонн [7]. Абрикосы, произрастающие в Оренбургской области, характеризуются особой адаптацией к различным условиям окружающей среды благодаря богатству местных генотипов. Плоды абрикоса обладают высокой изменчивостью, что представляют интерес для улучшения качественных признаков в программах селекции абрикосов [1, 3].

На территории Российской Федерации имеются благоприятные природно-климатические условия для возделывания абрикоса. Промышленное возделывание абрикоса сосредоточено в Северо-Кавказском, Нижневолжском регионе, Хабаровском, Приморском краях, так же имеются небольшие объемы в Ростовской и Воронежской областях. Но этого недостаточно для восполнения дефицита плодов абрикоса в свежем и переработанном виде, поэтому экспорт абрикоса находится на высоком уровне. В настоящее время в результате потепления климата, границы возделывания абрикоса сдвигаются на север и спрос на данную культуру возрастает, благодаря её устойчивости к болезням и регулярности плодоношения [5].

Сортоизучение и селекция абрикоса долгий и трудоёмкий процесс, по данным учёных-селекционеров [1] за 80 лет изучения абрикоса в условиях Кабардино-Балкарской Республики удалось выделить только чуть более 40 элитных форм абрикоса, в Воронежском ГАУ проведены многолетние исследования по сортоизучению и селекции абрикоса [6]. Об эффективности сортоизучения и выделения перспективных форм в Никитском ботаническом саду ФННЦ РАН сообщает Горина В.М. [2].

Характеристика территории, природно-климатические условия. Изучение перспективных форм абрикоса проводилось на коллекционном участке абрикоса 2013 года посадки на территории Оренбургского филиала ФГБНУ ФНЦ Садоводства в г. Оренбург, в 2020–2022 гг., в соответствии с «Программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур», схема посадки 3,0 × 4,0 м, на богаре, сорт стандарт Челябинский ранний. Почвы: чернозём южный, содержание гумуса в пахотном слое 2,7–3,0 %, подвижных форм фосфора – 18,4 мг/кг и азота – 96,6 мг/кг, обменного калия – 358,6 мг/кг [4].

Результаты исследований.

Местные формы абрикоса имеют хорошую урожайность и засухоустойчивость. Наибольшая урожайность была отмечена у следующих форм Д-36 (16,1 кг/дерева), СИ-ЗВ-6-1 (15,2 кг/дерева), № 40 (12,8 кг/дерева) (табл. 1).

Вегетация цветочных почек: распускание цветочных почек абрикоса в течение трехлетних наблюдений отмечалось в период с 26 апреля по 9 мая, в зависимости от климатических условий определённого года (в 2020 г. наиболее ранние сроки, в 2022 г. – более поздние).

Таблица 1 – Компоненты продуктивности сорта и форм абрикоса за 2020–2022 гг.

Сорт, формы	Средняя масса плода, г	Отклонение от контроля, %	Урожайность, кг с дерева	Отклонение от контроля, %
СИ-ЗВ-6-1	16,9±1,8	+8,6	15,2±6,5	+4,7
Д-36	17,9±1,3	+9,1	16,1±6,1	+6,0
№ 40	15,0±1,6	+7,1	12,8±9,2	-2,4
ОР-Ю-У-1	13,2±1,3	-14,3	5,2±9,1	-9,4
СИ-1-2	13,3±1,8	-18,6	3,7±4,2	-11,2
НСР _{0,05}	0,45	–	1,33	–

Самые крупные по размеру почки (4,0–4,8 мм) наблюдались у форм СИ-ЗВ-6-1, Д-36, № 40, средние по размеру (3,0–3,9 мм) были у формы ОР-Ю-У-1, мелкие почки (1,7–1,8 мм) встречаются у СИ-1-2 (табл. 2).

Таблица 2 – Морфологические показатели репродуктивных органов перспективных форм абрикоса за 2020–2022 гг.

Показатели \ Форма		СИ-ЗВ-6-1	Д-36	№ 40	ОР-Ю-У-1	СИ-1-2
Цветочные почки	длина, мм	4,1	4,0	4,1	3,2	1,7
	ширина, мм	2,2	2,1	2,2	1,8	1,1
Диаметр цветка, мм		22,0	23,0	22,0	26,8	22,0
Лепестки	длина, мм	15,1	15,9	15,1	13,1	10,1
	ширина, мм	11,5	12,1	11,5	8,9	8,0
Чашелистики, длина, мм		6,1	6,5	6,1	4,8	4,1
Плод	высота, мм	37,5	36,7	37,5	28,3	20,2
	ширина, мм	38,4	34,8	38,4	26,7	18,0
	толщина, мм	37,2	35,9	37,2	24,3	16,1
	косточка, вес, г	1,9	2,1	1,9	1,3	0,28
НСР _{0,05}		0,31	1,24	1,31	4,46	2,71

Проведенный анализ опушения цветочных почек определил распространение слабой степени опушения (у трех из пяти форм). Опушение средней степени наблюдалось у форм Д-36 и СИ-1-2.

Цветочные почки сортов абрикоса группируются преимущественно на однолетних побегах, только у формы ОР-Ю-У-1 цветковые почки располагаются в основном на шпорцах.

Листья у абрикосовых деревьев появляются в промежуток со 2-го по 20-е мая, завершение их роста и развития установлено с 4-го по 20-е июня. У перспективной формы СИ-ЗВ-6-1 листья крупные и очень крупные, у остальных форм листья варьируют от средних по размерам (Д-36, № 40, ОР-Ю-У-1) до мелких СИ-1-2 (табл. 3).

Окраска листовой пластинки у трёх форм абрикоса зеленая и темно – зеленая (СИ-1-2, ОР-Ю-У-1, Д-36), у остальных форм листья преимущественно светло-зеленой окраски.

У всех изучаемых форм край листовой пластинки слегка волнистый.

Таблица 3 – Количественные показатели листьев средней части однолетних побегов перспективных форм абрикоса за 2020–2022 гг.

Форма	Листовая пластинка		Черешок	
	длина, мм	ширина, мм	длина, мм	толщина, мм
СИ-ЗВ-6-1	60,1	39,0	22,1	1,7
Д-36	57,1	35,9	21,8	1,2
№ 40	52,2	40,1	22,0	1,1
ОР-Ю-У-1	54,1	33,0	22,3	1,5
СИ-1-2	45,2	30,0	18,3	1,0

Зазубренный края листовой пластинки имеют все имеющиеся у нас формы абрикоса. У большинства форм отмечена одинарная зазубренность края листовой пластинки, двоякопильчатая зазубренность края листа наблюдалась у двух форм абрикоса (СИ-ЗВ-6-1, Д-36). Троякопильчатой зазубренности края листовой пластинки не выявилось. Анализ величины зубцов позволил установить, что мелкие зубцы по краю листовой пластинки отмечены только у формы ОР-Ю-У-1, у остальных исследуемых форм наблюдаются как крупные, так и средние по величине зубцы.

У четырёх форм зубцы по краю листовой пластинки тупые (СИ-1-2, ОР-Ю-У-1, № 40, Д-36), у СИ-ЗВ-6-1 острые.

По данным анализа морфологических признаков перспективных форм абрикоса выявили между ними определенные различия, полученные данные будут использованы в дальнейшем селекционном процессе.

Заключение.

В работе изучены 5 форм абрикоса, данные полученные в результате трехлетних наблюдений позволили определить большое морфологическое разнообразие вегетативных и генеративных органов у перспективных форм абрикоса из коллекции Оренбургского филиала ФГБНУ ФНЦ Садоводства, а также их наиболее общие морфологические признаки: светло-зеленая окраска листьев, по форме – средних и мелких с зубцами средних размеров с черешками средней толщины.

Финансирование: исследования выполнены в рамках реализации государственного задания ФГБНУ ФНЦ Садоводства (№ 0432-2021-0003).

Список источников

- 1 Ахматова З.П., Карданов А.Р. Сорт и оптимальное размещение насаждений – основа эффективной продуктивности косточковых культур в Кабардино-Балкарской Республике // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2017. № 144 (1) С. 158–164.
- 2 Горина В.М., Корзин В.В., Корзина Н.В., Лукичева Л.А. История развития селекции абрикоса в Никитском ботаническом саду. Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2022. № 1 (162). С. 67–87. <https://doi.org/10.36305/2712-7788-2022-1-162-67-87>
- 3 Infante R., Martínez-Gómez P., Predieri S. Quality oriented fruit breeding: Peach [*Prunus persica* (L.) Batsch]. J. Food Agric. Environ. 2008. № 6 (2), 342–356. doi: 10.1234/4.2008.1239
- 4 Лохова А.И., Аминова Е.В., Мурсалимова Г.Р. Влияние перспективных агрохимических препаратов на биометрические показатели груши // Плодоводство и ягодоводство России. 2020. Т. 59. С. 330–334.

- 5 Мировое производство абрикоса URL: https://www.hmong.press/wiki/List_of_countries_by_apricot_production. Дата обращения: 29.03.2022.
- 6 Ноздрачева Р.Г. Сортоизучение и селекция абрикоса Воронежского ГАУ // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2017. № 144 (1). С. 207–211.
- 7 Электронный ресурс <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Режим доступа 25.10.2022 г.

DOI 10.18699/GPB2024-77

Исходный материал и селекция яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Казахстана

*Серёда Г.А. *, к.с.-х.н.; в.н.с.; Серёда С.Г., с.н.с.; Серёда Т.Г. магистр, н.с.*

ТОО «Карагандинская сельскохозяйственная опытная станция им А.Ф. Христенко» с. Центральное, Карагандинская область, Казахстан

**email: Sergey.sereda.00@bk.ru*

В результате работы с генофондом яровой мягкой пшеницы на основе которого созданы сорта яровой пшеницы включённых в Госреестр Республики Казахстан. Приведены важные биологические характеристики допущенных к производству сортов.

Ключевые слова: яровая пшеница; сорт; урожайность; отбор; площадь; гибриды

The source material and breeding of spring soft wheat in the conditions of Central Kazakhstan

*Sereda G.A. *, Candidate of Agricultural Sci., L.r; Sereda S.G., S.r; Sereda T.G. Master, R.a LLP "Karaganda Agricultural Experimental station named after A.F. Khristenko" S. Tsentralnoye, Karaganda region, Kazakhstan*

**email: Sergey.sereda.00@bk.ru*

As a result of working with the gene pool of spring soft wheat, on the basis of which spring wheat varieties included in the State Register of the Republic of Kazakhstan were created. The important biological characteristics of the varieties approved for production are given.

Key words: spring wheat; variety; yield; selection; area; hybrids

Работа с исходным материалом по селекции яровой мягкой пшеницы условно делится на три этапа. Первый этап это работа с местным исходными популяциями. У истоков селекционной работы стояли такие ученые, как Пустовойт Василий Степанович, Сазанов Виктор Иванович, Вертелецкий Петр Александрович, Корнилов Александр Александрович, Бычек Яков Кондратьевич [1].

Индивидуальным отбором из местных стародавних сортов-популяций под

названием «Мескрен», «Уртанджил», «Жана-Аркинская», «Самарская» были перспективные линии, ставшие родоначальниками новых сортов Стахановка 407, Псевдотурцикум 73, Карликовая 314, превосходящих по засухоустойчивости и урожайности районированные в Карагандинской области сорта Цезиум 111, Мильтурум 321. В последствии новые сорта были переданы в государственное испытание, и на сортоучастках занимали также первые места.

Последующим индивидуальным отбором из Коктенкульской 322 удалось выделить сорт Псевдо-Барбаросса 1423 более урожайную (с потенциальной урожайностью до 30 ц/га) и устойчивую к грибным болезням.

Улучшенным отбором из сорта Ак – Бидай, выделили линию под названием Лузитаникум 630. Линия отличалась более продуктивным колосом, крупностью семян [2].

В дальнейшем в селекционную работу привлекались образцы из коллекции ВИР, а создание нового исходного материала осуществлялось с привлечением метода гибридизации.

Наиболее перспективными оказались гибриды от скрещивания Мильтурум 321 с Псевдогостианум 73 с последующим опылением гибрида пыльцой Лютесценс 38. Из этого гибрида селекционером П.А. Вертелецким выделено линию Велюти-нум Г-60, получивший название Карагандинская, превышавшая по урожайности зерна стандарт Цезиум 111 до 7,1 ц/га. Кроме простых скрещиваний, также при создании нового исходного материала использовались гибриды первого поколения. Особенностью этих скрещиваний было то, что родительские формы подбирались относящиеся к обной разновидности, для уменьшения «расщепления».

Сорт Карагандинская, сыгравший положительную роль в повышении урожайности пшеницы в Центральном Казахстане, перестал удовлетворять требованиям производства по технологическим свойствам зерна.

В 1963 году селекционером Я.К. Бычек путем скрещивания гибридной линии Барбаросса Е-224 с сортом Флора. Материнская форма получена от скрещивания местного сорта Мескурен с сортом Пионерка (отбор из гибрида ДС-II-251-44 США). Сорт высокоурожайный, характеризовался крупным, стекловидным, выравненным зерном, устойчив против полегания, осыпания против пыльной головки. В свое время по физико-химическим качествам сорт Кызыл-бас был одним из лучших сортов Казахстана.

Существенную роль, как исходный материал, сыграли сорта саратовской селекции. Так от скрещивания сорта местной селекции Барбаросса 6/99 с Саратовская 29 в Павлодарской области был районирован среднепоздний сорт, с качеством зерна сильной пшеницы Карагандинская 2 [3].

Одним из значимых сортов Казахстанской селекции является Карагандинская 22 созданная методом отбора из гибридной популяции третьего поколения от

скрещивания Саратовская 42 × Целинная Юбилейная. По периоду вегетации относится в группу среднеранних сортов, сохранивший свое значение в настоящее время занимая площадь посева только в Карагандинской области 320–350 тыс. га крупнозерный пластичный, устойчив к осыпанию и полеганию даже при перестое посева. Превышение обусловлено более продуктивным колосом, за счет его озерненности и крупности зерна. Выше у него сохранность растений к уборке. Входит в список сортов сильной пшеницы. В силу своей скороспелости и качеству зерна сорт Карагандинская 22 дает устойчивые урожаи зерна, не уступая более продуктивным среднепоздними среднеспелым сортам [4].

Среди сортов Карагандинской селекции является среднепоздний сорт Карагандинская 70. Он создан методом внутривидовой гибридизации с последующим индивидуальным отбором из гибридной популяции третьего поколения полученном от скрещивания сортов Саратовская 36×К-428010 (Канада). Удлинение вегетационного периода происходит в основном за счет более растянутого межфазного периода кущение– выход в трубку. Эта особенность сорта дает возможность легче переносить раннелетнюю засуху и формировать более продуктивный колос. Положительным свойством является его ускоренное созревание к моменту уборки формируя более выравненный достаточной высоты стеблестой.

По заключению Новосибирских сортоиспытателей Карагандинская 70 лучше других переносит солонцеватость почвы, способен переносить засушливые условия в течение длительного времени и эффективно использовать осадки, которые выпадают в малых количествах [5].

Следующим этапом работы с исходным материалом является сорта по программе КАСИБ (Казахко-Сибирский питомник улучшения яровой мягкой пшеницы). С участием этого исходного материала созданы новые сорта яровой мягкой пшеницы Карагандинская 30, Карагандинская 31, Карагандинская 60.

Сорт Карагандинская 30 создан методом гибридизации от скрещивания К-21237 × (Карагандинская 60 × Карагандинская 93). Линия К-21237 получена из Южно-Уральского НИИСХ.

Сорт среднеспелый, созревает за 86–90 суток. Соломина средней высоты, прочная, устойчива к полеганию и спутыванию стеблей. Лист зеленый со средним опушением и восковым налетом в период кущения. Хлебопекарные качества хорошее и отличные, относится к классу сильных пшениц улучшителей. Сорт засухоустойчив. Превышает по урожайности районированные сорта до 3,1–5,5 ц/га. Максимальная урожайность получена на Костанайской комплексном сортоучастке 59 ц/га по паровому предшественнику. Сорт засухоустойчив, жаростоек, пластичный и влагоотзывчив. Допущен к применению в Карагандинской, Павлодарской, Восточно-Казахстанской и Алматинской областям.

Следует отметить, что особенно высокой экологической пластичностью отли-

чается сорт Карагандинская 31 полученный путем индивидуального отбора из гибридной популяции четвертого поколения полученного от скрещивания сортов Челябинская 17 с сортом воей селекции Карагандинская 93.

Сорт среднеспелого типа. Разновидность лютесценс. Созревает на 3–5 дня позже стандартного сорта Карагандинская 22. По устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине, корневыми гнилями и скрыто стебельными вредителями поражается на уровне стандарта. Сорт засухоустойчивый, пластичный и высокоурожайный. Урожайность сорта по чистому пару в конкурсном испытании в среднем составила 22,0 ц/га с превышением над стандартом Карагандинская 22 на 3,4 ц/га. При испытании сорта Карагандинская 31 на сортоучастках областей Северного Казахстана урожайность его колебалась в пределах от 9,5 до 31,7 ц/га, с превышением над стандартными сортами от 2,9 до 4,6 ц/га.

Потенциальная продуктивность сорта Карагандинская 31 достигает уровня 55–60 ц/га. По качеству зерна относится к сильным пшеницам улучшителям с общей хлебопекарной оценкой 4,4–4,7 балла против 3,8–4,6 балла у стандарта.

Область применения: с 2016 года допущен к использованию по Акмолинской, Карагандинской, Костанайской, Северо-Казахстанской областям.

Среднеспелый сорт Карагандинская 60 выделен методом отбора из гибрида четвертого поколения от скрещивания сортов, Лютесценс 251-9-4 и Карагандинская 21. Созревает на 2–3 дня позже стандарта Карагандинская 22. По устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине находится на уровне стандарта, но имеет преимущество по устойчивости к корневым гнилям и пыльной головне.

Урожайность сорта по чистому пару в конкурсном испытании, в среднем за 2012–2014 годы составила 18,1 ц/га, превысив Карагандинская 22 на 2,7 ц/га. Потенциальная урожайность зерна 51,6–57,9 ц/га, что выше стандарта Омская 30 на 4,4–6,2 ц/га. С 2017 года опущена к использованию по Акмолинской, Костанайской и Карагандинской областям. По результатам технологической оценки качества зерна, сорт Карагандинская 60 имел преимущества по стекловидности зерна – 66 %, что выше на 11 %, чем у Карагандинская 22. Сорт превышает стандарт по силе муки – 448 е. а, что выше на 157 е. а. С общей хлебопекарной оценке 4,5 балла, отнесен в класс «сильной пшеницы» улучшителя.

Селекционная работа, в настоящее время строится на сочетании традиционных методов с новыми нетрадиционными подходами, позволяющими получить новейший исходный материал с заданными свойствами у которых высокая устойчивость к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам среды сочетается с высокой продуктивностью и качеством [6].

Работа выполнялась с РГП «Национальный центр биотехнологии» г. Астана. Получение каллусной ткани проводили стандартными методами [8]. В качестве эксплантат использовались зрелые зародыши, которые культивировались на питательной среде Мурасиге и Скуга с добавлением селекционных агентов.

Используя самоклональную вариабельность константной линии 48/03 гибридного происхождения Казахстанская раннеспелая × Л.275/94-1 выделена линия 48/03 с МС 2–3 ставшая впоследствии сортом яровой мягкой пшеницы под названием Дархан Ден.

Вегетационный период составляет в среднем 84–86 дней. Сорт обладает устойчивостью к засухе во все фазы развития, что обеспечивает высокую продуктивность. Устойчив к полеганию. Поражаемость основными болезнями и вредителями на уровне стандартного сорта Карагандинская 22, относительно устойчив к бурой ржавчине.

Сорт высокоурожайный, в среднем за три года испытания в питомнике КСИ сформировал урожайность 18,4 ц/га, превысив стандарт Карагандинская 22 на 3,0 ц/га. По данным экологического испытания в ТОО «НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева» урожайность нового сорта составила 23,2 ц/га, что на 3,0 ц/га выше, чем у стандартного сорта Акмола 2.

По качественным показателям зерна сорт находится на уровне стандарт Карагандинская 22 натура – 776 г/л, содержание белка – 14,77 %, содержание сырой клейковины – 30,8 %, сила муки – 365 е.а., разжижение теста – 50 е.ф., валлориметрическая оценка – 87 е.в., общая хлебопекарная оценка – 4,5 балла.

Сорт устойчив к осыпанию и полеганию. Перспективен для возделывания в Северных областях Казахстана.

Таким образом работая с различным исходным материалом созданы новые сорта яровой мягкой пшеницы востребованных сельхозформированиями Центрального и Северного Казахстана.

Список литературы

- 1 Серeda Г.А., Бычек Я.К. Достижения селекции в Центральном Казахстане // Интенсификация и эффективность сельскохозяйственного производства. Сборник научных статей. Алма-Ата: Кайнар. 1989. С. 13–22.
- 2 Краткий очерк работ за 1932–1938 гг. Рукопись. 39 с.
- 3 Бычек Я.К., Серeda Г.А. Новый сорт яровой мягкой пшеницы для Центрального Казахстана // пути повышения интенсификации сельскохозяйственного производства. Алма-Ата: Кайнар. 1975. С. 19–24.
- 4 Серeda Г.А., Серeda С.Г., Шаханов Е.Ш. Исходный материал и селекция яровой мягкой пшеницы на скороспелость и продуктивность в Центральном Казахстане // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 166. С. 563–567.
- 5 Серeda Г.А. Новые сорта зерновых Карагандинского научно-исследовательского института сельского хозяйства // Сельское хозяйство в сухостепной зоне Казахстана. Караганда. 2001. С. 104–106.
- 6 Калашникова Е.А., Кочиева Е.З., Миронова О.Ю. Практикум по сельскохозяйственной биотехнологии. М.: Колос. 2006. 144 с.

Особенности распределения жирных кислот в триацилглицеринах зрелых семян лунника оживающего (*Lunaria rediviva* L.)

Сидоров Р.А. *, к.б.н., в.н.с., Казаков Г.В., инженер

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*email: roman.sidorov@mail.ru

Впервые описан жирнокислотный состав запасных sn-1,2,3-триацилглицеринов (ТАГ) зрелых семян лунника оживающего – источника нутрицевтически ценной нервоновой кислоты (24:1n-9). Изучено распределение ацилов жирных кислот (ЖК) между sn-1(3)- и sn-2- положениями углеродных атомов глицеринового остатка ТАГ. Показано, что насыщенные (пальмитиновая, 16:0 и стеариновая, 18:0), а также мононенасыщенные ЖК с очень длинной цепью – гондоиновая (20:1n-9), эруковая (22:1n-9) и нервоновая этерифицируют исключительно крайние – β -углеродные атомы (sn-1(3)-положения), и отсутствуют в sn-2-положении.

Ключевые слова: лунник оживающий; триацилглицерины; жирные кислоты; нервоновая кислота

Characteristics of the distribution of fatty acids in triacylglycerols of mature seeds of *Lunaria rediviva* L.

Sidorov R. A., Kazakov G.V.

K. A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS

*email: roman.sidorov@mail.ru

The fatty acid composition of storage sn-1,2,3-triacylglycerols (TAGs) of mature Perennial honesty seeds, a source of nutraceutically valuable nervonic acid (24:1n-9), is described for the first time. The distribution of fatty acid (FA) acyls between the sn-1(3)- and sn-2- positions of carbon atoms of the glycerol residue of TAG is also discussed. Saturated fatty acids, such as palmitic acid (16:0) and stearic acid (18:0), as well as very long-chain monounsaturated fatty acids, including gondoic acid (20:1n-9), erucic acid (22:1n-9), and nervonic acid, have been found to esterify exclusively at the β -carbon atoms (sn-1(3) positions), with no presence in the sn-2 position.

Key words: *Lunaria rediviva*; seeds; triacylglycerols; fatty acids; positional distribution; nervonic acid

Введение. Растения рода *Lunaria*, главным образом – лунник однолетний (*Lunaria annua* L.) – являются продуцентами жирного масла, богатого мононенасыщенными жирными кислотами с очень длинной цепью (МЖКОДЦ) – гондоиновой, эруковой и нервоной (НК), принадлежащих к «семейству» ω -9 кислот, для промышленных (например, лубриканты [1], биотопливо [2]) и нутрицевтических применений. НК богаты липиды белого вещества человеческого мозга и миелиновые волокна [3], чем обусловлена её высокая нутрицевтическая ценность. Исследования

последних лет показали, что НК в качестве пищевой добавки обладает терапевтическим потенциалом при аденолейкодистрофии и рассеянном склерозе [4]. Установлено, что содержание этой кислоты в липидах тканей нервной системы коррелирует с болезнями Альцгеймера, Паркинсона, когнитивными способностями, смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний и ожирением [3]. НК может также действовать как неконкурентный ингибитор обратной транскриптазы вируса иммунодефицита человека I типа [5]. В свете этих данных поиск и изучение потенциальных продуцентов жирного масла, богатого НК, является, несомненно, актуальной задачей.

Известно, что нанутрицевтическую ценность триацилглицерина влияет не только состав ЖК, но и их распределение между *sn*-положениями углеродных атомов глицеринового остатка, так как у ЖК, этерифицирующих *sn*-2-положение и *sn*-1(3)- разная метаболическая «судьба» и, соответственно, – функциональная активность [6].

Целью нашего исследования стало изучение особенностей ЖК-состава и распределения ЖК между *sn*-положениями запасных ТАГ семян лунника оживающего – многолетнего растения, реликта третичного периода.

Материалы и методы. Зрелые плоды лунника оживающего собирали в сентябре 2023 года на территории Главного ботанического сада РАН (Москва, Россия), семена извлекали из стручков и хранили в бумажных конвертах при комнатной температуре. Экстракцию жирного масла, выделение ТАГ из экстракта, их липазный гидролиз, разделение продуктов гидролиза и вычисление состава *sn*-1(3)-положений выполняли, как описано ранее [7, 11]. Для получения метиловых эфиров ЖК (МЭЖК) из ТАГ использовали три метода: омыление 4 % КОН в 80 % водном этаноле с последующей экстракцией свободных ЖК и их этерификацией сернокислым метанолом [8]; прямую переэтерификацию ТАГ 1 % раствором H_2SO_4 в метаноле [8]; а также переэтерификацию 0,2 М метанольным раствором гидроксида триметилсульфония (ТМСГ). МЭЖК анализировали методом капиллярной газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием, как описано ранее [7–9].

Результаты и обсуждение. Во время получения МЭЖК из ТАГ прямой их переэтерификацией в 1 % растворе H_2SO_4 в метаноле при 55 °С, мы обратили внимание на то, что реакция не протекает количественно – на дне виалы оставалась капля ТАГ, не вступивших в реакцию. По-видимому, это обусловлено наличием большого количества молекулярных видов ТАГ с ЖК с очень длинной цепью в их составе, которые имеют более высокую температуру плавления, по сравнению с ТАГ обычного состава. Поэтому мы дополнительно применили другие способы пробоподготовки, чтобы оптимизировать методику исследований и сравнили влияние способа получения МЭЖК из ТАГ семян лунника оживающего на ЖК-состав пробы. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние способа получения МЭЖК из *sn*-1,2,3-ТАГ лунника оживающего на ЖК-состав пробы

ЖК, масс. %	Способы дериватизации ТАГ (n=3)		
	Омыление	1 % H ₂ SO ₄ /MeOH	0,2М ТМСГ
16:0	***1,5 ± 0,1	4,1 ± 0,3	***1,4 ± 0,1
18:0	*0,1 ± 0,0	0,2 ± 0,0	*0,1 ± 0,0
18:1 <i>n</i> -9	**18,6 ± 0,1	16,0 ± 0,6	**18,4 ± 0,4
18:2 <i>n</i> -6	12,2 ± 0,2	12,1 ± 0,1	12,3 ± 0,3
18:3 <i>n</i> -3	**1,5 ± 0,1	2,1 ± 0,1	**1,6 ± 0,1
20:1 <i>n</i> -9	**9,9 ± 0,0	13,0 ± 0,5	**9,7 ± 0,1
22:1 <i>n</i> -9	48,0 ± 0,3	47,4 ± 1,2	48,2 ± 0,7
24:1 <i>n</i> -9	***6,9 ± 0,0	4,2 ± 0,2	***6,9 ± 0,1
Прочие ЖК ^{a)}	1,4 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1,4 ± 0,1

^{a)} также содержали 14:0, 16:1*n*-9, 16:1*n*-7, 18:1*n*-7, 20:1*n*-7, 20:2*n*-6, 20:0, 22:0, 22:1*n*-7, 24:0, 24:1*n*-7 в количествах 0,01-0,4 %; * – Результаты ANOVA теста в сравнении с 1 % H₂SO₄ в метаноле: *** – p<0,001, ** – p<0,01, * – p<0,05.

Главными ЖК были олеиновая, линолевая, гондоиновая, эруковая и нервоновая – на их сумму приходилось более 93 % ЖК, из них на сумму МЖКОДЦ – более 64 % ($\sum_{C_{18:x}} / \sum_{\text{МЖКОДЦ}} = 1:2$). МЭЖК из ТАГ, полученные прямой переэтерификацией серноокислым метанолом, характеризовались достоверными различиями по сравнению с двумя другими способами получения МЭЖК, выраженных в повышенном в 2,7 раза содержании 16:0 и в 1,6 раза меньшим количеством нервоновой кислоты.

По результатам сравнения трёх разных методов получения МЭЖК из ТАГ, богатых МЖКОДЦ, для дальнейшей работы мы остановились на дериватизации с помощью ТМСГ, так как этот метод позволял получать пробы идентичного состава за время, в 3–4 раз меньшее, времени, требуемого для получения МЭЖК способом омыления с последующей этерификацией ЖК.

Для характеристики распределения ЖК между *sn*-положениями углеродных атомов глицеринового остатка ТАГ семян лунника оживающего, мы применили метод гидролиза этих соединений липазой панкреатической железы свиньи (Sigma-Aldrich кат. № L3126) с последующим выделением продуктов реакции – *sn*-1,2(2,3)-ДАГ и *sn*-2-МАГ – и установлением их ЖК-состава. Результаты этой работы приведены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 видно, что ЖК между *sn*-положениями внутри ТАГ распределены неравномерно: *sn*-2-положение совсем не содержало МЖКОДЦ, либо содержало их следовые количества, а ненасыщенные C₁₈ кислоты, были сосредоточены исключительно в *sn*-2-положении. Таким образом, на долю олеиновой, линолевой и α-линоленовой кислот в *sn*-2 ТАГ приходилось 51,4; 41,4 и 6,6 % соответственно. Что касается насыщенных кислот, то в *sn*-2 также были отмечены их следовые количества, не превышающие в сумме 0,7 %.

Таблица 2 – ЖК-состав *sn*-1,2(2,3)-ДАГ и *sn*-2-МАГ, полученных в результате липазного гидролиза ТАГ зрелых семян лунника оживающего, и вычисленный состав ЖК *sn*-1,3- положений ТАГ

<i>sn</i> -положения	Жирные кислоты, масс. % (n=9)						
	16:0	18:1n-9	18:2n-6	18:3n-3	20:1n-9	22:1n-9	24:1n-9
1,2,3	1,4 ± 0,1	18,4 ± 0,5	12,3 ± 0,3	1,6 ± 0,1	9,7 ± 0,1	48,2 ± 0,8	6,9 ± 0,1
1,2(2,3)	2,4 ± 0,6	30,8 ± 0,7	22,2 ± 1,1	3,3 ± 0,2	7,6 ± 0,3	28,9 ± 1,9	3,9 ± 0,3
2	0,6 ± 0,5	51,4 ± 3,3	41,4 ± 2,6	6,6 ± 0,8	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
1,3**	1,7 ± 0,3	0,5 ± 0,9	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	14,3 ± 0,2	71,1 ± 1,0	10,2 ± 0,3
1,3***	0,2 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	11,7 ± 0,8	73,9 ± 1,1	11,2 ± 0,5

** вычислены из *sn*-2-МАГ по формуле: $[a]_{1,3} = (3 \times [a]_{1,2,3} - [a]_2) \times 2^{-1}$, [10]

*** вычислены из *sn*-1,2(2,3)-ДАГ по формуле: $[a]_{1,3} = 3 \times [a]_{1,2,3} - 2 \times [a]_{1,2(2,3)}$, [7].

Так как при липазном гидролизе не образуется *sn*-1,3-ДАГ, то состав ЖК в этих *sn*-положениях может быть вычислен из состава *sn*-1,2,3-ТАГ и составов *sn*-2- или *sn*-1,2(2,3)-положений. В табл. 2. приведены результаты обоих методов вычисления. Можно видеть, что на долю МЖКОДЦ (гондоиновой, эруковой и нервоновой) приходилось 95,6–96,8 % от суммы ЖК в *sn*-1,3-положениях ТАГ, в то время как ненасыщенные C₁₈ ЖК в этих позициях практически полностью отсутствовали. Такое строго селективное распределение ЖК позволяет предположить, что запасные ТАГ зрелых семян лунника оживающего должны быть представлены главным образом симметричными двухкислотными молекулярными видами ТАГ вида АВА, где А – МЖКОДЦ, а В – ненасыщенные и полиненасыщенные C₁₈ ЖК. Их образование должно быть обусловлено присутствием в биосинтезе ТАГ по пути Кеннеди особых изоформ ферментов, ответственных за ацилирование *sn*-1 – глицеро-3-фосфат-ацилтрансфераза, (GPAT) и, как минимум, за *sn*-3-положение – *sn*-1,2-диацилглицерин-3-ацилтрансфераза (DGAT), имеющих субстратную специфичность к мононенасыщенным ЖК с очень длинной цепью. Установление позиционно-видового, позиционно-типового состава ТАГ, ЖК составов *лизо*-фосфатидной и фосфатидной кислоты, нативных ДАГ семян лунника оживающего станет предметом дальнейших исследований.

Финансирование: результаты исследований получены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации России (тема № 122042700043-9).

Список литературы

- 1 Dodos G.S. et al. Renewable fuels and lubricants from *Lunaria annua* L. // Industrial Crops and Products. 2015. Т. 75. С. 43–50.
- 2 Papini A., Simeone M.C. Forest resources for second generation biofuel production // Scandinavian Journal of Forest Research. 2010. V. 25. № . S8. P. 126–133.
- 3 Li Q. et al. A mini review of nervonic acid: Source, production, and biological functions // Food Chemistry. 2019. V. 301. P. 125286.

- 4 Su H. et al. High-level production of nervonic acid in the oleaginous yeast *Yarrowia lipolytica* by systematic metabolic engineering // *Communications Biology*. 2023. V. 6. № . 1. P. 1125.
- 5 Kasai N. et al. Three-dimensional structural model analysis of the binding site of an inhibitor, nervonic acid, of both DNA polymerase β and HIV-1 reverse transcriptase // *The journal of biochemistry*. 2002. V. 132. № . 5. P. 819–828.
- 6 More S.B., Gogate P.R., Waghmare J.S. Application of structured triacylglycerols in food products for value addition // *Heliyon*. 2020. V. 6. № . 10.
- 7 Sidorov R.A. et al. Positional-Species Composition of Triacylglycerols from the Arils of Mature *Euonymus* Fruits // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2014. V. 91. № . 12. P. 2053–2063.
- 8 Nosov A.V. et al. Callus and suspension cell cultures of *Sutherlandia frutescens* and preliminary screening of their phytochemical composition and antimicrobial activity // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2023. V. 45. № . 3. P. 42.
- 9 El-Hamdy A.H., Christie W.W. Preparation of methyl esters of fatty acids with trimethylsulphonium hydroxide—an appraisal // *Journal of Chromatography A*. 1993. V. 630. № . 1–2. P. 438–441.
- 10 Vander Wal R.J. Calculation of the distribution of the saturated and unsaturated acyl groups in fats, from pancreatic lipase hydrolysis data // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1960. V. 37. № . 1. P. 18–20.

DOI 10.18699/GPB2024-79

**Биоресурсная коллекция льна кафедры генетики, селекции
и семеноводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева**

Симагин А.Д.; Симагина А.С.; Захарова С.А.; Вертикова Е.А., д.с.-х.н., и.о. зав. каф.*

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, Россия

**email: alexander.d.simagin@yandex.ru*

На кафедре генетики, селекции и семеноводства в 2021 году развернуты исследования по изучению льна масличного и льна-долгунца. С целью реализации селекционных программ по данной культуре активно начали формировать биоресурсную коллекцию льна, которая на данный момент насчитывает более 45 образцов различного происхождения.

Ключевые слова: лен масличный; лен-долгунец; биоресурсная коллекция; дикие виды; генофонд

**Bioresource collection of flax of the Department of Genetics, Breeding and
Seed Production of the Federal State Budgetary Educational Institution
of the Russian Academy of Agriculture named after K.A. Timiryazev**

Simagin A.D.; Simagina A.S.; Zakharova S.A.; Vertikova E.A., Doctor of Agricultural Sciences, Acting Head of the Department*

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

**email: alexander.d.simagin@yandex.ru*

In 2021, the Department of Genetics, Breeding and Seed Production launched research on the study of oilseed flax and long-lived flax. In order to implement breeding programs for this crop, they actively began to form a bioresource collection of flax, which currently has more than 45 samples of various origins.

Key words: oilseed flax; long-lived flax; bioresource collection; wild species; gene pool

Лен – одна из наиболее древних культур, возделываемая человеком. История использования льняного сырья начинается еще в древнем Египте с XXXV века до н.э. Выращивали его в долине реки Нил и уже тогда лен был важнейшим продуктом в экономике Древнего Египта. Из льняного сырья производили высококачественные ткани, а масло не только употребляли в пищу, но и использовали при бальзамировании мумий высокопоставленных лиц [2].

Дошел лен и до наших дней. Однако сейчас человек расширил спектр применения льняного сырья. Теперь оно применяется не только в текстильной и лакокрасочной промышленности, но и в медицине, пищевой промышленности, строительстве, ракетостроении и т.д [1].

На современном этапе лен пользуется высоким спросом. Однако необходимо отметить, что экономический кризис 90-х годов XX века оказал существенно негативное влияние на развитие льноводства в России. Посевные площади сильно сократились и в 2023 году не превысили даже 40 тысяч гектар [3]. Поэтому необходима существенная реорганизация льноводства как отрасли сельского хозяйства, которая должна активно использовать достижения селекции льна по различным направлениям.

Следовательно, актуальным является выведение новых высокопродуктивных сортов, в достаточной мере отвечающих требованиям производства.

Селекционный процесс любой культуры направлен, прежде всего, на создание и изучение исходного материала.

С целью глубокого изучения льна и вовлечения в селекционные программы различного направления в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на кафедре генетики, селекции и семеноводства сформирована биоресурсная коллекция льна. При разработке плана научной работы первоочередной задачей являлось включение в коллекцию эндемичных форм рода *Linum* и сортообразцов селекции российских научно-исследовательских институтов.

Основу биоресурсной коллекции льна на кафедре генетики, селекции и семеноводства составили сорта, полученные из ведущих научно-исследовательских институтов, занимающихся селекцией льна. Так в 2021 году получен 21 сорт льна-долгунца и 1 сорт льна масличного, входящих в национальную коллекцию русского льна из ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур». Следующим этапом стояла задача расширить перечень сортообразцов льна масличного. Для этого в 2022 году был заключен договор о научно-техническом сотрудничестве с ФГБНУ

«Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта». Таким образом получены семена 13 сортов льна масличного.

Параллельно с продолжающимся формированием коллекции льна-долгунца и льна масличного приступили к изучению имеющихся сортообразцов в условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации. Впервые оценку биоресурсной коллекции в полевых условиях провели в 2022 году на полевой опытной станции ФГБОУ ВО РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева. Лучшие сорта включили в обширную программу гибридизации. Таким образом получено 53 гибридные популяции льна-долгунца.

Вместе с этим в 2022 году была предпринята первая экспедиция за дикими видами рода *Linum* в места наибольшего их распространения. Образцы диких льнов собраны на территории Ставропольского края, Карачаево-Черкесской республики, Воронежской и Ростовской областях. По итогам экспедиции 11 эндемичных форм включили в изучаемую коллекцию. В полевых условиях провели гибридизацию сортов льна масличного и получили 28 гибридных популяций. В 2023 году биоресурсная коллекция пополнена еще 4 сортами льна масличного.

Таким образом, биоресурсная коллекция льна, сформированная на кафедре генетики, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева представляет определенную ценность, пополняется и может быть использована для селекции данной культуры в условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации.

Благодарности: Коллектив исследователей благодарит ректорат ФГБОУ ВО РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева, и.о. директора института агробιοтехнологии Шитикову А.В., начальника полевой станции Жогина И.М., доцента кафедры генетики, селекции и семеноводства Баженову С.С. за возможность проводить исследования на полевой опытной станции, а также заведующую лабораторией селекционных технологий Рожмину Т.А. и в.н.с. Кудрявцеву Л.П. за предоставление сортов льна-долгунца и Трунову М.В. за предоставление сортов льна масличного.

Список литературы

- 1 Зеленцов С.В. Лен масличный и перспективы его выращивания //Сельскохозяйственный журнал «Аграрный сектор». 2022. № 4 (50). С. 70–74.
- 2 Орфинская О.В. Текстильные технологии Египта: сырьевая база // Египет и сопредельные страны. 2020. № 1. С. 45–48.
- 3 Посевные площади Российской Федерации в 2023 году (весеннего учета). URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4cx_2023.xlsx

Влияние интрогрессированных в геном мягкой пшеницы генов опушения листа на параметры фотосинтеза и устойчивость к засухе

Симонов А.В.^{1*}, к.б.н., н.с.; Гордеева Е.И.¹, к.б.н., н.с.; Булатов И.О.², студент; Ли Вэньцзянь³, студент; Пшеничникова Т.А.¹, к.б.н., зав. сектором.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
СО РАН, Новосибирск, Россия

²НГАУ, Новосибирск, Россия

³НГУ, Новосибирск, Россия

*email: sialexander@bionet.nsc.ru

*Интрогрессии в геном мягкой пшеницы генетического материала от *Thinopyrum ponticum* и *Triticum timopheevii*, включающие гены опушения листа, оказывают различное влияние на адаптацию растений к засухе. Замещённые линии, несущие хромосому пырея 4Th, испаряют меньше влаги, но также снижают скорость ассимиляции углекислого газа. При оптимальном увлажнении замещение хромосомы 4D на 4Th положительно сказывается на количестве и весе зерна с растения. Интрогрессии от *Triticum timopheevii* в хромосомы 4B и 5A, также изменяющие густоту и длину опушения листа, увеличивают скорость поглощения CO₂ и испарения влаги, что снижает урожайный потенциал в условиях дефицита воды.*

Ключевые слова: трихомы; фотосинтез; засуха

The effect of leaf pubescence genes introgressed into the genome of common wheat on photosynthesis parameters and drought resistance

Simonov A.V. *, Gordeeva E.I., Bulatov I.O., Li Wenjian, Pshenichnikova T.A.

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: sialexander@bionet.nsc.ru

*Introgressions into the genome of common wheat of genetic material from *Thinopyrum ponticum* and *Triticum timopheevii*, including leaf pubescence genes, have different effects on plant adaptation to drought. The substitution lines carrying the *Th. ponticum* chromosome 4Th evaporate less moisture, but also reduce the rate of carbon dioxide assimilation. With optimal water supply, the replacement of the 4D chromosome by the 4Th has a positive effect on the amount and weight of grain from the plant. Introgressions from *T. timopheevii* into chromosomes 4B and 5A, which also change the density and length of leaf pubescence, increase the rate of CO₂ absorption and moisture evaporation, which reduces the yield potential in conditions of water scarcity.*

Key words: trichomes; photosynthesis; drought

В ходе эволюции растения выработали различные механизмы адаптации к изменяющимся условиям среды и воздействию неблагоприятных факторов, в том числе к засухе. Одним из адаптационных механизмов является опушение листьев

[1–3]. У пшеницы и родственных злаков опушение представлено одноклеточными эпидермальными выростами – трихомами, которые могут иметь разную длину и распространяться по поверхности с разной плотностью. Они рассеивают солнечные лучи, снижая нагрузку на фотосинтетический аппарат, защищают поверхность от механических повреждений пыльными ветрами и насекомыми, а также изменяют поверхностные воздушные течения. Ламинарные течения воздуха рядом с препятствиями в приграничном слое сменяются на турбулентные, что влияет на газообмен, то есть на транспирацию и поглощение углекислого газа [4]. У пшеницы и родственных злаков известно несколько генов, по-разному влияющих на опушение листа. Ген *H11* распространён у сортов российской селекции [5], он расположен в хромосоме 4В [6, 7], формирует густые волоски длиной, обычно не превышающей 300 мкм. Ген *H12* был впервые выявлен у китайских образцов [8], он расположен в хромосоме 7В и формирует единичные волоски 400–700 мкм и более. Ген *H11th* с фенотипическим проявлением подобно *H12* был перенесён в геном мягкой пшеницы вместе с хромосомой 4Th от пырея (*Thinopyrum ponticum* (Host.)) [9]. У пшеницы Тимофеева (*Triticum timopheevii* (Zhuk.)) известен ген *H1^u*, перенесённый в хромосому 5А мягкой пшеницы, формирующий такое же длинное редкое опушение листьев [10].

Целью работы было сравнить параметры газообмена у линий мягкой пшеницы с разными параметрами опушения листьев и адаптивное значение их для условий засухи. В работе использованы линии с интрогрессиями на основе сорта Саратовская 29 (далее С29). Две линии с замещением хромосом 4В или 4D на 4Th пырея, отличающиеся параметрами опушения от реципиентного сорта. С29 имеет густое опушение листьев (рис. 1а) благодаря основному гену *H11* и гену *H13* со слабым эффектом (не локализован).

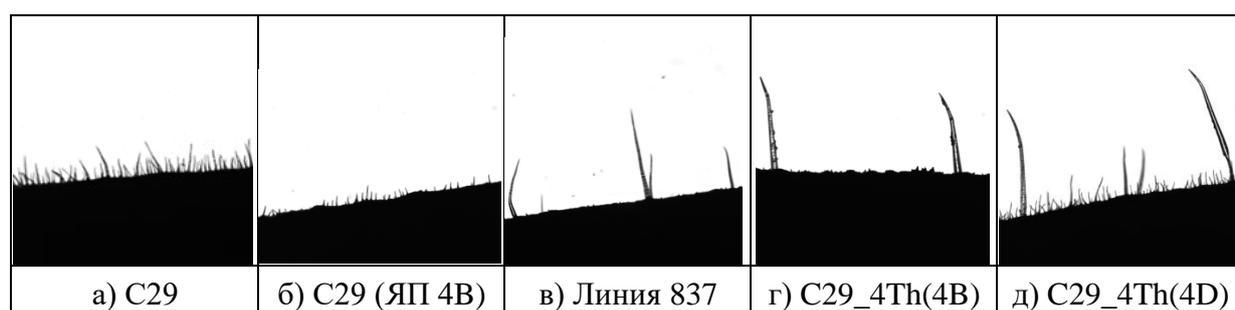


Рис. 1. Микрофотографии сгиба листа изучаемых генотипов

Межсортовое замещение хромосомы 4В от неопушённого родителя, например, сорта Янецкис Пробат, оставляет только разреженные трихомы нижнего яруса (рис. 1б). Замещённая линия С29_4Th(4В) имеет единичные длинные трихомы вместо типичного для С29 плотного слоя трихом (рис. 1г). У замещённой линии С29_4Th(4D) ген *H11th* формирует трихомы верхнего яруса на фоне трихом гена *H11* реципиента (рис. 1д), снижая количество последних. У линии 837 выявлены

интрогрессии от *T. timopheevii* в хромосомы 2А, 2В, 4В и 5А. Здесь замещение хромосомы 4В приводит к удалению густых трихом реципиента, но ген *H1th* в хромосоме 5А формирует единичные длинные, таким образом фенотипически опушение линии 837 похоже на С29_4Th(4В). Наглядное сравнение параметров опушения линий с интрогрессиями и реципиента приведено на рисунке 2.

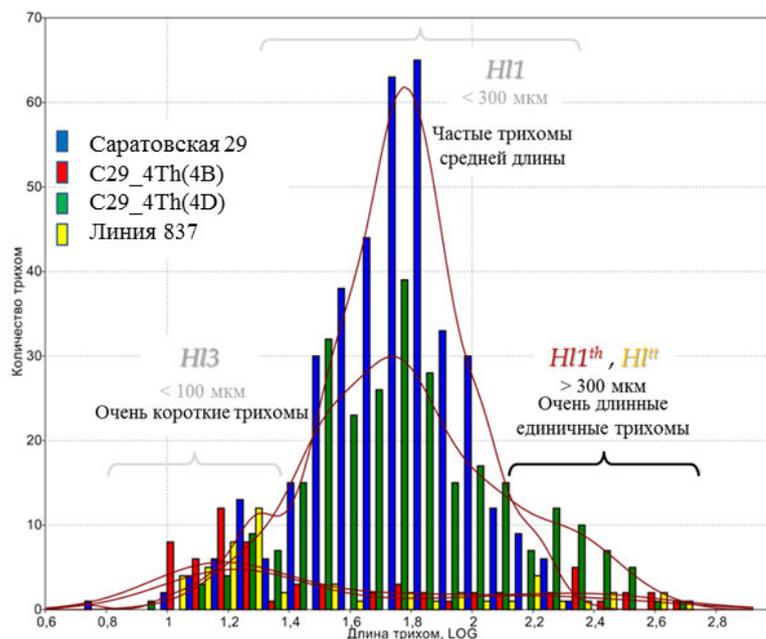


Рис. 2. Распределение трихом по длинам (логарифмированы) на сгибах листа у линий пшеницы

У выбранных линий были получены полевые данные параметров фотосинтеза, показывающие тенденции изменения эффективности газообмена (табл. 1). Так, линия 837 с интрогрессиями от *T. timopheevii* в сравнении с С29 увеличивает скорость ассимиляции углекислого газа на 3,6 %, но скорость транспирации увеличивается значительно больше, на 12,5 %, что отрицательно сказывается на эффективности использования воды.

Таблица 1 – Анализ параметров фотосинтеза генотипов с контрастным опушением листа в полевых условиях

Генотипы	Скорость ассимиляции CO ₂ (А) ммоль м ⁻² с ⁻¹			Скорость транспирации (Е) ммоль м ⁻² с ⁻¹			Эффективность использования воды (А/Е)		
	сред	±	Δ %	сред	±	Δ %	сред	±	Δ %
С29	35,8	4,1		17,6	4,6		2,2	0,6	
Линия 837	37,1	6,6	+3,6	19,8	2,8	+12,5	1,9	0,4	-13,6
С29 4Th/4В	29,4	6,3	-17,9	15,1	2,5	-14,2	1,9	0,3	-13,6
С29 4Th/4D	26,7	4,3	-25,4	15,0	4,0	-14,8	1,9	0,4	-13,6

Замещённые линии с хромосомой 4Th пырея значительно снижают скорость поглощения углекислого газа, однако и скорость транспирации падает. При этом

эффективность использования воды у всех линий оказалась сопоставимой и примерно на 13,6 % ниже, чем у С29.

Для определения адаптивных свойств набор линий выращивался в контрастных условиях влагообеспечения. Данные по урожайности растений при выращивании в теплице с оптимальным увлажнением и на засухе приведены в таблице 2. Все линии демонстрируют большую склонность к кущению, чем С29, как на поливе, так и на засухе.

Таблица 2 – Анализ урожайности генотипов с контрастным опушением листа в условиях оптимального увлажнения и засухи

Генотипы	Число продуктивных побегов			Количество зёрен с растения			Вес зерна с растения			Масса 1000 зёрен		
	сред	±	*	сред	±	*	сред	±	*	сред	±	*
Полив												
С29	3,7	1,1		90,4	33,7		2,9	1,2		31,8	5,6	
Линия 837	4,7	1,2		73,4	29,8		2,5	1,3		32,9	6,2	
С29 4Th/4В	5,0	1,5	**	94,5	35,3		2,9	0,9		31,7	8,5	
С29 4Th/4D	4,2	1,3		110,7	36,6		3,6	1,1		32,7	2,3	
Засуха												
С29	2,8	0,7		70,1	16,6		2,1	0,7		30,0	4,9	
Линия 837	3,5	1,4		46,1	22,4	***	1,4	0,7	**	30,1	3,0	
С29 4Th/4В	3,8	1,4	**	83,8	36,1		2,0	0,9		23,9	5,7	***
С29 4Th/4D	3,4	1,2		88,3	23,7	**	2,1	0,5		24,6	3,3	***

Линия 837 снижает общую урожайность как по количеству зёрен с растения, так и по их массе, при этом крупность зерна незначительно увеличивается. Обе линии с геном *H11th* завязывают больше зёрен, чем С29, причём С29_4Th(4D) – достоверно больше на засухе. При этом вес зерна с растения на засухе у неё не снижается, а на поливе увеличивается на четверть. Засуха отрицательно сказывается на массе 1000 зёрен обеих линий с генетическим материалом пырея, тогда как линия 837 и С29 сохраняют крупность зерна на засухе.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 23-24-10029 и соглашения с администрацией НСО № Р-63.

Список литературы

- 1 Kaur J., Kariyat R. Role of trichomes in plant stress biology // Evolutionary Ecology of Plant-Herbivore Interaction 2020. P. 15–35.
- 2 Pshenichnikova T.A., Doroshkov A.V., Osipova S.V., Permyakov A.V., Permyakova M.D., Efimov V.M., Afonnikov D.A. Quantitative characteristics of pubescence in wheat (*Triticum aestivum* L.) are associated with photosynthetic parameters under conditions of normal and limited water supply // Planta. 2019. V 249(3). P. 839–847. DOI 10.1007/s00425-018-3049-9.
- 3 Осипова С. В., Рудиковский А. В., Пермяков А. В., Рудиковская Е. Г., Пермякова М. Д., Верхотуров В.В., Пшеничникова Т.А. Физиологические реакции линий пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с генетически различным опушением листа на водный дефицит //

- Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т 24. № 8. С. 813–820.
- 4 Schreuder M.D. J., Brewer C.A., Heine C. Modelled Influences of Non-exchanging Trichomes on Leaf Boundary Layers and Gas Exchange // *J. theor. Biol.* 2001. V. 210. P. 23–32. doi:10.1006/jtbi.2001.2285
 - 5 Генаев М.А., Дорошков А.В., Морозова Е.В., Пшеничникова Т.А., Афонников Д.А. Компьютерная система WheatPGE для анализа взаимосвязи фенотип–генотип–окружающая среда у пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2011. Т. 15. № 4. С. 784–793.
 - 6 Майстренко О.И. Идентификация и локализация генов опушения листа у молодых растений мягкой пшеницы // *Генетика*. 1976. Т. 12. № 1. С. 5–15.
 - 7 Dobrovolskaya O.V., Pshenichnikova T.A., Arbuzova V.S., Lohwasser U., Röder M.S., Börner A. Molecular mapping of genes determining hairy leaf character in common wheat with respect to other species of the Triticeae // *Euphytica*. 2007. V. 155. P. 285–293. DOI 10.1007/s10681-006-9329-7
 - 8 Taketa S, Chang CL, Ishii M, Takeda K Chromosome arm location of the gene controlling leaf pubescence of a Chinese local wheat cultivar Hong-mang-mai // *Euphytica*. 2002. V. 125. № 2. P. 141–147. DOI 10.1023/A:1015812907111
 - 9 Gordeeva E., Shoeva O., Mursalimov S., Adonina I. and Khlestkina E. Fine points of marker-assisted pyramiding of anthocyanin biosynthesis regulatory genes for the creation of black-grained bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines // *Agronomy*. 2022. V 12 (2934). DOI 10.3390/agronomy12122934.
 - 10 Simonov A.V., Smirnova O.G., Genaev M.A., Pshenichnikova T.A. The identification of a new gene for leaf pubescence introgressed into bread wheat from *Triticum timopheevii* Zhuk. and its manifestation in a different genotypic background // *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*. 2021. V. 19 № 3. P. 1–7. DOI 10.1017/S1479262121000277.

DOI 10.18699/GPB2024-81

Изучение генетических основ устойчивости к фитопатогенным микроорганизмам и толерантности к абиотическим факторам сортов и линий мягкой пшеницы

Сколотнева Е.С.^{*1}, к.б.н., с.н.с.; Разуваева А.В.¹, м.н.с.; Бойко Н.И.¹, к.с.-х.н., м.н.с.; Лепехов С.Б.², к.с.-х.н., в.н.с.; Воронцова Е.В.², м.н.с.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

*email: sk-ska@yandex.ru

Проведена оценка сортов и линий мягкой пшеницы, различающихся по устойчивости к различным фитопатогенам и насекомым-вредителям с использованием методов фитопатологического тестирования и молекулярно-генетического анализа, с целью поиска генотипов, совмещающих устойчивость к стеблевой ржавчине, септориозу и стеблевому пиллещику.

Ключевые слова: мягкая яровая пшеница; стеблевая ржавчина; септориоз; устойчивость к стеблевому пиллещику; молекулярные маркеры

Study of the genetic basis of resistance to phytopathogenic microorganisms and tolerance to abiotic factors of varieties and lines of bread wheat

*Skolotneva E.S.*¹, Razuvaeva A.V.¹, Boiko N.I.¹, Lepekhov S.B.², Vorontsova E.V.².*

¹ Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies, Barnaul, Russia

**email: sk-ska@yandex.ru*

An assessment of spring bread wheat varieties and lines differing in resistance to various phytopathogens and insect pests was carried out using phytopathological testing methods and molecular genetic analysis in order to search for genotypes that combine resistance to stem rust, septoria and stem sawfly.

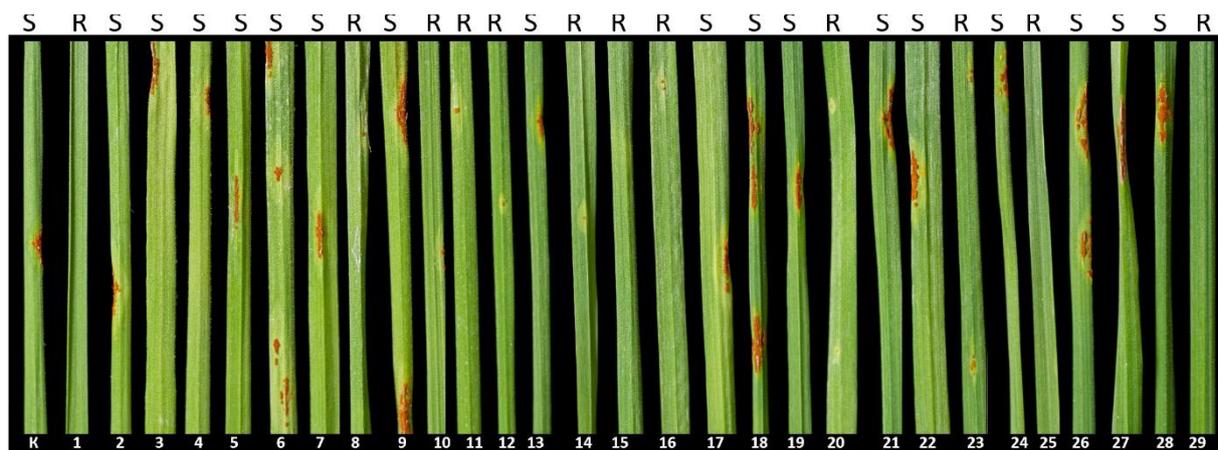
Key words: spring bread wheat; stem rust; septoria tritici blotch; wheat stem sawfly resistance; molecular markers

Создание сортов и линий мягкой пшеницы, совмещающих устойчивость к нескольким фитопатогенным микроорганизмам и насекомым-вредителям, является прикладной составляющей фундаментальных исследований генетических основ защитных механизмов растений. Коллекции сортового материала, прошедшие полевые испытания на устойчивость к биотическому стрессу, могут быть протестированы в условиях лаборатории дополнительно к возбудителям болезней, не регулярных в условиях региона, таким как стеблевая ржавчина. Одновременно с фитопатологическим тестированием привлечение ПЦР идентификации генов устойчивости к различным заболеваниям позволяет подготовить максимальную информацию для селекции на иммунитет.

Показана прямая зависимость устойчивости к стеблевому пилильщику пшеницы у образцов пшеницы, стебли которых заполнены паренхимой [1]. Панель из 29 сортов и линий мягкой пшеницы была отобрана в результате изучения коллекции по выполненности соломины и устойчивости к стеблевому хлебному пилильщику в Барнауле в 2020 и 2021 гг. [2]. Выполненность соломины оценивали по шкале Крупнова В.А. и Касатова В.И. [3]. Устойчивыми считались те сорта, у которых за два года исследования к моменту уборки ни одно растение не упало в результате подпиливания личинкой стеблевого хлебного пилильщика.

В условиях лаборатории молекулярной фитопатологии ИЦиГ СО РАН была проведена оценка устойчивости генетического материала к западно-сибирской популяции возбудителя стеблевой ржавчины с помощью фитопатологического подхода. Реакцию устойчивости к стеблевой ржавчине оценивали на 14-й день после заражения проростков пшеницы на стадии двух первых листьев, руководствуясь четырехбалльной системой [4]. На рисунке отмечены растения с реакциями восприимчивости (S – susceptible) и устойчивости (R – resistance). Реакция устойчивости к западно-сибирской популяции возбудителя стеблевой ржавчины выявлена у 12 из 29 протестированных сортов: Cunningham, Buck Candiel, Экада85, Byrsa, Sasia,

Sunstate, Lillimur, KW 240-3-13, Lillian, Sparrow, KWS Torridon, Пушкинская 3.



Фитопатологическая оценка панели сортов мягкой пшеницы на устойчивость к западно-сибирской популяции стеблевой ржавчины: К – контроль восприимчивости линия Хакасская, 1 – Lillimur, 2 – Darter, 3 – Dalcahue INIA, 4 – Local, 5 – Califura Sur, 6 – Eufrates, 7 – Calingiri, 8 – Byrsa, 9 – Calispero, 10 – KW 240-3-13, 11 – KWS Torridon, 12 – Lillian, 13 – Lankao Aizhao 8, 14 – Sparrow, 15 – Пушкинская 3, 16 – Sasia, 17 – Китри, 18 – PS133, 19 – Sori82, 20 – Sunstate, 21 – Cham 10, 22 – Алтайская 70, 23 – Buck Candiel, 24 – к-31310, 25 – Cunningham, 26 – Cara, 27 – Алтайская жница, 28 – Степная нива, 29 – Экада 85

Также было проведено генотипирование с помощью молекулярных маркеров генов устойчивости к септориозу и локусу Qss.msub-3BL выполненности соломины. Выявить генотип среди отобранной панели сортов и линий мягкой пшеницы, который бы совмещал одновременно устойчивость к вредителям и обеим грибным инфекциям, пока не удалось. Так, сорта Cunningham и Buck Candiel, проявившие наилучшие характеристики по устойчивости к стеблевой ржавчине, хлебному пилльщику и индексу выполненности, имеют один и тот же генотип по микросателлитным маркерам к локусу Qss.msub-3BL выполненности соломины (см. таблицу). Однако для указанных сортов не удалось идентифицировать генетические основы устойчивости к септориозу с помощью молекулярных Stb маркеров.

Генотипы сортов с наивысшими значениями индекса выполненности

Маркеры к локусу выполненности	Cunningham	Buck Candiel	Экада85	Byrsa	Sasia	Sunstate	Lillimur	Алтайская70	Алтайская жница	Степная нива
Xgwm547	F*1	F1	F1	F1N1	F1N1	F1N1	F1N1	F1N1	F1N1	F1N1
Xgwm340	F2F3	F2F3	F2	F2	N2	F3	F2	F2F3	F2F3	F2
Xgwm247	F4F5	F4F5	F4	F4	N3	F4	F4	F4	F5	F4
Устойчивость к пилльщику	3	3	2	3	3	2	3	1	1	1
Индекс выполненности	17,9	15	13,1	12,1	11,6	10,5	8,8	8,1	7,9	7,5

* аллели микросателлитных маркеров к QTL выполненности: F1, F2, F3, F4, F5 сцепленные с признаком, N1, N2, N3 без ассоциации с признаком

Поиск генотипа, сочетающего устойчивость к нескольким грибным инфекциям, актуальным в регионе, и насекомым-вредителям будет продолжаться на расширенной выборке генотипов сортов отечественной селекции, прошедших полевые испытания в Западно-Сибирском регионе с привлечением дополнительных молекулярных маркеров к генам *Stb* (септориоз), *Sr* (стеблевая ржавчина), *Lr* (бурая ржавчина).

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке бюджетного проекта Федерального исследовательского центра «Институт цитологии и генетики СО РАН» FWNR-2022-0007 и в рамках государственного задания Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий 0534-2021-0003 «Использование молекулярно-генетических и биотехнологических методов исследований в селекции растений».

Список литературы

- 1 Clarke F.R., Clarke J.M., Knox R.E. Inheritance of stem solidness in eight durum wheat crosses // *Can. J. Plant Sci.* 2002. V. 82. P. 661–664
- 2 Лепехов С.Б., Петин В.А., Чебатарева М.В. Выполненность соломины как важный фактор защиты пшеницы от хлебного пилильщика (*Cephus pigmaeus* L.) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 1. С. 199–207.
- 3 Крупнов В.А., Касатов В.И. Методы выявления форм пшеницы, устойчивых к хлебному пилильщику // Селекция и семеноводство. 1977. № 6. С. 59–60
- 4 Stakman E.C., Stewart D.M., Loegering, W.Q. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici* // U.S. Dep. Agric. ARS, Bull. E617. 1962

DOI 10.18699/GPB2024-82

Использование генетического потенциала гексаплоидной пшеницы *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. в селекции мягкой пшеницы

Соболев К.В.^{1*}, магистрант; Чуманова Е.В.², м.н.с.; Ефремова Т.Т.², к.б.н., с.н.с.; Кондратьева И.В.¹, к.с.-х.н., доцент.

¹ Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

² Федеральний исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: SobolevKV@bionet.nsc.ru

Проведено изучение фаз развития, устойчивости к грибным заболеваниям и продуктивности образцов *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. Получены гибридные формы *T. petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. × *T. aestivum* L., обладающие окрашенным зерном и высокой массой 1000 зерен.

Ключевые слова: мягкая пшеница; *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch.; время колошения; окраска зерна

**Utilization of genetic potential of hexaploid wheat
T. petropavlovskiy Udacz. et Migusch. in common wheat breeding**

Sobolev K.V.^{1*}, Chumanova E.V.², Efremova T.T.², Kondratyeva I.V.¹

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: SobolevKV@bionet.nsc.ru

*The phases of development, resistance to fungal diseases and productivity of *Triticum petropavlovskiy* Udacz. et Migusch. samples were studied. Hybrid forms of *T. petropavlovskiy* Udacz. et Migusch. × *T. aestivum* L. possessing colored grain and high weight of 1000 grains were obtained.*

*Key words: common wheat; *Triticum petropavlovskiy* Udacz. et Migusch.; heading time; grain coloration*

***Triticum petropavlovskiy** Udacz. et Migusch. – эндемичный вид гексаплоидной пшеницы, встречающийся в дикорастущем виде в Китае в горных районах Синцзяня и Тибета. Экологически приурочена к орошаемому земледелию в условиях знойного сухого климата. Видоспецифичным признаком является наличие удлиненной колосковой и цветковой чешуй, почти как у тетраплоидного вида *T. polonicum* L. *T. petropavlovskiy* – мало изученный и не затронутый селекцией вид. Все описанные формы имеют яровой тип развития. Характерно наличие крупной удлиненной (9–10 мм), стекловидной зерновки. Обладает зноевыносливостью и солеустойчивостью. Отрицательные признаки – высокорослые растения, неустойчивые к полеганию, восприимчивость к грибным заболеваниям, слабая засухоустойчивость [1].*

*В работе использовались семь образцов *T. petropavlovskiy* из коллекции ВИР (см. таблицу). Целью данной работы было дать характеристику этим образцам по длительности вегетационного периода, устойчивости к грибным заболеваниям, продуктивности и получить гибридные формы *T. petropavlovskiy* Udacz. et Migusch. × *T. aestivum* L., обладающие окрашенным зерном и высокой массой 1000 зерен.*

*Показатели продуктивности колоса и растения образцов *T. petropavlovskiy* (поле, 2021 г.).*

Образец	Продуктивность главного колоса				Масса 1000 зерен, г	Продуктивность растения		
	Длина колоса, см	Число колосков, шт.	Число зерен, шт.	Масса зерен, г		Число колосьев, шт.	Число зерен, шт.	Масса зерен, г.
k-43351	14,4±0,17 b	14,3±0,21	37,9±0,93 b	1,6±0,07 ab	35,9±0,75 a	7,3±0,35	190,5±9,75	6,9±0,42
k-43376	14,5±0,19 b	13,4±0,19	34,6±1,03 b	1,5±0,08 ab	42,1±1,27 ab	6,8±0,31	149,7±5,58	6,4±0,38
k-51763	14,3±0,26 b	13,7±0,21	36,2±1,04 b	1,5±0,09 ab	39,5±1,59 ab	6,5±0,35	175,5±8,98	6,8±0,37
k-51764	14,5±0,26 b	14,3±0,28	35,7±1,44 b	1,8±0,07 b	45,6±1,18 b	7,7±0,48	193,6±18,82	8,9±0,92
КИЗ	11,3±0,22 a	14,5±0,28	32,2±0,93 ab	1,6±0,08 ab	44,2±1,23 ab	7,6±0,27	157,7±8,20	6,9±0,38
k-51766	13,5±0,24 b	14,2±0,28	26,1±1,43 a	1,3±0,08 a	47,5±1,23 b	8,3±0,41	158,2±8,26	7,6±0,50
k-44126	13,2±0,30 b	13,0±0,24	34,0±1,11 ab	1,5±0,07 ab	44,7±0,90 ab	5,5±0,34	156,9±11,93	7,0±0,52

Данные представлены в формате среднее значение ± ошибка среднего. Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$.

Все изученные образцы характеризуются остистым колосом, а также наличием удлиненной колосковой и цветковой чешуй относительно мягкой пшеницы. У всех образцов, кроме k-51766 имеется опушение на листовой пластинке. Окраска остей колоса преимущественно черная, за исключением образцов k-51763 и k-51764, ости которых имеют красную окраску. Также это единственные образцы, которые не имеют опушения на колосковых чешуях.

У всех образцов *T. petropavlovskyi*, наблюдалась высокая степень поражения бурой листовой ржавчиной (4 балла по бальной шкале от 0 до 4). Устойчивость к мучнистой росе – средняя (5–8 баллов по шкале CIMMYT от 10 до 0).

Изучена продолжительность периода всходы-колошение и отдельных фаз развития у образцов *T. petropavlovskyi* (рис. 1). Наиболее скороспелым оказался образец k-51763 (колошение за 46–47 дней) ($p \leq 0,05$), яровой тип развития которого определяется тремя доминантными аллелями *VRN-1* (*Vrn-A1L*, *Vrn-B1a*, *Vrn-D1a*) [2]. Наиболее позднеспелым образцом среди изученных оказался КИЗ, моногенный носитель *Vrn-A1L*, длительность периода всходы – колошение которого составила 59–63 дня; разница в сроках колошения относительно других образцов составила 10 и более дней ($p \leq 0,05$). Что касается остальных образцов, то не выявлено однозначной закономерности между числом доминантных аллелей и временем колошения. Удлинение периода до колошения образца *T. petropavlovskyi* КИЗ связано с удлинением периода от всходов до первого узла, который составил 43 дня и был длиннее в среднем на 18–21 день относительно остальных образцов ($p \leq 0,05$). Отмечена некая вариабельность в длительности периода первый узел-флаг лист. Так, длительность этого периода варьировала от 10 дней у КИЗ до 18 дней у k-43351. Длительность периода флаг лист-колошение не отличалась у разных образцов (11–12 дней).

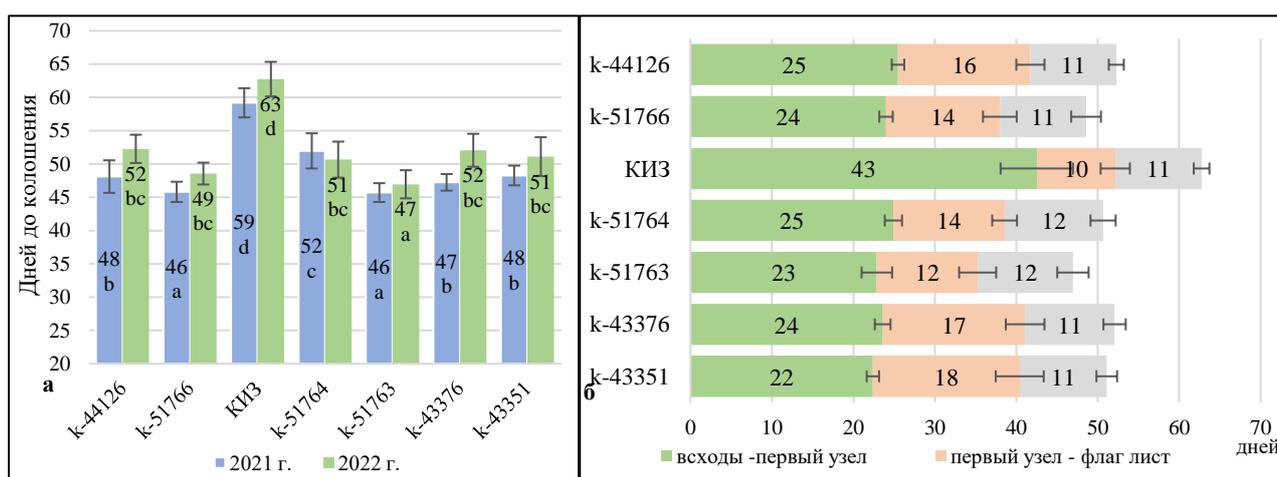


Рис. 1. Продолжительность периода всходы-колошение (поле, 2021 г. и 2022 г.) (а) и отдельных фаз развития (поле, 2022 г.) (б) у образцов *T. Petropavlovskyi*

В таблице 1 представлены результаты изучения признаков продуктивности главного колоса и растения образцов *T. petropavlovskyi*. По длине колоса образец КИЗ отличался от остальных в меньшую сторону (11,28 см) ($p \leq 0,05$), k-51766 и k-44126 имели длину колоса 13 см, у остальных значение составляло 14 см. Число

колосков варьировало от 13 шт. (к-43376 и к-44126) до 14 шт. у остальных образцов. По числу зерен в меньшую сторону вновь отличался образец КИЗ (26 шт.) ($p \leq 0,05$), в то время как у остальных значение составляло 32–38 шт. Наибольшая масса зерен с колоса была у образца к-51764 (1,76 г), наименьшая – у КИЗ (1,30 г) ($p \leq 0,05$). По числу колосьев с растения максимальное значение характерно для к-51766 (8,25), минимальное – для к-44126 (5,53). По числу зерен с растения выделялись образцы к-43351, к-51763 и к-51764, у которых значение варьировало от 175 до 194 шт. У остальных образцов число зерен с растения составляло 150–158 шт. По массе зерна с растения, также, как и по массе зерна колоса, выделялся образец к-51764 (8,9 г). Остальные образцы имели значение данного признака на уровне 6,38–7,58 г. По массе 1000 зерен к группе образцов с наименьшим значением признака можно отнести к-43351 и к-51763 (35,85 и 39,46 г), в то время как остальные образцы имели массу 1000 зерен больше 40 г. (42,12–47,45 г) ($p \leq 0,05$).

Известно, что ген *P1* у *T. petropavlovskiyi*, отвечающий за формирование длинной колосковой чешуи, сильно коррелирует с размером зерновки. Мы предположили, что при включении в гибридизацию образцов *T. petropavlovskiyi* с *T. aestivum* произойдет увеличение колосковых чешуй и как следствие увеличение размера зерновки. В качестве отцовской формы был выбран сорт мягкой пшеницы Мироновская крупнозерная, который также, как и *T. petropavlovskiyi*, характеризуется крупным зерном. Были получены гибриды F₁-F₂ Мироновская крупнозерная × *T. petropavlovskiyi* к-44126 (рис. 2). Масса 1000 зерен образца к-44126, выращенного в условиях теплицы, составляет 52,8 г, сорта Мироновская крупнозерная – 49,6 г. Среди растений F₂ поколения были отобраны растения с наибольшей массой 1000 зерен (59–61 г), которые включены в дальнейшую работу.



Рис. 2. Зерна родительских форм (1, 3) и растения F₂: *T. petropavlovskiyi* к-44126 × Мироновская крупнозерная (2)

Направление, связанное с получением биофортифицированной пшеницы с окрашенным зерном, используемым для производства продуктов функционального питания, употребление в пищу которых играет важную роль в профилактике широкого ряда заболеваний, является общемировой тенденцией. Была поставлена задача получить формы *T. petropavlovskiyi*, сочетающие высокую массу 1000 зерен с фиолетовой и черной окраской зерновки. Для этого получены гибридные формы от скрещивания *T. petropavlovskiyi* к-44126 с линией сорта Саратовская 29 с черной окраской

зерна ($Ba1 \times S29Pp1Pp3^{PF}$). Линия с черной окраской зерна, в свою очередь получена в результате гибридизации пшенично-пырейной замещенной линии s:S294E(4B) с голубой окраской зерна, несущей ген *Ba1*, и изогенной линии сорта Саратовская 29 с фиолетовой окраской зерна, определяемой генами *Pp-1* и *Pp3* [3]. Зерна гибридов F₁ имели светло-коричневую окраску, являющуюся результатом сочетанием генов *Ba1*, *Pp1* и *Pp3* в геми- и гетерозиготном состоянии. Среди гибридов F₂ наблюдалось расщепление по окраске зерна на красные, голубые, фиолетовые, светло-коричневые и темно-коричневые (черные) (рис. 3). Среди растений F₃₋₄ будут выделены гомозиготные растения с черной и фиолетовой окраской зерна.



Рис. 3. Колос и зерно у гибридов F₁: *T. petropavlovskiy* k-44126 × (*Ba1* × *S29Pp1Pp3^{PF}*) (а) и разнообразие окраски зерна у гибридов F₂ (б)

В дальнейшем планируется проведение оценки в полевых условиях отобранных генотипов по признакам продуктивности и содержанию антоцианов для выбора перспективных форм в качестве исходного материала для селекции.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (№ 24-26-20028) и Министерства науки и инновационной политики Новосибирской области (№ р-99).

Список литературы

- 1 Мурашев В.В., Морозова В.А. Морфогенез пшеницы Петропавловского – *T. petropavlovskiy* Udacz. et Migusch. в Подмоскowie; секция Triticum: 2n=42, геномы AuBD // Научный альманах. 2019. Т. 55. № 5–2. С. 157–167.
- 2 Chumanova E., Efremova T., Vavilova V. Characterization of the VRN-A1 allele introgressed from *T. aestivum* ssp. *petropavlovskiy* that influences the heading time in bread wheat // Euphytica. 2023. Vol. 219. 53.
- 3 Efremova T.T. et al. Combining the genes of blue aleurone and purple pericarp in the genotype of spring bread wheat Saratovskaya 29 to increase anthocyanins in grain // J. Cereal Sci. 2023. Vol. 109. 103616.

Перспективы селекции *Sambucus nigra* L. в Центральном Нечерноземье

Сорокопудов В.Н., д.с.-х.н., профессор, г.н.с.

Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, Россия

email: sorokopud2301@mail.ru

В 2022–2023 годах в Ботаническом саду ФГБНУ ВИЛАР была проведена хозяйственно-биологическая оценка отборных форм бузины черной. Выявлены фенологические особенности отборных форм бузины черной, определены морфологические особенности листьев. Изучена продуктивность бузины и ее слагаемые. В дальнейшем предполагается выделить перспективные формы для использования в селекции данной культуры.

Ключевые слова: бузина черная; отборные формы; продуктивность; масса ягод; фенология

Prospects for breeding *Sambucus nigra* L. in Russia in the Central Non-Black Earth Region

Sorokopudov V.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher.

All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia

email: sorokopud2301@mail.ru

In 2022–2023, an economic and biological assessment of selected forms of black elderberry was carried out in the Botanical Garden of the Federal State Budgetary Institution VILAR. The phenological characteristics of selected forms of black elderberry have been revealed, and the morphological characteristics of the leaves have been determined. The productivity of elderberry and its components have been studied. In the future, it is planned to identify promising forms for use in breeding this crop.

Key words: black elderberry; selected forms; productivity; mass of berries; phenology

В настоящее время в медицине по данным [2] используется 21000 вид высших растений, а по данным В. Hawkins [8] около 70 000 видов. В настоящее время в ГФ XIV издания в России включено более 100 видов растений [3] (<http://femb.ru/femb/pharmacorea.php>). Среди них бузина чёрная (*Sambucus nigra* L.) – кустарник или деревце высотой 2–6 м. В разных частях растения содержатся биологически активные вещества:

- в цветках – гликозиды (самбунигрин, расщепляющийся на синильную кислоту, бензальдегид и глюкозу [2], полутвёрдое эфирное масло (0,27–0,32 %, существенной частью его являются терпены), холин, рутин; алкалоид сангвинарин; каро-

тин; кислоты: аскорбиновая (82 мг% [1], уксусная, яблочная, хлорогеновая, кофейная, валериановая и др.; дубильные вещества, слизи, пентозаны, смолы, минеральные соли.

- в плодах содержатся антоцианы, аскорбиновая кислота (10–49 мг%), каротин, рутин, самбуцин, хризантемин, дубильные вещества (0,29–0,34 %), карбоновые кислоты и аминокислоты (тирозин), сахара, следы эфирных масел [4].

- в семенах – жирное масло и самбунигрин.

- в листьях: в сухом сырье – самбунигрин (0,11 %), смолы, обладающие слабительными свойствами, небольшое количество эфирного масла. В свежих листьях имеется аскорбиновая кислота 200–280 мг%, каротин.

в корнях – сапонины, дубильные и горькие вещества,

- в коре – эфирное масло, холин, тритерпеновые соединения, метиловый эфир урсоловой кислоты, бетулин, α -амирин, β -ситостерин, цериловый спирт, холин, фитостерины, сахара, органические кислоты, пектиновые и дубильные вещества

Особое внимание ей уделяется благодаря вышеуказанному уникальному содержанию биологически активных веществ в цветках и плодах. За рубежом ведется селекционная работа с данной культурой, созданы сорта «Хашберг», «Сампо» и «Саммакко». Благодаря работе белорусских селекционеров РУП «Институт плодоводства» введены два сорта бузины черной – «Багацце» и «Кладзезь» [7]. В России, в Ботанических садах, имеются коллекции видов данного рода. Селекция бузины черной в России ведется только в Ботаническом саду ФГБНУ ВИЛАР [5–6]. Нами отобраны формы бузины черной для изучения. В 2022–2023 годах окончание вегетации изучаемых растений на коллекционном участке Ботсада наблюдалось во 2–3 декадах октября. Отмечено, что вегетация у бузины черной начинается довольно рано в начале апреля (5.04), но цветение начинается в конце мая, когда практически минуют возвратные заморозки. Начало созревания отмечается в первой декаде августа и к концу августа-началу сентября происходит полное созревание плодов (табл. 1). Исходя из погодных условий вегетационных периодов 2022–2023 годов можно отметить, что все образцы бузины черной полностью проходят все фазы вегетации в условиях Подмосковья.

Таблица 1 – Фенофазы изучаемых форм растений бузины черной в условиях Подмосковья (2022–2023)

Вид	Начало вегетации	Цветение		Созревание плодов		листопад	
		начало	конец	начало	конец	начало	конец
<i>Sambucus nigra</i>	5.04	25.05	13.06	16.08	2.09	20.09	Октябрь-ноябрь

Проведено определение морфологической изменчивости листьев (табл. 2).

Согласно проведенным исследованиям морфологии листьев с самыми крупными листьями выделена форма Б5 (33 см), наиболее мелкие листья выявлены у

формы Б3 (табл. 2). Показатели продуктивности бузины представляют особый интерес для производства. Выделена урожайная форма Б5 с крупными плодами до 0,2 г и до 35,2 кг с куста (табл. 3).

Таблица 2 – Морфологические особенности листьев бузины черной (2022–2023)

Номер образца	Длина листа, см		Ширина листа, см	Число листочков, шт	Длина		Ширина листочка, см
	Листовой пластинки	Черешка			листочка, см	Черешка, мм	
Б1	27,4	8,0	21,4	5,0	11,5	6,7	5,0
Б2	22,1	6,5	15,4	4,8	9,8	5,6	4,5
Б3	21,3	5,0	18,0	5,8	10,3	5,9	4,2
Б4	25,0	4,8	19,0	8,0	11,8	5,9	3,8
Б5	33,0	7,6	22,2	8,2	13,0	5,8	4,5

Таблица 3 – Характеристика продуктивности бузины (2022–2023)

Номер образца	Масса кисти, г	Масса 1 семени, г	Масса плода, г		Продуктивность, кг/куст
			средняя	максимальная	
Б1	52,63	0,0015	0,1252	0,1305	2,5
Б2	58,82	0,0010	0,1218	0,1312	3,2
Б3	70,44	0,0048	0,1253	0,1372	5,3
Б4	38,11	0,0043	0,1087	0,1143	5,8
Б5	132,42	0,0055	0,1335	0,1965	35,2

Полученные данные по предварительной хозяйственно – биологической оценки форм бузины в условиях Ботанического сада ФГБНУ ВИЛАР показывают широкие перспективы данного вида в различных сферах использования.

Заключение

1. В условиях Московской области у исследованных образцов бузины черной отмечено полное прохождение всех фенологических фаз за вегетационный период. Сезонный ритм их развития определяется биологическими особенностями и метеорологическими условиями конкретного года.
2. Выделена наиболее продуктивная (до 35 кг/куст) и массой ягод до 0,2 г форма бузины черной Б5 с высоковыраженными морфологическими признаками.

Финансирование: Исследования проводятся с использованием биообъектов Уникальной научной установки «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № FGUU-2022-0014 «Формирование, сохранение и изучение биоколлекций генофонда различного направления с целью сохранения биоразнообразия и использования их в технологиях здоровьесбережения».

Список литературы

- 1 Атлас лекарственных растений СССР. Гл.р. Цицин Н.В. М.: Государственное Издательство Медицинской Литературы. 1962. 714 с.
- 2 Блинова К.Ф. и др. Ботанико-фармакогностический словарь: Справ. пособие / Под ред.

- К.Ф. Блиновой, Г.П. Яковлева. М.: Высш. шк., 1990. С. 223–224.
- 3 Государственная фармакопея XIV издания: [Электронное издание]. Режим доступа: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>
- 4 Петрова В.П. Дикорастущие плоды и ягоды // М.: Лесная промышленность, 1987. 248 с.
- 5 Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М: изд-во. АН СССР 1975. 27с.
- 6 Ковалев Н.И. Методика исследований при интродукции лекарственных и эфирномасличных растений / Н.И.Ковалев, Е.Ю.Бабаева, А.Н. Цицилин, И.Н. Коротких, М.Ю. Грязнов, И.В. Басалаева // 2-е издание, переработанное и дополненное. М.: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений. 2022. 64 с.
- 7 Мурашкевич Л.А., Дмитриева А.М. Новый сорт бузины черной Багацце // Плодоводство. Т.26. 2014. С. 219–224.
- 8 Hawkins B. Plants for life: Medicinal plant conservation and botanic gardens. // Botanic Gardens Conservation International, Richmond, U.K. 2008. 49 p.

DOI 10.18699/GPB2024-84

Оценка сортов ячменя по урожайности в лесостепи Новосибирского Приобья

*Сотник А.Я. *, к.с-х.н., в. н.с.; Григорьев Ю.Н., ст. н. с.*

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», Новосибирск, Россия

**email: sotniks@bionet.nsc.ru*

Исследования проводились в 2014–2023 гг. в коллекционном севообороте СибНИИРС – филиала ФИЦ ИЦиГ СО РАН. Материалом исследования являлись 10 сортов ячменя селекции СибНИИРС – филиала ФИЦ ИЦиГ СО РАН (Обской, Ранний 1, Баган, Ача, Золотник, Биом, Танай, Талан, Новосибирский 80 и Сигнал). Сорта оценены по показателям: общей адаптивности к условиям внешней среды, уровню устойчивости к стрессу, стабильности формирования урожайности в контрастных условиях. Высокую общую адаптивность к условиям внешней среды показали: Талан и Сигнал. Устойчивость к стрессу (наименьший перепад между максимальной и минимальной урожайностями) имели: Золотник и Танай. Компенсаторной способностью (наибольшей средней урожайностью в контрастных условиях) характеризуются: Талан и Золотник. Стабильную урожайность в контрастных условиях продемонстрировали: Золотник, Танай и Талан.

Ключевые слова: показатели адаптивности; стрессоустойчивость; стабильность

Assessment of barley varieties by yield in the Priobskaya forest-steppe of the Novosibirsk region

Sotnik A.Ya., Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher; Grigoriev Yu.N., Senior Researcher.

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**email: sotniks@bionet.nsc.ru*

The studies were conducted in 2014-2023 in collection crop rotation SibNIIRS is a branch of the Federal Research Center ICG SB RAS. The research material was 10 varieties of barley selected by SibNIIRS – a branch of the Federal Research Center ICG SB RAS (Obskoy, Ranniy 1, Bagan, Acha, Zolotnik, Biom, Tanay, Talan, Novosibirsk 80 and Signal). The varieties were assessed according to the following indicators: general adaptability to environmental conditions, level of resistance to stress, stability of yield formation in contrasting conditions. High overall adaptability to environmental conditions was shown by: Talan and Signal. Resistance to stress (the smallest difference between maximum and minimum yields) had: Zolotnik and Tanay. Compensatory ability (the highest average yield in contrasting conditions) is characterized by: Talan and Zolotnik. Stable yields in contrasting conditions were demonstrated by: Zolotnik, Tanay and Talan.

Key words: indicators of adaptability; stress resistance; stability

Уровень урожайности зависит от изменяющихся метеорологических условий (засухи, переувлажнение, перепады температуры воздуха и другие факторы) по годам и по зонам [1, 2]. Поэтому стабилизация сельскохозяйственной продукции является приоритетной проблемой. Использование в производстве продукции новых сортов является одним из пунктов для ее решения. Сорта должны обладать высоким потенциалом продуктивности и устойчивостью к контрастным условиям [3–5]. Сорт может обеспечить прибавку урожая до 50 % [6, 7]. Критерием адаптивности сортов является уровень их урожайности при возделывании в различных условиях среды [8].

Цель исследования – оценка адаптивного потенциала сортов ячменя по урожайности в лесостепи Новосибирского Приобья.

Исследования проводились в 2014–2023 гг. в коллекционном севообороте СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН. Агротехника: площадь делянки 1 м², срок сева – преимущественно вторая декада мая сеялкой ССФК- 7, норма высева 550 всхожих семян на 1 м², предшественник чистый пар. Материалом исследования являлись 10 сортов ячменя селекции СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН (раннеспелые: Обской и Ранний 1; среднеранние: Бagan, Ача, Золотник, Биом, Танай и Талан; среднеспелые: Новосибирский 80 и Сигнал), у 9 из которых основным автором является А.В. Бахарев.

Общую адаптационную реакцию сортов определяли по методике Животкова Л.А. с соавторами, отношением урожайности сорта к среднесортovому показателю [9]. Уровень устойчивости к стрессу оценивали по А.А. Гончаренко как разности между минимальной и максимальной урожайностями, компенсаторную способность – по средней урожайности сорта в контрастных годах [10], показатель стабильного формирования урожайности – по методике В.А. Зыкина, как отношение разницы между максимальной и минимальной урожайностью к ее максимальной величине, выраженной в процентах ($d\%$) [11].

Метеорологические условия по данным метеорологической станции п. Огурцово в годы проведения исследований значительно различались по температурному фактору и по количеству осадков. Гидротермический коэффициент (ГТК), за период май – август, показывающий соотношение количества осадков и суммы эффективных температур, варьировал по годам от 0,68 до 1,94. Влагообеспеченность вегетационного периода: в 2022г. – очень низкая (ГТК 0,68); в 2023г – низкая (ГТК 0,98); в 2014, 2016, 2019, 2021 гг. – недостаточная (ГТК 1,06–1,36); в 2015, 2017, и 2020 гг. – достаточная (ГТК 1,58–1,78); в 2018 г. – повышенная (ГТК 1,94). Градация влагообеспеченности представлена по Зоидзе Е.К., Хомяковой Т.В. [12].

Высокую урожайность сорта формировали в условиях 2019, 2020 гг., а в 2016–2017 гг. – низкую. Сравнение урожайности сортов с среднесортovым значением показало, что наиболее высокие показатели урожайности за 10 лет, превышающие среднее значение всего набора сортов имели: Талан и Сигнал, что свидетельствует об их высокой общей адаптивности к условиям внешней среды (см. таблицу).

Адаптивность сортов ячменя по урожайности (2014–2023 гг.)

Сорт, год районирования	Вегетационный период, суток $X_{cp} \pm S_x$	Урожайность, г/м ²			Показатели адаптивности*			
		Средняя	MIN	MAX	Общая, %	СУ, г/м ²	КС, г/м ²	РВ, %
Обской, 1980	71±2	604	275	838	104	-563	556	67
Новосибирский 80, 1986	72±2	604	275	862	104	-587	568	68
Ранний – 1, 1988	69±2	414	200	843	71	-643	521	76
Баган, 1993	68±2	490	137	771	84	-634	454	82
Ача, 1997	70±2	584	297	880	101	-583	588	66
Сигнал, 1997	74±2	617	257	939	106	-682	598	73
Золотник, 2003	70±2	643	312	916	110	-307	614	33
Биом, 2007	69±2	599	315	876	103	-561	737	64
Танай, 2014	68±2	602	356	826	104	-470	591	57
Талан, 2016	70±2	658	400	960	113	-560	680	58
Среднее		582			100			

*СУ – стрессоустойчивость; КС – компенсаторная способность; РВ – размах варьирования
Примечание: MIN = $[\min_1 + \min_2 / 2]$; MAX = $[\max_1 + \max_2 / 2]$.

В неблагоприятных условиях потенциальная продуктивность проявляется слабо, но именно экстремальные условия (2016, 2017 гг.) позволили определить сте-

пень адаптивности изучаемых генотипов. Одним из показателей степени приспособленности генотипа к изменяющимся по годам метеорологическим условиям является устойчивость к стрессу. Чем меньше перепад между крайними показателями урожайности из всего ряда лет, тем выше стрессоустойчивость сорта, и он более приспособлен к экстремальным условиям. Установлено, что самую высокую устойчивость к стрессу имели сорта Золотник и Танай.

Степень приспособленности сорта к экстремальным условиям внешней среды дополняет показатель компенсаторной способности, который определяется по средней урожайности сорта в контрастных условиях (крайними значениями). Чем выше этот показатель, тем устойчивее сорт к контрастным перепадам среды. В наших исследованиях более высокую среднюю урожайность в контрастных условиях в сравнении с другими сортами имели сорта Талан и Золотник.

Высокая потенциальная урожайность сорта всегда будет являться приоритетной проблемой селекционного процесса. Другой важной проблемой селекции является создание сортов, формирующих не высокую, но стабильную по годам урожайность. Для определения степени стабильности сорта используется величина размаха варьирования урожайности. Чем меньше размах варьирования, тем стабильнее урожайность генотипа в конкретных условиях. В нашем эксперименте размах варьирования урожайности у сортов составил от 33% (Золотник) до 82% (Баган). Самый минимальный размах варьирования в контрастные по агроклиматическим условиям годы имели: Золотник, Танай и Талан.

Выводы:

1. Высокую общую адаптивность к условиям внешней среды показали: Талан и Сигнал.
2. Устойчивость к стрессу (наименьший перепад между MAX и MIN) имели: Золотник и Танай.
3. Компенсаторной способностью характеризуются: Талан и Золотник.
4. Стабильную урожайность в контрастных условиях продемонстрировали: Золотник, Танай и Талан.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Список литературы:

- 1 Брагин Р.Н., Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П. Анализ урожайности сортов ярового ячменя в условиях изменчивости природной среды. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023, № 53(10). С. 31–42. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-10-4.
- 2 Гудзенко В.Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(1). С. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469.
- 3 Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Селекционная оценка и отбор ге-

нотипов ячменя восточносибирской селекции // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2018, № 48(3). С. 70–77. DOI 10.31677/2072-6724-2018-48-3-70-77.

- 4 Юсова О.А., Николаев П. Н., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 2. С. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10205.
- 5 Сурин Н.А., Герасимов С.А., Ляхова Н.Е. Адаптивность и экологическая пластичность ячменя в условиях лесостепи Красноярского края // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023, № 53(6) С.15-23. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-6-2.
- 6 Гончаров П.Л. Методика селекции кормовых трав в Сибири. Новосибирск, 2003. 396с.
- 7 Родина Н.А. Селекция ячменя на северо-востоке Нечернрземья. Киров, 2006. 486с.
- 8 Алабушев А.В. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур // Зернобобовые и крупяные культуры. 2013. № 2 (6). С. 47–51.
- 9 Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. 1994, № 2. С. 3–6.
- 10 Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005, № 6. С. 49–53.
- 11 Зыкин В.А., Шаманин В.П., Белан И.А. Экология пшеницы: монография. Омск, 2000. 124 с.
- 12 Зойдзе Е.К., Хомякова Т.В. Моделирование формирования влагообеспеченности на территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности // Метеорология и гидрология. 2006, № 2. С. 98–105.

DOI 10.18699/GPB2024-85

Источники устойчивости мягкой яровой и озимой пшеницы к мучнистой росе и бурой ржавчине в условиях Новосибирской области

Сочалова Л.П. с.н.с., Бойко Н.И. к.с-х.н., м.н.с., Мусинов К.К. к.с-х.н., с.н.с., Пискарев В.В. к.с-х.н., заведующий лабораторией.*

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

**email: musinov29@gmail.com*

В 2020–2022 годах в условиях изолированного фитопатологического питомника СибНИИРС-филиал ИЦиГ СО РАН была изучена устойчивость образцов генетических коллекций мягкой яровой и озимой пшеницы к инфекциям мучнистой росы и бурой ржавчины, распространенных в условиях Новосибирской области. По результатам иммунологической оценки выделены генетически разнообразные источники устойчивости пшеницы к одному и двум патогенам, высокой массой 1000 зерен, устойчивые к полеганию.

Ключевые слова: мягкая пшеница; сорт, мучнистая роса; бурая ржавчина; ген; устойчивость

Sources of resistance of soft spring and winter wheat to powdery mildew and brown rust in the conditions of the Novosibirsk region

Sochalova L.P., Boyko N.I., Musinov K.K. *, Piskarev V.V.
Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia
*email: musinov29@gmail.com

In 2020–2022, in the conditions of an isolated phytopathological nursery Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – branch of Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, the resistance of samples of genetic collections of soft spring and winter wheat to infections of powdery mildew and brown rust, common in the Novosibirsk region, was studied. According to the results of the immunological assessment, genetically diverse sources of wheat resistance to one and two pathogens, high weight of 1000 grains, resistant to lodging were identified.

Key words: soft wheat; variety; powdery mildew; brown rust; gene; resistance

Из инфекционных болезней мягкой пшеницы наиболее распространенными и вредоносными на территориях выращивания культуры являются мучнистая роса (возбудитель – гриб *Blumeria graminis*) и бурая ржавчина (возбудитель – гриб *Puccinia triticina*). В зерновом производстве Новосибирской области большинство посевных площадей занимают сорта с узким числом генов устойчивости [1]: против бурой ржавчины – *Lr1*, *Lr3a*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr26*, *Lr34* и мучнистой росы – *Pm4b*, *Pm8* (сцепленный с *Lr26*) и *Pm38* (сцепленный с *Lr34*). Кроме местных сортов, в условиях области возделывают зарубежные сорта с блоком генов *Lr20/Pm1* (Тризо и др.), утратившие эффективность к болезни практически повсеместно [2].

Для сдерживания инфекций бурой ржавчины и мучнистой росы на полях культуры с 2018 г. в зерновом производстве области стали возделывать иммунный к патогенам яровой сорт KWS Akvilon (из Германии), несущий эффективный чужеродный ген *Lr24* (от *Agropyron elongatum*) [3]. Однако ген *Lr24* стал терять эффективность к бурой ржавчине в Омской обл., Красноярском крае [4, 5] и Новосибирской обл. [1], что может привести к поражению сортов болезнью с одиночным геном устойчивости [1–3, 7]. Появление новых агрессивных форм фенотипов вирулентностей в структуре популяций *P. triticina* в ряде территорий РФ исследователи связывают с изменением климата [1, 6]. При расширении посевных площадей выращивания таких сортов, вредоносные эпифитотии в их посевах вполне реальны [2, 7, 8].

Целью данной работы было изучение и выделение среди генетически разнообразного ассортимента образцов коллекций мягкой яровой и озимой пшеницы источников генов устойчивости, эффективных против вредоносных инфекций мучнистой росы и бурой ржавчины в условиях резко изменяющегося климата Новосибирской области.

Материалом для исследования в 2020–2022 гг. являлись образцы яровой (более 700) и озимой пшеницы (более 80) российской и зарубежной селекции разных лет

поступлений из мировой коллекции ВИР *Triticum aestivum* L., несущие разнообразные гены устойчивости против мучнистой росы и бурой ржавчины (см. таблицу). Иммунологическую оценку к патогенам проводили в разные фазы вегетации пшеницы (кущения-трубкования, колошения-цветения, молочно-восковой спелости) в полевых условиях изолированного инфекционного питомника СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН на фоне искусственного заражения, обеспечивающем 100 %-е поражение (SS) восприимчивого сорта-стандарта бурой ржавчиной (яровых – Скала, Хакасская; озимых – Альбидум 12, Мироновская 808) и от 90 до 100 % поражения мучнистой росой ярового стандарта (Хакасская) и от 70 до 80 % озимого стандарта (Альбидум 12). *Степень поражения образцов болезнями определяли в процентах по шкале Петерсона и соавторов (1948) [8].

Характеристика источников устойчивости к болезням (2020–2022 гг.)

Наименование сорта, линии	Гены устойчивости*	Поражение, %		Высота, см	Масса 1000 зерен, г
		М. роса min-max	Б. рж. min-max		
1	2	3	4	5	6
Яровая пшеница					
Добрыня	<i>Lr19+PmX</i>	0–5	0	105	45,4
WW 17283	<i>Lr19+PmX</i>	0	0	75	33,3
Лютесценс 575	<i>Lr19+Lr14a</i>	65	0	105	42,9
Лютесценс 540	<i>Lr19+Lr23</i>	55–65	0	80	38,6
Эритросперм. 25-787	<i>Lr19+Lr26/Pm8+Lr34/Pm38</i>	40–60	0	100	42,5
Омская 44	<i>Lr19+Lr26/Pm8+ Lr1</i>	1–35	0	110	42,3
CS 2A/2M	<i>Lr28, PmX</i>	0	0	80	32,2
Челяба 75	<i>LrSp2+Lr1+Lr10</i>	60–70	0	93	38,9
Челяба 80	<i>LrSp2+Lr1,Lr3,Lr10</i>	45	0	82	35,3
Ильменская 2	<i>LrSp2+Lr1,Lr3,Lr10</i>	70	0	84	37,7
Тулайковская 5	<i>Lr6Agi2/Pm6Agi2+Lr10,Lr34</i>	0	0	103	36,4
Тулайковская 10	<i>Lr6Agi2/Pm6Agi2</i>	0	0	90	39,3
Тулайковская 108	<i>Lr6Agi2/Pm6Agi2+Lr19</i>	0	0	103	40,7
Лютесценс 13	<i>LrKu/PmKu</i>	0	0	95	37,8
Воевода	<i>Lr6Agi1/Pm6Agi1</i>	0	0	102	40,5
AC Minto	<i>Lr11+Lr12+Lr22a</i>	50–70	0	90	32,6
AC Domain	<i>Lr12+Lr10+Lr34/Pm38</i>	55–70	0	92	38,2
H 15-3	<i>Lr12+Lr16,Lr26/Pm8,Lr34/Pm</i>	35–65	0	60	33,3
AC Taber	<i>Lr13+LrTb+PmX</i>	0–1	0	58	37,2
Sonett	<i>Lr20/Pm1+Lr1+PmX</i>	0	100	72	25,9
Сабина	<i>Lr20/Pm1+PmX</i>	0	100	82	28,9
Lovitt	<i>Lr21+Lr34/Pm38</i>	90	0	85	31,9
Mc Kenzie	<i>Lr21+LrX</i>	50–80	0	80	41,5
Tybolt	<i>LrX+PmX</i>	0	0	68	36,4
ThLr25, RL 6084	<i>Lr25/Pm7</i>	0–01	0-5/1-2	85	24,7
Сигма 2	<i>Lr26/Pm8+PmX</i>	0–01	80-100	102	34,7
Marguis 6x	<i>Lr35</i>	45–70	0	90	28,5
Septima	<i>Lr37+Lr1</i>	0–25	0	64	27,1
Binnu	<i>Lr37+Lr3a</i>	1–10	0	50	33,7
Ellison	<i>Lr37+Lr13</i>	15–55	0	70	39,2

Продолжение таблицы					
1	2	3	4	5	6
Pavon	<i>Lr47</i>	10–55	0	70	31,8
VL 404	<i>Lr49</i>	35–80	0	50	22,1
Khaplie, CJ 4013	<i>Pm4a</i>	0	1-60	65	-
Wembley	<i>Pm12</i>	0–01	80-100	55	20,9
Meri	<i>Pm28</i>	0	100	72	23,9
Bantie	<i>Lr20/Pm1+Pm3d+Pm6</i>	0–01	60-100	85	32,6
Canon	<i>Pm2+Pm3d+Pm4b+Pm6</i>	0	100	75	28,1
SW Estrad	<i>Pm3d+PmX</i>	0	90-100	75	26,1
Lavett	<i>Pm3d+Pm4b</i>	0	90	67	21,7
SW Vinjett	<i>Pm4+Pm6+PmX</i>	0	90-100	80	27,8
Озимая пшеница					
Лебедь	<i>Lr1Lr13, Lr26/Pm8, Lr34/Pm38</i>	01–1	0	70	45,4
Чешская 17	<i>Lr9+Lr12, Lr13, Lr34/Pm38</i>	35–45	0-10	92	35,2
Коллега	<i>Lr10+Lr26/Pm8+Lr34/Pm38</i>	55–70	0	75	47,5
Айвина	<i>Lr10+Lr26/Pm8+Lr34/Pm38</i>	45–55	0	76	43,9
Лидия	<i>Lr13+Lr34/Pm38</i>	35–60	0-01	80	54,4
N 30432	<i>Lr19+Lr30432a, Lr30431bpec.</i>	45–70	0	78	49,2
KS93U40	<i>Lr19+Lr24</i>	0–45	0	72	37,4
KS93U62	<i>Lr24+Lr41</i>	0–65	0	90	36,9
Скипетр	<i>Lr26/Pm8+Lr10</i>	0–30	0-10	84	51,1
Поэма	<i>Lr26/Pm8+Lr34/Pm38+Lr+Pm</i>	0	0	98	47,3
Дока	<i>Lr26/Pm8+Lr34/Pm38</i>	25–45	0	80	31,6
Первица	<i>Lr26/Pm8+Lr1+LrX</i>	45–70	01-1	65	42,8
Зимтра	<i>Lr34 /Pm38+Lr10</i>	25–55	0	73	46,6
Кума	<i>Lr34 /Pm38+Lr10+Lr22a</i>	35–45	01-10	70	43,7
Капитан	<i>Lr34/ Pm38+Lr3</i>	60–70	0-01	75	50,0
Изюминка	<i>Lr34 /Pm38+Lr3</i>	40–70	0	87	51,2
KS90WGRC10	<i>Lr39 (=41)</i>	45–65	0	110	37,3
KS89WGRC07	<i>Lr40 (=21)</i>	45–90	0	130	35,6
KS91WGRC11	<i>Lr42</i>	45–70	0	98	36,4
KS91WGRC16	<i>Lr43</i>	10–65	0	105	35,7
KS96WGRC36	<i>Lr50</i>	25–70	0	112	35,9
Характеристика восприимчивых образцов					
Мироновская 808-оз.	<i>Lr3a, PmX</i>	50–70	80-100	125	36,5
Альбидум 12	<i>LrX, PmX</i>	70–80	100	133	30,0
Безостая 1	<i>Lr34/Pm38+ Lr3a</i>	50–70	40-100	110	40,4
Аврора	<i>Lr26/Pm8+ Lr3a</i>	45–70	50-100	125	45,6
Половчанка	<i>Lr26/Pm8</i>	40–65	70-100	87	47,2
Armada	<i>Pm4b</i>	50–70	80-90	120	40,3
Скала – яр.:	<i>Lr10, PmX</i>	70–80	100	105	28,5
Хакасская	<i>LrX, PmX</i>	90–100	100	100	27,2
Thew	<i>Lr20/Pm1</i>	40–70	80-100	95	31,9
К-54049	<i>Lr9 (LrTR)</i>	40–70	80-100	105	43,1
KWS Akvilon	<i>Lr24, PmX</i>	0	0-90	78	38,7

* APR (Adult Plant Resistance) – гены устойчивости взрослых растений: *Lr12, Lr13, Lr21, Lr22a, Lr34, Lr35, Lr37, LrTb*, все другие гены ювенильные; *X* – неизвестный ген.

Гены устойчивости* образцов в таблице приведены по данным (см. работы):

Каталог, вып. 453 (1988), Михайлова Л.А. (2003), Алфимов В.А. и др. (2004), Сюков В.В., Зубов Д.Е. (2008), Гультяева Е.И. (2012), Давоян Э.Р. и др. (2014), Гультяева Е.И. (дисс., 2018), Гультяева Е.И. и др. (2016, 2020, 2021), Лебедева и др. (2015, 2019), Сочалова и др. (2023).

Результаты. Иммунологическая оценка большого набора образцов разного эколого-географического происхождения в условиях инфекционного фона заражения к болезням и по результатам лабораторного анализа позволила выделить образцы (в табл. представлено ограниченное количество) из 15 стран (России, Беларуси, Австралии, Великобритании, Германии, Индии, Канады, США, Нидерландов, Мексики, Польши, Румынии, Швеции, Чехии, Эстонии) с высоким иммунитетом к инфекциям *Bl. graminis* и *P. triticina*. 100%-ую авирулентность к уредоинфекциям новосибирской популяции листовой ржавчины (расы – 10, 12, 20, 52, 57, 60, 77, 122, 144, 147, 149, 157, фенотипы вирулентности: TGT-, TQT-, TGR-, TLR-, TQP-, PQT-, THT-, THM-, THK-, THF-, THQ-, KHP-, TBL-, TBM-, TBT-, TRT, SJT-, TCK-, KPM, TTT-, TJT-, MGP) показывали изогенные линии Thatcher и генотипы образцов пшеницы с одиночными чужеродными *R*-генами устойчивости: *Lr19*, *Lr28*, *Lr39* (=41), *Lr47*, *LrSp2*, *Lr6Agi1*, *Lr6Agi2*, *LrKu*. В поле от инфекций *P. triticina* образцы защищали гены: *Lr19*, *Lr21*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr35*, *Lr39* (41), *Lr40*, *Lr42*, *Lr43*, *Lr45*, *Lr47*, *Lr49*, *Lr50*, *Lr52* (=W), *LrSp2*, *Lr6Agi1*, *Lr6Agi2*, *LrKu* и некоторые их сочетания (см. таблицу). К инфекциям (конидиальному спороношению) мучнистой росы противостояли одиночные гены – *Pm6Agi1*, *Pm6Agi2*, *PmKu*, *Pm4a*, *Pm7*, *Pm12*, *Pm28* и комбинации генов – *Pm2+Pm3d+Pm4b+Pm6*, *Pm1+Pm3d+Pm6*, *Pm6Agi2+Pm38*, *Pm3d+Pm4b*, *Pm1+PmX*, *Pm8+PmX*, *Pm8+Pm38*.

Резистентность образцам пшеницы к инфекциям двух болезней (мучнистой росе, бурой ржавчине) на протяжении всей вегетации растений контролировали *Lr* и *Pm*-гены по одиночке – *Lr19+PmX*, *Lr25/Pm7*, *Lr28+PmX*, *LrKu/PmKu*, *Lr6Agi1/Pm6Agi1*, *Lr6Agi2/Pm6Agi2* и комбинации генов ювенильной и возрастной устойчивости: среди яровых – *Lr6Agi2/Pm6Agi2+Lr10+Lr34/Pm38* (Тулайковская 5), *Lr13+LrTb+PmX* (АС Taber); *Lr6Agi2/Pm6Agi2+Lr19* (Тулайковская 108), среди озимых – *Lr26/Pm8+Lr34/Pm38+LrX+PmX* (Поэма), *Lr1+Lr13+Lr26/Pm8+Lr34/Pm38* (Лебедь).

Наши исследования также показали, что у многих сортов устойчивость к грибным болезням (отдельным и комплексу) сочеталась с рядом других ценных для пшеницы признаков: например, высокой массой 1000 зерен и устойчивостью к полеганию за счет короткостебельности растений (озимые – Коллега, Скипетр, Капитан, Изюминка, яровые – Тулайковская 10, Челябинка 80, Лютесценс 540 и др. см. табл.) в сравнении с восприимчивыми сортами-стандартами.

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Список литературы

- 1 Сочалова Л.П., Апарина В.А., Бойко Н.И., Зуев Е.В., Морозова Е.В., Мусинов К.К., Виниченко Н.А., Леонова И.Н., Пискарев В.В. Изучение устойчивости к бурой ржавчине, урожайности и качества зерна у образцов коллекции мягкой пшеницы в экологических условиях Новосибирской области // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. № 27(8). С. 988–999.
- 2 Гульяева Е.И. Методы идентификации генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине с использованием ДНК-маркеров и характеристика эффективности *Lr*-генов. С.-Петербург: ВНИИЗР, 2012.
- 3 Гульяева Е.И. Генетическая структура популяций *Puccinia triticina* в России и её изменчивость под влиянием растения-хозяина: Дис...д-ра биол. наук. СПб, 2018.
- 4 Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Зверовская Т.С. и др. Вирулентность природной популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы в Омской области // Успехи современного естествознания. 2018. № 11–2. С. 279–283.
- 5 Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Сидоров А.Б. и др. Физиологическая специализация возбудителя бурой ржавчины в Красноярском крае // Вестник КрасГАУ. 2019. № 142(1). С. 29–36.
- 6 Дружинин А.Е., Сибикеев С.Н., Крупнов В.А., Воронова С.А. Создание сортов яровой мягкой пшеницы с устойчивостью к комплексу патогенов методом интрогрессивной селекции // Достижения науки и техники АПК. 2011. №1. С. 22–24.
- 7 Маркелова Т.С. Изучение структуры и изменчивости популяции бурой ржавчины в Поволжье // Агро XXI. 2007. № 4–6. С. 47–49.
- 8 Лебедева Т.В., Зуев Е.В., Брыкова А.Н. Перспективность использования современных европейских сортов яровой мягкой пшеницы для селекции на устойчивость к мучнистой росе в Северо-Западном регионе РФ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180(4). С. 170–176.
- 9 Peterson R.F., Cambell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // Can. J. Res, 1948. V. 26. P. 496–500.

DOI 10.18699/GPB2024-86

Изучение коллекции образцов твердой пшеницы по качеству зерна и аллельному составу локусов высокомолекулярных глютеинов

Стасюк А.И.^{1*}, м.н.с.; Леонова И.Н.¹, д.б.н., в.н.с.; Мальчиков П.Н.^{1,2}, д.с.-х.н., в.н.с.; Пискарев В.В.¹, к.с.-х.н., с.н.с.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

²Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова, п. г. т. Безенчук, Россия

*email: stasyuk@bionet.nsc.ru

Проведено сравнительное изучение сортов и селекционных образцов твердой пшеницы, выращенных в экологических условиях Самарской и Новосибирской областей в 2023 г., по содержанию белка и клейковины в зерне. Показано, что современные российский сорта и селекционные линии уступают историческим сортам и образцам иностранной селекции по содержанию белка и клейковины. Проведен анализ

субъединичного состава локусов *Glu-A1* и *Glu-B1*, который показал высокую частоту встречаемости *Ax0* и *Bx7+By8* субъединиц в образцах изученной коллекции.

Ключевые слова: твердая пшеница; белок; клейковина; высокомолекулярные глюteniны

Study of a collection of durum wheat varieties for grain quality and allelic composition of high molecular weight glutenin

Stasyuk A.I.^{1*}, *Leonova I.N.*¹, *Mal'chikov P.N.*^{1, 2}, *Piskarev V.V.*¹

¹ *Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia*

² *Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N.M. Tulajkov, Bezenchuk, Russia*

*email: stasyuk@bionet.nsc.ru

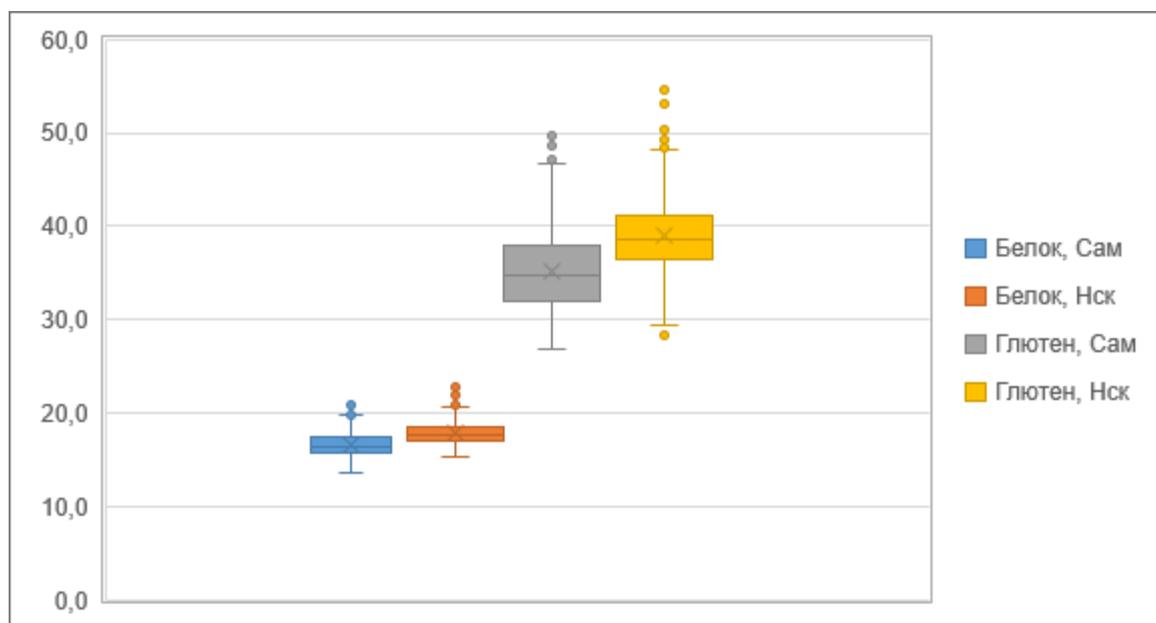
*A comparative study of grain protein and gluten content of durum wheat varieties and breeding lines cultivated in the Samara and Novosibirsk regions in 2023 was studied. It was shown that modern Russian varieties and breeding lines are inferior to historical varieties and foreign varieties selection on grain protein and gluten content. An analysis of the subunit composition of the *Glu-A1* and *Glu-B1* loci indicated a high frequency of occurrence of *Ax0* and *Bx7+By8* subunits in the studied durum wheat collection.*

Key words: durum wheat; grain protein content; gluten; high molecular weight glutenins

Твердая (*Triticum durum* Desf.) пшеница является важной зерновой культурой и основным сырьем для изготовления макаронных и крупяных изделий высокого качества [1]. Содержание белка и клейковины в зерне яровой твердой пшеницы в значительной степени определяется генетическими факторами, климатическими условиями и адаптационными способностями к конкретным агроэкологическим условиям [2]. Целью данной работы было сравнительное исследование современных и стародавних сортов твердой пшеницы по содержанию белка и клейковины и аллельному составу локусов высоко молекулярных глютеинов (ВМГ). В работе были изучены 142 образца яровой твердой пшеницы, которые выращивались в 2023 г. в экологических условиях Самарской и Новосибирской областей. Содержание белка и клейковины определяли с использованием инфракрасного анализатора (Bruins Instruments, Germany). Анализ аллельного состава локусов ВМГ проводили с помощью ПЦР маркеров, разработанных для локусов *Glu-A1* и *Glu-B1* [3–5]. Статистический анализ результатов проводили с помощью пакета программ Statistica v. 10.

Было показано, что содержание белка зерне образцов находилось в диапазоне 13,5 % – 23,2 %, клейковины – 26,9 – 54,6, при этом показатели по обоим признакам были достоверно ($p < 0.001$) выше при выращивании сортов в условиях Новосибирской области (см. рисунок).

Сорта иностранной селекции превышали стародавние и современные российские сорта и селекционные линии по содержанию белка и клейковины. Полученные данные свидетельствуют о снижении параметров белка и клейковины в современных российских образцах в сравнении с историческими сортами.



Содержание белка и клейковины в зерне твердой пшеницы (%) в условиях Самарской и Новосибирской областей (2023 г.)

Из трех субъединиц локуса *Glu-A1* частота встречаемости субъединиц $Ax0$, и $Ax1$ составляла 67 % и 33 % соответственно. Субъединица $Ax2$ была выявлена только у одного образца. Сравнение сортообразцов различного происхождения свидетельствует о том, что в сортах иностранной селекции присутствует только субъединица $Ax0$. Для локуса *Glu-B1* у большинства сортов (> 70 %) было установлено сочетание $Vx7 + Vu8$ субъединиц. Субъединица $Vx6$ наиболее часто встречалась у иностранных сортов в сравнении с российскими.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-16-00041, <https://rscf.ru/project/23-16-00041/>).

Список литературы

- 1 Martínez-Moreno F., Ammar K., Solís I. Global changes in cultivated area and breeding activities of durum wheat from 1800 to date: A historical review // *Agronomy*. 2022. V. 12, 1135. DOI 10.3390/agronomy12051135
- 2 Beres B.L., Rahmani E., Clarke J.M., Grassini P., Pozniak C.J., Geddes C.M., Porker K.D., May W.E., Ransom J.K. A systematic review of durum wheat: enhancing production systems by exploring genotype, environment, and management (G x E x M) synergies // *Front. Plant Sci.* 2020. V. 11:568657. DOI 10.3389/fpls.2020.568657
- 3 Lafiandra D., Tucci G.F., Pavoni A., Turchetta T., Margiotta B. PCR analysis of X- and y-type genes present at the complex *Glu-A1* locus in durum and bread wheat // *Theor. Appl. Genet.* 1997. V. 94. P. 235–240. DOI 10.1007/s001220050405.
- 4 Lei Z.S., Gale K.R., He Z.H., Gianibelli C., Larroque O., Xia, X.C., Butow B.J., Ma W.Y. Type gene specific markers for enhanced discrimination of high-molecular weight glutenin alleles at

the *Glu-B1* locus in hexaploid wheat // J. Cereal Sci. 2006. V. 43. P. 94–101. DOI 10.1016/j.jcs.2005.08.003

5 Liu S., Chao S., Anderson J.A. New DNA markers for high molecular weight glutenin subunits in wheat // Theor. Appl. Genet. 2008. V. 118. P. 177–183. DOI 10.1007/s00122-008-0886-0.

DOI 10.18699/GPB2024-87

Гибриды полбы (*T. dicoccum* (Schrank) Schuebl.) и гексаплоидных тритикале (× *Triticosecale* Wittmack)

Стёпочкин П.И. ^{1*}, д.с.-х.н., в.н.с., Петраш Н.В. ¹, н.с., Гордеева Е.И. ², к.б.н., н.с.,
Силкова О.Г. ², к.б.н., в.н.с.

¹Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра «Институт цитологии и генетики СО РАН», Краснообск, Россия

²Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: stepopetr@mail.ru

В Сибирском научно-исследовательском институте растениеводства и селекции – филиале ИЦиГ СО РАН с 2013 г. проводятся работы с целью создания селекционных гексаплоидных форм яровой тритикале (× *Triticosecale* Wittmack) на основе скрещиваний гексаплоидных тритикале с полбой (*T. dicoccum* (Schrank) Schuebl.). Селекционные формы на делянках 2 м² показали продолжительность межфазного периода «всходы – колошение», продуктивность и натуру зерна на уровне стандарта тритикале Тимур. С 2021 г. начата программа по созданию фиолетовозёрных форм тритикале. В результате гибридизации коллекционного образца тритикале Садко (к-3927) с селекционной формой фиолетовозёрной полбой 27-3/17 созданы фертильные гибриды F₄, с фиолетовой окраской зерна и морфологическими признаками тритикале.

Ключевые слова: тритикале; фиолетовая окраска зерна; гибрид

Hybrids of emmer (*T. dicoccum* (Schrank) Schuebl.) and hexaploid triticale (× *Triticosecale* Wittmack)

Stepochkin P.I. ^{1*}, Petrash N.V. ¹, Gordeeva E.I. ², Silkova O.G. ²

¹Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – branch of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Krasnoobsk, Russia

²Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: stepopetr@mail.ru

Since 2013, at the Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – branch of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, work has been carried out to make breeding hexaploid forms of spring triticale (× *Triticosecale* Wittmack) based on

*crossings of hexaploid triticale with emmer (*T.dicocum* (Schrank) Schuebl.). The breeding forms on 2m² plots showed the duration of the interphase period “sprouting – heading”, grain productivity and test weight at the level of the triticale variety Timur taken as a standard. In 2021, a program to create violet-grain forms of triticale has been launched. As a result of hybridization of the collection accession of triticale Sadko (k-3927) with the breeding form of violet-grained emmer 27-3/17, fertile hybrids F₄ having purple grain color and morphological characteristics of triticale were made.*

Key words: triticale; purple grain color; hybrid

В России возделываются преимущественно озимые тритикале. Созданные в Сибирском научно-исследовательском институте растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН два сорта озимых тритикале Цекад 90 и Сирс 57 районированы соответственно в 2005 и 2008 гг. и входят в десятку наиболее востребованных сортов в стране. Но климатические условия в Сибири с морозными и продолжительными зимами нередко являются критическими для перезимовки растений, что сказывается на урожайности этой культуры.

В связи с этим, в 2013 г. было начато получение форм яровых тритикале на основе отдалённой гибридизации полбы (*Triticum dicocum* (Schrank) Schuebl.) и тритикале (\times *Triticosecale* Wittmack). Гибрид F₁ между двумя образцами полбы (Л133 \times ПКК) \times к-25516 опыляли селекционной формой гексаплоидного (6х) тритикале УК 30/33 [1]. Начиная с F₂ выбраковывали стерильные и плохо озёрнённые растения. В последующих поколениях отбирали растения с хорошими качественными и количественными признаками. У лучших отобранных форм подсчитывали число хромосом на препаратах из меристоматических клеток кончиков корешков. У растений с удовлетворительной фертильностью было 42 хромосомы (рис. 1), но в их потомстве в F₆ всё ещё в мейозе наблюдали нарушения [1]. По этой причине не во всех цветках завязывались семена.

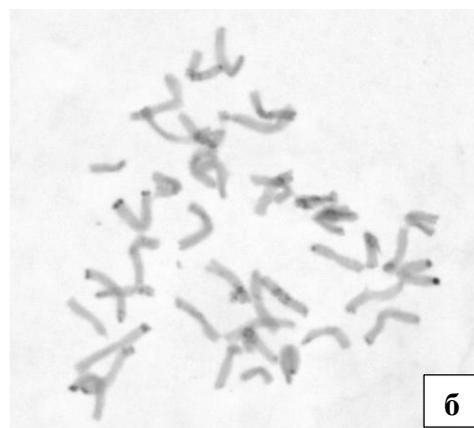
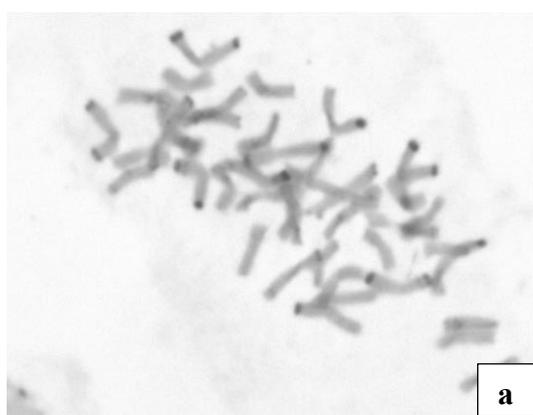


Рис. 1. Метафазные пластинки 42-хромосомных гибридов F₆ полбы (F₁ (Л133 \times ПКК) \times к-25516) и тритикале УК 30/33; а) с 14 хромосомами ржи; б) с 10 хромосомами ржи

Спустя три поколения удалось отбором лучших растений повысить фертильность и в полевых опытах на делянках 2 м² многие созданные образцы показали

продуктивность зерна на уровне стандарта. По другим количественным характеристикам, связанным с продуктивностью зерна, гибриды F₉ в 2022 г. достоверно не отличались от стандарта сорта Тимур (табл. 1). Наилучшие показатели по зерновым характеристикам (озернённость колоса, масса 1000 зёрен, натура зерна и продуктивность зерна) были у ДТ 24.

Таблица 1 – Основные характеристики гибридов полбы с тритикале, 2022 г.

Наименование тритикале и гибридов полбы с тритикале	Межфазный период «всходы – колошение», сут.	Длина соломины, см	Озернённость колоска, шт.	Масса 1000 зёрен, г	Натура зерна, г/л	Продуктивность, г/м ²
Тимур, ст.	41±2	85±3	1,9±0,2	38±4	711±8	498±12
ДТ 24	41±1	83±3	1,8±0,2	39±6	746±9*	513±20
ДТ 174	41±2	73±2*	1,7±0,3	34±4	721±8	488±12
ДТ 182	41±2	71±3*	1,4±0,2	36±7	714±20	461±32
ДТ 17	39±1	77±3	1,5±0,1	34±4	728±13	454±15
ДТ 165	43±2	79±3	1,4±0,2	36±3	711±14	428±50
ДТ 153	43±1	72±4	1,5±0,2	33±4	675±13*	420±14*

Примечание. Достоверные отличия от лучшего стандарта в год изучения: * $p < 0.05$.

С 2021 приступили к созданию фиолетовозёрной тритикале на основе скрещивания коллекционного образца пшенично-ржаного амфиплоида Садко (к-3927) с полученной ранее селекционной линией фиолетовозёрной полбы 27-3 [2], которая в год гибридизации была под селекционным номером 17. Она содержит больше всего антоцианов по сравнению с другими изученными линиями такого же происхождения (табл. 2). Такой цвет зерну придают антоцианы, локализованные в перикарпе. Этот признак проявляется в результате комплементарного взаимодействия генов *Pp-D1* и *Pp3*, локализованных в разных хромосомах [3]. Кроме того, линия характеризовалась хорошей массой 1000 зёрен и продуктивностью зерна.

Таблица 2 – Показатели количественных признаков семи фиолетовозерных линий полбы, 2022 г.

Название полбы	Общее содержание антоцианов в зерне, мг/г	Число продуктивных стеблей, шт.	Длина соломины, см	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Урожайность, г/м ²
Греммэ, ст.	3,7±0,6	2,3 ± 0,3	105,9 ± 3,5	40,7 ± 2,8	762 ± 15	497 ± 31
К-25516, ст.	4,3±0,7	2,6 ± 0,5	107,8 ± 4,1	33,8 ± 0,9	776 ± 10	438 ± 22
31-16	55,5±12,2**	4,1 ± 0,7	74,6 ± 5,3**	32,5 ± 1,0	758 ± 14	375 ± 20
31-19	39,7±1,4**	1,6 ± 0,4	75,0 ± 3,6**	29,6 ± 1,4	734 ± 15	316 ± 18*
31-20	27,5±2,6**	1,8 ± 0,4	78,3 ± 3,6**	27,6 ± 0,9	726 ± 13*	309 ± 25*
27-1	18,4±0,4**	1,9 ± 0,4	79,9 ± 3,9*	34,4 ± 3,1	740 ± 17	323 ± 21*
27-3	82,5±11,6**	3,1 ± 0,5	88,4 ± 2,0*	35,4 ± 0,9	754 ± 14	455 ± 25
27-12	40,1±3,2**	2,1 ± 0,5	107,9 ± 5,6	34,5 ± 1,5	782 ± 12	449 ± 26
28-12	41,0±3,4**	2,3 ± 0,5	92,9 ± 6,0	28,6 ± 2,0	729 ± 13*	327 ± 51

Примечание. Достоверные отличия от лучшего стандарта в год изучения: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

К четвёртому поколению были отобраны растения с фиолетовым зерном, по морфотипу (плотный колос, опушённая колосоножка) схожие с гексаплоидным тритикале (рис. 2). Однако озернённость колоса растений этого гибрида невысокая, возможно из-за нарушений в мейозе. Как показали исследования гибридов F₆ полбы с тритикале, аномалии в мейозе растений происходят на протяжении нескольких поколений [1]. У разных гибридов тритикале процесс стабилизации геномов и нормализации процесса мейоза может происходить и в более старших поколениях [4].

В дальнейшем основные направления селекционных работ будут связаны с повышением озернённости колоса, и сокращением продолжительности вегетационного периода.



Рис. 2. Колосья и семена тритикале Садко, линии полбы 27-3/17 и гибрида F₄

Таким образом, получены гибриды тритикале с полбой и селекционные формы для дальнейшего использования в селекционном процессе.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Список литературы

- 1 Silkova O.G., Ivanova Y.N., Stepochkin P.I. Development and Study of Emmer × Triticale Hybrids // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 27. № 4. С. 323–332. DOI 10.18699/VJGB-23-39
- 2 Стёпочкин П.И., Гордеева Е.И., Хлесткина Е.К. Маркер-ориентированная селекция в создании гибридных линий *Triticum dicoscon* (Schrank) Schuebl. × *Triticum aethiopicum* Jakubz. с фиолетовоокрашенным зерном // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184. № 2. С. 139–148. DOI 10.30901/2227-8834-2023-2-139-148
- 3 Zeven A.C. Wheats with purple and blue grains: a review // Euphytica. 1991. V. 56. P. 243–258.
- 4 Kalinka A., Achrem M. Reorganization of Wheat and Rye Genomes in Octoploid Triticale (× Triticosecale) // Planta. 2018. № 247(4). P. 807–829. DOI 10.1007/s00425-017-2827-0

Устойчивость к низкой температуре и патогенным микромицетам видов и форм рода *Vigna Savy* (Fabaceae)

Сунь Ц.¹, аспирант, Фотев Ю.В.^{2,3*}, к. с.-х. н, с.н.с.

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

*email: fotev_2009@mail.ru

Для оценки устойчивости к низкой температуре (режимы: 10, 12, 14 и 12 °C /10 дней +25 °C) и патогенным микромицетам использовали 40 образцов вигны с использованием «влажной камеры» на фильтровальной бумаге (ФБ) и почвы (П). Основными патогенными микромицетами на прорастающих семенах вигны были *Fusarium sp.* и *Aspergillus sp.*, в почве присутствовали виды *Fusarium spp.* (290 КОЕ/г) и *Pythium Pringsh.* Низкая температура снижает всхожесть семян, но на ФБ интенсивность поражения была выше по сравнению с (П). Сорта, выделившиеся по устойчивости к патогенным микромицетам при оптимальной (25 °C) температуре (сорта: Сибирский размер, Факир и Лилиана), не проявили такую же устойчивость при холодовом тесте. Холодоустойчивость в период прорастания семян не совпала с этим же признаком при прорастании пыльцы на растворе ПЭГ6000 *in vitro* при низкой температуре.

Ключевые слова: низкая температура; вигна; холодостойкость; патогенные микроорганизмы

Resistance to low temperature and pathogenic micromycetes of species and forms of the genus *Vigna Savy* (Fabaceae)

Sun J.³, PhD student, Fotev Yu.V.^{1,2*}, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.

¹Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

*email: fotev_2009@mail.ru

To assess resistance to low temperatures (modes: 10, 12, 14, and 12 °C /10 days +25 °C) and pathogenic micromycetes, 40 *Vigna Savy* accessions were used using a “wet chamber” on filter paper (FP) and soil (S). The main pathogenic micromycetes on germinating *Vigna Savy* seed accessions were *Fusarium sp.* and *Aspergillus sp.*, *Fusarium spp.* (290 CFU/g) and *Pythium Pringsh.* species were present in the soil. Low temperature reduces seed germination, but on FP the intensity of damage was higher compared to S. Cultivars distinguished by resistance to pathogenic micromycetes at optimal (25 °C)

temperature (cultivars: Siberskiy razmer, Fakir and Liliana) did not show the same resistance in the cold test. Cold resistance during seed germination did not coincide with the same trait during pollen germination in PEG6000 solution in vitro at low temperatures.

Key words: low temperature; cowpea; cold resistance; pathogenic microorganisms

В род *Vigna* Savy (Fabaceae) входят теплолюбивые виды овощных культур, отличающиеся устойчивостью к высоким температурам. Подходящая температура для роста и развития обычно составляет 25–30 °С. Рост растений замедляется при температуре ниже 10 °С, растения повреждаются при температуре ниже 5 °С, а 0 °С может привести к их гибели [1]. Прорастание происходит медленно при низкой температуре и дождливых днях, а семена в этом случае склонны к загниванию. Повреждение от переохлаждения при низких температурах является важным фактором, влияющим на период посева вигны. При производстве вигны часто встречаются повреждения от холода. Низкая температура может легко привести к опадению листьев, цветов и плодов вигны, что серьезно влияет на масштабы ее промышленной культуры. Устойчивость к болезням значительно снижается после повреждения низкой температурой, особенно у длинноплодной вигны (*Vigna unguiculata* Walp.), возделываемой в открытом грунте, в это время растения слабые и более восприимчивы к болезням [2]. По этой причине скрининг сортов и выделение устойчивых к низким температурам и патогенных микроорганизмов является одним из основных способов снижения повреждения культур низкотемпературными переохлаждениями.

В 2022–2023 гг. в качестве экспериментального материала использовали 40 сортов вигны из ВИРа и ЦСБС СО РАН (УНУ № USU 440534). Эксперименты проводили в лаб. интродукции пищевых растений и ЦКП ЦСБС СО РАН. Растения и семена были выращены в пленочной необогреваемой теплице ЦСБС СО РАН. Семена проращивали по ГОСТ 12038-84 на фильтровальной бумаге в чашках Петри при «оптимальной» (25 °С) и низкой (10, 12 и 14 °С) температуре. Выбор температуры определялся предварительными тестами. Для оценки прорастания и поражения семян микромицетами после периода низкой температуры использовали холодовой тест по методике [3]. Подсчет числа проросших семян проводили на 5, 10, 14 и 20 день. Пыльцу проращивали на растворе ПЭГ 6000 производства PanReac AppliChem (EU) с добавлением борной кислоты (0,006 %) производства PanReac AppliChem (Ph. Eur., pure, фарм.), приготовленный на дистиллированной воде. в концентрации 20 % с добавлением борной кислоты 0.006 % [4]. Проращивание пыльцы для оценки холодостойкости проводили при температуре 6 °С в течение 24 ч, помещая ее на капли раствора на предметных стеклах, размещенных на увлажненной фильтровальной бумаге в стеклянных чашках Петри. В качестве контроля проращивали пыльцу на такой же среде при температуре 25 °С в течение

3 ч. Холодостойкость оценивали по отношению показателя прорастания пыльцы при температуре 6 °С к аналогичному показателю при 25 °С и выражали в процентах [5]. В качестве почвы использовали торфяной субстрат, микробиологический анализ которого и семян проводили в лаборатории фитосанитарной диагностики и прогноза Новосибирского государственного аграрного университета (НГАУ) в соответствии с разработанными методами и ГОСТ 12044-93.

Статистическая обработка опытных данных во всех опытах включала определение средней арифметической (M), ошибки средней арифметической (SE Mean), коэффициента вариации (Cv), минимального (min) и максимального (max) значений количественных признаков. Использовали статистические пакеты Excel и Minitab14.

Основные патогенными микромицетами на вигне на прорастающих семенах являются: *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp. Общая численность почвенной микрофлоры в использованном почвогрунте составила: грибы – 1×10^3 , бактерии – 30×10^3 , актиномицеты – 1×10^3 КОЕ/г. Проведенный при использовании среды КДА микробиологический анализ почвы показал наличие *Fusarium* sp. в количестве 290 КОЕ/г почвы, что более чем в 5 раз превышает экономический порог вредоносности.

Проращивание семян вигны в условиях низкой температуры снизило темпы их прорастания: при 14 °С на 5 день в 5,8 раз, а на 10 день – вдвое, в сравнении с аналогичными сроками при 25 °С. При 12 °С прорастание было еще медленнее, составив на 10 день в среднем лишь около 10 % к показателю при 25 °С. При этой температуре выделились образцы с высоким показателем прорастания на 10 суток: Zinder (53,3 %) и сорт Нежная (40 %). У «теплолюбивых» образцов (к-818, Овощная Кудесница) начало прорастания (6,7 %) отмечено на 20 день.

Скорость роста первичного корня вигны снижается при низких температурах: по сравнению с тем же периодом при 25 °С, у двух образцов при 10 °С отмечена более высокая холодостойкость – 8,4 мм/день (к-971) и 8,3 мм/день (к-864), у трех образцов при 10 °С (Лириана, Сибирский размер, к-642) первичный корень прекратил рост.

При проращивании пыльцы вигны выделились по «холодостойкости» и «теплолюбивости», соответственно, 5 и 3 образца, не совпадающих при сравнении с этими же показателями по семенам (см. таблицу).

Образцы вигны (*Vigna unguiculata* Walp.), различающиеся по устойчивости к низкой температуре

Образцы с разной устойчивостью к низкой температуре			
по прорастанию семян		по прорастанию пыльцы <i>in vitro</i>	
"холодостойкие"	"теплолюбивые"	"холодостойкие"	"теплолюбивые"
Zinder, Нежная	к-818, Овощная, Кудесница	к-36, к-639, Красная поздняя, Chinese Cowpea #4, Early Prolificacy Xiao Bao #2	Юньнаньская, Графиня, к-802

В результате проращивания коллекций образцов вигны при оптимальной и низкой температуре выявили возможность отбора холодостойких форм в фазе прорастания семян при температуре 14 и 12 °С и пыльцы в режиме 6 °С/24 ч *in vitro*. Интенсивность поражения почвенными микромицетами не зависела от степени их холодостойкости, что говорит, вероятно, в пользу независимого генетического контроля этих признаков. На основном проращивания семян и пыльцы образцов вигны при низкой температуре выделен исходный материал с высокой устойчивостью к низкой температуре и теплолюбивые формы (в качестве дифференциаторов).

Дифференциальная температурой для отбора на холодостойкость по проращиванию семян оказывается 12 и 14 °С, по проращиванию пыльцы *in vitro* 6 °С в течение 24 ч при которых отмечена наибольшая изменчивость признака.

Выделенные фрагменты могут быть успешно использованы в дальнейших исследованиях холодостойкости и селекционных программах при селекции сортов для регионов с дефицитом тепловых ресурсов. Результаты проращивания коллекции образцов вигны при оптимальных и низких температурах выявили возможность выделения холодостойких форм в фазе прорастания семян при температуре 14 и 12 °С и пыльцы в режиме 6 °С /24 ч *in vitro*. Интенсивность поражения почвенными микромицетами не зависела от степени их холодоустойчивости, что, вероятно, говорит в пользу независимого генетического контроля этих признаков. По результатам прорастания семян и пыльцы образцов вигны при низких температурах выявлен исходный материал с высокой устойчивостью к низким температурам и теплолюбивые формы (в качестве дифференциаторов).

Дифференцирующая температура для отбора на холодоустойчивость при проращивании семян составляет 12 и 14 °С, при проращивании пыльцы *in vitro* 6 °С в течение 24 часов, при которой отмечается наибольшая изменчивость признака.

Отобранные образцы могут быть успешно использованы в дальнейших исследованиях холодостойкости и селекционных программах в селекции сортов для регионов с дефицитом тепловых ресурсов.

Список литературы

- 1 黄伟康,符启位,郭静依,冯青,贾静静,罗丰.25份长荚豇豆品种萌芽期耐冷性综合评价[J].长江蔬菜,2023(06):40–45.
- 2 黄海涛,胡江,徐冬梅,谭华强,李焕秀.豇豆萌芽期耐冷性综合鉴定与评价[J].西北农业学报,2019,28(02):237–246.
- 3 Алексейчук Г.Н., Ламан Н.А. Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки. Минск: Право и экономика, 2005. 48 с.
- 4 Fotev Y.V., Artemyeva A.M., Zvereva O.A. Genetic resources of vegetable crops: from breeding non-traditional crops to functional food // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii. 2021. V. 25(4). P. 442–447. DOI 10.18699/VJ21.049.
- 5 Фотев Ю.В., Казакова О.А. Грибные заболевания спаржевой вигны на юге Западной Сибири // Овощи России. 2019. № (2). С. 97–105.

6 Фотев Ю.В. Оценка холодостойкости коллекционных образцов момордики (*Momordica charantia* L.) по прорастанию пыльцы при низкой температуре *in vitro* // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. № 183(3). С. 39–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47.

DOI 10.18699/GPB2024-89

Получение удвоенных гаплоидов мягкой пшеницы для ускорения селекционного процесса

Тимонова Е.М.^{*1,2}, к.б.н., н.с., Адонина И.Г.^{1,2}, к.б.н., н.с., Логинова А.С.¹, лаб., Бойко Н.И.^{1,3}, м.н.с., к.с-х.н., Баранцова М.А.¹, лаб., Салина Е.А.^{1,2}, д.б.н., г.н.с., проф.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Курчатовский геномный центр, Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

³Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ФИЦ Института цитологии и генетики СО РАН

*email: eegorova@bionet.nsc.ru

В данной работе представлены результаты по получению удвоенных гаплоидов мягкой пшеницы. Для этой цели нами был отработан и оптимизирован протокол получения дигаплоидов мягкой пшеницы через культуру пыльников *in vitro*. С использованием данного подхода мы получили растения удвоенных гаплоидов на основе F_1 - F_3 гибридов как яровой, так и озимой пшеницы разного происхождения и с различными хозяйственно ценными признаками. Полученные дигаплоидные растения и линии включены в работы по изучению проявления этих признаков и в селекционные программы.

Ключевые слова: мягкая пшеница; удвоенные гаплоиды; альбинизм; культура пыльников *in vitro*

Obtaining double haploids of bread wheat for shortening plant breeding process

Timonova E.M.^{1,2*}, Adonina I.G.^{1,2}, Loginova A.S.¹, Boyko N.I.^{1,3}, Barantsova M.A.¹, Salina E.A.^{1,2}

¹ Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Kurchatov Genomics Center of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

³ Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: eegorova@bionet.nsc.ru

This paper presents our results of obtaining doubled haploids of common wheat. For this purpose, we have tested and optimized the protocol for obtaining doubled haploids of

wheat through anther culture *in vitro*. Using this approach, we developed doubled haploid lines from spring and winter wheat F_1 - F_3 hybrids of different origins and with different agricultural traits. The obtained DH plants and lines are being studied for the effect of those traits and involved in breeding programs.

Key words: common wheat; double haploids; albinism; anther culture in vitro

Создание новых сортов сельскохозяйственных культур – длительный и дорогостоящий процесс. Традиционно работа по созданию сорта состоит из нескольких этапов: гибридизации, самоопыления, отбора и тестирования полученных линий, и может занимать до 12–15 лет. Поэтому современные биотехнологические подходы для быстрого создания новых высокопродуктивных, устойчивых к биотическому и абиотическому стрессу сортов в короткие сроки очень востребованы. Это особенно важно в случае озимых генотипов, для выращивания каждого поколения которых требуется относительно много времени. Производство удвоенных гаплоидов (или дигаплоидов, ДГ-линий) стало одним из ключевых инструментов биотехнологии в селекции пшеницы, а также множества других видов растений [1]. Основное преимущество использования удвоенных гаплоидов заключается в достижении полной генетической гомозиготности за одну генерацию по сравнению с пятью-шестью поколениями самоопыления в традиционной селекции. ДГ-линии благодаря полной гомозиготности характеризуются высоким уровнем морфологической однородности, синхронизацией времени цветения и завязывания семян. При этом рецессивные аллели и мутации не маскируются доминантными аллелями, а фенотипические различия между разными линиями ярко выражены. Также благодаря своим свойствам удвоенные гаплоиды активно используются и в фундаментальных исследованиях, например, для создания картирующих популяций, для фиксации чужеродного интрогрессивного материала и в генетической инженерии [2–4].

Нами ведется работа по получению удвоенных гаплоидов яровой и озимой мягкой пшеницы. Одной из задач является подбор и оптимизация уже опубликованных методик, поиск условий и факторов для эффективной индукции эмбриогенеза, повышения частоты регенерации зеленых растений и снижения доли безхлорофильных (альбиносных) растений. Апробировано два подхода: метод отдаленной гибридизации, с использованием кукурузы в качестве опылителя, и метод культуры пыльников на основе андрогенеза *in vitro*. Метод культуры пыльников *in vitro*, при котором растение развивается из незрелой гаплоидной микроспоры, благодаря своей простоте чаще других используется в работах с мягкой пшеницей. Нами был получен ряд ДГ-растений с различными хозяйственно ценными признаками: 1) с транслокациями от отдаленных видов, содержащими гены устойчивости к грибным болезням пшеницы; 2) с генами круглозерности и короткостебельности; 3) фиолетово-зерной яровой пшеницы; 4) озимой мягкой пшеницы, из гибридных популяций от скрещивания сортов, выращиваемых в разных агроклиматических районах России.

Хотя метод культуры пыльников *in vitro* успешно применяется в наших работах, его эффективность находится в значительной зависимости от генотипических факторов. Так, в работе по получению удвоенных гаплоидов из гибридных растений F₂, полученных от скрещивания сорта Новосибирская 16 с линий Велют 991, содержащей две транслокации (от ржи и *Aegilops speltoides*), были выявлены достоверные различия по проявлению признаков эффективности андрогенеза у разных генотипов. В частности, признак «частота зеленых растений» варьировал от 0,7 % до 10,1 %. Из регенерировавших андрогенных растений были сформированы ДГ-линии, две из которых переданы на депонирование в коллекции ВИР (Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова).

Еще одной фундаментальной проблемой, ограничивающей применение андрогенеза в селекции, является феномен альбинизма, то есть регенерации большого количества альбиносных растений в культуре *in vitro* как пыльников, так и изолированных микроспор у всех основных культур злаков, включая пшеницу, ячмень, рис и тритикале [5]. Для некоторых генотипов частота растений-альбиносов может достигать почти 100 %, что практически исключает использование этих генотипов в селекционных программах, основанных на гаплоидных технологиях. При этом данный признак является наследуемым. Однако было показано, что, оптимизируя условия выращивания растений-доноров, некоторые стрессовые предобработки, а также изменяя составы питательных сред, можно добиться некоторого улучшения показателей для признака «частота зеленых растений» [5]. В нашей работе по получению ДГ-растений на основе гибридов фиолетовозерной мягкой пшеницы в эксперименте № 1 частота формирования эмбриодиподобных структур составила в среднем 6,1 %, а средняя частота регенерации зеленых растений всего 0,13 %. Модификация параметров протокола позволила в эксперименте № 2 увеличить эти показатели до 21,9 и 0,52 % соответственно.

Таким образом нами получен набор ДГ-растений мягкой пшеницы разного происхождения. После первичной оценки были выделены несколько ДГ-линий, которые в настоящее время включены в работу по изучению проявления хозяйственно ценных признаков и в селекционные программы.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Курчатова Геномного Центра ИЦиГ СО РАН № 075-15-2019-1662.

Список литературы.

- 1 Kishii M., Singh S. Haploid production technology: fasten wheat breeding to meet future food security. In: Gosal S., Wani S. (eds) // Accelerated plant breeding. 2020. V. 1. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41866-3_6
- 2 Kelliher T., Starr D., Su X., Tang G., Chen Z., Carter J., Dong S., Green J., Burch E., McCuiston J., Gu W., Sun Y., Strebe T., Roberts J., Bate N.J., Que Q. One-step genome editing of elite crop germplasm during haploid induction // Nature Biotechnology. 2019. V. 37. P. 287–292.

<https://doi.org/10.1038/s41587-019-0038-x>

- 3 King J., Newell C., Grewal S., Hubbart-Edwards S., Yang C.Y., Scholefield D., Ashling S., Stride A., King Ian P. Development of Stable Homozygous wheat/*Amblyopyrum muticum* (*Aegilops mutica*) introgression lines and their cytogenetic and molecular characterization // *Frontiers in Plant Science*. 2019. V.10. P. 34. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00034>
- 4 Grewal S., Guwela V., Newell C., Yang C., Ashling S., Scholefield D., Hubbart-Edwards S., Burrige A., Stride A., King I.P., King J. Generation of doubled haploid wheat-*Triticum urartu* introgression lines and their characterisation using chromosome-specific KASP markers // *Frontiers in Plant Science*. 2021. V. 12. P. 643–636. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.643636>
- 5 Żur I., Adamus A., Cegielska-Taras T., Cichorz S., Dubas E., Gajecka M., Juzoń-Sikora K., Kielkowska A., Malicka M., Oleszczuk S., Skrzypek E., Szala L., Szarejko I. Doubled Haploids: Contributions of Poland's Academies in Recognizing the Mechanism of Gametophyte Cell Re-programming and Their Utilization in Breeding of Agricultural and Vegetable Species // *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2022. V. 91. P. 1–32. <https://doi.org/10.5586/asbp.9128>.

DOI 10.18699/GPB2024-90

Оценка генофонда моркови столовой сортотипа Шантенэ по комплексу селекционно важных признаков и устойчивости к болезням для механизированной технологии

*Тихонова Т.О. *, аспирант, м.н.с.; Степанов В.А. к.с.-х.н., в.н.с.; Козарь Е.Г. к.с.-х.н., в.н.с.; Енгальчева И.А. к.с.-х.н., в.н.с.*

*Федеральный научный центр овощеводства, Московская область, Россия
email: tikhonova@tatyana94.ru

Современный рынок требует продукцию очень высокого качества, при этом для почв среднетяжелого гранулометрического состава наиболее востребованы сорта и гибриды F_1 моркови столовой сортотипа Шантенэ, пригодные к механизированной технологии и устойчивые к болезням хранения.

*С целью поиска источников целевых признаков проведена оценка 23 коллекционных образцов моркови столовой отечественной и зарубежной селекции, согласно разработанной модели гибрида. В результате комплексной оценки с максимальным сочетанием изученных целевых признаков являются образцы: *Zaharia carrot*, *Риф F_1* и *Марлинка*.*

Ключевые слова: морковь; селекция; устойчивость; механизированная технология

Evaluation of the gene pool of table carrot of Chantenay variety on the complex of breeding-important traits and resistance to diseases for mechanized technology

Tikhonova T.O., Stepanov V.A., Kozar E.G., Engalycheva I. A.

Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC), Odintsovo, Russia

**email: tikhonova@tatyana94.ru*

The modern market demands very high-quality products, and for soils of medium-low granulometric composition the most demanded are varieties and hybrids carrot of Chantenay variety, suitable for mechanized technology and resistant to storage diseases. In order to find sources of target traits, 23 collection samples of table carrots of domestic and foreign selection were evaluated according to the developed hybrid model. As a result of complex evaluation with the maximum combination of the studied target traits are the samples: Zaharia carrot, Rif F₁ and Marlinka.

Key words: carrots; breeding; resistance; mechanized technology

Важным моментом в селекции моркови столовой, является изучение изменчивости и наследования признаков. Для культуры моркови этот вопрос актуален, так как она является перекрестноопыляющимся растением и представляет собой сложную популяцию с широким диапазоном изменчивости по многим признакам. На фенотипическое проявление важного апробационного признака моркови – формы корнеплода, оказывают влияние сортовые особенности, зрелость корнеплода и почвенно-климатические факторы [1], тем не менее этот признак достаточно стабилен. Форма кончика корнеплода, важная особенность моркови, которая играет роль в потребительском спросе [2]. При скрещивании остроконечных по форме основания корнеплодов, с тупоконечными – доминирует остроконечная, конической формы с цилиндрической – доминирует коническая [3].

Известно, что у моркови наблюдается положительная корреляция между длиной ботвы и такими признаками, как масса и длина корнеплода. С формой корнеплода связана скороспелость: укороченные формы характерны для более скороспелых сортов. Со скороспелостью моркови коррелируют небольшие головка и листовая розетка, быстрое накопление каротина [2–4]. Рядом авторов установлено доминирование крупной розетки над маленькой и средней [2, 5]. Однако в работах Н.И. Тимина показано, что наследование этого признака зависит от генотипов исходных линий и в гибридах может проявляться по-разному. При скрещивании линий с прямостоячей листовой розеткой с раскидистой, доминирует раскидистая [6].

Современный рынок требует отборную продукцию очень высокого качества: морковь с гладкой поверхностью корнеплодов, выровненных по форме и окраске, с прочно прикрепленной листовой розеткой, не выступающей над поверхностью почвы верхней части корнеплода. При этом важно сочетание в генотипе корнеплода признаков, обеспечивающих при разной густоте стояния растений с одной стороны наличие неполегающей, прочно прикрепленной листовой розетки, а с другой стороны устойчивость к растрескиванию и механическим воздействиям. Для почв среднетяжелого гранулометрического состава наиболее востребованы сорта и гибриды F₁ сортотипа Шантенэ, пригодные к механизированной технологии.

Наряду с этими, другим важным признаком является устойчивость к болезням, потери товарной продукции от которых в результате длительного хранения через 3–

6 месяцев могут достигать 25–60 % и выше [7–9]. Возбудители кагатной гнили относятся к различным таксономическим группам и способны легко адаптироваться к холодным условиям окружающей среды [10, 11]. Мониторинг патогенного комплекса, проведенный в Московской области на культуре моркови столовой в течение последних 40 лет свидетельствует об изменении его структуры, смене доминирующих видов, повышении вирулентности и агрессивности ранее малопатогенных групп микромицетов.

С 2000-х гг. на моркови на фоне повышения среднегодовых значений температуры отмечено нарастание распространенности и агрессивности альтернариоидных гифомицетов родов *Alternaria* и *Stemphylium*, а также анаморфных гифомицетов рода *Fusarium*, среди которых наиболее вредоносен вид *F. oxysporum*.

В связи с вышеперечисленным для практической селекции разработана модель перспективного гибрида F₁, включающая следующие параметры основных признаков:

- средний срок созревания – 100–135 суток;
- полустоячая листовая розетка высотой не менее 35–40 см (средний размер места прикрепления);
- удлиненно-коническая форма корнеплода;
- длина корнеплода не менее 18–20 см;
- ширина корнеплода в верхней части 7–8 см;
- ширина нижней части 3,3–3,5 см;
- гладкая поверхность корнеплода, 1–3 балл;
- масса корнеплода – 180–200 г;
- урожайность – не менее 70–80 т/га;
- сохранность после длительного хранения – 85–95 %.
- содержание сухого вещества более 15 %, провитамина А – 19 мг/г, суммы сахаров – 10 %;
- устойчивость к возбудителям кагатной гнили корнеплодов.

С целью поиска источников этих признаков в 2023 году была проведена оценка 23 коллекционных образцов моркови столовой отечественной и зарубежной селекции (см. таблицу). Со средним размером места прикрепления и полустоячей листовой розеткой были выделены 14 образцов: Шантенэ 2461, Марлинка, Риф F₁, Каспий F₁, Намур F₁, Rabano, Zahario carrot, Рогнеда, Канада F₁, Кардифф F₁, Канберра F₁, Кюрасао F₁, Каскад F₁, Кордоба F₁, Каракас F₁, Кентавр F₁. Такие образцы, как Мокуум F₁, Кесена F₁ характеризовались с узким местом прикрепления листовой розетки, а остальные пять образцов с широким местом прикрепления в сочетании с раскидистой листовой розеткой – Шантенэ Рояль, Каспий F₁, Намур F₁, Rabano, Боярыня.

Согласно модели гибрида, по форме корнеплод должен быть удлиненно-коническим, с плоской формой плечиков и тупым основанием. Среди изученных, образцов с таким сочетанием признаков не обнаружено. Конической формой корнеплода

отличались: Шантенэ 2461, Марлинка, Шантенэ Рояль, Маргоша, Московская зимняя 455; усеченно-конической: Канада F₁, Кардифф F₁, Кесена F₁, Кентавр F₁. По совокупности положительных признаков – длине и диаметру корнеплода, диаметру головки корнеплода, высоте листовой розетки, длине и ширине листовой пластинки как морфологически однородные (C_v<20 %) выделились образцы Черноземочка, Кардифф F₁, Кентавр F₁.

Характеристика генофонда моркови столовой сортотипа Шантенэ по наличию хозяйственно важных признаков для механизированной технологии

Название образца	Происхождение образца	Признаки листовой розетки			Признаки корнеплода					Товарная урожайность	Товарность	Относительная устойчивость к возбудителям *		
		Размер места прикрепления	Положение	Высота >40см	Форма	Форма плечиков	Основание	Длина	Диаметр			<i>A. radicina</i>	<i>Stemphylium spp.</i>	<i>F. oxysporum</i>
Zaharia carrot	Франция	*	*	*	*	*		**	**	**	*	*	*	*
Риф F ₁	ФНЦО	*	*	*	**	*		**	**	**		*	*	*
Марлинка	ФНЦО	*	*		**	**	*	*	**	*		*	*	*
Кентавр F ₁	Гавриш	*	*		***	*		*			**	*	*	*
Rabano	Франция	*			**	*	*		*		*	*	*	*
Шантенэ 2461	ФНЦО	*	*		**	**	*			**	*			*
Каспий F ₁	Вејо	*			**	*	*			*		*	*	*
Каскад F ₁	Вејо	*	*	*	**	*			*				*	*
Черноземочка	ФНЦО		*	*	*	*		*	*			*		*
Рогнеда	ФНЦО	*	*	*		**	*		**					*
Маргоша	ФНЦО		*		**	**	*		**				*	*
Канада F ₁	Вејо	*	*	*	***			*			*			*
Кордоба F ₁	Вејо	*	*		**	*			*		*			*
Кардифф F ₁	Вејо	*	*		***	*					*			*
Боярыня	ФНЦО				**	*	*		**		**	*		
Московская зимняя 455	ФНЦО		*		**				*	*		*		*
Канберра F ₁	Вејо	*	*		**	*								*
Шантенэ Рояль	Россия				**	**			*	**				*
Кюрасао F ₁	Вејо	*	*		**	*								*
Мокуум F ₁	Вејо		*		*						**		*	*
Кесена F ₁	Вејо		*		***	*								*
Каракас F ₁	Вејо	*	*		**	*								
Намур F ₁	Вејо	*				*	*							

Примечание: Размер места прикрепления * – средний, * – полустоячая листовая розетка; * – высота >40 см. Форма корнеплода *** – усеченно-коническая, ** – коническая, * – веретеновидная; форма плечиков ** – плоская; * – округло-плоская; основание * – тупоконечное; длина корнеплода ** – >18 см; * – 15–18 см; диаметр корнеплода ** – >4,0см; * – 3,5–4,0 см. Товарность – ** – >90 %; * – 75–90 %. Товарная урожайность – *** – >30 т/га; * – 25–30 т/га.

Товарная урожайность в коллекционном питомнике варьировала от 12,84 т/га (Канберра F₁) до 35,16 т/га (Шантенэ Рояль), товарность соответственно от 37,1 % до 95,7 %, средняя масса товарного корнеплода – от 30 г до 190 г. По товарной урожайности выделились Шантенэ Рояль (35,16 т/га), Риф F₁ (31,12 т/га); по товарности – Мокуум F₁ (91,6 %), Кентавр F₁ (95,7 %), Боярыня (93,8 %); по средней массе товарного корнеплода – Марлинка (190 г), Риф F₁ (170 г), Каспий F₁ (160 г), Шантенэ Рояль (160 г), Маргоша (160 г).

На основании иммунологической лабораторной оценки к наиболее агрессивным изолятам возбудителей черной (*A. radicina*, *Stemphylium* spp.) и фузариозной (*F. oxysporum*) гнилям был выделен сорт Марлинка, который проявил относительную устойчивость ко всем патогенам. В отношении отдельных возбудителей выделены: Маргоша (к *Stemphylium* spp.); Каспий F₁ и Боярыня (к *A. radicina*); Кентавр F₁ (к *F. oxysporum* и *Stemphylium* spp.). В результате комплексной оценки с максимальным сочетанием изученных целевых признаков являются образцы: Zaharia carrot, Риф F₁ и Марлинка. В качестве источников признаков листовой розетки также представляют интерес: Каскад F₁, Рогнеда и Канада F₁; по сочетанию признаков корнеплода: Маргоша и Боярыня; по урожайности и товарности: Шантенэ 2461.

Список литературы

- 1 Simon Ph., Freeman R., Vieira J., Boiteux L., Briard M., Nothnagel T., Michalik B., Kwon Y. Carrot // Vegetables II Handbook of Plant Breeding. 2008. Vol. 2. P. 327–357.
- 2 Прохоров И.А., Крючков А.В., Комиссаров В.А. Селекция и семеноводство овощных культур / Под ред. В.А. Комиссарова. М.: Колос, 1981. 447 с.
- 3 Квасников Б.В. Результаты исследований по методике селекции моркови и созданию межлинейных гибридов F₁ // EUCARPIA. 1985. С. 24–28.
- 4 Тимин Н.И. Генотипическая изменчивость и наследование признаков моркови. // Научн. техн. бюлл. ВИР. 1989. вып. 192. С. 29–32.
- 5 Угарова С.В. Генетическая обусловленность признаков моркови при селекции на гетерозис в условиях Западной Сибири. Барнаул, 2003. 154с.
- 6 Тимин Н.И., Щербакова В.В. Изменчивость и наследуемость признаков моркови // Селекция овощных культур: сб. науч. тр. ВНИИССОК. 1983. С. 53–57.
- 7 Salybekova N.N., Kuzhantaeva Z.Z., Basim E., Toychibekova G.B., Issayev G.I., Abdimutalipuly A.N. *Daucus Carota* L. Biological Features of the Excitant Fungi Specie // Indian Journal of Science and Technology. 2015. V. 8. P. 1–5. DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i29/84112
- 8 Борисов В.А., Романова А.В., Янченко Е.В. Сохраняемость и сроки проявления болезней моркови столовой отечественной и зарубежной селекции // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 11. С. 44–46.
- 9 Соколова Л.М., Масловский С.А., Панова М.Б., Замятина М.Е., Карпова Н.А. Устойчивость сортообразцов моркови к болезням при хранении в зависимости от инфекционного фона и послеуборочного фитосанитарного состояния растений // Аграрный научный журнал. 2019. № 1. С. 26–31.
- 10 Тимина Л.Т., Енгальчева И.А. Комплекс патогенов на овощных культурах в условиях Центрального региона РФ // Овощи России. 2015. № 3–4. С. 123–129.
- 11 Fatehpuria P.K., Sasode R.S., Kaurav A.S., Triverdi H., Pandya R.K., Management Prospects against Stem Canker of Mustard // Current Research Innovations Plant Pathol. 2020. P. 33–34.

Создание беспротоцианидиновых линий ячменя

Тоцкий И.В. *, к.б.н., н.с.; Кукоева Т.В., с.л.; Григорьев Ю.Н., с.н.с.; Шоева О.Ю., к.б.н., с.н.с., зав. сектором.

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: totsky@bionet.nsc.ru

*Зерно ячменя содержит флавоноидные соединения, среди которых присутствуют проантоцианидины, принимающие участие в защите растений от абиотических и биотических стрессов. Данные соединения также могут иметь негативное влияние на производимую из ячменя продукцию. Проведена селекция и отбор беспротоцианидиновых линий ячменя, созданных на основе беспротоцианидинового мутанта *ant28.2131* и сорта Танай. Отбор проводился на основе оценки морфологических признаков, признаков продуктивности и биохимических признаков.*

Ключевые слова: ячмень; проантоцианидин; мутант; селекция

Development of proanthocyanidin-free barley lines

*Totsky I.V. *, PhD, researcher; Kukoeva T.V., senior assistant; Grogor'ev Yu.N., senior researcher; Shoeva O.Yu., PhD, senior researcher, head of the sector.*

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: totsky@bionet.nsc.ru

*Barley grain contains flavonoid compounds, among which are proanthocyanidins, which are involved in protecting plants from abiotic and biotic stresses. These compounds may also have a negative effect on barley products. Breeding of proanthocyanidin-free barley lines was carried out. These lines were created based on the proanthocyanidin-free mutant *ant 28.2131* and the Tanay variety. Selection was carried out on the basis of assessment of morphological characteristics, productivity characteristics and biochemical characteristics of barley*

Key words: barley; proanthocyanidin; mutant; breeding

Ячмень – важная зерновая культура России, которую выращивают в продовольственных целях, а также для пивоваренной промышленности. В зависимости от использования ячменя к нему выдвигаются различные требования, что приводит к созданию специализированных сортов. Зерно ячменя содержит флавоноидные соединения, которые принимают важное значение в развитии растения. Одними из таких соединений являются проантоцианидины, которые относятся к полимерным флавоноидным соединениям, образованным молекулами катехина, эпикатехина и галлокатехина [1]. Существует пять мутантных локусов *Ant19*, *Ant25*, *Ant26*, *Ant27* и *Ant28*, которые приводят к нарушению синтеза проантоцианидинов, но при этом не

нарушают синтез других флавоноидных соединений. Проантоцианидины имеют высокую антиоксидантную активность и принимают участие в защите растений от абиотических и биотических стрессов [2, 3]. Однако данные соединения также могут иметь негативное влияние на производимую из ячменя продукцию. Например, наличие проантоцианидинов в зернах ячменя приводит к коллоидному помутнению пива [1]. Таким образом, наличие или отсутствие проантоцианидинов в зерне ячменя определяет направление использования, в котором будут использованы сорта ячменя. В связи с этим выведение беспроантоцианидиновых сортов ячменя является важной задачей. Целью данной работы является создание линий ячменя, не накапливающих проантоцианидины в зерне и имеющих приемлемые характеристики для выращивания в западносибирском регионе.

В качестве растительного материала были выбраны возделываемый в Новосибирской области сорт Танай и беспроантоцианидиновая мутантная линия *ant28.2131* (NGB13712, NordGen), несущая мутацию в гене R2R3-MYB, контролирующем синтез проантоцианидинов в зерне ячменя [4].

Растения выращивали в теплицах ИЦиГ СО РАН и на полевых участках ИЦиГ СО РАН и СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН.

Селекцию беспроантоцианидиновых линий ячменя проводили в несколько этапов. На первом этапе скрещивали мутантную линию *ant28.2131* и реципиентный сорт Танай. Беспроантоцианидиновые растения F₂ отбирали по результатам качественного теста на проантоцианидины, который проводили, помещая зерна на 8 часов в 1 н. раствор NaOH с 0,01 % TritonX [5]. Окрашивание зерна в коричневый цвет свидетельствовало о наличии проантоцианидинов. Отобранные беспроантоцианидиновые гибридные растения F₃ бэккросировали на реципиентный сорт Танай. Среди полученных растений BC₁F₂ также отбирали беспроантоцианидиновые образцы.

На этапе BC₁F₃ проводили полевое тестирование отобранных образцов и отбор лучших образцов по морфологическим признакам и продуктивности. Фенотипическую оценку проводили по следующим признакам: общая кустистость, продуктивная кустистость, высота растений, длина остей, длина главного колоса, плотность колосков в главном колосе, количество зёрен в главном колосе, масса зёрен главного колоса, количество зёрен в дополнительных колосьях, масса зёрен дополнительных колосьев, масса зёрен с растения. Статистическую обработку проводили с использованием критерия Манна-Уитни.

Оценка морфологических признаков показала наличие растений с высокими характеристиками в трёх из четырёх семейств BC₁F₃ (см. таблицу). Двенадцать растений были отобраны для дальнейшего тестирования и оценки качества зерна.

Отобранные растения были размножены до поколения BC₁F₅, для которого проводили оценку продуктивности, содержания белка и содержание крахмала.

Хозяйственно ценные признаки гибридов BC₁F₃ Танай × *ant28.2131* и BC₁F₃ *ant28.2131* × Танай

№ растения	Кустистость общая, шт.	Кустистость продуктивная, шт.	Высота растений, см	Длина остей, см	Длина главного колоса, см	Плотность колосков в главном ко- лосе, шт.	Количество зёрен в глав- ном колосе, шт.	Масса зё- рен с главного колоса, г	Количество зёрен в дру- гих коло- сках, шт.	Масса зё- рен с остальных колосьев, г	Масса зё- рен с рас- тения, г
Танай	3,3 ± 1,45	2,8 ± 0,91	92,0 ± 7,29	16,4 ± 1,53	7,6 ± 1,39	12,3 ± 1,02	21,7 ± 2,60	1,13 ± 0,247	32,7 ± 20,43	1,47 ± 1,157	2,59 ± 1,257
<i>ant28.2131</i>	2,6 ± 0,99	2,2 ± 0,95 [@]	61,1 ± 6,37 [@]	12,9 ± 1,87 [@]	6,7 ± 1,90	11,6 ± 0,75 [@]	17,6 ± 5,04 [@]	0,64 ± 0,379 [@]	20,1 ± 17,50 [@]	0,55 ± 0,652 [@]	1,19 ± 0,919 [@]
BC ₁ F ₃ Та- най × <i>ant28.2131</i> p2	2,7 ± 1,93*	2,2 ± 1,23*	84,5 ± 11,34* [^]	17,9 ± 2,54* [^]	8,7 ± 2,15* [^]	11,2 ± 1,36*	24,2 ± 4,16* [^]	1,24 ± 0,370 [^]	24,6 ± 31,39*	0,96 ± 1,249*	2,19 ± 1,493 [^]
BC ₁ F ₃ <i>ant28.2131</i> × Танай p4	2,2 ± 0,70*	2,1 ± 0,60*	82,8 ± 12,15* [^]	15,0 ± 1,82* [^]	7,1 ± 1,54	12,0 ± 1,15	21,8 ± 4,60 [^]	1,00 ± 0,314 [^]	19,8 ± 12,52*	0,76 ± 0,606*	1,75 ± 0,787* [^]
BC ₁ F ₃ <i>ant28.2131</i> × Танай p17	3,5 ± 1,54 [^]	2,5 ± 1,10	85,8 ± 13,45 [^]	16,5 ± 1,88 [^]	9,3 ± 1,02* [^]	11 ± 0,97* [^]	24,5 ± 2,19* [^]	1,20 ± 0,352 [^]	30,6 ± 25,37	1,19 ± 1,145 [^]	2,38 ± 1,311 [^]
BC ₁ F ₃ <i>ant28.2131</i> × Танай p30	4,9 ± 1,46* [^]	3,5 ± 1* [^]	81,6 ± 4,62* [^]	17 ± 2,49 [^]	10,2 ± 0,93* [^]	10,3 ± 0,73* [^]	27,6 ± 1,43* [^]	1,55 ± 0,167* [^]	56,5 ± 23,27* [^]	2,13 ± 1,170* [^]	3,68 ± 1,238* [^]

Примечание: данные представлены в виде среднего значения ± стандартное отклонение.

При оценке биохимических качеств зерна отобранных образцов ячменя было выделено два образца с повышенным содержанием белка (15,18–15,73 % сухой массы) и восемь образцов имеющих несколько сниженное содержание белка (13,44–14,41 % сухой массы), которое не отличалось от содержания белка у родительского сорта Танай (13,62 % сухой массы). По содержанию крахмала все изученные образцы не отличались от сорта Танай.

Финансирование: работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 21-76-10024.

Список литературы

- 1 von Wettstein D. From analysis of mutants to genetic engineering // Annual Review of Plant Biology. 2007. V. 58. P. 1–19. DOI 10.1146/annurev.arplant.58.032806.104003.
- 2 Yu D, Huang T, Tian B, Zhan J. Advances in Biosynthesis and Biological Functions of Proanthocyanidins in Horticultural Plants // Foods. 2020. V. 9. I. 12. 1774. DOI 10.3390/foods9121774
- 3 Lam L.P.Y., Wang L., Lui A.C.V., Liu H., Umezawa T., Tobimatsu Y., Lo C. Flavonoids in major cereal grasses: distribution, functions, biosynthesis, and applications // Phytochemistry Reviews. 2023. V. 22. P. 1399–1438. DOI 10.1007/s11101-023-09873-0
- 4 Himi E. et al. *Ant28* gene for proanthocyanidin synthesis encoding the R2R3 MYB domain protein (Hvmyb10) highly affects grain dormancy in barley // Euphytica. 2012. V. 188. I. 1. P. 141–151. DOI 10.1007/s10681-011-0552-5
- 5 Himi E., Taketa S. Barley *Ant17*, encoding flavanone 3-hydroxylase (F3H), is a promising target locus for attaining anthocyanin/proanthocyanidin-free plants without pleiotropic reduction of grain dormancy // Genome. 2015. V. 58. P. 43–53. DOI 10.1139/gen-2014-0189

DOI 10.18699/GPB2024-92

Изучение variability генов липоксигеназы у отечественных сортов твердой пшеницы

Трифопова А.А.^{1*}, к.б.н., н.с.; Борис К.В.¹, к.б.н., с.н.с.; Мальчиков П.Н.², д.с.-х.н., г.н.с.; Кудрявцев А.М.¹, д.б.н., зав. лаб.

¹ФГБУН Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва, Россия

²Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова – филиал ФГБУН Самарского Федерального исследовательского центра РАН, Безенчук, Самарская область, Россия

*email: aichka89@mail.ru

Проведено изучение полиморфизма генов липоксигеназы (*Lrx-V1.1*, *Lrx-V1.2* и *Lrx-V1.3*), участвующих в процессе окисления каротиноидов, у 38 отечественных сортов яровой твердой пшеницы с помощью трех молекулярных маркеров. Показано, что в изученной коллекции наиболее распространен гаплотип II, ассоциированный со средним уровнем активности липоксигеназы, при этом у четырех сортов отмечен нежелательный для селекции гаплотип I, а наиболее ценный для селекции гаплотип III не выявлен.

Ключевые слова: твердая пшеница; молекулярные маркеры; каротиноиды; липоксигеназа

Lipoxygenase genes polymorphism in Russian durum wheat cultivars

Trifonova A.A.^{1*}, Boris K.V.¹, Malchikov P.N.², Kudryavtsev A.M.¹

¹Vavilov Institute of General Genetics RAS, Moscow, Russia

²Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N.M. Tulajkov – Samara Federal Research Scientific Center of the RAS, Bezenchuk, Samara region, Russia

*email: aichka89@mail.ru

The analysis of 38 Russian spring durum wheat cultivars using three molecular markers of lipoxygenase genes (*Lpx-B1.1*, *Lpx-B1.2* and *Lpx-B1.3*) involved in oxidative degradation of carotenoids was performed. It was shown that haplotype II, associated with intermediate level of lipoxygenase activity, was the most common in the studied collection. The undesirable for breeding haplotype I was identified in four cultivars, while the most valuable for breeding haplotype III was not detected in the studied collection.

Key words: durum wheat; molecular markers; carotenoids; lipoxygenase

Твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.) – это важная зерновая культура, используемая в основном для производства макаронных изделий (пасты), а также круп.

Среди всех показателей качества зерна твердой пшеницы (стекловидность, содержание белка, глютена и т.д.) важную роль играет индекс желтизны. Этот параметр напрямую связан с содержанием желтых пигментов (в основном каротиноидов) в зерне и уровнем их деградации в процессе переработки и определяет классический желтый цвет макаронных изделий [1].

Основным ферментом, приводящим к деградации каротиноидов, является липоксигеназа (LOX). Высокая активность этого фермента приводит к обесцвечиванию конечных продуктов, получаемых из зерна твердой пшеницы [1]. У *T. durum* локус *Lpx-B1*, расположенный на коротком плече хромосомы 4В и включающий три гена *Lpx-B1.1*, *Lpx-B1.2* и *Lpx-B1.3*, определяет 36–54 % активности фермента [2]. Было показано, что различные сочетания этих генов и их аллельных вариантов ассоциированы с разным уровнем активности липоксигеназы и разработаны молекулярные маркеры для их идентификации [2, 3]. Однако для изучения и оценки отечественного генофонда твердой пшеницы данные маркеры не применялись.

Целью работы был анализ полиморфизма генов липоксигеназы *Lpx-B1.1*, *Lpx-B1.2* и *Lpx-B1.3* у отечественных сортов твердой пшеницы, и выявление среди изученных образцов генотипов, несущих гены/аллельные варианты, ассоциированные с низким уровнем липоксигеназной активности, для использования в селекции новых сортов пшеницы с высокими показателями индекса желтизны.

В анализ было взято 38 отечественных и два зарубежных сорта яровой твердой

пшеницы, предоставленных Самарским Федеральным Исследовательским Центром РАН. ДНК выделяли из свежих проростков с использованием набора FastPure Plant DNA Isolation Mini Kit (Nanjing Vazyme Biotech Co), согласно инструкции производителя. Анализ аллельного состояния гена *Lpx-B1.1* проводили согласно протоколу A. Verlotta с соавторами (2010). Идентификацию генов *Lpx-B1.2* и *Lpx-B1.3* проводили по протоколу R. Parada с соавторами (2020).

Результаты анализа 40 образцов яровой твердой пшеницы представлены в Таблице. В исследуемой выборке было выявлено два аллельных варианта гена *Lpx-B1.1*: *Lpx-B1.1a* и *Lpx-B1.1b*. При этом наиболее часто встречался аллель *Lpx-B1.1a*, идентифицированный у 36 сортов, а аллель *Lpx-B1.1b* был найден только у четырех образцов (см. таблицу). Аллельный вариант *Lpx-B1.1c*, связанный с низким уровнем липоксигеназной активности, в исследуемой выборке не выявлен. У 35 сортов было показано наличие гена *Lpx-B1.2*, а ген *Lpx-B1.3* был идентифицирован только у пяти сортов (см. таблицу).

Данные о полиморфизме сортов яровой твердой пшеницы по маркерам генов липоксигеназы

№	Сорт	Аллель гена <i>Lpx-B1.1</i>	Ген <i>Lpx-B1.2</i> / <i>Lpx-B1.3</i>	Гаплотип
1	Алтайская нива*	<i>a</i>	1.3	V
2	Алтайский янтарь*	<i>a</i>	1.2	II
3	Аннушка	<i>a</i>	1.2	II
4	Безенчукская 139*	<i>a</i>	1.2	II
5	Безенчукская 205	<i>a</i>	1.2	II
6	Безенчукская 209	<i>a</i>	1.2	II
7	Безенчукская 210	<i>a</i>	1.2	II
8	Безенчукская золотистая	<i>b</i>	1.3	I
9	Безенчукская крепость	<i>a</i>	1.2	II
10	Безенчукская Нива	<i>a</i>	1.2	II
11	Безенчукская степная	<i>a</i>	1.2	II
12	Безенчукская юбилейная	<i>a</i>	1.2	II
13	Безенчукский подарок	<i>b</i>	1.3	I
14	Безенчукский вектор*	<i>b</i>	1.3	I
15	Бурбон	<i>a</i>	1.2	II
16	Валентина	<i>a</i>	1.2	II
17	Вольнодонская	<i>a</i>	1.2	II
18	Галла*	<i>a</i>	1.2	II
19	Донская элегия	<i>a</i>	1.2	II
20	Жемчужина Сибири	<i>a</i>	1.2	II
21	Золотая*	<i>a</i>	1.2	II
22	Краснокутка 13	<i>a</i>	1.2	II
23	Луч 25	<i>a</i>	1.2	II
24	Марина	<i>a</i>	1.2	II
25	Николаша	<i>a</i>	1.2	II
26	Оазис	<i>a</i>	1.2	II
27	Омский изумруд	<i>a</i>	1.2	II
28	Памяти Чеховича*	<i>b</i>	1.3	I

29	Памяти Янченко	<i>a</i>	1.2	II
30	Сладуница*	<i>a</i>	1.2	II
31	Салют Алтай	<i>a</i>	1.2	II
32	Саратовская золотистая	<i>a</i>	1.2	II
33	СИ Атланте	<i>a</i>	1.2	II
34	Таганрог	<i>a</i>	1.2	II
35	Тессадур	<i>a</i>	1.2	II
36	Триада	<i>a</i>	1.2	II
37	Харьковская 46	<i>a</i>	1.2	II
38	Ядрица	<i>a</i>	1.2	II
39	Ярина	<i>a</i>	1.2	II
40	Ясенка	<i>a</i>	1.2	II

* Не включены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию.

Ранее для твердой пшеницы было выявлено пять гаплотипов локуса *Lpx-B1* (сочетаний одного из аллелей гена *Lpx-B1.1* и одного из генов *Lpx-B1.2* или *Lpx-B1.3*), связанных с низкой (III) или высокой/средней (I, II, IV, V) липоксигеназной активностью [2, 3]. В изученной нами выборке были выявлены гаплотипы I (*Lpx-B1.1b* и *Lpx-B1.3*), II (*Lpx-B1.1a* и *Lpx-B1.2*) и V (*Lpx-B1.1a* и *Lpx-B1.3*) (см. таблицу). При этом преобладал гаплотип II, который был идентифицирован у 35 образцов. Ранее при исследовании средиземноморских сортов твердой пшеницы также была отмечена достаточно большая частота встречаемости данного гаплотипа [3]. У четырех проанализированных образцов (Безенчукская золотистая, Безенчукский подарок, Безенчукский вектор и Памяти Чеховича) идентифицирован гаплотип I, ассоциированный с высоким уровнем активности липоксигеназы. В зарубежных исследованиях данный гаплотип присутствовал преимущественно в образцах периода селекции до 1970-х годов и сортах народной селекции, а в современных сортах практически не встречался [2, 3]. Гаплотип V, ранее выявленный у зарубежных сортов твердой пшеницы народной селекции [2], в изученной выборке найден только у сорта Алтайская нива. Наиболее ценный для селекции гаплотип III (*Lpx-B1.1c* и *Lpx-B1.2*) в изученной выборке не идентифицирован. При этом среди современных зарубежных сортов отмечена достаточно высокая доля данного гаплотипа [3].

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-76-01079.

Список литературы

- 1 Colasuonno P., Marcotuli I., Blanco A., Maccaferri M., Condorelli G.E., Tuberosa R., Parada R., de Camargo A.C., Schwember A.R., Gadaleta A. Carotenoid Pigment Content in Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var *durum*): An Overview of Quantitative Trait Loci and Candidate Genes. // Front. Plant Sci. 2019. V. 10. P. 1347.
- 2 Parada R., Royo C., Gadaleta A., Colasuonno P., Marcotuli I., Matus I., Castillo D., De Camargo A.C., Araya-Flores J., Villegas D., Schwember, A. R. Phytoene synthase 1 (*Psy-1*) and lipoxygenase 1 (*Lpx-1*) genes influence on semolina yellowness in wheat mediterranean germplasm.

// International Journal of Molecular Sciences. 2020. V. 21. № 13. P. 4669.

3 Verlotta A., De Simone V., Mastrangelo A.M., Cattivelli L., Papa R., Trono D. Insight into durum wheat *Lpx-B1*: a small gene family coding for the lipoxygenase responsible for carotenoid bleaching in mature grains. // BMC Plant Biology. 2010. V.10. № 1. P.1–18.

DOI 10.18699/GPB2024-93

Источники засухоустойчивости для создания сортов овса и ячменя в условиях Северного Зауралья

*Фомина М.Н. *, к. с.-х. н., в.н.с.; Иванова Ю.С. **, к. с.-х. н., н.с.; Брагина М.В., м.н.с.*

Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

** email: maria_f72@mail.ru; ** email: averyasova-ulyi@mail.ru*

Дана сравнительная оценка коллекционных образцов овса (194 шт.) и ячменя (145 шт.) в контрастных условиях (2021 г. – засуха; 2022 г. – благоприятный). Выделены перспективные источники засухоустойчивости для селекции зернофуражных культур в условиях Северного Зауралья. Среди коллекционных образцов овса это: Горпина (Ленинградская область), Гунтер (Кировская область), Аркан (Украина), Doron (Великобритания), AC Mustang (Канада). В коллекции ячменя засухоустойчивостью отличались: Ворсинский 2, Агат (Алтайский край); Медикум 108, Медикум 11 (Казахстан), а также отдельные образцы из Беларуси, Украины и Чехии.

Ключевые слова: овес; ячмень; источник; коллекционный образец; сорт; засухоустойчивость

Sources of drought resistance for the creation of oat and barley varieties in the conditions of the Northern Urals

*Fomina M.N. *, Ivanova Y.S. **, Bragina M.V.*

Tyumen Scientific Centre SB RAS.

** email: maria_f72@mail.ru; ** email: averyasova-ulyi@mail.ru*

Comparative assessment of the collection samples of oats (194 pcs.) and barley (145 pcs.) in contrasting conditions (2021 – drought; 2022 – favorable) is given. Promising sources of drought resistance for the breeding of grain crops in the conditions of the Northern Trans-Urals have been identified. Among the collection samples of oats are: Gorpina (Leningrad region), Hunter (Kirov region), Arkan (Ukraine), Doron (Great Britain), AC Mustang (Canada). In the barley collection, drought resistance was different: Vorsinsky 2, Agate (Altai Territory); Medicum 108, Medicum 11 (Kazakhstan), as well as individual samples from Belarus, Ukraine and the Czech Republic.

Key words: oats; barley; source; collection sample; variety; drought resistance

Основным препятствием на пути повышения урожайности зерновых культур является несоответствие между потребностью растений во влаге и ее наличием в почве и воздухе [1]. Длительные весенне-летние засухи характерные для Северного Зауралья, как и для Сибири в целом, наносят ощутимый вред формированию урожая овса и ячменя. Недостаток воды в период всходы – колошение (выметывание) ограничивает рост, снижает кустистость, число колосков и зерен в колосе. Возрастает количество стерильных колосков. Засуха в период от колошения до созревания снижает выполненность, натуру и абсолютный вес зерна. Все это влечет за собой резкое снижение урожайности. Степень снижения количества и качества урожая под воздействием засухи во многом зависит от засухоустойчивости сортов [2, 3].

В качестве основного показателя оценки на засухоустойчивость была взята урожайность испытываемых образцов в благоприятных и засушливых условиях. За годы изучения коллекции (2020–2023 гг.) засуха особенно сильно проявилась в 2021 году. Среднесуточная температура в мае 2021 г превышала среднюю многолетнюю на 6,7 °С, осадки этого периода составили 11,8 % от нормы, ГТК = 0,08. Дефицит влаги сохранялся на протяжении всего вегетационного периода (ГТК июня = 0,44; ГТК июля = 0,84; ГТК августа = 0,33). Сложившиеся экстремальные условия сильно угнетали растения, они слабо кустились, высота снизилась до 40–60 см, резко упала урожайность.

Наиболее благоприятными для роста и развития растений были погодные условия 2022 г. (ГТК = 1,36). Достаточное количество тепла и влаги и их равномерное распределение в течение вегетационного периода обеспечило формирование максимального урожая коллекционных образцов. В условиях засухи 2021 г. урожайность была в два и более раза ниже по сравнению с благоприятной средой 2022 г. (табл. 1).

Таблица 1 – Варьирование урожайности коллекционных образцов овса и ячменя в контрастных условиях

Год (среда)	Урожайность овса, г/м ²		Урожайность ячменя, г/м	
	Среднее	Размах варьирования	Среднее	Размах варьирования
2021 (засушл.)	204,8	45,0–375,0	247,6	115,0–445,0
2022 (благопр.)	735,2	299,2–1014,4	728,1	427,2–944,4

Реакция сортов на дефицит влаги и высокие температуры была неоднозначной. Стандартные сорта (овес Отрада, ячмень Абалак) снизили урожайность в засушливых условиях соответственно на 72,2 и 60,1 %. В связи с тем, что урожайность стандартных сортов, характеризующийся средней засухоустойчивостью в условиях недостатка влаги и высоких температур снизилась более чем в два раза, нами была принята условная классификация. Она включает в себя три группы: устойчивые (снижение урожайности до 50,0 %), среднеустойчивые (снижение урожайности на 50,1–75,0 %) и слабоустойчивые (снижение урожайности более 75,0 %). Проведенный анализ показал, что большинство изучаемых образцов овса (61,8 %) и ячменя (72,0 %) имели устойчивость к условиям засухи на уровне стандартов (средняя).

Устойчивые сорта составили у овса 3,1 %, у ячменя – 9,0 %. Большая часть коллекционных образцов овса (35,1 %) снижала урожайность в засуху более 75,0 %, особенно сильно реагировали на недостаток влаги и высокие температуры воздуха, голозерные сорта (снижение урожайности у отдельных образцов достигало 82,9–90,2 %). Доля слабоустойчивых образцов в коллекции ячменя была значительно ниже (9,0 %) (табл. 2).

Таблица 2 – Распределение коллекционных образцов овса и ячменя по группам устойчивости к засухе

Группы	Доля сортов в группах, %	
	Овес	Ячмень
Устойчивые (снижение урожайности до 50 %)	3,1	9,0
Среднеустойчивые (снижение урожайности на 50,1–75,0 %)	61,8	82,0
Слабоустойчивые (снижение урожайности более 75,0 %)	35,1	9,0

Проведенные исследования позволили выделить перспективные источники для создания сортов овса и ячменя, способных удовлетворительно переносить экстремальные условия в период засух. Среди коллекционных образцов овса это Горпина (Ленинградская область), Гунтер (Кировская область), Аркан (Украина) и другие. В коллекции ячменя засухоустойчивостью отличался ряд сортов из Алтайского края, Казахстана, Беларуси, Украины и Чехии (табл. 3).

Таблица 3 – Источники засухоустойчивости для создания сортов овса и ячменя в условиях Северного Зауралья

№ по каталогу ВИР	Сорт	Страна оригинатор	Урожайность, г/м ²		Снижение урожая, %
			2021	2022	
Овес					
	Отрада (St)	Тюменская область	237,8	766,5	72,2
15310	Горпина	Ленинградская область	305,0	595,6	48,8
14957	Гунтер	Кировская область	300,0	532,8	43,7
15124	Аркан	Украина	390,0	704,0	44,6
15240	Doron	Великобритания	335,0	582,4	42,5
15254	AC Mustang	Канада	400,0	589,6	32,2
НСР ₀₅			16,5	30,8	
Ячмень					
	Абалак (St)	Тюменская область	290,0	726,2	60,1
	Ворсинский 2	Алтайский край	395,0	632,0	37,5
	Агат	Алтайский край	375,0	614,0	38,9
31136	Medicum 108	Казахстан	362,5	595,4	39,1
31138	Medicum 11	Казахстан	345,0	507,8	32,0
31122	Поспех	Беларусь	365,0	497,2	26,6
31094	Бадьорий	Украина	395,0	647,0	39,0
31278	Себастьян	Чехия	360,0	545,2	34,0
НСР ₀₅			15,3	25,3	

* 2021 г. – засушливый; 2022г. – благоприятный.

Финансирование: Работа выполнена научно-исследовательским институтом сельского хозяйства Северного Зауралья ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0015).

Список литературы

- 1 Чиганцев Н.П. Продуктивность ярового ячменя и условия ее формирования // Тр. по прикл. бот., ген. и сел. 2006. Т. 162. С. 74–77.
- 2 Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Зобова Н.В. Потенциал засухоустойчивости сортов ярового ячменя красноярской селекции// Сибирский вестник с.-х. науки 2003. № 2 (148) С. 7–11.
- 3 Сурин. Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А, Липшин А.Г. Экологическая селекция ячменя в Средней Сибири: монография. Красноярск, 2023. 333 с.

DOI 10.18699/GPB2024-94

Повышение эффективности получения удвоенных гаплоидов моркови столовой (*Daucus carota* L.) за счет повышения эффективности удвоения ДНК и эмбриогенного потенциала культуры микроспор

Фомичева М.Г.^{1}, к.б.н., н.с., Кулаков Ю.В.^{1,2}, м.н.с.*

¹*Федеральный научный центр овощеводства, Москва, Россия*

²*РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*

**email: maria.fomicheva.1@yandex.ru*

*Для повышения эффективности удвоения генома гаплоидной моркови столовой мы протестировали различные варианты обработки антимиотическими агентами – колхицином и трифлуралином. Наилучшие результаты наблюдались при обработке 3,35 г/л трифлуралином в течение 48 часов, при котором не оказывает токсического действия на растения и происходило удвоение хромосомного набора в 100 % случаев. Для повышения эмбриогенного потенциала культуры микроспор моркови столовой *in vitro* были подобраны антиоксиданты и адсорбенты для тестирования их эффективности в качестве ингибиторов этилена и фенольных соединений.*

Ключевые слова: морковь столовая; ДН-технологии; антиоксиданты; антимиотические агенты

Increasing the efficiency of obtaining doubled haploids of table carrots (*Daucus carota* L.) by increasing the efficiency of DNA doubling and the embryogenic potential of microspore culture

Fomicheva M.G.^{1}, Kulakov Y.V.^{1,2}*

¹*Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center for Vegetable Growing, Moscow, Russia*

²*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education RGAU – Moscow*

To increase the efficiency of genome doubling in haploid carrot plants, we performed different treatments with antimitotic agents colchicine and trifluralin. The best results were observed when plants were treated with 3.35 g/l trifluralin for 48 hours. This treatment protocol did not have a toxic effect on plants and the chromosome set doubled in 100 % of cases. To increase the embryogenic potential of carrot microspore culture in vitro, antioxidants and adsorbents were selected to test if they can effectively inhibit ethylene and phenolic compounds.

Key words: carrot; DH-technologies; antioxidants; antimitotic agents

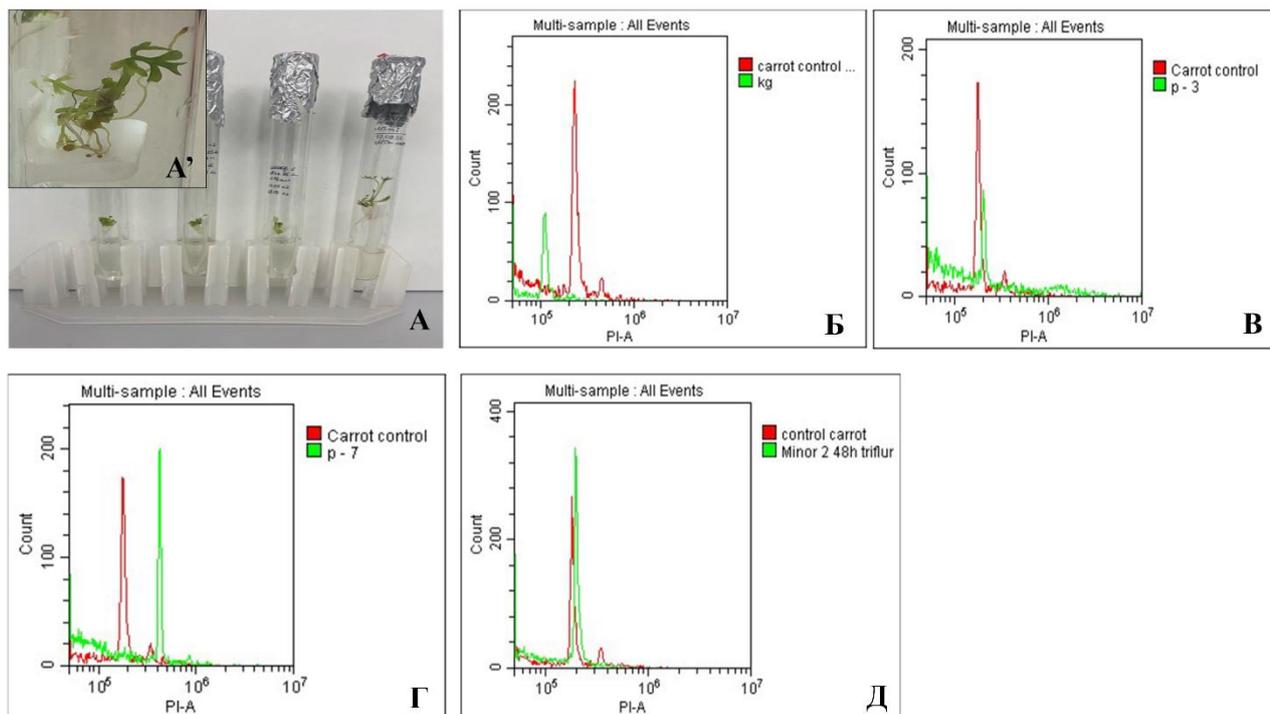
Технологии удвоенных гаплоидов (ДН-технологии) позволяют получать чистые линии сельскохозяйственно ценных растений за одно поколение. Это особенно важно для таких культур, как морковь столовая (*Daucus carota* L.), селекция которой усложнена развивающейся инбредной депрессией и двухлетним циклом развития. ДН-технология моркови усложнена низким эмбриогенным потенциалом культуры микроспор, а также низким процентом спонтанного удвоения генома.

Без удвоения хромосомного набора растения-гаплоиды остаются стерильными и не могут использоваться в селекционных программах. Когда спонтанного удвоения генома не происходит, проводится удвоение ДНК с помощью антимиотических агентов, которые нарушают веретено деления, в результате чего хромосомы не расходятся, и в клетке остается двойной набор хромосом. Данные обработки осложнены их токсическим действием на растения, а также возникновением миксоплоидных и полиплоидных растений, поэтому этот этап требует отработки и поиска наиболее оптимального протокола.

На сегодняшний день существует мало достоверных исследований об индуцированном удвоении хромосом у растений семейства зонтичных (*Apiaceae*), в том числе полученных при использовании гаплоидных технологий [1]. Поэтому была поставлена цель разработать метод удвоения генома растений моркови столовой, полученных в культуре изолированных микроспор *in vitro*. Для достижения данной цели была поставлена задача подобрать антимиотический агент и время обработки для успешного удвоения генома и минимизации токсического эффекта на растения-регенеранты.

В качестве антимиотических агентов были выбраны наиболее часто используемый для этих целей агент – колхицин [2] а также трифлуралин, который успешно применялся для удвоения ДНК, в частности, у рапса (*Brassica napus* L.) [3]. По нашим сведениям, трифлуралин не тестировался в качестве антимиотического агента для видов семейства *Apiaceae*. Эксперименты проводились на гаплоидных растениях-регенерантах, полученных в культуре микроспор моркови столовой (см.

рисунок, А, А'), плоидность которых была определена при помощи анализа клеточных ядер с использованием проточного цитометра Beckman Coulter (USA). Обработку водным раствором колхицина (500 мг/л) проводили на 16 клонках гаплоидного растения генотипа моркови столовой Минор (размножен за счет вторичного эмбриогенеза) в течение 24 или 48 часов. Обработке водным раствором трифлуралина (3,35 г/л) в течение 24 или 48 часов подвергали микроклонально размноженные растения-регенеранты генотипа Минор, Алтайская лакомка и с.о. 44. Эксперимент был проведен на 18 растениях-регенерантах по шесть растений на каждый генотип.



Использование колхицина и трифлуралина для удвоения генома моркови столовой:

А – Гаплоидные растения-регенеранты, помещенные на бумажный мостик в стеклянные пробирки с жидкой питательной средой MSm после обработки антимиотическими веществами. А' – увеличенное фото растения-регенеранта. Б-В – цитометрический анализ изолированных ядер образцов моркови, покрашенных иодидом пропидия. Наложение гистограммы диплоидного образца моркови (стандарт, красная гистограмма) и гистограммы моркови генотипа Минор после обработки антимиотическим агентом в течение 48 часов (зеленая гистограмма) после шести недель культивирования; Б – контрольный гаплоидный образец моркови В – образец моркови, обработанный 500 мг/л колхицина, у которого произошло увеличение плоидности до диплоидного (2n) значения; Г – образец моркови, обработанный 500 мг/л колхицина, у которого произошло увеличение плоидности до тетраплоидного (4n) значения. Д – образец моркови, обработанный 3,35 г/л трифлуралина, у которого произошло увеличение плоидности до диплоидного (2n) значения

Цитометрический анализ растений, обработанных колхицином, спустя шесть недель показал, что в контроле без обработки растения оставались гаплоидными (см. рисунок, Б), а при использовании временной экспозиции в 48 часов у растений произошло увеличение хромосомного набора: два растения стали диплоидными (25 %) (см. рисунок, В), а шесть – тетраплоидными (75 %) (см. рисунок, Г). При использо-

вании водного раствора трифлуралина в течение 48 часов у всех растений произошло увеличение хромосомного набора до диплоидного уровня (см. рисунок, Д). Временная экспозиция в 24 часа не приводила к удвоению хромосомного набора при обработке колхицином или трифлуралином у всех растений-регенерантов.

Повышение эмбриогенного потенциала культуры микроспор моркови также является важной задачей для усовершенствования ДН-технологии моркови. Одной из причин, приводящих к ухудшению выживаемости микроспор и эмбриоидов является высокое содержание этилена и фенольных соединений. Мы изучили литературу для выявления потенциальных веществ-ингибиторов токсических соединений, накапливающихся в культуре микроспор моркови столовой. Мы отобрали различные адсорбенты и вещества-восстановители для ингибирования негативного воздействия этилена и фенольных соединений (см. таблицу) [4, 5]. Мы протестируем разные концентрации и комбинации указанных веществ, чтобы определить, что эффективно ингибирует окисление фенольных соединений и нетоксично для делящихся микроспор.

Вещества, отобранные для тестирования в культуре микроспор моркови столовой *in vitro* с целью повышения выхода эмбриоидов

Вещество	Рабочие концентрации
Аскорбиновая кислота	1–20 мг/л
Лимонная кислота	1–20 мг/л
PVP	100–1000 мг/л
Глутатион	1–2,5 мг/л
Тиосульфат натрия	100–300 мг/л
Нитрат серебра	2–10 мг/л
Коллоидный оксид кремния (Полисорб)	2–10 г/л
Полигидрат полиметилсилоксана (Энтеросгель)	2–10 г/л

Таким образом, наши данные показали, что обработка 500 мг/л колхицином и 3,35 г/л трифлуралином при используемом времени экспозиции (24–48 часов) не оказывает токсического действия на растения моркови. Впервые для моркови столовой применялся трифлуралин для удвоения хромосомного набора. При этом было показано, что трифлуралин с большей эффективностью приводит к удвоению генома по сравнению с колхицином. Также были подобраны вещества и их концентрации для снижения токсического действия этилена и фенольных соединений, однако требуется их тестирование в культуре микроспор моркови столовой *in vitro*.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 23-76-01034.

Список литературы

- 1 Seguí-Simarro, J.M., Jacquier, N.M.A., Widiez, T. Overview of *in vitro* and *in vivo* doubled haploid technologies. In *Doubled Haploid Technology. Methods in Molecular Biology*. Seguí-Simarro, J.M., Ed. // Humana: New York, NY, USA. 2021. Vol. 2287. P. 3–22.
- 2 Leung Y.Y., Hui L.L.Y., Kraus V.B. Colchicine—update on mechanisms of action and therapeutic uses. *Semin Arthritis Rheum*. 2015. Vol. 45. № 3. P. 341–350.
- 3 Zhao J.-P., Simmonds D.H. Application of trifluralin to embryogenic microspores to generate doubled haploid plants in *Brassica napus*. // *Physiol Plant*, in Press. 1995.
- 4 Pugacheva, A., Bikmetova, K., and Smirnova, Y. Sorbents of phenols as a components of the nutritional medium in microclonal reproduction of plants. *Natural Systems and Resources*. 2021. Vol. 3. P. 39–48.
- 5 Зюзина, Ю. А. Влияние синтетического аморфного диоксида кремния на растения *Rhododendron roseum* (L.) в культуре *in vitro*. *Разнообразие растительного мира*. 2017. Т. 2. № 10. С. 48–54.

DOI 10.18699/GPB2024-95

Интродукция и селекция теплолюбивых овощных растений в Сибири

Фотев Ю.В.^{1,2}, к.с.-х.н., с.н.с.

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (ЦСБС СО РАН),
Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
email: fotev_2009@mail.ru

На основе выполненных в ЦСБС СО РАН в более чем 240 комбинациях культурного томата с 13 дикорастущими видами и разновидностями созданы продуктивные и устойчивые к низкой температуре, кладоспориозу (*Cladosporium fulvum* Cooke), и ВТМ межвидовые гибридные формы. В результате интродукции и селекции культур из семейства *Fabaceae* – спаржевой вигны (*Vigna unguiculata* Walp.) и семейства *Cucurbitaceae* – кивано (*Cucumis metuliferus* E. Mey), момордики (*Momordica charantia* L.) и бенинказы (*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.), изучению их биохимического состава, морфо-биологических особенностей, холодостойкости и устойчивости к патогенным микромицетам созданы 5 сортов, включенных в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Созданы симбиотические системы, включающие сорта вигны Сибирский размер, Юньнаньская и штаммы *Bradyrhizobium* sp. 162 0501 и 164 0503. Межвидовые гибриды томата и новые для РФ овощные интродуценты отличаются более высоким содержанием аскорбиновой кислоты, каротиноидов и микроэлементов – Fe, Mn, , Zn, Cu, Co. На основе комплексной оценки теплолюбивых овощных культур созданы методические основы их интродукции и селекции.

Ключевые слова: теплолюбивые овощные культуры; интродукция; селекция; Сибирь

Introduction and selection of heat-loving vegetable plants in Siberia

Fotev Y.V.^{1,2}

¹Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

email: fotev_2009@mail.ru

Based on more than 240 combinations of cultivated tomato with 13 wild species and varieties carried out at the Central Botanical Garden of the SB RAS, interspecific hybrid forms that were resistant to low temperatures, Cladosporium fulvum Cooke, and TMV were created. As a result of the introduction and breeding of crops from the Fabaceae family – asparagus vigna (Vigna unguiculata Walp.) and the Cucurbitaceae family – kiwano (Cucumis metuliferus E. Mey), bitter melon (Momordica charantia L.) and wax gourd (Benincasa hispida (Thunb.) Cogn.), studying their biochemical composition, morpho-biological characteristics, cold resistance and resistance to pathogenic micromycetes, 5 cultivars were bred and included in the State Register of Breeding Achievements, approved for use. Symbiotic systems including asparagus vigna cultivars Siberskiy razmer, Yunnanskaya and strains of Bradyrhizobium sp. 162 0501 and 164 0503 have been created. Interspecific tomato hybrids and new for the Russian Federation vegetable crops characterized by a higher content of ascorbic acid, carotenoids and trace elements – Fe, Mn, , Zn, Cu and Co. Based on a comprehensive assessment of heat-demanding vegetable crops, methodological foundations for their introduction and breeding have been created.

Key words: heat-loving vegetable crops; introduction; breeding; Siberia

Выращивание большинства сельскохозяйственных культур в РФ в большей или меньшей мере подвержено влиянию нестабильных агроклиматических условий. Это тем более характерно для сельскохозяйственных районов Западной Сибири, относящихся к зоне рискованного земледелия в связи с возможными поздними весенними и ранними осенними заморозками, коротким вегетационным периодом и невысокой суммой эффективных ($> 10^{\circ}\text{C}$) температур. Есть данные, что в Новосибирской обл. удовлетворительная и хорошая продуктивность огурца (без учета развития болезней) возможна в 50 % лет, томата – в 30 % [1]. Критическими факторами, препятствующими реализации генетического потенциала растений в Сибири, являются стрессовые, особенно низкие, температуры и поражение ослабленных растений патогенными микромицетами.

Сложившийся в России за долгий период ассортимент овощных культур на 90 % сформирован из томатов, капусты, лука репчатого, моркови, свеклы и огурца. Из-за неполного восполнения отчуждаемых с урожаем микро- и макроэлементов повсюду в мире происходит снижение питательных качеств овощей. Например, за 80 лет, с 1940 по 2019 г., произошло снижение содержания в овощных культурах Fe на 50 %, Cu на 49 и Mg на 10 % [2]. Кроме того, элементный состав растений тесно

связан с накоплением вторичных метаболитов: флавоноидов и витаминов. Одним из способов решения проблемы является интродукция в растениеводческую отрасль новых для России и Сибири овощных растений с высоким содержанием функциональных пищевых ингредиентов (ФПИ), а также расширение генетического разнообразия традиционных культур в направлении повышения их пищевой ценности.

1. Создание коллекции, межвидовая гибридизация и оценка видов и разновидностей томата (род *Lycopersicon* (Tourn.) Mill.) на устойчивость к низкой и высокой температурам в гапло- и диплофазах жизненного цикла растений

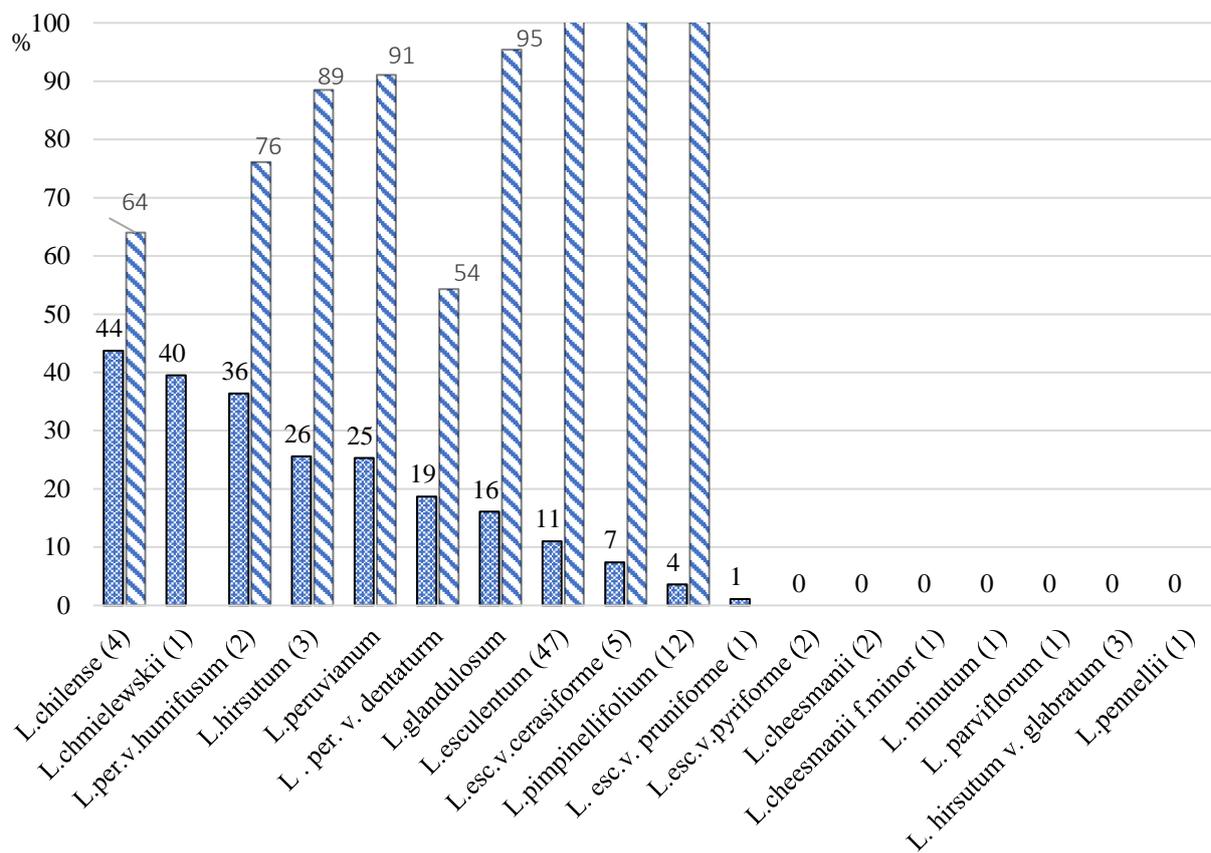
В результате сотрудничества с ВИРОм и С.М. Rick Tomato Genetics Resource Center (США) в ЦСБС СО РАН сформирована большая коллекция дикорастущих видов и культурных сортообразцов томата (*Lycopersicon* Tourn.). Были выполнены скрещивания в более чем 240 комбинациях культурного томата с 13 дикорастущими видами и разновидностями. Созданы продуктивные и устойчивые к низкой температуре, кладоспориозу (*Cladosporium fulvum* Cooke), и ВТМ межвидовые гибридные формы. Как результат гибридизации формы 10–77 и дикорастущего вида *L. peruvianum* (L.) Mill. селективирован сорт томата Дельта 264, отличающийся уникальным сочетанием признаков: характерной для дикорастущего вида удлиненной кистью и крупноплодностью. Оценка холодостойкости в фазе зрелого мужского гаметофита показала высокую гетерогенность видов и разновидностей томата по этому признаку (см. рисунок).

Анализ взаимосвязи интенсивности гуттации проростков при низкой температуре и холодостойкости пыльцы в F₂ (Пионерский × *L. pimpinellifolium* к-108/5) показал тесную сопряжённость между этими признаками ($r=0,697$).

При повторной оценке одних и тех же сортообразцов в разные годы установлено, что минимальным варьированием плодообразования по годам обладают образцы с высоким показателем прорастания пыльцы, его минимальным варьированием на 10 и 20 %-х растворах ПЭГ 6000, высоким плодообразованием и его минимальным варьированием на разных соцветиях внутри растения и между растениями в микропопуляции (обычно 8–16 растений). На основе анализа количественных признаков в гапло- и диплофазах предложена схема оценки адаптивной способности форм и гибридов томата.

2. Комплексная оценка межвидовых гибридов и форм на устойчивость к стрессовым температурам и болезням

На основании изучения 138 образцов культурного и дикорастущих видов и разновидностей томата на устойчивость к действию абиотических и биотических стрессовых факторов – низкой и высокой температурам на стадии прорастания пыльцы *in vitro*, а также болезням: фузариозу, мелойдогинозу, «корки-рут», фитофторозу, серой гнили и мучнистой росе, выделили 23 высокорезистентные формы, сочетающие устойчивость к разным стрессовым факторам.



■ Холодостойкость по проращению пыльцы in vitro, % ▨ Cv

Холодостойкость образцов видов томата рода *Lycopersicon* (Tourn.) Mill. по показателю проращения пыльцы в 20 %-ном растворе ПЭГ6000 в режиме 6°C/24 ч. В скобках – количество образцов. Cv – коэффициент вариации, %

3. Интродукция новых (нетрадиционных) видов и форм

В результате проведенной интродукции и селекции новых для России теплолюбивых овощных культур из семейства Fabaceae – спаржевой вигны (*Vigna unguiculata* Walp.) и семейства Cucurbitaceae – кивано (*Cucumis metuliferus* E. Mey), момордики (*Momordica charantia* L.) и бенинказы (*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.), изучению их биохимического состава, морфо-биологических особенностей, холодостойкости и устойчивости к патогенным микромицетам созданы 5 сортов, включенных в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Совместно с Госсортовкомиссией РФ предложена и официально зарегистрирована первая в РФ методика испытания сортов вигны по признакам ООС.

Предложены критерии отбора растений и оценки успеха их интродукции в условиях Сибири [3], а также коэффициент востребованности культур [4]. Предложена концепция создания в России национальной системы функциональных продуктов питания [5].

4. Оценка нодуляции и азотфиксации спаржевой вигны при использовании штаммов *Bradyrhizobium* sp.

Проведена инокуляция двух сортов вигны (*V. unguiculata*) – Сибирский размер

и Юньнаньская штаммами *Bradyrhizobium* sp.: 162 0501, 163 0502 и 164 0503, отмечены активная нодуляция и азотфиксация. Самые высокие значения активности нитрогеназы отмечены на сорте Сибирский размер при использовании штамма 164 0503 – $5155,3 \pm 878,8$ нмоль C_2H_4 /раст./ч, на сорте Юньнаньская штамма 162 0501 – $5255,5 \pm 2036,2$, а также штамма 164 0503 – $4673,0 \pm 719,0$. Их можно рассматривать в качестве симбиотических систем.

5. Оценка содержания функциональных пищевых ингредиентов (ФПИ) в традиционных (на примере культурного томата и межвидовых гибридов) и новых овощных культурах

Дикорастущие виды томата и межвидовые гибриды отличаются высоким содержанием в плодах ФПИ. Так, в плодах вида *L. pimpinellifolium* Mill. (к-3987) накапливается $55,7 \pm 7,8$ мг % аскорбиновой кислоты. Плоды F₃BC₁ гибрида с *L. glandulosum* С.Н. Mull. накапливают $30,0 \pm 4,2$ мг % этого витамина.

В плодах созданного в ЦСБС СО РАН сорта спаржевой вигны Юньнаньская содержится 84 мг % аскорбиновой кислоты (что более чем в два раза больше, чем в фасоли обыкновенной). В плодах момордики – отборных форм и сорта Гоша отмечено высокое содержание каротиноидов (в ариллусе плодов 68,9–177, в листьях 350,8–545,1 мг % (FW) и аскорбиновой кислоты (72,5–127,5 мг %). Установлено высокое содержание элементы так называемого «кровообразующего комплекса» (Fe, Mn, Cu, Co): в плодах сортов и образцах момордики, кивано и бенинказы. Повышенные концентрации Zn выявлены в плодах момордики, спаржевой вигны и кивано (32,9–57,6 мкг/г).

Наименьшим варьированием (Cv) содержания в семенах макро- и микроэлементов в разных регионах страны отличается сорт вигны Сибирский размер (Cv=14,6–22,9 %), макроэлементов – *Vigna catjang* (Cv=14,4).

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану по проекту: АААА-А21-121011290027-6 «Теоретические и прикладные аспекты изучения генофондов природных популяций растений и сохранения растительного разнообразия вне типичной среды обитания (*ex situ*)».

Список литературы

- 1 Коняев Н. Ф. Научные основы высокой продуктивности овощных растений. Новосибирск: Издательство НСХИ. 1978. Ч. 1, 111. С. 33–38.
- 2 Mayer A.-M.B., Trenchard L., F. Historical changes in the mineral content of fruit and vegetables in the UK from 1940 to 2019: a concern for human nutrition and agriculture // International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2022. V. 73, N 3. P. 315–326. DOI 10.1080/09637486.2021.1981831.
- 3 Фотев Ю.В. К методике интродукции теплолюбивых овощных растений в Сибири. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет), 2018. № 4. С. 104–118. DOI 10.31677/2072-6724-2018-49-4-104-118
- 4 Фотев Ю.В., Артемьева А.М., Зверева О.А. Генетические ресурсы овощных растений: от

селекции нетрадиционных культур к функциональным продуктам питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 25(4). С.442–447. DOI 10.18699/VJ21.049.

5 Фотев Ю.В., Пивоваров В.Ф., Артемьева А.М., Куликов И.М., Гончарова Ю.К., Сысо А.И., Гончаров Н.П. Концепция создания Российской национальной системы функциональных продуктов питания // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2018. Т.22, № 7. С.776–783. DOI 10.18699/VJ18.421.

DOI 10.18699/GPB2024-96

Перспективы использования методов протеомики и метаболомики в селекции растений

Фролов А.А.^{1,2}

¹Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Лаборатория Аналитической Биохимии и Биотехнологии, Москва, Россия

²Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия
email: Andrej.Frolov@ipb-halle.de

Благодаря развитию физико-химических методов анализа был совершен решающий прорыв в повышении эффективности селекционного процесса, выразившийся в формировании ряда высокоэффективных методологических платформ пост-геномных исследований – транскриптомики, протеомики и метаболомики. На сегодняшний день эти подходы позволяют практически полностью охарактеризовать метаболические и регуляторные сдвиги, сопровождающие изменения генома в процессе получения новых сортов растений. В настоящее время начинается освоение этого инструментария селекционерами.

Ключевые слова: селекция; протеомика; метаболомика

Prospects for using proteomics and metabolomics methods in plant breeding

Frolov A.A.^{1,2}

¹K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

²Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia
email: Andrej.Frolov@ipb-halle.de

Thanks to the development of physicochemical methods of analysis, a decisive breakthrough was made in increasing the efficiency of the breeding process, expressed in the formation of a number of highly effective methodological platforms for post-genomic research – transcriptomics, proteomics and metabolomics. Today, these approaches make it possible to almost completely characterize the metabolic and regulatory changes that accompany genome changes in the process of obtaining new plant varieties. Currently, breeders are beginning to master this toolkit.

Key words: plant breeding; proteomics; metabolomics

Поскольку в ходе получения новых сортов растений, обладающих хозяйственно ценными фенотипическими проявлениями, имеет место изменение генетического материала, представляется важным понимать характер биохимических сдвигов, сопровождающих эти изменения. Действительно, выявление функциональной роли изменений в метаболических и регуляторных путях растений, сопровождающих селекционный процесс, позволяет значительно увеличить его эффективность. Так, опираясь на физиологическую и биохимическую информацию, с одной стороны, возможно более быстрое достижение желаемых хозяйственных свойств. С другой – эта информация позволяет достичь максимальной физиологичности и безопасности создаваемых продуктов. Первым шагом на этом пути является глубокий всесторонний биохимический анализ, в течение последнего века ставший надежным инструментом в руках селекционеров. К сожалению, не смотря на существенный потенциал этого подхода, он не позволяет получить полный (или в значительной степени полный) «отпечаток» всех метаболических и регуляторных путей организма, что являлось непреодолимой проблемой еще в конце XX века. Однако благодаря стремительному развитию физико-химических методов анализа (в первую очередь, хроматографии и масс-спектрометрии) в течение последних трех десятков лет в этом направлении был совершен решающий прорыв, выразившийся в формировании ряда высокоэффективных методологических платформ пост-геномных исследований – транскриптомики, протеомики и метаболомики. На сегодняшний день эти подходы позволяют практически полностью охарактеризовать метаболические и регуляторные сдвиги, сопровождающие изменения генома. В настоящее время начинается освоение этого инструментария селекционерами. На практике, полученная информация органично дополняет знания о фенотипе, то есть пост-геномные платформы можно рассматривать как инструмент хемотипирования. Представляется перспективным рассматривать результаты хемотипирования в контексте качества получаемой сельскохозяйственной продукции. При этом, под ее качеством необходимо понимать не только ее питательные свойства, но и весь спектр нутрицевтических параметров и биологических свойств, а также физиологическое качество семян. Важно, что в контексте прогрессирующих изменений климата и нарастающих угроз продовольственной безопасности одним из ключевых критериев успешности создаваемых новых сортов должно являться сохранение качества продукции при выращивании в условиях засухи и при длительном хранении. Для выявления соответствующих признаков, в рамках предселекционных работ важное значение имеют исследования коллекций культур, характеризующихся уникальным генетическим разнообразием.

Особенности аминокислотного состава белка сорта шарозерной пшеницы Сакара и его связь с качеством зерна

*Хайруллина А.Р. *, н.с.; Асхадуллин Данил Ф., к.с.-х.н., в.н.с.; Асхадуллин Дамир Ф., к.с.-х.н., в.н.с.; Василова Н.З., к.с.-х.н., в.н.с.; Кириллова Е.С., н.с.; Идиатова Р.Х., м.н.с.; Саубанова Г.Р., м.н.с.; Багавиева Э.З., к.с.-х.н., зав. лаб.*

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия

**email: alsu_85@inbox.ru*

*Изучение содержания аминокислот в зерне сорта шарозерной пшеницы Сакара показало, что белок данного сорта беден пролином и глутамином по сравнению с сортами мягкой пшеницы, при этом сорт отличается отличными показателями качества. Отмечено, что у сортов с низким содержанием суммы пролина и глутаминна выше устойчивость теста и валориметрическая оценка, наблюдается достоверная обратная сильная корреляционная зависимость между этими величинами $r = -0,79 \pm 0,11^{***}$ и $r = -0,78 \pm 0,11^{***}$.*

Ключевые слова: пшеница шарозерная; качество; пролин; глутамин; реологические свойства теста

Features of the amino acid composition of the protein of the Sakara wheat variety and its relationship with grain quality

*Khairullina A.R. *, Askhadullin D. F., Askhadullin D. F., Vasilova N.Z., Kirillova E.S., Idiatova R.Kh., Saubanova G.R., Bagavieva E.Z.*

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center RAS, Kazan, Russia

**email: alsu_85@inbox.ru*

The study of the amino acid content in the grain of the Sakara variety of wheat showed that the protein of this variety is poor in proline and glutamine compared with soft wheat varieties, while the variety has excellent quality indicators. It was noted that varieties with a low content of the sum of proline and glutamine have higher Stability time and Arrival time.

Key words: Indian dwarf wheat; quality; proline; glutamine; rheological properties of dough

Особенностью аминокислотного состава белков клейковины пшеницы считается преобладание относительно небольшого количества аминокислот, при этом около половины всего количества аминокислот нерастворимой фракции клейковины пшеницы составляют глутамин и пролин [1]. Хотя прямых связей между этими аминокислотами и свойствами пшеничной муки пока не обнаружено, первичные

структуры как пролина, так и глутамин предполагают их возможную роль в формировании и развитии теста в процессе выпечки хлеба [2]. В 2022 году был допущен к использованию сорт яровой шарозерной пшеницы (*Triticum sphaerococcum* Percival) Сакара, отличительной особенностью сорта является высокое содержание белка и клейковины в зерне, отличные упруго-эластичные свойства теста [3]. В то же время было обнаружено, что белок зерна сорта Сакара более беден аминокислотами, чем белок образцов вида *T. sphaerococcum* эндемичных для Индостана [4]. В виду перечисленных особенностей сорта Сакара, целью исследований было сравнение сорта Сакара с 30-ю районированными сортами мягкой пшеницы по содержанию глутамин и пролина в белке.

Объектами исследования были сорта яровой мягкой пшеницы, рекомендованные к возделыванию в Республике Татарстан и сорта шарозерной пшеницы Сакара из экологического сортоиспытания урожая 2021–2023 годов. У сорта Сакара среднее содержание белка в зерне составило 17,9 %, что выше, чем у наиболее высокобелкового сорта мягкой пшеницы Екатерина на 1,2 % (табл. 1) и на 3,3 % больше сырой клейковины, чем у сорта Тулайковская 10, имеющего максимальное содержание клейковины в зерне.

Таблица 1 – Биохимическая характеристика зерна, 2021–2023 гг.

Показатель	Сакара	Районированные сорта мягкой пшеницы		
		минимальное	максимальное	среднее
Содержание белка, %	17,9	12,1	16,7	14,5
Содержание клейковины, %	35,2	22,7	31,9	27,5
Глутамин, г/100 г белка	8,43	9,03	14,73	11,65
Пролин, г/100 г белка	7,22	7,61	10,05	8,75
ИДК, е.п. (2021–2022 гг.)	71	69	85	93

Анализ на содержание глутамин и пролина в белке показал, что сорт Сакара имеет самое низкое содержание этих аминокислот среди изученных сортов. В то же время значение прибора ИДК у сорта Сакара соответствует I группе качества (хорошее качество).

Наибольшее снижение суммы глутамин и пролина у сорта Сакара отмечалось в 2021 году и составило 15,6 г/100 г белка, минимальная сумма этих аминокислот среди сортов мягкой пшеницы отмечалась у сорта Эстер, а максимальная у сорта Экада 214 (табл. 2). Так же приведены данные худшего по совокупности реологических свойств теста – сорта Балкыш и лучшего – сорта Казанская Юбилейная.

Можно отметить, что у сортов с низким содержанием суммы пролина и глутамин выше устойчивость теста и валориметрическая оценка, наблюдается достоверная обратная сильная корреляционная зависимость между этими величинами $r = -0,79 \pm 0,11^{***}$ и $r = -0,78 \pm 0,11^{***}$ соответственно, данная зависимость может объясняться разницей в аминокислотном профиле субъединиц глютеинов и типов

глиадинов, в частности ω -глиадин не сбалансирован по содержанию пролина и глутамина [5].

Таблица 2 – Реологические свойства теста, 2021 г.

Показатель	Сакара	Эстер	Экада 214	Балкыш	Казанская Юбилейная
Энергия деформации теста, $10^{-4}J$	369	264	259	85	466
Упругость теста, P, мм	129	96	79	50	137
Растяжимость, L, мм	62	78	96	64	86
P/L	2,08	1,23	0,84	0,78	1,59
Время образования теста, мин	2,4	2,9	1,6	3,4	4,7
Устойчивость теста, мин	14,2	13,3	3	3,7	>20
Степень разжижения теста, е.ф.	45	40	100	133	30
Валориметрическая оценка, е.в.	55	57	44	46	64
Содержание клейковины в зерне, %	30,3	27,2	19,8	22,7	30,0
Сумма глутамина и пролина, г/100 г белка	15,6	16,5	29,5	24,5	16,7

Таким образом, у сорта шарозерной пшеницы Сакара, имеющего высокое содержание клейковины в зерне, содержание основных аминокислот клейковины глутамина и пролина ниже, чем у сравниваемых сортов мягкой пшеницы, при этом физические свойства теста соответствуют уровню «сильной» пшеницы. Данный сорт может являться объектом для исследований в виду важности пролина и глутамина в составе клейковины и особенностей формирования и развития теста у сорта Сакара.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Татарского НИИСХ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН: № 122011800138-7 и проекта № 122112500039-4.

Список литературы

- 1 Kaur R., Kaur H., Srivastava P. Role of tryptophan content in determining gluten quality and wheat grain characteristics // Heliyon. 2022. Vol. 8, Iss 10. P. e10715 (1–7) DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10715
- 2 Fermin B.C., Nahm T.S., Radinsky J.A., Kratochvil R.J., Hall J.E., Lo Y.M. Effect of Proline and Glutamine on the Functional Properties of Wheat Dough in Winter Wheat Varieties // Journal of Food Science. 2005. Vol. 70. P. 273–278. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb07183.x
- 3 Асхадуллин Д.Ф., Асхадуллин Д.Ф., Василова Н.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Гайфуллина Г.Р., Кириллова Е.С., Идиатова Р.Х. Характеристика яровой шарозерной пшеницы Сакара // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С.26–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-26-33
- 4 Хайруллина А.Р. Особенности формирования качества зерна у образцов яровой шарозерной пшеницы в условиях 2022 года / Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Достижения и перспективы развития АПК России», посвященной памяти Р.Г. Гареева (30-31 марта 2023 года). Казань. 2023. С.141–144.
- 5 Wieser H. Relation between gliadin structure and coeliac toxicity // Acta Paediatrica. 1996. Vol. 85. P. 3–9. DOI: 10.1111/j.1651-2227.1996.tb14239.x

Характеристика образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР устойчивых к мучнистой росе в условиях Средневолжского региона

Хусаинова И.И.*¹, н.с.; Зувев Е.В.², к.с.-х.н., в.н.с.; Асхадуллин Данил Ф.¹, к.с.-х.н., в.н.с.; Асхадуллин Дамир Ф.¹, к.с.-х.н., в.н.с.

¹Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия

²ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

*email: tatnii-rape@mail.ru

Проведена оценка образцов яровой мягкой пшеницы устойчивых к мучнистой росе по урожайности, содержанию белка и клейковины в зерне, высоте растений, продолжительности периода от всходов до колошения. Для использования в селекционной работе на иммунитет к мучнистой росе выделены образцы с наилучшими проявлениями данных признаков.

Ключевые слова: яровая пшеница; *Blumeria graminis*; сорт; устойчивость; коллекция

Characteristics of spring common wheat samples from the VIR collection resistant to powdery mildew in the conditions of the Middle Volga region

Khusainova I.I.*¹, Zuev E.V.², Askhadullin D.F.¹, Askhadullin D.F.¹

¹Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center RAS, Kazan, Russia

²FRC N.I.Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Saint Petersburg, Russia

*email: tatnii-rape@mail.ru

The evaluation of spring common wheat samples resistant to powdery mildew in terms of yield, protein and gluten content in grain, plant height, and duration of the period from germination to earing was carried out. For use in breeding work for immunity to powdery mildew, samples with the best manifestations of these signs were highlighted.

Key words: spring common wheat; *Blumeria graminis*; variety; resistance; collection

Пшеница является важной товарной культурой, доля пшеницы в питании как основного источника зерновых калорий составляет – 81 %, белков – 84 % [1]. Существенным препятствием, для устойчивого производства пшеницы являются болезни. Одной из наиболее распространенной и вредоносной болезнью пшеницы является мучнистая роса, возбудитель биотрофный гриб *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal. В условиях Татарстана эпифитотийное развитие мучнистой росы на яровой пшенице происходит практически ежегодно. Среди коллекционных образцов

выявлены источники долговременной устойчивости [2]. В то же время их использование в селекционной работе часто не приводит к получению конкурентоспособных образцов, отвечающих современным требованиям сорта. Целью исследования было определить селекционно ценные признаки у образцов яровой пшеницы коллекции ВИР устойчивых к мучнистой росе для эффективного подбора родительских пар для скрещивания. Было изучено 366 образцов коллекции ВИР в течение четырех лет, в 2020 – 2023 годах, полевая устойчивость образцов к мучнистой росе оценивалась по методическим рекомендациям Санина и др. (2008) [3].

За годы испытаний признаков мучнистой росы не отмечалось у 12 образцов пшеницы (табл. 1), все образцы происходят из европейских стран.

Таблица 1 – Образцы не восприимчивые к мучнистой росе, в период с 2020 по 2023г

№ п/п	Каталог ВИР	Образец	Страна происхождения	Урожайность, г/м ²
1	66421	Ласка	Беларусь	393±64*
2	62510	Cub	Великобритания	313±109
3	66090	Sparrow	Великобритания	385±98
4	66023	Raffles	Великобритания	364±104
5	64897	Tybalt	Нидерланды	328±81
6	64470	Cytra	Польша	344±82
7	66391	Florens	Франция	362±107
8	66394	Odetta	Чехия	280±47
9	66401	Libertina	Чехия	331±56
10	66095	Lavett	Швеция	340±53
11	66096	Swedjet	Швеция	337±67
12	66353	Boett	Швеция	306±71
13	стандарт	Йолдыз	Россия	383±53

*±SE (стандартная ошибка среднего).

Таблица 2 – Селекционно ценные признаки устойчивых к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы, 2020–2023 гг.

№ п/п	Каталог ВИР	Образец	Количество дней от всходов до колошения	Высота растений, см	Содержание клейковины в зерне, %	Содержание белка в зерне, %
1	66421	Ласка	42±2,8	58±16	23,8±3,0	13,6±1,0
2	62510	Cub	42±2,5	54±15	26,0±3,5	15,0±1,3
3	66090	Sparrow	45±2,6	56±15	23,9±3,1	13,6±1,0
4	66023	Raffles	42±2,6	55±15	25,9±2,5	14,4±0,7
5	64897	Tybalt	42±2,7	57±16	27,8±3,0	14,8±0,8
6	64470	Cytra	45±2,3	61±17	26,4±3,3	14,9±1,1
7	66391	Florens	42±2,5	61±17	24,5±4,3	14,0±1,7
8	66394	Odetta	38±2,0	53±14	22,8±2,5	13,3±0,7
9	66401	Libertina	39±2,08	52±14	22,8±2,6	13,1±0,8
10	66095	Lavett	44±1,8	64±18	24,6±3,2	13,9±1,4
11	66096	Swedjet	44±2,5	65±18	22,0±3,1	13,1±1,3
12	66353	Boett	42±2,3	63±18	23,2±2,7	13,6±1,1
	стандарт	Йолдыз	44±2,9	82±23	20,9±2,7	11,7±0,9

Таблица 3 – Образцы слабо восприимчивые к мучнистой росе, в период с 2020 по 2023г.

№ п/п	Каталог ВИР	Образец	Страна происхождения	Урожайность, г/м ²
1	65995	Arrino	Австралия, Западная	327±124
2	66021	Kommissar	Австрия	463±93
3	65443	Василиса	Беларусь	433±120
4	66193	Тома	Беларусь	367±100
5	66407	Сударыня	Беларусь	374±105
6	66422	Любава	Беларусь	383±90
7	68172	Ладья	Беларусь	383±79
8	66022	Cadenza	Великобритания	401±103
9	66273	KWS Torridon	Великобритания	343±63
10	65444	Кампанин	Германия	372±89
11	65446	ЛП-588-1-06	Германия	390±131
12	65989	Eminent	Германия	296±89
13	66024	Mattus	Германия	364±98
14	66025	Remus	Германия	359±91
15	66026	Michael	Германия	387±137
16	66027	Траппе	Германия	435±115
17	66099	Corso	Германия	457±170
18	66374	KWS Jetstream	Германия	373±108
19	66375	KW 240-3-13	Германия	402±97
20	66797	Robijs	Латвия	458±106
21	66093	Pasteur	Нидерланды	317±90
22	66441	Bastian	Норвегия	258±71
23	65449	Мерцана	Россия, Тамбовская обл.	371±71
24	65845	Хуторянка	Россия, Тамбовская обл.	344±43
25	66376	Cornetto	Франция	379±70
26	66392	Eleganza	Франция	384±74
27	66393	Calispero	Франция	322±56
28	66400	Китри	Чехия	340±52
29	65003	CH Rubli	Швейцария	356±44
30	66030	Lona	Швейцария	265±46
31	66032	Toronit	Швейцария	311±90
32	66035	Quarna	Швейцария	365±73
33	61221	Sober	Швеция	287±85
34	66036	SW Kungsjet	Швеция	308±73
35	66097	SW Kronjet	Швеция	340±84
36	66098	SW Kadriļj	Швеция	343±95
37	66880	Ситара	Россия, Татарстан	401±46

Максимальная урожайность, на уровне высокопродуктивного стандарта, среди не восприимчивых образцов отмечалась у образца Ласка (к-66421, Беларусь) – 393г/м² и Sparrow (к-66090, Великобритания) – 385г/м², минимальная у Odeta (к-66394, Чехия) – 280 г/м².

У всех устойчивых образцов количество дней от всходов до колошения было на уровне или меньше чем у среднеспелого стандарта сорта Йолдыз (табл. 2). Все образцы характеризуются короткостебельностью, высота растений у них более чем на 20 см меньше, чем у стандарта.

Все устойчивые к мучнистой росе образцы по содержанию белка и клейковины в зерне превосходят стандарт. Наибольшее содержание клейковины и белка отмечается у образцов: Tybalt (к-64897, Нидерланды), Cytra (к-64470, Польша), Cub (к-62510) и Raffles (к-66023) из Великобритании.

Степень устойчивости части образцов коллекции изменялось от 7 до 9 баллов, отнесенные нами к слабо восприимчивым (табл. 3). Подавляющее большинство этих образцов происходят из западно- и восточноевропейских стран. Отсутствуют образцы из американского континента и стран Азии. Всего 3 образца из России. Среди слабо восприимчивых образцов имеются высокопродуктивные: Kommissar (к-66021, Австрия), Василиса (к-65443, Беларусь), Trappe (к-66027, Германия), Corso (к-66099, Германия), Robijs (к-66797, Латвия).

Таким образом, для использования в селекционной работе на иммунитет к мучнистой росе имеется большой пул урожайных, высокобелковых, низкорослых, с коротким периодом от всходов до колошения образцов коллекции ВИР.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Татарского НИИСХ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН: № 122011800138-7 и в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Список литературы

- 1 Shiferaw B., Smale M., Braun H. J., Duveiller E., Reynolds M., Muricho G. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security // Food Security. 2013. Vol. 5. P. 291–317. DOI: 10.1007/s12571-013-0263-y
- 2 Асхадуллин Д. Ф., Асхадуллин Д. Ф., Василова Н. З., Зуев Е. В., Хусаинова И. И. Источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе // Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 10–15. DOI: 10.28983/asj.y2022i10pp10-15
- 3 Санин С.С., Неклеса Н.П., Санина А.А., Пахолкова Е.В. Методические рекомендации по созданию инфекционных фонов для иммунологических исследований пшеницы. 2008, М.: [б.и.]. 68 с.

Морозостойкость сортов и гибридных форм маслины европейской (*Olea europaea* L.) коллекции Никитского ботанического сада

Цюпка В.А. *, к.б.н., с.н.с., Цюпка С.Ю. к.с.-х.н., с.н.с., Булавин И.В., к.б.н., заведующий лабораторией.

Федеральное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Ялта, Россия
*email: valentina.brailko@yandex.ru

Проведены исследования морозостойкости 60 образцов маслины европейской. Генотипы *O. europaea* 'Тифлис', 'Тоссийская', 'Никитская', 'Таврия 35-7/31', 'Агатова 35-2/14', 'Эллада 35-16/13', 'Универсальная', 'Юбилейная', 'Крымская Превосходная' определены как устойчивые к температуре, соответствующей абсолютному минимуму северной границы ареала культивирования (Южный берег Крыма).

Ключевые слова: *Olea europaea* L.; сорта-интродуценты; гибридные формы; морозостойкость; электропроводность

Frost resistance of varieties and hybrid forms of olive (*Olea europaea* L.) of the Nikita Botanical Garden collection

Tsiupka V.A. *, Tsiupka S.Yu, Bulavin I.V.

Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center, Yalta, Russia
*email:valentina.brailko@yandex.ru

The research on frost resistance of 60 samples of European olive was carried out. Genotypes of *O. europaea* such as 'Tiflis', 'Tossiyskaya', 'Nikitskaya', 'Tavria 35-7/31', 'Agatovaya 35-2/14', 'Ellada 35-16/13', 'Universalnaya', 'Jubileynaya', 'Crimskaya Prevoshodnaya' were determined as the resisted to a temperature corresponding to the absolute minimum of the northern border of the cultivation area (Southern Coast of Crimea).

Key words: *Olea europaea* L.; introductory varieties; hybrid forms; frost resistance; electrical conductivity

Маслина европейская – субтропическая плодовая культура, является одной из основных в мире [1]. В более северных широтах это растение подвергается воздействию холодного стресса в период зимних заморозков и весенних резких понижений температуры, которые совпадают с периодом вегетации [2]. Несмотря на высокую экологическую пластичность вида *O. europaea*, исследований, посвященных вегетативно-продуктивным характеристикам сорта, перенесенного из теплых зон в более холодные, ограниченное количество. Температурные пороги повреждения деревьев маслины заморозками зависят от фенологических фаз растения и от времени года, когда наблюдаются низкие температуры (ранние заморозки, зимние морозы и

поздние заморозки) [2–5]. Низкотемпературный стресс нарушает клеточный метаболизм, вызывая снижение скорости поглощения питательных веществ и фотосинтеза, ингибирование роста растений, влияет на урожайность, что приводит к существенным экономическим потерям [6, 7].

Ареал *O. europaea* в северном полушарии постепенно смещается на север как возможная реакция на потепление климата и аридизацию земель [8, 9]. Основным лимитирующим фактором выращивания маслины на территории России является их низкая морозостойкость. В то же время маслина является перспективной плодовой культурой для нашей страны. В ряде южных регионов России (Крым, Краснодарский край) почвенно-климатические условия имеют значительное сходство с почвенно-климатическими условиями Италии, Испании и Греции – ведущих производителей маслины. В связи с этим, целью настоящего исследования было выявление сортов и гибридных форм *O. europaea*, отличающихся высокой степенью потенциальной морозостойкости при их культивировании на Южном берегу Крыма.

Исследования проведены на 60 сортообразцах маслины, 20 из которых – сорта зарубежной селекции ('Coreggiolo', 'Aglandau', 'Ascolano', 'Dalmatica', 'Leccino', 'Kalinjot', 'Kappe', 'Kokermadh I Berat', 'Nisiot', 'Pulazeqin', 'Piangente', 'Razzo', 'D'Elemcen', 'Santa Caterina', 'Otur', 'Ломашенская', 'Наджвийская', 'Пиквалес', 'Тифлисская', 'Толгомская', 'Тоссийская') и 40 перспективных гибридных форм селекции ФГБУН «НБС-ННЦ» ('Агатова 35-2/14', 'Аппетитная', 'Изящная', 'Колхозница', 'Консервная', 'Крымская 4-1/2', 'Крымская 16/16', 'Крымская 4/17', 'Мисхорская 1', 'Мисхорская 2', 'Мисхорская 3', 'Обильная', 'Октябрьская', 'Никитская', 'Никитская 3', 'Никитская 1-1/1', 'Потомок Кореджоло', 'Приморская', 'Прогресс', 'Ранняя', 'Скороспелая', 'Стойкая', 'Столовая', 'Универсальная', 'Урожайная', 'Фиолетовая', 'Черноморская', 'Черная Ранняя', 'Юбилейная', 'Южнобережная', 'Ялтинская', 'Ялтинская Ранняя', 'Манита', 'Николина', 'Антолета', 'Крымская Звезда', 'Находка', 'Удача', 'Эллада 35-16/13', 'Таврия 35-7/31').

Искусственное промораживание проводили в климатической камере VT4004 (Vötsch, Германия) при воздействии температуры –14 °С в течение 12 часов (градиент понижения/повышения температуры составлял 2 °С в час) [10]. Для оценки повреждения клеточных мембран использовали кондуктометрический метод, с помощью которого определяли относительную электропроводность тканей на портативном кондуктометре ST300C (Ohaus, USA) [11, 12]. Период отбора проб – январь-февраль 2024 г.

В результате исследований установлено, что наиболее сильно морозом повреждаются ткани листьев и почек. Морозостойкость листьев существенно различалась между исследованными генотипами и составила от 2 % ('Razzo', 'Coreggiolo', 'Leccino', 'Kappe' и гибридов: 'Колхозница', 'Скороспелая', 'Стойкая', 'Черная Ранняя', 11-5) до 90 % ('Никитская', 'Тоссийская', 'Тифлис', и гибридов: 'Таврия 35-7/31', 'Эллада 35-16/13', 'Агатова 35-2/14', 'Юбилейная', 'Крымская Превосходная', 'Универсальная',

'Николина 35-2/14', 'Черноморская', 'Находка'). 26 сортов и гибридных форм показали морозостойкость листьев более 50 %. При этом различался и характер повреждений (рис. 1): полностью отмирали ткани листа у образцов 'Coreggiolo', 'Lecchino', 'Изящная', 'Скороспелая', 'Урожайная' и 'Черная Ранняя'. У остальных генотипов отмечены усыхания частей листовой пластинки, некротические пятна, хлорозы.

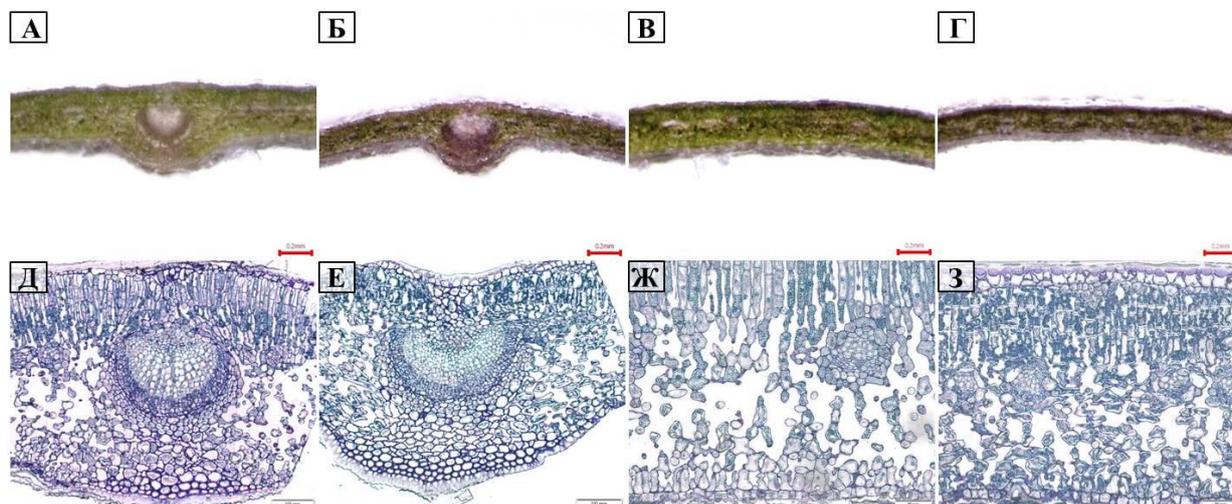


Рис. 1. Поперечные срезы листовой пластинки *O. europaea* сорта 'Aglandau' (А, Д, В, Ж) и 'Coreggiolo' (Б, Е, Г, З) после промораживания

Исследования показали, что низкотемпературное воздействие приводило к изменениям показателей относительной электропроводности тканей листа от 12 до 96 %. Минимальные изменения зарегистрированы для образцов: 'Ранняя' (4–6), 'Черноморская', 'Таврия 35-7/31', 'Никитская', 'Эллада 35-16/13', 'Консервная'. У сортов 'Nisiot', 'Pulazeqin', 'Razzo', и гибридных форм: 'Колхозница', 'Мисхорская 3 (10–18)', 'Скороспелая' повышение выхода электролитов из клеток тканей свидетельствовало о высокой степени повреждения мембран.

Морозостойкость почек варьировала от 2 % ('Lecchino', 'Pulazeqin', 'Razzo') до 92 % ('Южнобережная', 'Таврия 35-7/31', 'Агатова 35-2/14', 'Юбилейная', 'Николина'). Видимые повреждения (некроз) наблюдали по всей почке, в конусе нарастания и/или зачатках листьев (рис. 2).

При моделировании температуры $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ стебли однолетних побегов показали высокий уровень морозостойкости. Видимые повреждения апикальной части их тканей отмечены для образцов 'Lecchino', 'Карре', 'Razzo', 'Колхозница', 'Консервная', 'Скороспелая', 'Стойкая'.

Таким образом, выявлены перспективные морозостойкие генотипы *O. europaea*: 'Тифлис', 'Тоссийская', 'Никитская', 'Таврия 35-7/31', 'Агатова 35-2/14', 'Эллада 35-16/13', 'Универсальная', 'Юбилейная', 'Крымская Превосходная'. Высокой устойчивостью отличаются сорта крымской и кавказкой селекции, сравнительно с европейскими.



Рис. 2. Продольные срезы почек некоторых генотипов *O. europaea* после промораживания:
А – 'Aglandau', Б – 'Тифлисская', В – 'Агатова'

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 24-26-00139.

Список литературы

- 1 Цюпка С.Ю. Анализ состояния и мировые тенденции выращивания маслины европейской // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2019. № . 150. С. 78–84.
- 2 Fiorino P., Mancuso S. Differential thermal analysis, supercooling and cell viability in organs of *Olea europaea* at subzero temperatures // Adv. Hortic. Sci. 2000. Vol. 14. P. 23–27.
- 3 Levitt, J. Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. In Responses of Plants to Environmental Stresses, 2nd ed.; Academic Press: New York, NY, USA. 1980. Vol. 1. P. 23–283.
- 4 Sanzani S.M., Schena L., Nigro F., Sergeeva V., Ippolito A., Salerno M.G. Abiotic diseases of olive // J. Plant Pathol. 2012. Vol. 294. P. 469–491.
- 5 Rahemi M., Yazdani F., Sedaghat S. Evaluation of freezing tolerance in olive cultivars by stomatal density and freezing stress // Int. J. Hortic. Sci. Technol. 2016. N 3. P. 145–153.
- 6 Nievola C.C., Carvalho C.P., Carvalho V., Rodrigues E. Rapid responses of plants to temperature changes // Temperature. 2017. N 4. P. 371–405.
- 7 Lara I., Drincovich M.F., Beckles D.M., Shifeng C. Physiological, Molecular and Genetic Perspectives of Chilling Tolerance in Horticultural Crop // Plant Sci. 2020. N 11. P. 1916.
- 8 Moriondo M., Stefanini F.M., Bindi M. Reproduction of Olive Tree Habitat Suitability for Global Change Impact Assessment // Ecol. Model. 2008. N 218. P. 95–109.
- 9 Rodrigo-Comino J., Salvia R., Quaranta G., Cudlin P., Salvati L., Gimenez-Morera A. Climate Aridity and the Geographical Shift of Olive Trees in a Mediterranean Northern Region // Climate. 2021. Vol. 9. P. 64. <https://doi.org/10.3390/cli9040064>.
- 10 Елманова Т.С. Методические рекомендации по комплексной оценке зимостойкости южных культур. Ялта, 1976. 23 с.
- 11 Whitlow T.H., Bassuk N.L., Ranney T.G., Reichert D.L. An improved method for using electrolyte leakage to assess membrane competence in plant tissues // Plant Physiology. 1992. Vol. 98. № . 1. P. 198–205. <https://doi.org/10.1104/pp.98.1.198>
- 12 Azzarello E., Mugnai S., Pandolfi C., Masi E., Marone E., Mancuso S. Comparing image (fractal analysis) and electrochemical (impedance spectroscopy and electrolyte leakage) techniques for the assessment of the freezing tolerance in olive // Trees. 2009. N 23. P. 159–167. <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0264-1>

Оценка структурных особенностей *Olea europaea* L. в связи с засухоустойчивостью

Цюпка С.Ю. *, к.с.-х.н., с.н.с.; Цюпка В.А., к.б.н., с.н.с.; Булавин И.В. к.б.н., зав. лабораторией.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Ялта, Россия

* email: tsupkanbg@mail.ru

Проведена анатомо-морфологическая оценка листьев восьми сортов и гибридов маслины европейской в связи с засухоустойчивостью. Выявлены генотипы, отличающиеся ксероморфными признаками и адаптированные к засушливым условиям Юга России.

Ключевые слова: маслина европейская; анатомия; морфология; сорт; гибрид

Assessment of structural features of *Olea europaea* L. in relation to drought resistance

Tsiupka S.Yu. *, Tsiupka V.A., Bulavin I.V.

Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center, Yalta, Russia

* email: tsupkanbg@mail.ru

An anatomical and morphological assessment of leaves of eight varieties and hybrids of European olive was carried out in connection with drought resistance. Varieties and hybrid forms have been identified that differ in xeromorphic characteristics and are adapted to the arid conditions of southern Russia

Key words: *Olea europaea*; anatomy; morphology; variety; hybrid

Маслина европейская (*Olea europaea* L.) является одной из наиболее культивируемых плодовых пород. Выращивают её в 47 странах мира, среди которых Испания, Греция, Италия, Марокко, Франция, Сирия, Турция, Тунис являются основными промышленными производителями [1–3]. По занимаемой площади культура значительно превосходит основные плодовые виды: яблоню (4,8 млн. га), апельсин (3,9 млн. га), грушу (1,4 млн. га), абрикос (0,5 млн. га), персик и нектарин (1,5 млн. га), уступает только кофе (11,3 млн. га). По данным за 2021 год площадь посадок *O. europaea* составила 10,3 млн. га [2].

Общей чертой всех климатических зон, где выращивают *O. europaea* является жаркое и засушливое лето с высокой солнечной инсоляцией, низкой влажностью воздуха, а также периодами с длительным дефицитом почвенной влаги, в связи с чем выявление наиболее засухоустойчивых форм (сортов) является актуальным для всех регионов возделывания данной технической культуры.

Для поддержания водного баланса растения *O. europaea* адаптируются за счет структурных изменений [4]: уменьшения размера листьев, их скручивания, плотного опушения [5–7], толстой кутикулы и образования эпикутикулярного воскового слоя [7–9], увеличения компактности мезофилла [10–12].

Одним из основных методов оценки засухоустойчивости генотипов *O. europaea* является морфо-анатомический анализ листа. Поэтому, целью работы было выделение генотипов с наибольшей степенью ксероморфности листовой пластинки по данным структурного анализа.

Исследования проводили на сортах ('Corregiolo', 'Асколяно') и гибридах (35-4/32, 35-11/15, 35-8/26, 35-4/31, 35-10/36, 35-10/30) *O. europaea*. Длину, ширину и площадь листа определяли с помощью программного обеспечения (ПО) ImageJ как описано в работе Cosmulescu с соавторами [13].

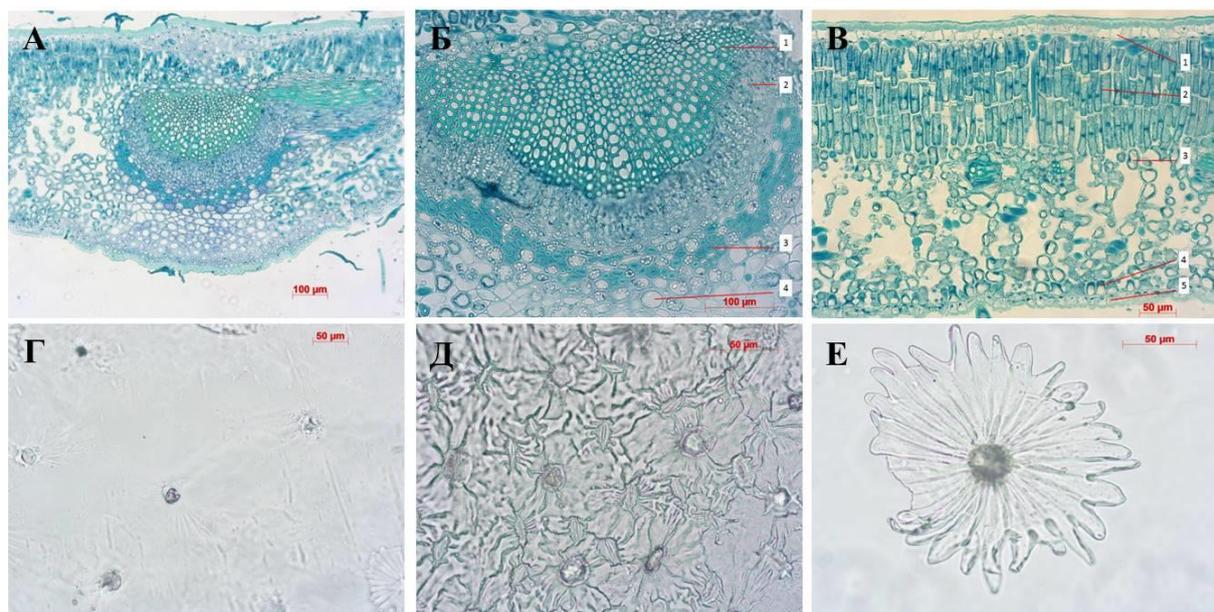
Фиксацию, обезвоживание и заливку материала в парафиновую среду проводили согласно общепринятым методам [14, 15]. Срезы изготавливали на полуавтоматическом ротационном микротоме Ротмик 2А (Орион Медик, РФ), окрашивали водным раствором метиленовой сини, заключали в сахарозу. Микропрепараты исследовали с применением светового микроскопа AxioScope 1 (Zeiss, Germany), оснащенного цифровой фотокамерой ZEISS AxioCam 105 color. Необходимые измерения осуществляли в ПО ZEISS Axio Vision 4.8 (n=100). Статистическую обработку данных выполняли в ПО Microsoft Office (Excel) 2018.

В результате исследований отмечено, что у изученных сортов и гибридных форм *O. europaea* листья простые, от эллиптических до узколанцетных, цельнокрайние. Длина в среднем варьирует от 55,99 ('Corregiolo') до 86,30 мм (35-4/32), ширина – от 11,13 (35-11/15) до 14,05 (35-8/26) мм, площадь от 5,16 ('Асколяно') до 7,4 см² (35-4/32), плотность от 491,80 (35-10/36) до 591,84 г кг⁻¹ ('Асколяно').

Листовые пластинки опушенные. Пельтатные волоски (чешуйки) располагаются с двух сторон (см. рисунок). Их наибольшее количество отмечено на абаксиальной стороне. Устьица аномоцитного типа находились на нижней стороне листа.

Листовые пластинки бифациальные или изолатеральные, в зависимости от возраста. Их толщина у сортов различна и варьирует от 334,7 (35-8/26) до 531,2 мкм ('Асколяно'). Эпидерма с двух сторон листа однослойная, покрыта кутикулой (см. рисунок). Ее толщина на адаксиальной стороне у исследованных сортов и гибридов варьирует от 4,5 (35-8/26) до 16,7 мкм (35-4/31, 'Асколяно'). Под эпидермой одиночно или небольшими группами располагаются склереиды. Столбчатая хлоренхима представлена тремя слоями сильно вытянутых и хорошо уплотненных клеток. Ее высота находится в диапазоне от 107,5 (35-8/26) до 204,3 мкм ('Асколяно'). Также слой столбчатой хлоренхимы может располагаться под абаксиальной эпидермой. Губчатая хлоренхима 9-11-рядная, клетки округлой или овальной формы. В этой ткани встречаются склерифицированные идиобласты. Общая высота слоев клеток у всех сортов превосходит таковую столбчатых и варьирует от 165,2 (35-10/30) до

252 мкм ('Асколяно'). Центральная жилка представляет собой закрытый коллатеральный пучок, в нижней части которого находится склеренхима. К жилке примыкают клетки паренхимы. Колленхима располагается под эпидермой.



Поперечные срезы и слепки поверхности листовой пластинки *Olea europaea* сорта 'Асколяно': А – поперечный срез в области центральной жилки (общий вид); Б – поперечный срез центральной жилки (1 – ксилема, 2 – флоэма, 3 – склеренхима, 4 – паренхима); В – поперечный срез листа (1 – адаксиальная эпидерма, 2 – столбчатая хлоренхима, 3 – губчатая хлоренхима, 4 – столбчатая хлоренхима (абаксиальная), 5 – абаксиальная эпидерма); Г – слепок адаксиальной стороны листа; Д – слепок абаксиальной стороны листа; Е – пельтатный волосок

Различия между сортами установлены по большинству изученных параметров: размеру и форме листа, высоте хлоренхимы (столбчатой, губчатой), количеству пельтатных волосков. На основе проведенного анализа выделены генотипы 35-4/31 и 'Асколяно', которые обладают более выраженными ксероморфными чертами в строении листовой пластинки.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-26-00066.

Список литературы

- 1 Rallo L., Barranco D., Diez C.M., Rallo P., Suarez M.P., Trapero C., Pliego-Alfaro F. Strategies for olive (*Olea europaea* L.) breeding: Cultivated genetic resources and crossbreeding // Advances in Plant Breeding Strategies. Fruits. 2018. Vol. 3. P. 535–600.
- 2 Food and Agriculture Organization the United Nations, FAOSTAT. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> (accessed on 24 March 2023).
- 3 The International Olive Council, Madrid, 2023. <https://www.internationaloliveoil.org/>
- 4 Ludlow, M.M. Strategies of response to water stress. In: K.H. Kreeb, H. Richter, T.M. Hinckley (Eds.), Structural and Functional Responses to Environmental Stresses: Water Shortage, SPB Academic Publishing, London. 1989. P. 269–282.
- 5 Pallioti A., Bongi G., Rocchi P. Peltate trichomes effects on photosynthetic gas exchange of *Olea europaea* L. leaves // Plant Physiol. 1994. Vol. 13. P. 35–44.

- 6 Karabourniotis G., Bornman J. Penetration of UV-A, UV-B and blue light through the leaf trichome layers of two xeromorphic plants, olive and oak, measured by optical fibre microprobes // *Physiol. Plant.* 1999. Vol. 105. P. 655–661.
- 7 Liakoura V., Stavrianakou S., Liakopoulos G., Karabourniotis G., Manetas Y. Effects of UV-B radiation on *Olea europaea*: comparisons between a greenhouse and a field experiment // *Tree Physiol.* 1999. Vol. 19. P. 905–908.
- 8 Leon J., Bukovac M.J. Cuticle development and surface morphology of olive leaves with reference to penetration of foliar applied chemicals // *Am. Soc. Hortic. Sci.* 1978. Vol. 103. P. 465–472.
- 9 Richardson A., Berlyn G. Changes in foliar spectral reflectance and chlorophyll fluorescence of four temperate species following branch cutting // *Tree Physiol.* 2002. Vol. 22. P. 499–506.
- 10 Bongi G., Mencuccini M., Fontanazza G. Photosynthesis of olive leaves: effect of light flux density, leaf age, temperature, peltates and H₂O vapour pressure deficit on gas exchange // *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 1987. Vol. 112. P. 143–148.
- 11 Mediavilla S., Escudero A., Heilmeyer H. Internal leaf anatomy and photosynthetic resource-use efficiency: interspecific and intraspecific comparisons // *Tree Physiol.* 2001. Vol. 21. P. 251–259.
- 12 Bosabalidis A.M., Kofidis G. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars // *Plant Science.* 2002. Vol. 163(2). P. 375–379.
- 13 Cosmulescu S., Scriciu F., Manda M. Determination of Leaf characteristics in different medlar genotypes using the imagej program // *Hortic. Sci.* 2020. Vol. 47. P. 117–121.
- 14 Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятков А.Г., Джалилова Х.Х., Ильина Г.М., Чубатова Н.В. Справочник по ботанической микротехнике // *Основы и методы.* М.: Изд-во МГУ. 2004, 312 с.
- 15 Ельпитифоров Е.Н. Изменение поверхности листовой пластинки хвои видов рода *Pinus* L. при влиянии факторов биотической природы // *ScienceRise: Biological Science.* 2017. Vol. 3. P. 7–11.

DOI 10.18699/GPB2024-101

Анализ структурной организации и экспрессии гена *Vrn-D1*, контролирующего тип развития у *Aegilops tauschii* Coss.

Чепурнов Г.Ю.*

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН,
Новосибирск, Россия

*email: grigory.tchepurnov@yandex.ru

Проведено исследование 15 образцов *Aegilops tauschii* Coss. различного эколого-географического происхождения и установлен тип развития (яровой/озимый). Проведен анализ структуры гена *Vrn-D1* методами ПЦР и секвенирования по Сэнгеру. Выявлены три аллельных варианта: (i) интактный, (ii) с делецией 5437 п.н. в первом интроне и (iii) ранее не описанный аллельный вариант с делецией 3273 п.н. в первом интроне. Выявлено, что яровой тип развития растений *Ae. tauschii* может формироваться благодаря новому варианту гена *Vrn-D1*.

Ключевые слова: яровость; скороспелость; ген, *Vrn-D1*; *Aegilops tauschii*

Analysis of the structural organization and expression of the *Vrn-D1* gene, which controls the type of development in *Aegilops tauschii* Coss.

Chepurnov G. Yu. *

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: grigory.tchepurnov@yandex.ru

A study was carried out on 15 samples of Aegilops tauschii Coss. of various ecological and geographical origins and the type of development (spring/winter) has been established. The structure of the Vrn-D1 gene was analyzed using PCR and Sanger sequencing. Three allelic variants were identified: (i) intact, (ii) with a deletion of 5437 bp. in the first intron and (iii) a previously undescribed allelic variant with a 3273 bp deletion. in the first intron. It was revealed that the spring type of plant development of Ae. tauschii can be formed due to a new variant of the Vrn-D1 gene.

Key words: vernality; precocity; gene; Vrn-D1; Aegilops tauschii

Яровизация представляет собой воздействие на растения низких температур, которые инициируют процессы формирования колоса. Этот процесс необходим для защиты флоральных меристем растений от негативного воздействия низких температур в зимний период. Тем не менее яровые растения, способные к цветению без воздействия низких температур, оказались лучше приспособлены для выращивания в континентальных районах средних широт (от 40° до 60° с.ш.) [1]. Генетический контроль реакции на яровизацию у злаковых растений обусловлен генами *Vrn*, действующими в едином каскаде, начало которого происходит благодаря экспрессии генов локуса VRN-1 в листьях [2]. Аллели генов этого локуса хорошо изучены у культивируемых сортов рода *Triticum*, в отличие от диких сородичей и доноров элементарных геномов полиплоидных пшениц. Недостаточное количество исследований сокращает доступный пул ценных аллелей, которые могли быть использованы при создании новых сортов в рамках селекционного процесса. Вид *Aegilops tauschii*, являющийся донором D генома полиплоидных пшениц, в основном содержит озимые растения, однако были обнаружены и яровые образцы с достаточно коротким вегетационным периодом [3]. Изучение генетических механизмов, лежащих в основе формирования таких фенотипов, может предоставить селекционерам и генетикам информацию, полезную для выведения сортов пшеницы, более адаптированных к конкретным условиям выращивания.

Тип развития оценивали относительно контрольных образцов. Всего из 15 образцов 11 имели яровой тип развития и 4 – озимый тип развития (см. таблицу).

У всех 15 образцов *Ae. tauschii* был проведен анализ структуры первого интрона гена *Vrn-D1*. С целью выявления интактного интрона у озимых образцов был проведен ПЦР-анализ с использованием специфических праймеров, амплифицирующих

фрагмент длиной 998 п.н. (рис. 1, а). Для яровых образцов использовались специфические праймеры, разработанные в предшествующем исследовании [4]. ПЦР-продукт длиной 747 п.н., указывающий на наличие делеции 5437 п.н. в первом интроне гена *Vrn-D1* (определяющей яровой тип развития), был обнаружен во всех образцах, за исключением ярового образца К-992 (см. рис. 1, б).

Тип развития исследуемых образцов *Ae. tauschii*

Тип развития образцов	Название образцов
Яровые (n=11)	KU-20-6 (яровой контроль), KU-2002, К-864, К-608, С21-51-43, KU-2009, С21-5144, С21-5118, С21-4030, С21-5112, К-992
Озимые (n=4)	К-1740 (озимый контроль), КТ-120-15, К-1657, С21-51-29

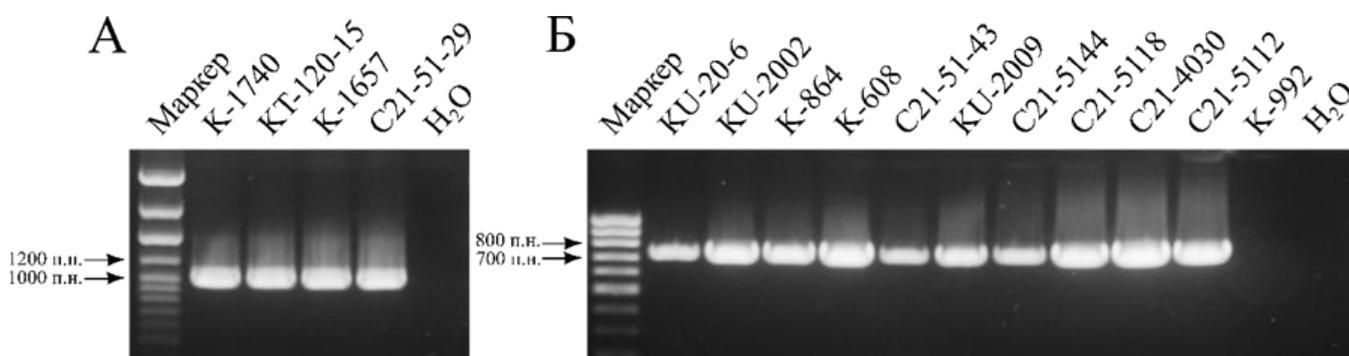


Рис. 1. А – Электрофорез продуктов ПЦР участка первого интрона гена *Vrn-D1* у озимых образцов. Б – Электрофорез продуктов ПЦР участка первого интрона гена *Vrn-D1* у яровых образцов

Поскольку образец К-992 не имел ранее описанного аллеля, мы амплифицировали всю последовательность первого интрона гена *Vrn-D1* у данного образца. Полученный ПЦР-продукт секвенировали по Сэнгеру. В результате секвенирования была установлена делеция 3273 п.н. (рис. 2).



Рис. 2. Положение делеций первого интрона трех аллельных вариантов гена *Vrn-D1* у *Ae. tauschii*. Серыми прямоугольниками изображены экзоны, черными полосами интроны, красными полосами делеции. Регион связывания – последовательность, содержащая сайты связывания с белком-репрессором GRP-7, делеции в которой формируют яровой тип развития у растений пшеницы и ячменя [4]

Предположительно, положение делеции в первом интроне гена *Vrn-D1* у образца К-992 могло влиять на экспрессию этого гена в листьях. Чтобы подтвердить

это предположение, было проведено исследование относительного уровня экспрессии данного гена. Было обнаружено, что уровень экспрессии нового аллеля *Vrn-D1* у образца К-992 значительно отличался от экспрессии интактного аллеля озимого образца К-1740, начиная с 3-й недели развития и до фазы колошения (рис. 3).

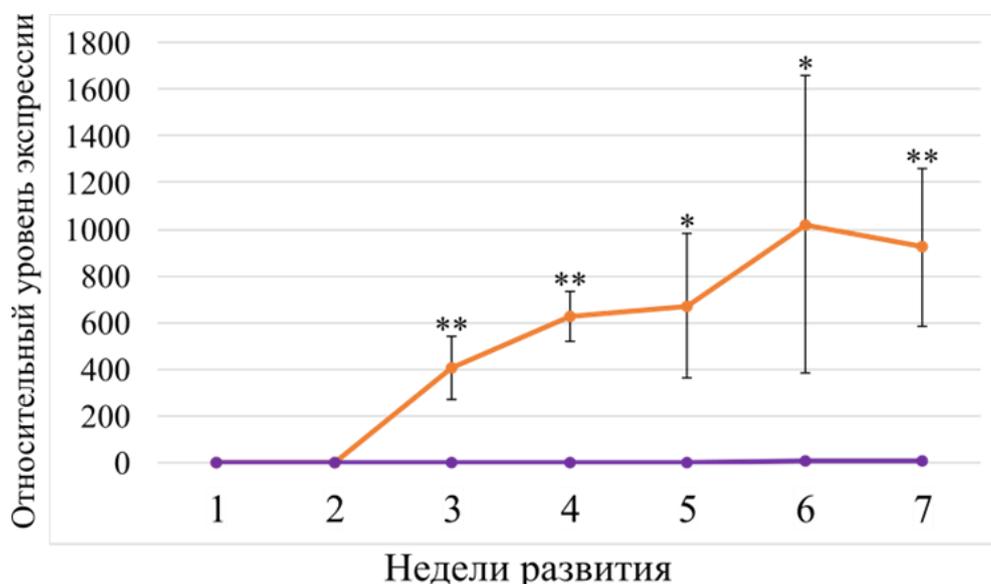


Рис. 3. Изменение относительного уровня экспрессии образцов К-992 (обозначен оранжевым) и К-1740 (обозначен фиолетовым). Данные для всех выборок выражены как среднее значение \pm стандартное отклонение ($n = 3$). Для проверки статистической значимости использовали t-критерий Стьюдента (* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$)

Новый вариант гена *Vrn-D1*, выявленный у образца К-992, представляет интерес для понимания генетических механизмов, регулирующих продолжительность вегетационного периода злаковых растений

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ № 22-16-20026 и Правительства Новосибирской области.

Список литературы

- 1 Flood R.G., Halloran G.M. Genetics and Physiology of Vernalization Response in Wheat // In Advances in Agronomy. 1986. V. 39. P. 87–125.
- 2 Chen A., Dubcovsky J. Wheat TILLING Mutants Show That the Vernalization Gene *VRN1* Down-Regulates the Flowering Repressor *VRN2* in Leaves but Is Not Essential for Flowering // PLoS ONE. 2012. V. 8. P. 245–257.
- 3 Goncharov N. P. Genetic resources of wheat related species: The *Vrn* genes controlling growth habit (spring vs. winter) // Euphytica. 1998. V.100. P. 371–376.
- 4 Takumi S., Nishioka E., Morihiro H. et al. Natural variation of morphological traits in wild wheat progenitor *Aegilops tauschii* Coss. // Breed. Sci. 2009. V. 59. P. 579–588.

Лабораторная оценка устойчивости коллекционных образцов овса к хлоридному засолению

Черепанов А.В. *, Боме Н.А., д.с-х.н.

ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

*email: stud0000105050@utmn.ru

*Проведено изучение изменчивости морфометрических признаков 10 коллекционных образцов овса (*Avena sativa* L.). Лабораторный опыт осуществлен в вегетационных сосудах на фитостеллаже при температуре воздуха 22–24 °С, освещении 5 тыс. люкс. Повторность опыта 3-кратная. Ответная реакция исследуемых образцов проявилась в угнетении надземной части растений в 3-х вариантах и смешанном эффекте на корневую систему (стимулирование – 2 образца, угнетение – 2 образца), неоднозначной реакции на изменение биомассы надземной части и корневой системы корневой системы растений.*

*Ключевые слова: *Avena sativa* L.; NaCl; солеустойчивость; индекс длины побега; индекс длины корней*

Laboratory evaluation of resistance of oat collection samples to chloride salinity

Cherepanov A.V. *, Bome N.A.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Tyumen State University, Tyumen, Russia

*email: stud0000105050@utmn.ru

*The variability of morphometric traits of 10 collection samples of oats (*Avena sativa* L.) was studied. The laboratory experiment was carried out in vegetation vessels on a phytostack at a temperature of 22–24 °C, illumination 5 thousand lux. Repetition of the experiment is 3-fold. The response of the tested samples was manifested in the suppression of the aboveground part of plants in 3 variants and mixed effect on the root system (stimulation – 2 samples, suppression – 2 samples), which was not expressed in the change of the share in the biomass structure of the aboveground part and root system in the samples.*

*Key words: *Avena sativa* L.; NaCl; salt tolerance; shoot length index; root length index*

Учащение погодных аномалий в глобальном и локальном масштабах, связанных с повсеместным изменением климата в совокупности с интенсификацией сельского хозяйства – увеличивают негативное влияние биотических и абиотических факторов среды, отражающихся на адаптации культурных растений [1]. Засоление почв относится к числу подобных стресс-факторов, отрицательно сказывающихся на ростовых процессах и способствуя аномалиям роста, что способно приводить к

снижению продуктивности [2]. Одной из важнейших задач сельскохозяйственного производства является создание сортов, обладающих устойчивостью к подобным неблагоприятным факторам среды с сохранением высокой продуктивности и урожайности. Оценка начальных этапов онтогенеза в лабораторных условиях на провокационных фонах позволяет в краткие сроки оценить устойчивость исследуемого растительного объекта к различным стрессам [3].

Исследовательская работа по солеустойчивости растительных организмов проведена в лаборатории биотехнологических и микробиологических исследований Института биологии Тюменского государственного университета.

Объектом исследования послужили 10 образцов овса различного эколого-географического происхождения из мировой коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Семь образцов *Avena sativa* L. относились к пяти ботаническим разновидностям, из них *aurea* – 2, *aristata* – 1, *krausei* – 1, *mutica* – 1, *inermis* – 2; три образца – *Avena byzantine*. Семена урожая 2022 года были выращены на экспериментальном участке биостанции Тюменского государственного университета «Озеро Кучак».

Выращивание растений осуществлено в вегетационных сосудах из инертного материала емкостью 1,4 л. В качестве субстрата использовался универсальный почвенный грунт (расчет – 300 г на один сосуд). В каждый сосуд равномерно раскладывали по 20 неповрежденных семян на глубину 2 см. Для создания провокационного фона в сосуды с опытными образцами вносили 80 мл хлорида натрия (NaCl) с концентрацией 0,98 %, с контрольными образцами – 80 мл дистиллированной воды. Повторность опыта 3-кратная, размещение вегетационных сосудов на фитостеллаже выполнено в случайном порядке. Продолжительность опыта – 14 суток. Учеты проводились на 3, 5, 7, 10, 12 и 14-е сутки.

Для комплексной оценки солеустойчивости коллекционных образцов овса в раннем онтогенезе осуществлялось наблюдение за ростом и развитием растений с учетом 10 морфофизиологических признаков [4]. В данной статье рассматриваются 3 параметра: длина побега, длина корней и определение структуры сырой биомассы по соотношению надземной части и корней растений.

Статистическая обработка проводилась по методике Б.А. Доспехова [5] с использованием программного обеспечения MS Excel 2016. Рассчитаны средняя арифметическая ($X_{cp.}$), стандартная ошибка средней арифметической (S_x), коэффициент вариации (CV, %) и достоверность различий между вариантами по критерию Стьюдента.

В лабораторном опыте для распределения образцов по реакции на воздействие хлорида натрия были исследованы средние значения признака и рассчитаны индексы ингибирования роста побегов и корней у растений, с помощью которых мо-

жет быть охарактеризована устойчивость растений по интенсивности ростовых процессов при любом типе стрессового воздействия [6]. Результаты представлены в таблице.

Морфометрические параметры растений коллекционных образцов овса (*Avena sativa* L.) в условиях хлоридного засоления, 2023 г.

Образец, № каталога ВИР	Вариант	Длина побега		ИДП	Длина корней		ИДК
		$X \pm m_x$, см	CV, %		$X \pm m_x$, см	CV, %	
К-15190, Kanton	1	25,0 ± 0,69	15,11	0,94	7,8 ± 0,21	14,71	1,00
	2	26,7 ± 0,77	15,76		7,8 ± 0,29	20,56	
К-15243, Envis	1	17,8 ± 0,58	17,70	1,00	8,8 ± 0,22*	13,86	1,21
	2	17,8 ± 0,52	15,95		7,3 ± 0,36	26,74	
К-15206, 97106143	1	27,0 ± 0,78	15,82	0,98	10,9 ± 0,34*	17,21	1,10
	2	27,7 ± 0,67	13,34		9,9 ± 0,29	16,24	
К-15148, Kuerle	1	20,2 ± 0,58*	9,07	0,91	9,3 ± 0,36	12,38	0,94
	2	22,2 ± 0,41	10,19		9,9 ± 0,25	13,73	
К-15203, 97106126	1	22,1 ± 0,44*	10,91	0,92	9,4 ± 0,26*	15,34	0,89
	2	24,0 ± 0,72	16,40		10,6 ± 0,36	18,40	
К-15376, KWS Contender	1	18,1 ± 0,43	10,56	1,00	7,5 ± 0,37	22,15	1,07
	2	18,1 ± 0,35	8,67		7,0 ± 0,43	27,21	
К-15375, Canyon	1	15,9 ± 0,80	24,22	0,99	5,3 ± 0,36	32,46	0,86
	2	16,1 ± 0,88	28,09		6,2 ± 0,35	29,05	
К-15304, AC Ernie	1	13,6 ± 0,66	20,55	0,96	6,9 ± 0,46	28,11	0,91
	2	14,1 ± 0,72	19,69		7,6 ± 0,23	11,47	
Тюменский голозерный	1	15,1 ± 0,80*	29,19	0,85	5,9 ± 0,29*	26,93	0,76
	2	17,7 ± 0,52	15,98		7,8 ± 0,31	21,43	
Мегион	1	18,2 ± 0,51	15,31	0,97	9,2 ± 0,31	18,61	1,00
	2	18,7 ± 0,88	25,80		9,2 ± 0,26	15,40	

Примечание: * – статистически достоверные различия. ИДП – индекс длины побега, ИДК – индекс длины корней

При анализе длины побегов на 14-е сутки отмечен угнетающий эффект у 3 опытных образцов овса от 7,9 до 14,7 %. Наибольшее угнетение зафиксировано у сорта Тюменский голозерный, у которого наблюдалось снижение по данному признаку на 2,6 см (14,7 %) в сравнении с контрольным вариантом. Установлено, что наибольшей длиной побега на провокационном фоне обладал образец Kanton (к-15190, Германия) – 25,0 ± 0,69 см, наименьшей – AC Ernie (к-15304, Канада) – 13,6 ± 0,66 см.

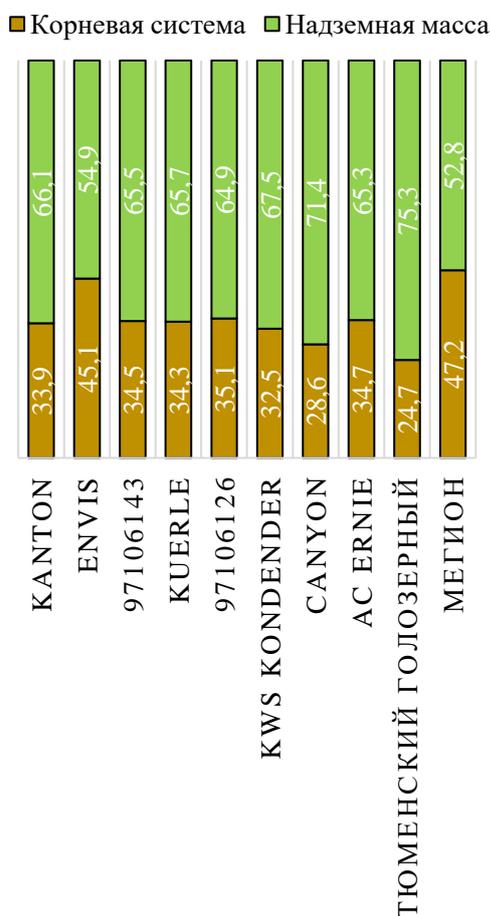
При расчете индекса длины побега (ИДП) наибольшие отличия от контроля по рассматриваемому признаку были обнаружены только у сорта Тюменский голозерный. Значение индекса в данном варианте составило 0,85, в остальных вариантах – 0,91–1,00.

Корневая система растений на 14-е сутки преимущественно проявила толерантность к действию солей хлорида натрия, что проявилось в отсутствии достоверно значимых изменений у большинства исследуемых образцов, за исключением

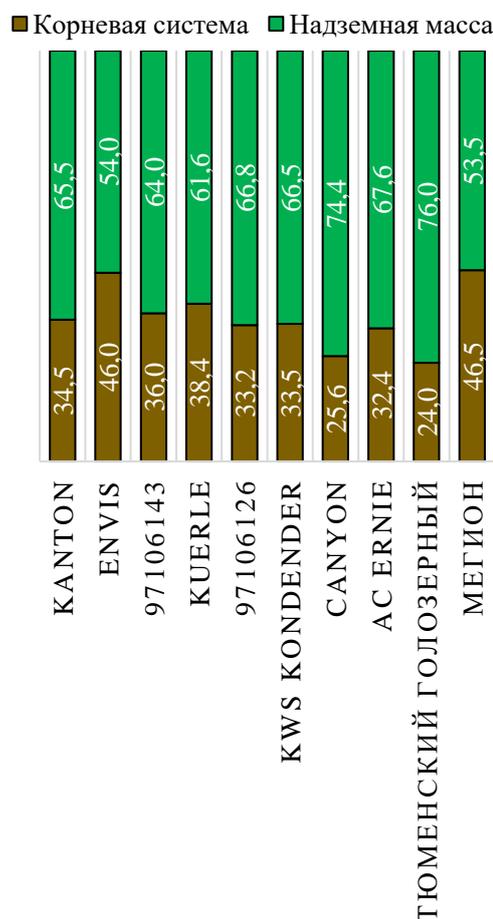
четырёх. У образцов Envis (к-15243, Великобритания) и 97106143 (к-15206, Болгария) наблюдалось стимулирование роста корней по длине на 20,6 и 10,1 % соответственно. У образцов Тюменский голозерный и 97106126 (к-15203, Болгария) отмечена чувствительность к воздействию солей NaCl, проявившаяся в угнетении ростовых процессов на 24,4 и 11,3 % соответственно. Установлено, что наибольшую длину корней среди опытных вариантов имел 97106143 (к-15206, Болгария) – $10,9 \pm 0,34$ см, наименьшую – Canyon (к-15375, Германия) – $5,3 \pm 0,36$ см.

При расчете индекса длины корней отмечены отличия от контроля в сторону увеличения у KWS Contender (к-15376, Германия) (ИДК=1,07); 97106143 (к-15206, Болгария) (ИДК=1,10) и Envis (к-15243, Великобритания) (ИДК=1,21). Наименьшим значением ИДК по рассматриваемому признаку характеризовался сорт Тюменский голозерный (0,76), остальные варианты – 0,86–1,00.

Анализ структуры биомассы позволил оценить потенциальную приспособленность растений к меняющимся стрессовым условиям обитания (см. рисунок).



1



2

Соотношение сырой биомассы коллекционных образцов овса различного эколого-географического происхождения в контроле (1) и в опытном варианте эксперимента (2)

В проводимом эксперименте в структуре биомассы растений отмечено изменение доли сырой биомассы побега и корневой системы на провокационном фоне у исследуемых образцов на 0,6 у Kanton (к-15190, Германия) – 4,1 % у Kuerle (к-15148,

Китай). Наибольшим развитием корневой системы и близкими к равнопропорциональному распределению надземной части и корневой систем характеризовались образцы Мегион (46,5 и 53,5 % соответственно) и Envis (к-15243, Великобритания) (46,0 и 54,0 %), наименьшей – Тюменский голозерный (24,0 и 76,0 %) и Canyon (к-15375, Германия) (25,6 и 74,4 %).

Отмечена неоднозначная ответная реакция на действие хлорида натрия, выраженная в изменении биомассы корневой системы: 4 образца характеризовались снижением на 0,7 % (у сортов Тюменский голозерный и Мегион), 3 % – Canyon (к-15375, Германия), 6 образцов – увеличением по данному показателю на 0,6 % (Kanton, к-15190, Германия) – 4,1 % (Kuerle к-15148, Китай).

Полученные результаты исследования показали, что ионы раствора NaCl достоверно способны оказывать ингибирующий и стимулирующий эффекты на развитие надземной части растения (длина побега) корневой системы на ранних этапах онтогенеза растительного организма. Скрининг в лабораторных условиях по признакам длина побега, длина корней, индексам перечисленных параметров и соотношению биомассы надземной и подземной частей растения на предселекционном этапе позволит повысить результативность отбора устойчивых форм овса в краткие сроки.

Список литературы

- 1 Оценка сортов зерновых культур по показателям качества семян и стрессоустойчивости / О.В. Павлова, Л.А. Марченкова, Р.Ф. Чавдарь [и др.] // Владимирский земледелец. 2021. № 2(96). С. 52–57.
- 2 Удовенко Г.В. Солеустойчивость культурных растений. Л.: Колос, 1977. 215 с.
- 3 Скочилова Е.А., Закамская Е.С. Влияние ионов хлора на содержание фотосинтетических пигментов в проростках овса посевного и горчицы белой // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2021. № 3 (27). С. 266–274.
- 4 Методические указания по определению солеустойчивости ячменя / ВАСХНИЛ, ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова. Л.: ВИР, 1980. 14 с.
- 5 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. Стеореотипное издание. Перепечатка с 5-го изд., доп. и перераб., 1985. М.: Альянс, 2014. 351 с.
- 6 Карманенко Н. М. Сортная реакция зерновых культур на низкие температуры, условия закисления и ионы алюминия // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 5. С. 66–77.

Получение линий мягкой пшеницы с черной окраской зерна путем комбинирования генов, контролирующих фиолетовую окраску перикарпа и голубую окраску алейронового слоя

Чуманова Е.В.^{1*}, м.н.с.; Ефремова Т.Т.¹, к.б.н., с.н.с.; Соболев К.В.², магистрант; Кондратьева И.В.², к.с.-х.н., доцент.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

*email: chumanova@bionet.nsc.ru

Получены четыре линии сорта Саратовская 29 с черной окраской зерна путем комбинирования генов Pp и Ba1, контролирующих накопление антоцианов в перикарпе и алейроновом слое, характеризующиеся более высоким содержанием антоцианов относительно родительских линий. Использование световой микроскопии и ДНК-маркеров показало присутствие голубого и фиолетового пигментов в соответствующих слоях зерновки и доминантных аллелей генов Ba1, Pp-1 и Pp3 в генотипе изученных линий.

Ключевые слова: мягкая пшеница; антоцианы; голубая, фиолетовая, черная окраска зерна; ДНК-маркеры

Production of common wheat lines with black grain by combining genes of purple pericarp and blue aleurone

Chumanova E.V.^{1*}, Efremova T.T.¹, Sobolev K.V.², Kondratyeva I.V.²

¹Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

*email: chumanova@bionet.nsc.ru

Four lines of the Saratovskaya 29 cultivar with black grain coloration were obtained by combining the genes Pp and Ba1, controlling the accumulation of anthocyanins in the pericarp and aleurone layer, characterized by a higher content of anthocyanins relative to the parental lines. The use of light microscopy and DNA markers showed the presence of blue and violet pigments in the corresponding layers of the grain and Ba1, Pp-1 and Pp3 dominant genes in the genotype of the studied lines.

Key words: common wheat; anthocyanins; blue, purple, black grain; DNA markers

Окрашенное зерно пшеницы является ценным источником около 700 метаболитов, являющихся биологически активными соединениями (включая фенольные соединения, антоцианы, каротиноиды), обладающих широким спектром биологической активности, а также незаменимых аминокислот, пищевых волокон, витаминов, макро- и микроэлементов [1]. Антоцианы, являясь естественными антиоксидантами,

полезны для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, артритов, различных видов рака, болезни Альцгеймера, сахарного диабета 2 типа и ожирения [2]. Поэтому, весьма актуальны генетические исследования, направленные на получение различных генотипов с окрашенным зерном.

В зависимости от типа и расположения антоцианов в слоях зерновки пшеницы она может иметь голубой, фиолетовый и темно-коричневый (черный) цвет. Биосинтез антоцианов в алейроновом слое зерновки мягкой пшеницы находится под контролем доминантных аллелей генов *Ba* (Blue aleurone), картированных на хромосомах 4 гомеологической группы дикорастущих злаков, в том числе *Ba1*, локализованный в хромосоме 4E *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth & D. R. Dewey. Данные гены интрогрессированы в геном мягкой пшеницы путем получения чужеродных транслокаций в хромосомах четвертой гомеологической группы, замещенных или дополненных линий [1].

Фиолетовая окраска зерна обусловлена синтезом антоцианов в клетках перикарпа и контролируется комплементарным взаимодействием генов *Pp* (Purple pericarp): *Pp-1* (*Pp-A1* в 7AS, *Pp-B1* в 7BS и *Pp-D1* в 7DS) и *Pp3* (хромосома 2A). Признак фиолетовой окраски зерна интрогрессирован в мягкую пшеницу от тетраплоидной пшеницы *Triticum aethiopicum* Jakubz. [3]. Черный цвет зерновки пшеницы является результатом сочетания генов, определяющих фиолетовую окраску перикарпа и голубую окраску алейронового слоя.

Установлено, что пшеница с черным зерном имеет более высокое содержание и более разнообразный состав антоцианов, растворимых и нерастворимых фенольных соединений, чем пшеница с фиолетовой и голубой окраской [4, 5].

Данная работа посвящена получению четырех линий сорта Саратовская 29 (S29) с черной окраской зерна, сочетающих голубую окраску алейронового слоя и фиолетовую окраску перикарпа (рис. 1, а, б). Донором голубой окраски алейронового слоя послужила пшенично-пырейная (*T. aestivum-Th. ponticum*) замещенная линия s:S294Th(4B). В качестве источников фиолетовой окраски перикарпа использовались две изогенные линии сорта S29: i:S29*Pp-D1Pp3^P* и i:S29*Pp-D1Pp3^{PF}* (интрогрессии участков хромосом 7D и 2A от сортов Purple (Австралия) и Purple Feed (Канада) соответственно) [6]. Таким образом, были получены четыре гибридные комбинации: 1 – i:S29*Pp-D1Pp3^P* × s:S294Th(4B) (S29BW1), 2 – s:S294Th(4B) × i:S29*Pp-D1Pp3^P* (S29BW2), 3 – i:S29*Pp-D1Pp3^{PF}* × s:S294Th(4B) (S29BW3), 4 – s:S294Th(4B) × i:S29*Pp-D1Pp3^{PF}* (S29BW4). Во всех гибридных поколениях визуально оценивали окраску зерен отдельно у каждого растения. Для посева каждый раз отбирали растения, имеющие темно-коричневые зерновки. Гомозиготные растения были выделены в поколении F₅.

Проведен анализ конфигурации хромосом в МI мейоза в материнских клетках пыльцы у растений поколения F₄ всех четырех линий. Только у линии BW3 все изу-

ченые растения с черной окраской зерна оказались дисомными и имели 21 бивалент ($2n = 42$). У остальных трех линий около 80–90 % изученных растений имели 21 бивалент; наряду с ними встречались растения с потерей одной хромосомы или плеча и моносомные и дисомные дополненные растения. В дальнейшей работе использовали только дисомные растения.

Изучение локализации антоциановых пигментов в оболочках семян проводилось путем анализа поперечных срезов зерновок на стадии восковой спелости. У изученных линий в клетках алейронового слоя наблюдали скопление мелких синих включений в органеллах, похожих на вакуоли. В перикарпе наблюдали накопление красно-коричневых пигментированных структур, содержащих антоцианы (см. рис. 1, в).



Рис. 1. Колос (а), зерновка (б) и поперечный срез зерновки (в) линии ВW1

Проведена ПЦР с использованием праймеров, разработанных к генам биосинтеза антоцианов *Bal*, *Pp-1* и *Pp3*. ДНК-маркер *ThMYC4E* на хромосому 4E *Th. ponticum* [7] был использован для детекции доминантного аллеля гена *Bal* у линий S29BW1-4 по присутствию фрагмента амплификации длиной 450 п.н. (см. рис. 2, а). При использовании внутригенного маркера *Pp1-diagnostic* [8] ПЦР-продукт размером 478 п.н., выявленный у S29, соответствовал рецессивным аллелям генов *Pp-A1* и *Pp-B1*, в то время как ПЦР-продукты, полученные из ДНК линий с черной окраской зерна, содержали наряду с фрагментом длиной 478 п.н. фрагменты длиной 434 п.н., соответствующие доминантному аллелю гена *Pp-D1* (см. рис. 2, б). При использовании маркера *Pp3-diagnostic* [8] получены ПЦР-продукты длиной 398 и 429 п.н., соответствующие доминантным (у S29BW1-4) и рецессивным (у S29) аллелям гена *Pp3* соответственно (см. рис. 2, в).

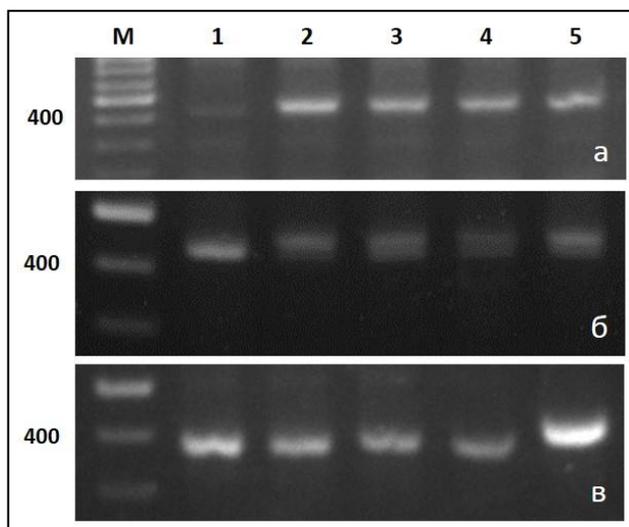


Рис. 2. Идентификация генов *Bal*, *Pp3* и *Pp-D1* у линий с черной окраской зерна с использованием ДНК-маркеров *ThMYC4E* (а), *Pp1-diagnostic* (б) и *Pp3-diagnostic* (в). М – 100 bp Ladder. 1 – S29, 2 – 5 S29BW1-4

Изученные линии различались по содержанию антоцианов (см. таблицу). Голубозерная родительская линия s:S294Th(4B) имела более высокий уровень общего содержания антоцианов (135 мкг/г), чем фиолетовозерные изогенные линии (i:S29*Pp-1Pp3^P* – 79,4 мкг/г и i:S29*Pp-1Pp3^{PF}* – 81,5 мкг/г) ($p \leq 0,05$). Данные по содержанию антоцианов приведены для линий S29BW2 и S29BW3. В целом, содержание антоцианов у линий с черной окраской зерна было выше, по сравнению с исходными родительскими линиями. Среди пяти растений линии S29BW2 содержание антоцианов составило 145,5-167,1 мкг/г, за исключением одного растения, у которого этот показатель составил 119,7 мкг/г, что меньше, чем у голубозерной линии. Среди шести изученных растений линии S29BW3 у четырех из них содержание антоцианов превышало уровни родительских линий (154,25-166,8 мкг/г), при этом у одного растения было выявлено максимальное содержание антоцианов – 241,3 мкг/г ($p \leq 0,05$). В то же время у двух растений содержание антоцианов составило 123,33 мкг/г и 125,33 мкг/г. Такое различие в содержании антоцианов у отдельных растений, вероятно, зависит от аллельного состояния генов *Pp* и *Bal* (*Pp* в гетерозиготном, либо *Bal* в моносомном состоянии).

Описанные в данной работе линии с черной окраской зерна планируется использовать для гибридизации с районированными сортами с целью получения перспективных генотипов, сочетающих высокое содержание антоцианов с комплексом хозяйственно ценных признаков, которые в дальнейшем могут быть использованы в качестве исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири.

Общее содержание антоцианов (мкг/г) в муке линий с различной окраской зерна

Генотип	Общее содержание антоцианов, мкг/г (M±SEM)
i:S29Pp-1Pp3 ^P	79,35 ± 6,75 b
i:S29Pp-1Pp3 ^{PF}	81,55 ± 0,65 b
s:S294Th(4B)	135,9 ± 7,20 cde
Саратовская 29	9,95 ± 0,95 a
F ₅ : s:S294Th(4B) × i:S29Pp-D1Pp3 ^P (S29BW2) #1	167,05 ± 5,35 g
#2	145,5 ± 1,50 def
#3	119,75 ± 2,85 c
#4	157,65 ± 7,25 fg
#5	156,25 ± 0,65 efg
F ₅ : i:S29Pp-D1Pp3 ^{PF} × s:S294Th(4B) (S29BW3) #6	165,05 ± 1,45 fg
#7	123,3 ± 1,10 c
#8	154,25 ± 0,45 efg
#9	241,35 ± 2,55 h
#10	125,3 ± 3,20 cd
#11	166,8 ± 0,90 g

Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (№ 24-26-20028) и Министерства науки и инновационной политики Новосибирской области (№ р-99).

Список литературы

- 1 Garg M. et al. Rising demand for healthy foods-anthocyanin biofortified colored wheat is a new research trend // Front. Nutr. Frontiers Media S.A. 2022. Vol. 9. 878221.
- 2 Gonçalves A.C. et al. Dietary effects of anthocyanins in human health: A comprehensive review // Pharm. 2021. Vol. 14. № 7. P. 690.
- 3 Lachman J. et al. Genetics and chemistry of pigments in wheat grain – A review // J. Cereal Sci. 2017. Vol. 74. P. 145–154.
- 4 Abdel-Aal E.S.M., Young J.C., Rabalski I. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains // J. Agric. Food Chem. 2006. Vol. 54. № 13. P. 4696–4704.
- 5 Paznocht L. et al. Phenolic acids in kernels of different coloured-grain wheat genotypes // Plant, Soil Environ. 2020. Vol. 66. № 2. P. 57–64.
- 6 Efremova T.T. et al. Combining the genes of blue aleurone and purple pericarp in the genotype of spring bread wheat Saratovskaya 29 to increase anthocyanins in grain // J. Cereal Sci. 2023. Vol. 109. 103616.
- 7 Li N. et al. *ThMYC4E*, candidate *Blue aleurone 1* gene controlling the associated trait in *Triticum aestivum* // PLoS One. 2017. Vol. 12 № 7. e0181116.
- 8 Gordeeva E. et al. Fine points of marker-assisted pyramiding of anthocyanin biosynthesis regulatory genes for the creation of black-grained bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines // Agronomy. 2022. Vol. 12. № 12. 2934.

Селекция на улучшение технологических и пищевых свойств яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири

*Шаманин В.П. *, докт. с.-х. н., проф.; Потоцкая И.В., докт. с.-х. н., проф.; Чурсин А.С., канд. с.-х. н., зав. лаб.; Ессе С.А.; Кошкин М.Н.; Безукладов И.В.; Яковлева А.О.; Карелова А.С., аспиранты; Шепелев С.С., канд. с.-х. н., зав. лаб.*

ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Россия

**email: vp.shamanin@omgau.org*

В 2022–2023 гг. проведена оценка качества зерна стародавних сортов коллекции ВИР и современных сортов яровой мягкой пшеницы из селекционных учреждений России и Казахстана (программа КАСИБ) в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Дана характеристика технологических признаков качества зерна, выделены источники для улучшения технологических и пищевых свойств сортов пшеницы.

Ключевые слова: яровая пшеница; сорт; качество зерна; функциональные свойства

Breeding for improvement of technological and nutritional properties of spring bread wheat in Western Siberia

*Shamanin V.P. *, Pototskaya I.V., Chursin A.S., Esse S.A.; Koshkin M.N.; Bezukladov I.V.; Yakovleva A.O.; Karelova A.S., Shepelev S.S.*

FSBE Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

**email: vp.shamanin@omgau.org*

The quality of the grain of landraces from VIR collection and modern varieties of spring bread wheat from breeding institutions of Russia and Kazakhstan (KASIB program) under conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia was assessed in 2022 and 2023. The characteristic of the technological properties of grain quality was given, sources were selected to improve the technological and nutritional properties of wheat varieties.

Key words: spring wheat; variety; grain quality; functional properties

Пшеница – наиболее распространенная сельскохозяйственная культура, занимающая около 50 % посевных площадей в Сибирском федеральном округе. Сохранение и приумножение зональных коллекций с.-х. культур снижает риск потери для селекции ценного генофонда и расширяет возможности ученых в поиске необходимого исходного материала для создания сортов, адаптивных к условиям Сибири. Академик П.Л. Гончаров внес большой вклад в формирование сибирской коллекции генетических ресурсов зерновых и зернобобовых культур, насчитывающей более 10 тыс. образцов [1].

Неблагоприятные погодные условия, дефицит минеральных удобрений, сорта, сроки сева и предшественники оказывают значительное влияние на качество производимого зерна. Отмечается тенденция снижения доли сильных сортов и примерно в два раза повышение доли ценных по качеству [2–4]. Сравнительный анализ коллекции стародавних сортов пшеницы и сортов современной селекции научных учреждений России и Казахстана позволил выделить ценный исходный материал для привлечения в селекционные программы пшеницы и повышения качества зерна в условиях Западной Сибири.

Цель настоящих исследований – изучение коллекции стародавних и современных сортов яровой мягкой пшеницы и поиск источников для улучшения функциональных, пищевых и технологических свойств сортов пшеницы.

Материалом для исследования служили образцы стародавней пшеницы (ландрас) коллекции ВИР из разных регионов бывшего Советского Союза (100 шт.), собранные в период с 1908 по 1951 год, и современные сорта питомника ОН-КАСИБ (150 шт.) из международной программы Казахстанско-Сибирской сети России и Казахстана (КАСИБ). Исследования проведены на опытном поле Омского ГАУ в 2022–2023 гг., посев сеялкой ССФК-7 площадь делянок 1 м², повторность 4-х кратная. Оценка признаков качества зерна изучаемых сортов выполнена по общепринятым селекционным методикам.

В первую очередь, следует привлекать ландрасы в качестве источников высокого содержания белка, клейковины и стекловидности зерна. Варьирование этих признаков ландрас было в пределах: экологической группы из России – 15,9–23,1 %, 33,9–57,7 %, 57,9–67,8 %; из Казахстана – 15,1–20,7 %, 31,7–50,7 %, 57,9–62,2 %; из Средней Азии – 17,7–20,5 %, 39,9–49,6 %, 59,1–61,7 %. Содержание белка и клейковины в зерне стандартов составило 16,6–16,7 % и 36,2–36,7 % соответственно. Современные сорта пшеницы имели пониженную стекловидность зерна (в среднем 56,4 %), в целом в последние годы товарные партии зерна характеризуются низкой стекловидностью. Этот показатель связан с высоким хлебопекарным качеством, у стародавних сортов, в частности образцов из Средней Азии, он составил 59,1 % (см. таблицу). Селекционный прогресс технологических признаков зерна способствовал увеличению крупности зерновки (масса 1000 зерен 42,1 г), повышению выхода муки у селекционных сортов – 56,2 % и числа падения – 259 с. Данные показатели стародавних сортов находились в пределах 34,1–36,5 г, 54,7–55,3 % и 229–256 с соответственно. Высокое хлебопекарное качество современных сортов косвенно подтверждают признаки седиментации – 39,7 мл и индекса глютена – 95,5 % против аналогичных признаков стародавних сортов – 32,9–33,3 мл и 75,1–79,9 %.

Рекомендуются в качестве источников на повышение питательной ценности зерна, стекловидности и крупности зерна стародавние сорта: Башкирка Кугушевская (к-9889), Полтавка (к-9116), Красная (к-29619), Гирка (к-1929), Голоколоска (к-11358), Голоколосая Белоколоска (к-64408), Сибирская (к-8076), Голоколоска

(к-2998), Белоколоска (к-8884), НОЭ (к-22687), к-35429. Содержание белка данных сортов составило 17,3–19,3 %, клейковины – 38,8–43,7 %, стекловидность – 55,4–64,8 %, масса 1000 зерен – 29,7–58,5 г.

Сравнительный анализ признаков качества зерна сортов ландрас и ОН-КАСИБ, 2022–2023 гг.

Признак	Памяти Азиева, St	Элемент 22, St	Ландрасы			ОН-КАСИБ	НСР ₀₅
			Россия	Казахстан	Средняя Азия		
Масса 1000 зерен, г	41,6	40,0	34,1±4,52	34,2±7,11	36,5±9,76	42,1*±4,37	1,54
Содержание белка, %	16,7	16,6	18,2*±2,44	18,2*±3,79	18,1*±4,79	16,9±1,77	0,20
Содержание клейковины, %	36,2	36,7	41,9*±5,56	41,0*±8,55	40,8*±10,9	37,1±3,89	0,68
Зольность зерна, %	1,82	1,81	1,81±0,23	1,77±0,37	1,82±0,48	1,78±0,17	0,03
Содержание сырой клейковины, %	46,2	48,1	47,0±6,22	44,5±9,26	44,9±12,0	41,4±4,35	1,31
Индекс глютена, %	86,0	70,1	75,1±9,96	79,2±16,5	79,9±21,3	95,5*±7,86	2,00
Выход муки, %	57,5	55,2	55,0±7,42	54,7±11,6	55,3±15,1	56,2±5,88	0,79
ЧП, с	224	232	250*±33,2	256*±53,3	229±61,5	259*±28,8	7,83
Стекловидность, %**	56,8	56,7	57,9*±7,67	57,9*±12,1	59,1*±15,8	56,4±4,61	0,25
Седиментация, мл**	61,3	40,0	33,1±4,38	32,9±6,86	33,3±8,90	39,7±3,24	1,19

Примечание. * достоверное превышение над стандартами; ** данные представлены за 2023 г.

Сорта селекции российских и казахстанских учреждений имели высокие показатели массы 1000 зерен (35,9–46,6 г), стекловидности (55,6–58,5 %), индекса глютена (92,6–98,9 %) и седиментации (36,8–57,5 %), а также повышенные показатели числа падения (334,1–337,9 с). По данным показателям к сортам сильной пшеницы относятся российские сорта и линии: Целина 50 (Каз. НИИ ЗХ), Лютесценс 1082 (Карагандинский НИИРиС), ГВК-1860-12 (В.-Каз. НИИСХ), Павлодарская 11 (Павлодарский НИИСХ), Лютесценс С 19 ЧС, Фитон С-54 (НПФ "Фитон"), Новосибирская 15, Новосибирская 31 (СибНИИРС), Сибирский Альянс, Лютесценс 574, Лютесценс 424 (Алтайский НИИЗиС), Лютесценс 205/03-1, Силач (Челябинский НИИСХ), Лютесценс 141/03-2 (Омский АНЦ) и многие другие.

Проведен полногеномный анализ и выявлены ценные гены качества зерна в коллекции стародавних сортов и ОН КАСИБ для маркер-ориентированной селекции. Современные сорта Омского ГАУ, включенные в государственный реестр за прошедшую пятилетку по Уральскому и Западно-Сибирскому регионам РФ по качеству зерна отвечают требованиям сильной и ценной пшеницы: Столыпинская 2 (2019), ОмГАУ 100 (2020), Силантий (2022), Нива 55 (2022), Агронимическая 5 (2023) и Эф 22 (2024). В Омском ГАУ реализуется направление селекции на создание сортов зерновых культур с функциональными свойствами зерна [5–6]. Созданы высокотехнологичная лаборатория с необходимым оборудованием, селекционный материал, сформирован коллектив и подготовлены научные кадры для исследований по повышению пищевой ценности пшеницы на основе генетических, селекционных и агротехнологических методов. Сорт яровой мягкой пшеницы ЭФ 22 и сорт

пырея среднего Филин (*Th. intermedium*), который включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2024 г. по всем регионам России, имеют фиолетовую окраску зерна с повышенным содержанием антоцианов.

Выводы:

1. В Омском ГАУ созданы уникальная коллекция и исходный материал для селекции на повышение технологических и пищевых свойств зерна, на основе которой выведены сорта, отвечающие требованиям сильной и ценной пшеницы.

2. Стародавние сорта пшеницы имеют значительное генотипическое разнообразие по содержанию белка, клейковины и стекловидности зерна: экологическая группа из России соответственно – 15,9–23,1 %, 33,9–57,7 % и 57,9–67,8 %; из Казахстана – 15,1–20,7 %, 31,7–50,7 % и 57,9–62,2 %; из Средней Азии – 17,7–20,5 %, 39,9–49,6 % и 59,1–61,7 % соответственно. Современные сорта пшеницы, в отличие от стародавних, отличались более высокими показателями массы 1000 зерен – 42,1 г, выхода муки – 56,2 %, числа падения – 259 с, седиментации – 39,7 мл и индекса глютена – 95,5 %.

3. Рекомендуются в качестве источников на повышение технологических и пищевых свойств зерна стародавние сорта: Башкирка Кугушевская (к-9889), Полтавка (к-9116), Красная (к-29619), Гирка (к-1929), Голоколоска (к-11358), Голоколосая Белоколоска (к-64408), Сибирская (к-8076), Голоколоска (к-2998), Белоколоска (к-8884), НОЭ (к-22687), к-35429; современные сорта из питомника ОН-КАСИБ: Целина 50 (Каз. НИИ ЗХ), Лютесценс 1082 (Карагандинский НИИРС), ГВК-1860-12 (В.-Каз. НИИСХ), Павлодарская 11 (Павлодарский НИИСХ), Лютесценс С 19 ЧС, Фитон С-54 (НПФ «Фитон»), Новосибирская 15, Новосибирская 31 (СибНИИРС), Сибирский Альянс, Лютесценс 574, Лютесценс 424 (Алтайский НИИЗиС), Лютесценс 205/03-1, Силач (Челябинский НИИСХ), Лютесценс 141/03-2 (Омский АНЦ).

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФ (соглашение № 22-16-20008 от 23.03.2022); создание сортов яровой пшеницы – при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства РФ.

Список литературы

- 1 Артемова Г.В., Лихенко И.Е. Исторические аспекты и основные результаты научных исследований в СибНИИРС – филиале ИЦИГ СО РАН // Письма в Вавилонский журнал. 2016. e0003_a. <http://www.bionet.nsc.ru/vogis/download/anniversary/appx3.pdf>.
- 2 Давидянц Э.С., Ерошенко Ф.В. Состояние, тенденции и пути оптимизации производства качественного зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 21–26.
- 3 Мелешкина Е.П. Современные требования, предъявляемые к качеству зерна пшеницы и пшеничной муки // Хлебопродукты. 2018. № 10. С. 14–15.
- 4 Потоцкая И.В., Шаманин В.П., Шепелев С.С., Чурсин А.С., Кузьмин О.Г., Моргунов А.И. Поиск генетических источников для улучшения качества зерна сортов

пшеницы // Вестник Омского ГАУ. 2021. № 1 (41). С. 45–53.

5 Gordeeva E., Shamanin V., Shoeva O., Kukoeva T., Morgounov A., Khlestkina E. The strategy for marker-assisted breeding of anthocyanin-rich spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Western Siberia // Agronomy. 2020. V. 10. P. 1603.

6 Shamanin V.P., Tekin-Cakmak Z.H., Gordeeva E.I., Karasu S., Pototskaya I.V., Chursin A.S., Pozherukova V.E., Ozulku G., Morgounov A.I., Sagdic O., Koxsel H. Total antioxidant capacity and profiles of phenolic acids in various genotypes of purple wheat // Foods. 2022. V.11 (16). P. 2515.

DOI 10.18699/GPB2024-105

Агробиологическая оценка образцов лука батуна (*Allium fistulosum* L.) в однолетней культуре

*Шишкина Е.В.¹, с.н.с.; Одерова Е.В.², * к.с.-х.н., в.н.с.*

¹ООО «Гетерозисная селекция», Челябинская область, г. Миасс, Россия

²ЗСОС – филиал Федерального научного центра овощеводства, г. Барнаул, Россия

*email: elenaoderova@yandex.ru

Впервые в условиях юга Западной Сибири проведена оценка 47 отселектированных сортообразцов лука батуна в однолетней культуре по комплексу хозяйственно ценных признаков и определена степень их вариации. Определено, что средняя степень изменчивости характерна для признака «товарная урожайность» C_v – 16,6 %. Остальные признаки характеризуются низкой изменчивостью. Наиболее стабильным признаком, при возделывании в однолетней культуре, является признак «число листьев на растении» C_v – 2,4 %.

Ключевые слова: лук батун; изменчивость; морфологические и фенотипические признаки

Agrobiological assessment of samples of Welsh onion (*Japanese leek*) (*Allium fistulosum* L.) in annual culture

Shishkina E.V.¹, senior researcher; Oderova E.V.², candidate of agricultural sciences, leading researcher.*

¹LLC Heterosis breeding, Chelyabinsk region, c. Miass, Russia

²West siberian vegetable experimental station is a branch of the federal state budgetary scientific institution federal scientific center of vegetable Growing Federal Scientific Center of Vegetable Growing, c. Barnaul, Russia

*email: elenaoderova@yandex.ru

*For the first time was determined in the conditions of the south of Western Siberia 47 selected cultivated sorts of Welsh onion (*Japanese leek*), in an annual crop were evaluated according to a complex of economically valuable characteristics and the degree of their variation. It was determined that the average degree of variability is characteristic of the*

"commodity yield" attribute Cv – 16.6 %. The remaining signs are characterized by low variability. The most stable sign, when cultivated in an annual crop, is the sign "number of leaves per plant" Cv – 2.4 %.

Key words: Welsh onion (Japanese leek); variability; morphological and phenotypic signs

Введение

Лук батун является многолетним поликарпическим растением (многократно цветущим и плодоносящим в течение жизни), т.к. монокарпические побеги у него проходят полный цикл развития и после отмирания генеративного побега онтогенез растения продолжается за счет почек возобновления. Продолжительность культуры может быть самой разной в зависимости от цели выращивания. Различают однолетнюю культуру с уборкой в год посева, а также – весной следующего года после посева – чаще используется при промышленном возделывании лука батун с уборкой растений целиком. Многолетнее использование плантации (до 7 лет) практикуется в любительском овощеводстве и используется для срезки листьев [1, 2].

По мнению Гринберг Е.Г. для условий Сибирского региона наиболее подходит однолетняя культура лука батун [3]. Поэтому поиск новых источников хозяйственно полезных признаков, их комплексное изучение и создание новых сортов пригодных для летнего посева и уборкой растений целиком в поздне-летние, ранне-осенние сроки для условий юга Западной Сибири является актуальным направлением в селекции лука батун [4].

Цель исследований – оценка селекционного материала лука батун в однолетней культуре по хозяйственно ценным признакам.

Для реализации цели научных исследований были поставлены следующие **задачи**:

- оценить сортообразцы лука батун селекции ЗСООС в однолетней культуре по основным хозяйственно ценным признакам;
- определить параметры изменчивости хозяйственно ценных признаков.

Методика проведения исследований

Исследования по теме проведены на полях Западно-Сибирской овощной опытной станции (ЗСООС) – филиал ФГБНУ «Федерального научного центра овощеводства» (Алтайский край, г. Барнаул). В качестве объектов исследований использовали перспективные образцы лука батун селекции ЗСООС. Площадь учетной делянки составляла 3м² в 4-кратной повторности.

Закладку опытного участка проводили на участке вне полей севооборота, при повторных посадках луковых культур. Площадь делянки при изучении образцов в коллекционном и селекционном питомниках – 3 м², повторность опыта 4-кратная. Результаты исследований обработаны с помощью однофакторного дисперсионного анализа, двухфакторного дисперсионного анализа, корреляционного анализа [5].

Посев производили семенами в открытый грунт вручную. Схема посева 70 × 8–10 см (густота стояния 178000 тыс. шт./га). Норма расхода семян 10 кг/га. Глубина заделки семян 2 см.

В течение вегетационного периода своевременно проводилось прореживание растений, рыхление почвы, прополки. Обработки против болезней не проводились.

Изучение и поддержание коллекционного материала проводили, руководствуясь методическими рекомендациями общепринятыми в овощеводстве и селекции [6].

Результаты исследований

Оценка селекционного материала при выращивании в однолетней культуре в условиях Приобья Алтайского края позволила получить достаточно полную характеристику лука батона как культуры и определить изменчивость по ряду важных хозяйственно ценных признаков:

- продолжительность межфазного периода «всходы – осеннее пожелтение листьев» варьирует в пределах 101–120 суток. Образцы, обладающие способностью к длительной вегетации: № 24, 32, 43, 44. Изменчивость образцов по данному признаку наблюдалась на низком уровне. Коэффициент вариации в целом по популяции равнялся $C_v = 2,6$. Крайние варианты 1,4 % (№ 102) и 4,1 % (№ 100, 134, 136).

- длина листа находится в пределах 34,5–43,1 см. Максимальной длиной листа отличаются образцы: № 102, 112, 126, 130, 137, 144, 171. Изменчивость признака «длина листа» по величине коэффициента вариации ($C_v =$ от 2,3 до 16,2 %) характеризуется как низкая и средняя. Среднее значение по эксперименту составило $C_v = 8,9$ %. Низкую степень изменчивости анализируемого признака имеют 67,4 % изучаемых образцов, в том числе стандартный сорт Нежность. Средняя степень изменчивости отмечена у 32,6 % образцов. Максимальной изменчивостью $C_v = 16,2$ % обладает образец № 13.

- ширина листа изучаемых образцов колеблется от 1,1 до 2,2 см. Изменчивость признака «ширина листа», определяемая коэффициентом вариации отмечена в пределах от 0,0 % до 13,5 %, при среднем популяционном значении 4,9 %. У основной части изучаемых образцов (89,1 %) варьирование признака составляет 3,0–9,1 %, при 6,7 % у стандартного сорта Нежность.

- число листьев находится в диапазоне 2,6–5,6 шт. на растение. Максимальные значения от 4,8 шт. до 5,6 шт. зарегистрированы у 6,5 % селекционных объектов: № 23, 43, 44, 105. Анализ изменчивости признаков образцов лука батона показал, что наиболее стабильным признаком, при возделывании в однолетней культуре, является признак «число листьев на растении». Коэффициент варьирования за годы исследования изменялся от 0,0 % (образцы № 125, 146) до 5,8 % у образца № 112, при среднепопуляционном значении $C_v = 2,4$ %.

- длина ложного стебля у селекционных образцов лука батона варьирует от 8,5 до 16,0 см. Стандартный сорт Нежность отмечен показателями данного признака на уровне 12,2 см. Превысили это значение 28,3 % образцов. Максимальные значения

(16,0 см) отмечены у образцов № 44,144.

При сравнительном морфометрическом и фенологическом анализе образцов лука батун определено, что изучаемые образцы относятся к японскому (4,0 %) и русскому подвиду (96,0 %). Русский подвид представлен образцами среднерусской (54,0 %) и южной группы (42,0 %).

При оценке признака «товарная урожайность» выявлен диапазон изменчивости от 0,9 кг/м² до 1,57 кг/м². Достоверное превышение показателя урожайности стандарта получили у образцов № 44 (1,57 т/га), № 126 (1,55 т/га), № 144 (1,53 т/га).

Максимальная изменчивость, из числа изученных признаков, выявлена у признака «товарная урожайность», где коэффициент вариации составляет C_v 16,6 %. Размах варьирования селекционных образцов находится в пределах 7,0 % – 30,9 %. Стабильны по этому показателю 6,5 % изученных образцов (№ 44, 125, 130). Среднее значение признака присуще основной массе селекционных объектов – 67,4 %. Значительной степенью изменчивости характеризуется группа из 23,9 % образцов.

Заключение

Проведенная оценка лука батун, при выращивании в однолетней культуре, позволила выделить образцы для практического использования в овощеводстве и в качестве источников хозяйственно ценных признаков в селекции.

В результате анализа изменчивости установлено, что наибольшая амплитуда варьирования характерна для признака «товарная урожайность». Остальные признаки характеризуются низкой изменчивостью.

Список литературы

- 1 Булох, И. В. Влияние возраста многолетних луков на урожайность и биологические показатели: науч. тр. Барнаул: Западно-Сибирская овоще-картофельная селекционная опытная станция, 1986. С. 144–147.
- 2 Иванова М.И., Кашлева А.И. Интродукция луков многолетних пищевого направления в условиях Московской области // Селекция, семеноводство и сортовая агротехника овощных, бахчевых и цветочных культур: сборник науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. VII Квасниковским чтениям. М., 2016. С. 128–132.
- 3 Гринберг Е.Г. Интродукция и внедрение в производство многолетних луков в условиях Сибири // Пути интенсификации овощеводства в Сибири, на Дальнем Востоке и задачи науки: тезисы докладов. Барнаул, 1979. С. 52–54.
- 4 Шишкина Е.В., Жаркова С.В., Алилуев А.В., Штайнерт Т.В. Оценка исходного материала культуры лук батун при возделывании в однолетней культуре // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 6 (212). С. 32–36
- 5 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
- 6 Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М: ВНИИО, 2011. 648 с.

Исследование хозяйственной ценности генов, контролирующих синтез меланинов в колосе ячменя (*Hordeum vulgare* L.)

Шоева О.Ю.^{1*}, к.б.н., с.н.с.; Глаголева А.Ю.¹, к.б.н., м.н.с.; Шмаков Н.А.¹, к.б.н., м.н.с.; Вихорев А.В.¹, асп., лаб.; Молобекова К.А.¹, студент, лаб.; Кукоева Т.В.¹, ст. лаб.; Морозов С.В.², к.х.н., зав. лаб.; Черняк Е.И.², к.х.н., с.н.с.; Хлесткина Е.К.³, д.б.н., директор института.

¹Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирск, Россия

³Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

*email: olesya_ter@bionet.nsc.ru

Меланины растений представляют собой полимерные пигменты полифенольной природы. Они зачастую присутствуют в семенах растений и издревле употребляются в пищу человеком, однако их потенциал в качестве функциональных пищевых ингредиентов исследован очень слабо и сегодня селекции, направленной на увеличение содержания данного типа пигментов в зерне сельскохозяйственных культур, не ведут. В представленной работе проводится изучение молекулярно-генетического контроля синтеза меланинов в зерне ячменя, а полученные данные используются для разработки генетических моделей для изучения хозяйственной ценности данного типа пигментов.

Ключевые слова: антиоксидантная активность; полифенольные соединения; маркер-опосредованная селекция; *Vlp1*; *Ppo*

Study of the economic value of genes that control the synthesis of melanins in barley (*Hordeum vulgare* L.) spike

Shoeva O.Yu.¹, Glagoleva A.Yu.¹, Shmakov N.A.¹, Vikhorev A.V.¹, Molobekova K.A.¹, Kukoeva T.V.¹, Morozov S.V.², Chernyak E.I.², Khlestkina E.K.³

¹Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

²N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

³N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

*email: olesya_ter@bionet.nsc.ru

Plant melanins are polymer pigments of polyphenolic nature. They are often present in plant seeds and have been consumed by humans since ancient times, but their potential as functional food ingredients has been very poorly studied and today there is no targeted selection for increased content of these pigments in grains of agricultural crops. In this study, the molecular-genetic control of melanin synthesis in barley grain was investigated. The data obtained are used to develop genetic models to study the economic value of this type of pigments.

Key words: antioxidant activity; polyphenol compounds; marker-assisted breeding; Blp1; Ppo

Меланины представляют собой полимерные полифенольные соединения с большим молекулярным весом и сложной кристаллической структурой [1]. Эти соединения широко представлены в природе. Они присутствуют во всех царствах живых организмов, включая бактерии, грибы, животные и растения. У растений эти пигменты синтезируются как правило в семенах, где они выполняет защитные функции. Показано, что образцы ячменя и овса, имеющие темное зерно, меньше поражаются фузариозом по сравнению с образцами со светлым зерном. Кроме этого, образцы с черными зернами более холодо- и засухоустойчивы по сравнению со светлозерными образцами [1].

Обладая антиоксидантной активностью, меланины проявляют высокую биологическую активность, что привлекают повышенное внимание к данной группе соединений в качестве пищевых добавок и ингредиентов, обладающих защитными, диетическими и лечебно-профилактическим действием [2]. Основными источниками растительного меланина являются чага березового гриба, но возобновление данного сырья в природных условиях является длительным процессом, и лужга подсолнечника с наличием балластной фракции и низким содержанием пигмента [2]. Поиск перспективных источников меланина является актуальной задачей.

У ячменя известны образцы с черной окраской колоса, которая обусловлена синтезом меланиновых пигментов в хлоропластах клеток перикарпа зерновки и чешуй колоса под контролем гена *Blp1* (*Black lemma and pericarp 1*), картированного на хромосоме 1HL [3]. В представленной работе проводится изучение молекулярно-генетического контроля синтеза меланинов в зерне ячменя, а полученные данные используются для разработки генетических моделей для изучения хозяйственной ценности данного типа пигментов.

Гены, вовлеченные в синтез меланина в колосе ячменя

С помощью анализа неравновесия по сцеплению в локусе *Blp1* было выявлено наличие ассоциации чёрной окраски колоса с заменами в нуклеотидной последовательности гена HORVU1Hr1G086780, что позволило разработать диагностические маркеры для локуса *Blp1*.

С помощью сравнительного транскриптомного анализа зерна черноколосой и белоколосой почти-изогенных линий ячменя показано, что образование меланина в зерне сопровождается изменением экспрессии генов биосинтеза фенилпропаноидов, жирных кислот и целлюлозы, что на биохимическом уровне сопровождалось изменением профиля фенольных соединений. Так, содержание бензойных кислот было выше, коричных – не отличалось, а флавоноидов – ниже в чёрноколосой линии, чем в линии, зерно которой не содержит меланин. Выявлена повышенная экспрессия гена *Ppo2* в оболочках зерна с черной окраской, с помощью генетического

анализа показано вовлечение этого гена в синтез меланиновых пигментов в чешуях колоса ячменя.

Генетические модели для изучения синтеза меланина и хозяйственной ценности генов, контролирующих его образование

С помощью маркер-опосредованной селекции был создан набор почти-изогенных линий ячменя на основе сорта Bowman, несущих ген *Blp1* в комбинации с генами *Ant1/Ant2*, *Alm1*, *Nud1*, *Ppo2*. Разработанные линии использовались для исследования особенностей генетической регуляции синтеза меланина в колосе ячменя, а также для выявления хозяйственной ценности генов, контролирующих синтез меланинов (см. таблицу).

Почти-изогенные линии ячменя, используемые в сравнительных исследованиях

№	Название линии	Аллельное состояние генов					Ссылка
		<i>Ant1, Ant2</i>	<i>Blp1</i>	<i>Ppo2</i>	<i>Nud1</i>	<i>Alm1</i>	
1	Bowman	<i>ant1, ant2</i>	<i>blp1</i>	<i>Ppo2</i>	<i>Nud1</i>	<i>Alm1</i>	[4]
2	i:Bw <i>Blp1</i>	<i>ant1, ant2</i>	<i>Blp1</i>	<i>Ppo2</i>	<i>Nud1</i>	<i>Alm1</i>	
3	i:Bw <i>Ant1Ant2</i>	<i>Ant1, Ant2</i>	<i>blp1</i>	<i>Ppo2</i>	<i>Nud1</i>	<i>Alm1</i>	
4	i:Bw <i>alm1</i>	<i>ant1, ant2</i>	<i>blp1</i>	<i>Ppo2</i>	<i>Nud1</i>	<i>alm1</i>	
5	i:Bw <i>Ant1Ant2Blp1</i>	<i>Ant1, Ant2</i>	<i>Blp1</i>	<i>Ppo2</i>	<i>Nud1</i>	<i>Alm1</i>	[5]
6	i:Bw <i>alm1Blp1</i>	<i>ant1, ant2</i>	<i>Blp1</i>	<i>Ppo2</i>	<i>Nud1</i>	<i>alm1</i>	[6]
7	i:Bw <i>Blp1Nud1</i>	<i>ant1, ant2</i>	<i>Blp1</i>	<i>Ppo2</i>	<i>nud1</i>	<i>Alm1</i>	[7]
8	i:Bw <i>Blp1ppo2</i>	<i>ant1, ant2</i>	<i>Blp1</i>	<i>ppo2</i>	<i>Nud1</i>	<i>Alm1</i>	данное исследование
9	i:Bw <i>ppo2</i>	<i>ant1, ant2</i>	<i>blp1</i>	<i>ppo2</i>	<i>Nud1</i>	<i>Alm1</i>	

Комбинация доминантных аллелей гена *Blp1* с генами *Ant1*, *Ant2*, контролирующими образование антоцианов в зерне ячменя, показала, что ген *Blp1* положительно влияет на содержание антоцианов в зерновке, повышая их количество почти в два раза по сравнению с фиолетовозёрной линией, у которой ген *Blp1* находится в рецессивном состоянии (рис. 1).

При комбинировании доминантного аллеля гена *Blp1* и рецессивного аллеля гена *Alm1*, контролирующего образование хлорофилла в чешуях колоса, было показано замедление синтеза меланина в колосе ячменя по сравнению с контрольной линией, несущей доминантный аллель гена *Alm1*.

При комбинировании доминантного аллеля гена *Blp1* и рецессивного аллеля гена *Nud1*, контролирующего признак плёнчатости, была разработана генетическая модель, которая использовалась для анализа транскрипционной активности генов *Ppo* в тканях перикарпа и чешуёй колоса по отдельности. Показан вклад гена *Ppo2* в образование меланина в чешуях колоса ячменя.

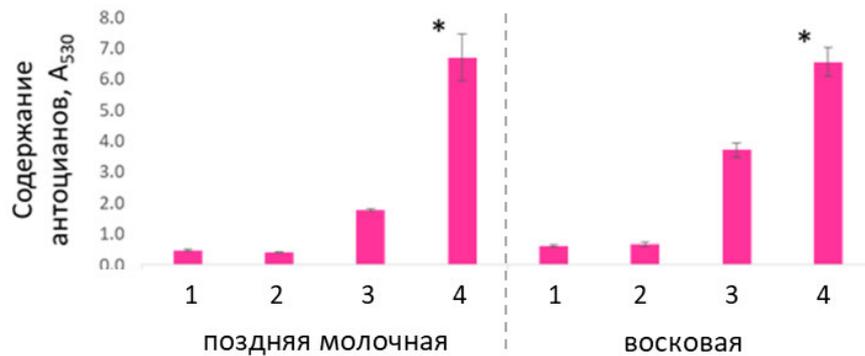


Рис. 1. Содержание антоцианов в зерне сорта Bowman (1) и линий *i:BwB1p1* (2), *i:BwAnt1Ant2* (3), *i:BwAnt1Ant2B1p1* (4) на поздней молочной и восковой стадиях развития зерна.

* – достоверно большее содержание антоцианов по сравнению с фиолетовозёрной линией при $p < 0.05$ (U -тест)

Рецессивный аллель гена *Pro2* был сккомбинирован с доминантным и рецессивным аллелями гена *B1p1*. Линия *i:BwB1p1ppo2*, несущая доминантный аллель *B1p1*, характеризовалась наличием светлых чешуй колоса, что подтверждает участие гена *Pro2* в синтезе меланина в чешуях колоса ячменя. При анализе общего содержания фенольных соединений в зерне созданных линий с помощью реактива Фолина-Чокалтеу показано достоверно большее содержание фенольных соединений как у белозерной *i:Bwppo2*, так и у чернозерной *i:BwB1p1ppo2* линий, несущих рецессивный аллель гена *Pro2*, по сравнению с их сестринскими линиями Bowman и *i:BwB1p1*, у которой этого ген присутствовал в доминантном состоянии соответственно (рис. 2, А). При этом наибольшее содержания фенольных соединений наблюдалось у линии *i:BwB1p1ppo2*.

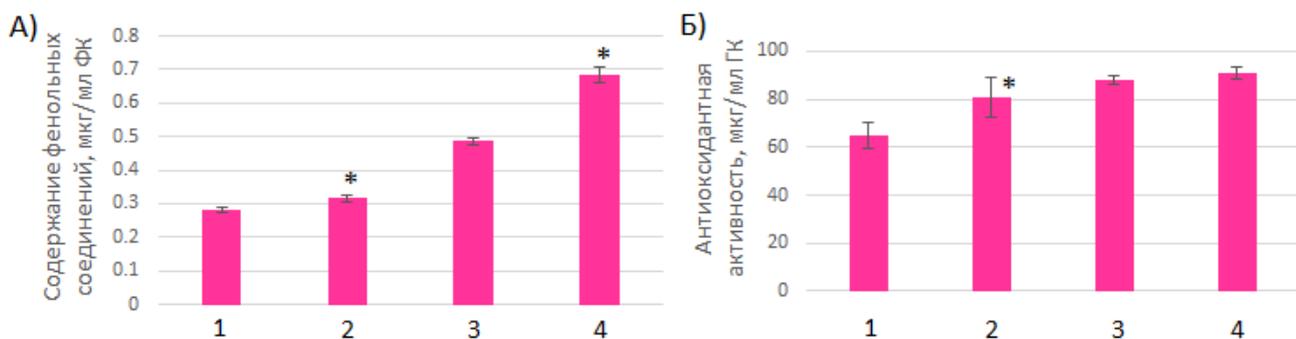


Рис. 2. Суммарное содержание фенольных соединений (А) и антиоксидантов (Б) в метанольных экстрактах зерна сорта Bowman (1) и линий *i:Bwppo2* (2), *i:BwB1p1* (3), *i:BwB1p1ppo2* (4), измеренное в эквивалентах фолиевой (ФК) и галловой (ГК) кислот, соответственно.

* – достоверно большее значение по сравнению с линиями с доминантными аллелями гена *Pro2* при $p < 0.05$ (U -тест)

Линии, несущие рецессивный аллель гена *Pro2*, характеризовались повышенным суммарным содержанием антиоксидантов, которое в случае белозерной линии было достоверно выше, чем у сестринской линии, несущей доминантный аллель *Pro2* (см. рис. 2, Б).

На морфологическом уровне отрицательного влияния локуса *Vlp1* на показатели продуктивности растений выявлено не было.

Таким образом, в ходе исследования были выявлены гены, контролирующей синтез меланиновых пигментов в колосе ячменя, и их перспективные комбинации, в том числе с другими генами, для проведения селекции на качество зерна.

Финансирование: работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 21-76-10024.

Список литературы

- 1 Glagoleva A.Y., Shoeva O.Y., Khlestkina E.K. Melanin pigment in plants: current knowledge and future perspectives // *Front. Plant Sci.* 2020. V. 11. № 770, P. 1–7.
- 2 Школьников М.Н., Кадрицкая Е.А. Обоснование использования лужги гречихи для получения функциональных пищевых красителей // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2020. № 4. С. 22–28.
- 3 Shoeva O.Y., Mursalimov S.R., Gracheva N.V., Glagoleva A.Y., Börner A., Khlestkina E.K. Melanin formation in barley grain occurs within plastids of pericarp and husk cells // *Sci. Rep.* 2020. V. 10. № 179. P. 1–9.
- 4 Druka A., Franckowiak J., Lundqvist U., Bonar N., Alexander J., Houston K., Radovic S., Shahinnia F., Vendramin V., Morgante M., et al. Genetic dissection of barley morphology and development // *Plant Physiol.* 2011. V. 155. P. 617–627.
- 5 Glagoleva A., Kukoeva T., Mursalimov S., Khlestkina E., Shoeva O. Effects of combining the genes controlling anthocyanin and melanin synthesis in the barley grain on pigment accumulation and plant development // *Agronomy.* 2022. V. 12. № 112. P. 1–12.
- 6 Mursalimov S., Glagoleva A., Khlestkina E., Shoeva O. Chlorophyll deficiency delays but does not prevent melanogenesis in barley seed melanoplasts // *Protoplasma.* 2022. V. 259. P. 317–326.
- 7 Glagoleva A.Y., Kukoeva T.V., Khlestkina E.K., Shoeva O.Y. Polyphenol oxidase genes in barley (*Hordeum vulgare* L.): functional activity with respect to black grain pigmentation // *Front. Plant Sci.* 2024. V. 14. № 1320770. P. 1–12.

DOI 10.18699/GPB2024-107

Результаты селекции гороха на повышение урожайности в Татарском НИИСХ

*Шурхаева К.Д.**, к.с.-х.н. с.н.с.; *Хуснутдинова А.Т.* к.с.-х.н., н.с.; *Абросимова Т.Н.*, н.с.

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

**email: shurhaeva.k@yandex.ru*

*За три года исследования выявлены особенности различных морфологических групп сортов гороха по формированию урожайности в зависимости от погодных условий. В годы исследования обнаружена положительная взаимосвязь урожайности от продолжительности вегетационного периода ($r=0,44^{**}$, $r=0,54^{**}$). Селек-*

ционную и практическую ценность для зернового использования имеют усатые генотипы Нарат, Салават, КТ-6646, КТ-6650 с лущильными бобами (PV) и Фрегат, Велес, Средневожский 2, Купидон, Кабан тонкими створками (pV, Pv), сочетающие высокий уровень урожайности и устойчивость к полеганию.

Ключевые слова: горох; урожайность; вегетационный период; высота; корреляционный анализ

Results of pea breeding for yield increase at the Tatar Research Institute of Agriculture

*Shurkhaeva K.D. *, Khusnutdinova A.T., Abrosimova T.N.*

Tatar Research Institute of Agriculture Federal Research Center "Kazan Research Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, Russia

**email: shurhaeva.k@yandex.ru*

*For three years of research the features of different morphological groups of pea varieties on formation of yield depending on weather conditions were revealed. A positive relationship between yield and growing season length was found in the years of study ($r=0.44^{**}$, $r=0.54^{**}$). Of breeding and practical value for grain use are mustached genotypes Narat, Salavat, KT-6646, KT-6650 with peeling beans (PV) and Fregat, Veles, Srednevolzhsky 2, Kupidon, Kaban with thin flaps (pV, Pv), combining a high level of yield and resistance to lodging.*

Key words: peas; yield; growing season; height; correlation analysis

Значительная роль в повышении урожайности и увеличении валовых сборов зерна гороха принадлежит селекции новых сортов [1]. Создание сортов с внедрением в генотип аллелей короткостебельности (le), безлисточковости (af), позволяет обеспечить уборку гороха способом прямого комбайнирования и определяет их устойчивость к полеганию [2–4]. Наибольший успех в селекции на повышение урожайности достигнут за счет создания сортов, характеризующихся частичным пергаментным слоем в створках боба (pV, Pv) и сохраняется вдоль верхнего и нижнего шва. Сорты представленного генотипа обладают устойчивостью к растрескиванию бобов и осыпанию семян и отличаются высокими адаптивными свойствами [6].

Целью исследований являлось выявление хозяйственно ценных признаков сортов гороха, влияющие на повышение урожайности.

Методика исследований. В качестве объектов изучены 17 перспективных образцов и 12 сортов гороха собственной селекции, с различной формой листа и боба, высеянных в питомнике конкурсного сортоиспытания за период 2021–2023 гг. Полевую оценку проводили согласно методике Госортокомиссии (2019). Достоверность полученных результатов доказана с помощью однофакторного дисперсионного, корреляционного анализа (Доспехов, 2011). За годы исследования погодные

условия значительно различались по распределению влагообеспеченности и температурного режима. В 2021 году складывались остро засушливые условия за весь вегетационный период. В 2022–2023 гг. на фоне достаточного увлажнения в первой и второй фазе вегетации растений среднесуточная температура была выше нормы.

Результаты и обсуждение. За три года исследования выявлены особенности различных морфологических групп сортов гороха по формированию урожайности в зависимости от погодных условий. В засушливых условиях большинство сортообразцов усатого морфотипа и ярусной гетерофилией листа с луцильными бобами имели низкий уровень урожайности 0,84–1,38 т/га.

Таблица 1–Характеристика генотипов гороха по урожайности, 2021–2023 гг.

Генотип		Урожайность, т/га предел		
лист	боб	2021	2022	2023
Ватан ст.	<i>PV</i>	1,00	2,38	2,82
<i>af</i>		0,86–1,38	2,25–2,89	2,34–3,60
<i>T₁₋₃ (af-tac)</i>		0,84–1,29	2,42–2,47	2,66–3,01
<i>af</i>	<i>pV Pv</i>	1,20–2,25	2,23–2,79	2,86–3,44
Кабан ст.		1,28	2,76	3,24
<i>Af</i>		1,14	2,82	3,32
	<i>PV</i>	0,85–1,21	2,17–2,70	2,65–2,89
НСР ₀₅		0,197	0,177	0,188

Достоверную прибавку имел безлисточковый образец КТ-6674 (0,38 т/га) и гетерофильная форма КТ-6681 (0,29 т/га). В годы достаточного увлажнения в период налива семян (2022 г.) и линейного роста растений (2023 г.) из возделываемых сортов максимального уровня урожайности генотипы достигли сорта Нарат и Салават со значением показателя 2,83–2,89 т/га и 3,07–3,04 т/га (табл. 1). В 2023 году среди перспективных образцов лучшим оказался КТ-6638 с урожайностью 3,60 т/га.

Высокой степенью засухоустойчивости характеризовались генотипы с частичной деформацией формирования лигнина в створках боба максимально до 2,25 т/га. Также лучшими оказались сорта Велес, Средневолжский 2, Купидон (1,40; 1,79 т/га). В 2022 году отмечено снижение потенциала урожайности у некоторых беспрегаментных форм из-за прошедших ливневых дождей в фазе налива семян, что привело к поражению их болезнями. В 2023 году преимущество по реализации урожайности на максимально высоком уровне до 3,44 т/га имел сорт Средневолжский 2. Среди листочковых форм стандартный сорт Кабан с тонкими створками боба имел преимущество по сравнению с аналогичными сортами в засушливых условиях, а в благоприятные годы незначительно уступал образцу КТ-6686.

Данные по продолжительности вегетации указывают, что генотипы усатой группы с луцильными бобами относятся в одну группу спелости со стандартом, но с тенденцией увеличения на 2–3 суток. Большинство образцов представленной группы отличались короткостебельным стеблем в зависимости от года исследования в пределах 42–50 см; 45–57; 48–56 см. Среднерослые образцы КТ-6682, КТ-6664,

КТ-6674 с высотой стебля в среднем 67, 71, 76 см что в меняющихся условиях среды, особенно в годы с избыточным увлажнением будет определять снижение устойчивости к полеганию.

Морфологическая группа сортов с наличием тонких створок боба выделялись наиболее продолжительным периодом вегетации, превышающие стандарт на 4–5 суток. В 2023 году вегетационный период суток у трех перспективных образцов КТ-6649, КТ-6696, КТ-6679 и сорта Велес максимально составлял 74 суток (табл. 2).

Таблица 2 – Хозяйственные и биологические свойства сортов гороха 2021–2023 гг.

Генотип		Число суток вегетации			Высота растения, см		
лист	боб	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Ватан ст.	<i>PV</i>	55	62	69	45	48	52
<i>af</i>		54–58	59–64	69–72	42–63	45–74	48–74
<i>T₁₋₃ (af-tac)</i>		56–58	62–67	69–74	40–79	45–75	68–75
<i>af</i>	<i>pVили Pv</i>	57–59	64–66	71–74	50–74	47–70	56–77
Кабан ст.		57	63	71	56	47	58
<i>Af</i>		57	65	73	60	55	66
	<i>PV</i>	54–59	59–67	68–75	49–80	43–75	50–72

Более ранним завершением фазы всходы–полное созревание по отношению к стандарту и в сравнении с аналогичными формами гороха на 2–3 суток отличались генотипы Фрегат, Купидон и Средневожский 2 с продолжительностью в среднем до 64 суток.

Среднерослые сорта Фрегат, Велес и новые генотипы Купидон и КТ-6649 даже в засушливых условиях достигали высоты 68,0–74,0 см, в условиях достаточного увлажнения в фазе всходы-цветение до 75,0–77,0 см и представляют интерес для использования на зерноукосные цели.

Листочковые сортообразцы Тан и КТ-6700 с более ранним и поздним сроком созревания на 4 суток по отношению к стандарту при высоте стебля в благоприятные годы до 68,0–75,0 см уступали по устойчивости к полеганию формам усатого морфотипа. К короткостебельной группе относились возделываемые сорта Венец с луцильными бобами, Кабан и перспективный образец КТ-6686 с тонкими створками боба, высота стебля в среднем по годам составляла 47,0; 54,0; 60,0 см.

Проведенным корреляционным анализом основных селекционно ценных показателей (урожай, вегетационный период, высота растений) обнаружены направленности взаимосвязей в общем наборе конкурсного сортоиспытания.

В засушливых условиях 2021 года выявлена положительная зависимость урожайности от продолжительности вегетационного периода ($r=0,44^{**}$) и длины растений ($r=0,69^{**}$). Отмечена одинаковая положительная зависимость между длиной растений и вегетационным периодом ($r=0,52^{**}$).

В 2022 и 2023 годы корреляционный анализ показал, что образцы с небольшим отклонением продолжительности вегетационного периода от стандарта в пределах

3–4 суток реализовали потенциал урожайности на более высоком уровне ($r=0,54^{**}$).

Селекционную и практическую ценность для зернового использования имеют короткостебельные усатые образцы с луцильными бобами (*PV*) КТ-6646, КТ-6650 Нарат, Салават сочетающие высокий уровень урожайности, устойчивости к полеганию (табл. 3).

Таблица 3 – Ценные генотипы гороха с луцильными бобами, 2021–2023 гг.

Сорта, образцы	Урожайность, т/га	Вегетационный период, сут.	Высота растения, см
Ватан ст.	1,00–2,82	55–69	45–52
Нарат	1,17–3,04	57–72	50–55
Салават	0,98–3,07	56–70	44–52
6650	1,21–2,92	57–70	44–53
6646	1,20–3,24	58–72	43–55

Высокоурожайные безлисточковые образцы с деформацией формирования лигнина (*pV*, *Pv*) Фрегат, Велес, Средневожский 2, Купидон, КТ-6696, КТ-6679, КТ-6689, Кабан (обычный тип листа) с более продолжительным вегетационным периодом обеспечивают устойчивость к растрескиванию бобов, засухоустойчивость (табл. 4).

Таблица 4 – Ценные генотипы гороха с беспергаментными бобами, 2021–2023 гг.

Сорта, образцы	Урожайность, т/га	Вегетационный период, сут.	Высота растения, см
усатый max-min			
Ватан ст.	1,00- 2,82	55–69	45–52
Фрегат	1,20–2,86	57–72	57–69
Велес	1,40–3,07	59–74	57–75
Средневожский 2	1,40–3,44	57–71	50–65
Купидон	1,76–3,06	57–71	68–77
6696	2,15–3,19	59–74	55–63
6649	2,25–3,24	59–74	58–74
6679	1,81–3,32	58–74	50–62
6689	1,87–3,09	58–72	50–65
листочковый max-min			
Кабан	1,28–3,24	57–71	47–58

В результате селекционной работы выделенные селекционные достижения и перспективные линии представляют практическую ценность для решения проблемы повышения производства гороха.

Список литературы

- 1 Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П. Магафуров Ф.Ф. Сравнительное изучение хозяйственно-биологических признаков у сортов гороха, созданных в Республике Башкортостан за последние 30 лет // Известия Оренбургского ГАУ. 2020. № 4 (84). С. 72–77.
- 2 Зеленев А.Н., Задорин А.М., Зеленев А.А., Кононова М.Е Селекция усатых сортов гороха в ФНЦ зернобобовых и крупяных // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 1 (33). С. 156–161.

- 3 Шакирзянова М.С., Шагаев Н.А. Результаты селекции гороха посевного в Ульяновском НИИСХ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 2 (46). С. 10–18.
- 4 Шурхаева К.Д., Фадеева А.Н. Абросимова Т.Н., Кириллова Е.С., Сайфутдинова Д.Д. Новый сорт гороха Нарат с ценными свойствами по качеству белка // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 4 (48). С. 156–161.
- 5 Фадеева А.Н., Шурхаева К.Д. Адаптивные свойства сортов гороха посевного селекции Татарского НИИСХ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4 (40). С. 5–14.

DOI 10.18699/GPB2024-108

Анализ репитома вида *H. flavescens* рода *Hedysarum* и поиск перспективных хромосомных маркеров

Юркевич О. Ю. *, к.б.н., с.н.с.; Саматадзе Т. Е., к.б.н., с.н.с.; Семенов А.Р., ст. лаб.;
Зошчук С.А., к.б.н., н.с.; Амосова А.В., к.б.н., в.н.с.; Муравенко О.В., д.б.н., гл.н.с.

ФГБУН Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, Москва,
Россия

*email: olikys@gmail.com

На основе NGS данных геномной ДНК проведен биоинформатический анализ репитома вида *Hedysarum flavescens* Rgl. et Schmalh. сек. *Hedysarum* рода *Hedysarum* с помощью программы RepeatExplorer2/TAREAN. Изучена структура выявленных сателлитных ДНК и проведено их FISH-картирование на метафазных хромосомах *H. flavescens*. Определены кластерно локализованные тандемные повторы, которые можно использовать как хромосомные маркеры.

Ключевые слова: *Hedysarum* L.; репитом; тандемные повторы; FISH анализ; хромосомный полиморфизм

Repeatome analysis of the *Hedysarum flavescens* genome and search for promising chromosomal markers

Yurkevich O.Yu. *, Samatadze T.E., Semenov A.R., Zoshchuk S.A., Amosova A.V.,
Muravenko O.V.

Engelhardt Institute of Molecular Biology, RAS, Moscow, Russian Federation.

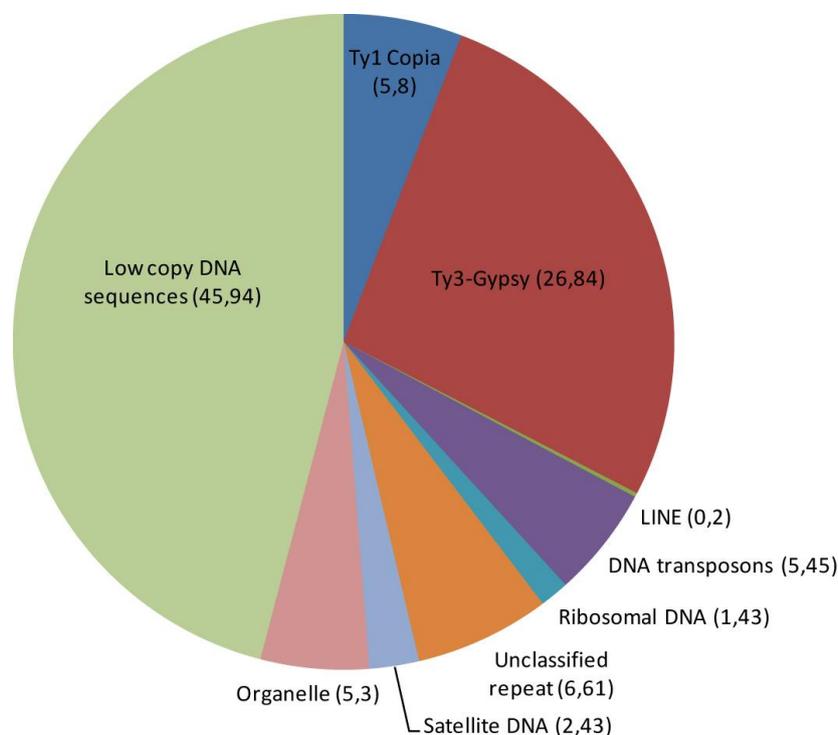
*email: olikys@gmail.com

In the present study, the repeatome of *H. flavescens* was studied using high-throughput sequencing technologies, and a subsequent bioinformatic analysis of the identified repeat elements was carried out using the RepeatExplorer2 and Tandem Repeat Analyzer (TAREAN) software. Several satellite DNAs, which can be used as chromosomal markers, were revealed. FISH-based chromosome localization of these marker tandem repeats was demonstrated in the karyotype of *H. flavescens*.

Key words: next-generation sequencing (NGS); *Hedysarum* L.; repeatome; tandem DNAs; FISH analysis; chromosome variability

Фитохимия и фармакология видов рода *Hedysarum* продолжает привлекать повышенное внимание во всем мире среди тех, кто участвует в исследованиях и разработке новых препаратов. Из ценных лекарственных видов копеечника секции *Hedysarum* (*Gamotion*) (*H. alpinum* L., *H. flavescens* Rgl. et Schmalh., *H. neglectum* Ledeb, *H. theinum* Krasnob.) производятся биологически активные добавки, которые обладают иммуномодулирующими свойствами и используются в лечении и профилактике вирусных, онкологических и многих других заболеваний [1–3]. Исследования геномов растений служит важным дополнением к обеспечению ценными данными, касающимися геномных ресурсов различных видов.

Для изучения репитома и выявления новых молекулярных маркеров хромосом впервые проведено секвенирование генома *H. flavescens* по технологии BGI на основе NGS. Нами был проведён комплексный биоинформатический анализ репитома *H. flavescens* с помощью программы RepeatExplorer2/TAREAN [4]. В среднем, большую часть повторяющейся ДНК составляют мобильные элементы, 38 % относятся к мобильным элементам класса 1, а около 5,45 % – к мобильным элементам класса 2. LTR ретротранспозоны являются наиболее распространенными мобильными элементами класса 1, из них суперсемейства Ty3-gypsy 26,84% (в основном Athila, Tekay) и Ty1-copia 5,8 % (в основном SIRE) (см. рисунок). Сателлитные повторы составляют небольшую долю от генома *H. flavescens* – 2,43 %.



Типы высокоповторяющихся последовательностей ДНК в геноме *H. flavescens*.
Пропорция каждого типа или семейства повторов показана в скобках

С помощью программы для поиска tandemных повторов TAREAN, было идентифицировано несколько перспективных предполагаемых сателлитных повторов, которые могут быть использованы как потенциальные цитогенетические маркеры для *Hedysarum*. BLAST анализ некоторых сателлитных повторов показал 73–100 % гомологии с последовательностями из родственных геномов *Medicago truncatula* и *Trifolium fragiferum* сем. Бобовых. Для изучения структуры кариотипа видов сек. *Hedysarum* в качестве проб использовали 11 сателлитных повторов. Из них повторы с наименьшей долей в геноме давали очень слабые сигналы FISH в прицентромерных областях хромосом *H. flavescens* или сигнал гибридизации отсутствовал. По данным FISH, четыре наиболее распространенных tandemных повтора показали прицентромерное распределение на хромосомах *H. flavescens* ($2n=14$), что позволило уточнить морфологию хромосом в кариотипе. Два коротких tandemных повтора у изученного вида локализовались только на одной паре спутничных хромосом. Tandemный повтор HF 21 имел достаточно высокую пропорцию в геноме у *H. flavescens*, сигналы гибридизации HF 21 были выявлены в прицентромерных и субтеломерных районах длинного плеча нескольких хромосом. Таким образом, в результате наших исследований выявлены перспективные хромосомные маркеры, которые можно использовать для характеристики кариотипов видов сек. *Hedysarum*, а также для оценки внутри- и межвидового разнообразия.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 23-26-00037.

Список литературы

- 1 Зиннер Н.С., Кукушкина Т.А., Высочина Г.И., Свиридова Т.П. Биологически активные вещества *Hedysarum alpinum* L. и *H. theinum* Krasnob. (*Fabaceae*), интродуцируемых в Томскую область // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2010. Т. 12, № 4. С. 116–122.
- 2 Неретина О.В., Громова А.С., Луцкий И.В., Семенов А.А. Компонентный состав видов рода *Hedysarum* (*Fabaceae*) // Растительные ресурсы. 2004. Т. 40, вып. 4. С. 111–137.
- 3 Фёдорова Ю.С., Сухих А.С., Кузнецов П.В. Ключевые биологически активные вещества фитопрепаратов на основе растений рода Копеечник // Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т.11, вып. 5. С. 708–713.
- 4 Novak P., Neumann P., Pech J., Steinhaisl J., Macas, J. RepeatExplorer: a galaxybased web server for genome-wide characterization of eukaryotic repetitive elements from next-generation sequence reads // Bioinformatics. 2013. V. 29, P. 792–793.

Геномные области, связанные с массой тысячи зерен твердой пшеницы, в условиях Западной Сибири

*Юсов В.С.**, к.с.-х. наук, в.н.с., зав. лабораторией селекции твердой пшеницы; *Евдокимов М.Г.*, д.с.-х. наук, г.н.с. лаборатории селекции твердой пшеницы.

Омский аграрный научный центр, г. Омск, Россия

**email: yusov@anc55.ru*

Крупность зерна имеет важное значение в селекционной программе по улучшению твердой пшеницы, так как она влияет на выход семолины. Исследование было направлено на использование GWAS для определения геномных областей твердой пшеницы в Западной Сибири, связанных с массой 1000 зерен. Были идентифицированы 11 QTL, из них 2 новые для увеличения массы 1000 зерен.

Ключевые слова: твердая пшеница; сорт; масса 1000 зерен; GWAS

Genomic regions associated with thousand grain weight of durum wheat in the conditions of Western Siberia

Yusov V.S., Evdokimov M.G.

FSBSI "Omski Agricultural Scientific Center", Omsk, Russia

**email: yusov@anc55.ru*

Grain size is important in the breeding program to improve durum wheat, as it is related to the quantity of semolina. The study aimed to use GWAS to determine the genomic regions of durum wheat in Western Siberia associated with a weight of 1000 grains. 11 QTLs were identified, of which 2 were new to increase the weight of 1000 grains.

Key words: durum wheat, variety; weight of 1000 grains; GWAS

Основное назначение твердой пшеницы – сырье для изготовления макаронных изделий, которые сохраняются длительный срок и содержат хорошо сбалансированный белок. Основной ареал возделывания твердой пшеницы в Западной Сибири – степная и южная лесостепная зоны. Это типичный аридный регион, с недобором осадков и высокими температурами в отдельные периоды вегетации, что зачастую является причиной резкого снижения урожайности [1–3]. В Западной Сибири урожайность сортов твердой пшеницы складывается из следующих компонентов: количества продуктивных побегов, количества зерен в колосе, массы зерна в колосе и массы 1000 зерен. Кроме того крупность зерна при размоле напрямую влияет на выход количества семолины. Варьирование массы 1000 зерен зависит от генотипа сорта и погодных условий, складывающихся в период налива и созревания зерна твердой пшеницы. Идентификация генов устойчивости и локусов количественных признаков являются ключевыми элементами успешной селекционной программы. Общегеномные исследования ассоциаций (GWAS) были успешно использованы для

картирования генетических локусов и анализа геномных областей, лежащих в основе нескольких жизненно важных признаков в пищевых культурах, таких как ячмень, мягкая пшеница. По твердой пшенице результаты GWAS получены для урожайности, устойчивости к патогенам, засухоустойчивости, архитектуры корневой системы [4–6]. Все эти исследования были проведены на Европейских, Африканских и Американских континентах. В Западной Сибири такие исследования не проводились.

Основными слагающими успешного создания новых сортов являются: наличие исходного материала с генетическим разнообразием; целенаправленный подбор родительских компонентов при гибридизации; эффективный отбор генотипов в поколениях. В связи с этим остро стоит проблема поиска новых генов и разработка способов их использования. Последний аспект приобретает все большее значение в связи с возможностями молекулярной селекции.

Работа проведена в рамках Гранта «Хлеба России». Объектом исследований служили 149 образцов яровой твердой пшеницы. Полевые опыты проводились в 2021–2023 гг. на опытных полях Омского АНЦ по чистому пару в полном соответствии с требованиями и рекомендациями [7, 8]. Площадь делянок 3 м². Почва опытного поля – чернозем слабо выщелоченный, среднегумусный (6,2 %), тяжелосуглинистый, pH водной вытяжки 6,5. Содержание нитратного азота в слое 0–40 см среднее (16,4 мг/кг по Грандваль-Ляжу), обеспеченность фосфором высокая – 157 мг/кг почвы, калием – очень высокая – 324 мг/кг. Экстракцию ДНК проводили из 7-дневных проростков зерен пшеницы с помощью готового набора реактивов «ДНК-Экстран-3». Концентрацию измеряли на флуориметре Maxlife. Секвенирование ДНК было выполнено в Курчатовском геномном центре на приборе Novaseq 6000 с использованием протокола Illumina. Выравнивание было проведено в центре вычислительной биологии, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого по референсному геному Svevo.v1 [9], в результате было получено 81035 локусов. Общегеномный анализ ассоциаций проводили по шести моделям, которые включали модель с одним локусом: смешанную линейную модель (MLM) и пять мультилокусных моделей, а именно байесовскую модель неравновесия информации и связей с итеративно вложенным ключевым каналом (BLINK), смешанную линейную модель с несколькими локусами (MLMM), фиксированную и случайную модели объединения вероятности циркуляции (FarmCPU), расчет MLM при прогрессивно исключаящих отношениях (SUPER) с использованием “GAPIT” в пакете R и 3-компонентная мультилокусная смешанная линейная модель со случайным SNP-эффектом (*3VmrMLM*) [10, 11].

Метеорологические условия в годы исследований были засушливые. Основным лимитирующим фактором в период исследования была влагообеспеченность растений (рис. 1). Наиболее контрастным был 2022 г. (от сильной засухи в мае до избыточного увлажнения в июле). Сильный недобор осадков, повышенная температура и суховеи наблюдались в 2021 и 2023 гг.

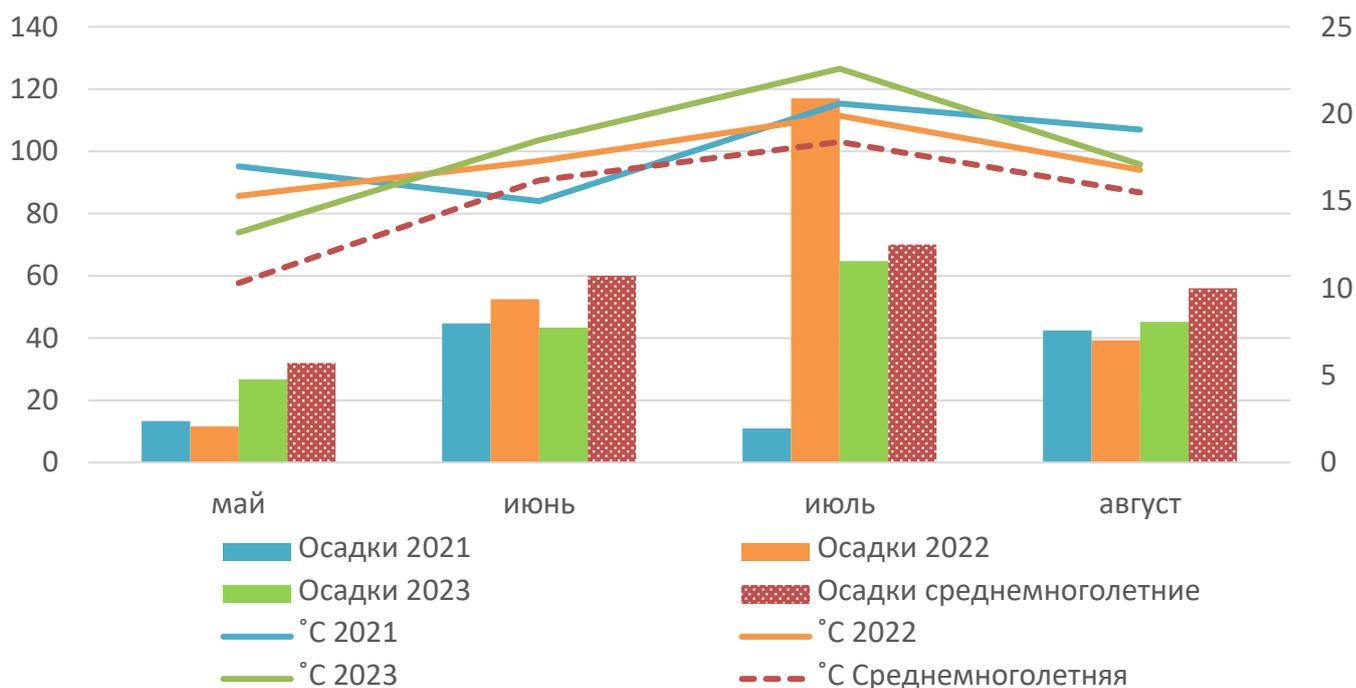


Рис. 1. Температура и осадки, 2021–2023 гг., май–август

Среднее значение признака по опыту составило 35,2 г и изменялось от 27,3 до 45,8 г (рис. 2). По годам вариация составила 28,8–59,5 г в 2021 г., 26,8–52,9 в 2022 г. и 15,2–45,0 г в 2023 г. Крупное зерно формировали сорта: Жемчужина Сибири, Омский циркон, Омский малахит, Горд.14-32-1, Таганрог, Воронежская 13, Гусельская, Безенчук-Орловская 1, Золотая, Целинница, Ясенка, Донская элегия, Безенчукская золотистая, Николаша, Памяти Янченко, Луч 25, Безенчукская 205 – 40,2–45,8 г.

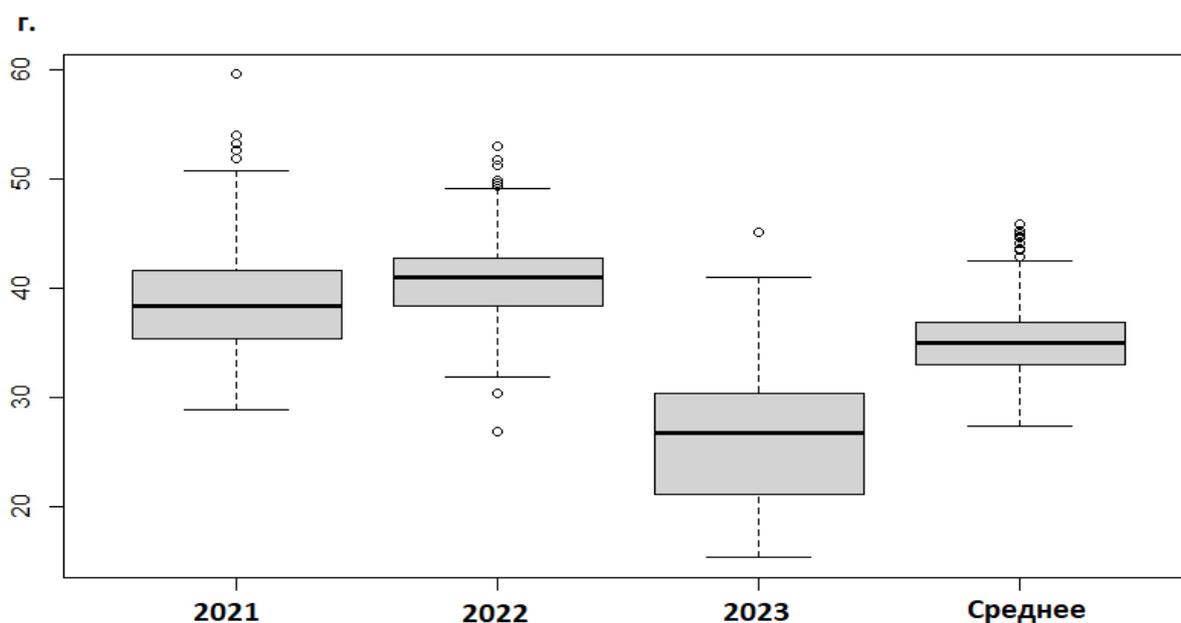


Рис. 2. Бокс-плот массы 1000 зерен по годам

Наблюдаемая частота минорных аллелей (MAF) была смещена в сторону аллелей с $MAF < 0,25$, отмечено преобладание мономорфных маркеров и представленность SNP с MAF менее $0,25$ (рис. 3). На долю редких ($MAF < 0,05$) пришлось около $5,5\%$ от общего числа полиморфных аллелей.

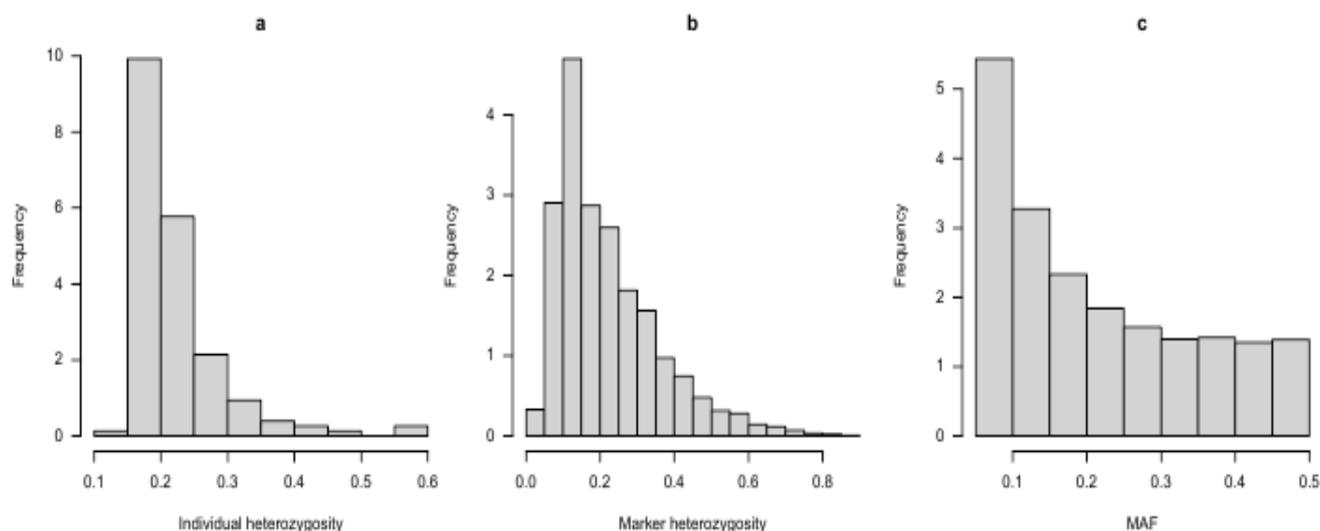


Рис. 3. Распределение частот гетерозиготности и MAF (минорных аллелей) твердой пшеницы

Вышеупомянутые методы выявили 69 QTN, идентифицированных на протяжении всего эксперимента (табл. 1), наибольшее их количество обнаружено в хромосомах 2В, 3В, 4А 7А.

Таблица 1 – Распределение значимых QTN по хромосомам

Хромосома	Число QTN	Число QTN, идентифицированных несколькими моделями	R^2 (%)
1А	3	0	1,8–3,3
1В	6	0	1,2–5,0
2А	4	0	3,1–3,6
2В	11	1	2,1–7,7
3А	1	0	4,3
3В	7	0	1,7–4,9
4А	7	0	2,1–4,5
4В	5	0	1,6–3,0
5А	2	1	1,3–4,0
5В	4	0	2,1–4,4
6А	4	0	2,2–4,4
6В	4	0	2,0–5,6
7А	7	1	1,8–5,5
7В	4	0	2,6–6,0

Все модели показали хорошие результаты в контроле популяционных и семейных структур, что подтверждается соответствующими графиками Q-Q. Два QTN в хромосомах 2В и 5А были обнаружены несколькими моделями, а один в 7А всеми моделями. Значения R^2 для QTN были равны $1,8-7,7$, и они указывают на уровень фенотипической изменчивости.

Гены-кандидаты, участвующие в различных процессах, связанных с изменением массы 1000 зерен, представлены в таблице 2. Согласно информации о распаде LD для каждой хромосомы, геномная область из десяти Мбит вокруг каждого значимого SNP (пять Мбит вниз по течению и пять Мбит вверх по течению от значимого SNP) считается QTL. На основе этого подхода было идентифицировано 11 QTL. Идентифицированные гены-кандидаты были разделены на две группы: гены с функциональными аннотациями и гены без функциональных аннотаций. Среди них, 2 в хромосомах 2В и 5А являются новыми QTL, поскольку ранее не сообщалось об этих геномных областях для их связи с массой 1000 зерен. Остальные QTL связаны с генами, кодирующими компоненты клеточной мембраны, регуляторами передачи сигнала, функциями связывания металлов, связывание АТФ, активности киназы. Также можно отметить ген *TRITD_7Av1G273230*, позицию которого определили все модели GWAS анализа.

Таблица 2 – Гены-кандидаты, расположенные вблизи стабильных QTN

Хромосома	Позиция	P.value	Стабильные QTN	Протеин (функция)
1A	7757300	6.56E-06	<i>TRITD_1Av1G003590</i>	Cellular component membrane
1A	539125202	1.03E-08	<i>TRITD_1Av1G206790</i>	Cellular component membrane
2A	137627939	1.34E-06	<i>TRITD_2Av1G060750</i>	Golgi-associated olfactory signaling regulator 1 hit
2B	57613667	1.20E-09		Ранее не идентифицированы
2B	701120399	4.41E-25	<i>TRITD_2Bv1G231880</i>	Molecular function metal ion binding
3B	58620484	2.72E-07	<i>TRITD_3Bv1G022700</i>	Cysteine protease family c1-related 1 hit
3B	765801481	6.35E-10	<i>TRITD_3Bv1G254020</i>	F-box domain containing protein-related 1
4A	627137841	2.46E-15	<i>TRITD_4Av1G262440</i>	P-loop containing nucleotide triphosphate hydrolases 1
5A	153826356	8.02E-07		Ранее не идентифицированы
7A	709182549	4.59E-17	<i>TRITD_7Av1G273230</i>	ATP binding, kinase activity
7B	23741284	2.01E-07	<i>TRITD_7Bv1G009010</i>	Cellular component membrane

Таким образом, на основе оценки разнообразной зародышевой плазмы твердой пшеницы в условиях Западной Сибири, были идентифицированы новые QTL, что подтверждает отличие изученного генофонда твердой пшеницы от других. Идентифицированные новые QTL предполагают потенциальное использование в качестве маркеров твердой пшеницы для увеличения массы 1000 зерен.

Список литературы

- 1 Евдокимов М. Г., Юсов В. С. Яровая твердая пшеница в Сибирском Прииртышье. Омск. Сфера. 2008. 160 с.
- 2 Розова М.А., Янченко В.И., Мельник В.М. Экологическая пластичность яровой твёрдой пшеницы в условиях Алтая: монография. Барнаул: Азбука. 2010. С. 18–30.
- 3 Савицкая В.А., Синицин С.С., Широков А.И. Твердая пшеница в Сибири. М.: Агропромиздат. 1987. 112 с.
- 4 Fiedler J. D., Salsman E., Liu Y., Michalak de Jiménez M., Hegstad J. B., Chen B., et al. Ge-

- nome-wide association and prediction of grain and semolina quality traits in durum wheat breeding populations. *Plant Genome*. 2017.10(3).doi: 10.3835/plantgenome2017.05.0038.
- 5 Maccaferri M., Harris N. S., Twardziok S. O., Pasam R. K., Gundlach H., Spannagl M., et al. Durum wheat genome highlights past domestication signatures and future improvement targets. *Nat. Genet.* 2019. 51. P. 885–895. doi: 10.1038/s41588-019-0381-3.
- 6 Wang S., Xu S., Chao S., Sun Q., Liu S., Xia G. A genome-wide association study of highly heritable agronomic traits in durum wheat. *Front. Plant Sci.* 2019. 10. 919. doi: 10.3389/fpls.2019.00919.
- 7 Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев В.Е. Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале / С.-Петербург: ВИР им. Н.И. Вавилова. 1997. 59 с.
- 8 Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: ООО «Группа Компаний Море». 2019. Вып. 1. 384 с.
- 9 https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/genome/GCA_900231445.1
- 10 Li Mei, Zhang Ya-Wen, Zhang Ze-Chang, Xiang Yu, Liu Ming-Hui, Zhou Ya-Hui, Zuo Jian-Fang, Zhang Han-Qing, Chen Ying, Zhang Yuan-Ming. A compressed variance component mixed model for detecting QTNs, and QTN-by-environment and QTN-by-QTN interactions in genome-wide association studies. *Molecular Plant*. 2022. 15(4). P. 630–650.
- 11 Wang Jiabo & Zhang Zhiwu. GAPIT Version 3: Boosting Power and Accuracy for Genomic Association and Prediction. *Genomics, Proteomics & Bioinformatics*. 2021. 19. doi: 10.1016/j.gpb.2021.08.005.

DOI 10.18699/GPB2024-110

Физиологическое развитие коллекционных сортообразцов яровой твердой пшеницы

*Юсова О.А. *, к.с.-х.н., в.н.с.; Юсов В.С., к.с.-х.н., в.н.с.; Глушаков Д.А., м.н.с.*

Омский аграрный научный центр, г. Омск, Россия

**email: yusova@anc55.ru*

Приведена сравнительная характеристика сортов яровой твердой пшеницы по общей ассимиляционной поверхности растений, накопления сухой биомассы, фотосинтетического потенциала, чистой продуктивности фотосинтеза в фенологических фазах кущения, выхода в трубку и цветения.

Ключевые слова: сорт; фотосинтез; сухая биомасса; урожайность

Physiological development of collection varieties of spring durum wheat

*Yusova O.A. *, Yusov V.S., Glushakov D.A.*

FSBSI "Omski Agricultural Scientific Center ", Omsk, Russia

**email: yusova@anc55.ru*

A comparative description of spring durum wheat varieties is given for the total assimilation surface of plants, accumulation of dry biomass, photosynthetic potential, net photosynthetic productivity in the phenological phases of tillering, booting and flowering.

Key words: variety; photosynthesis; dry biomass; yield

В связи с тем что пшеница играет основополагающую роль в создании продовольственного фонда зерна [1], в сельхозпроизводстве требуются именно высокоурожайные сорта. При этом размер урожая определяется, в том числе, и фотосинтетической деятельностью растений (размеры, быстрота развития, продолжительность и эффективность работы фотосинтетического аппарата) [2]. Как правило, в модель сорта пшеницы уже заложены физиологические параметры – в первую очередь это площадь листьев, фотосинтетический потенциал, продуктивность фотосинтеза [3]. Все перечисленные элементы и процессы фотосинтетической деятельности тесно связаны и каждый из них зависит от условий внешней среды.

Цель исследований – по основным признакам продуктивности и физиологического развития растений выделить перспективные генотипы из коллекционного материала яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* L.).

Для решения поставленной задачи рассчитаны следующие показатели: общая ассимиляционная поверхность (ОАП) [4], фотосинтетический потенциал (ФП) [5], накопление и распределение сухой биомассы, чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), коэффициент хозяйственной эффективности колоса (К.хоз.) [6] с последующей математической обработкой [7]. Кластерный анализ проведен по методу Варда [8] с помощью пакета STATISTICA 6, а также пакета программ Office и R version 4.1.2 [9].

Исследуемые нами показатели фотосинтетической активности и продуктивности значительно различались по годам, находясь в диаметрально противоположных плоскостях относительно осей координат (рис. 1).

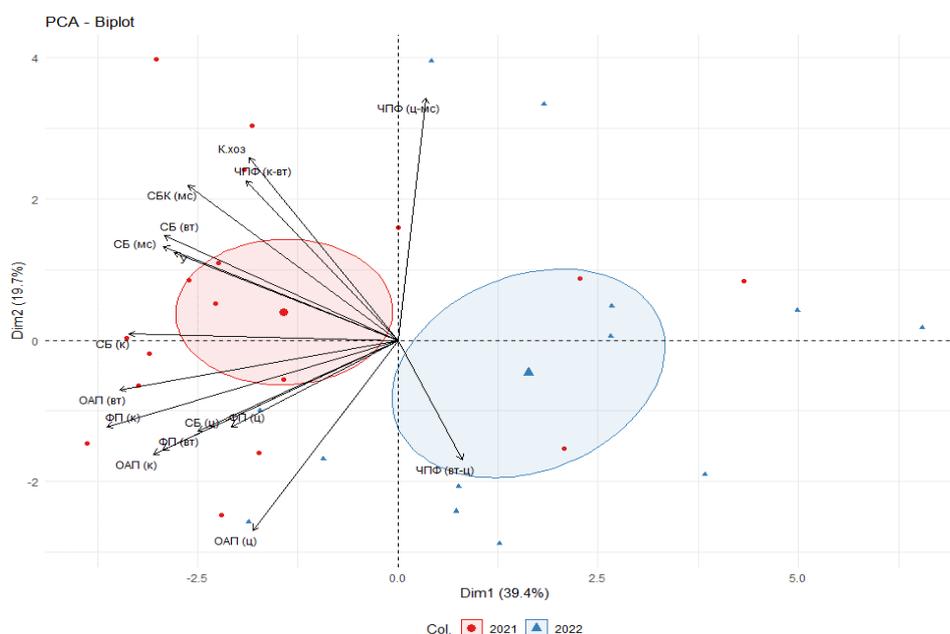


Рис. 1. Характеристика формирования основных показателей фотосинтетической активности и продуктивности в зависимости от условий года

В среднем за период исследований, общая ассимиляционная поверхность растений яровой твердой пшеницы в фазе кущения составила 24,5 см² при дальнейшем

увеличении до 29,3 см² в фазе выход в трубку. В фазе цветения наблюдалось снижение данного показателя до 25,0 см² вследствие начала формирования генеративных органов, что подтверждает данные ученых [4].

Максимально высокий фотосинтетический потенциал растений также отмечен в начале роста и развития (межфазный период кущение-выход в трубку) и составил 511,9 см²*сут./раст., в среднем за период исследований. В следующий межфазный период (выход в трубку-цветение) происходит снижение данного показателя (214,8 см²*сут./раст.). Несмотря на снижение площади листовой поверхности, в межфазном периоде цветение-молочная спелость наблюдался рост ФП (335,2 см²*сут./раст.) за счет большей продолжительности данного межфазного периода (в среднем 40 суток).

В течение периода вегетации наблюдался рост накопления сухой биомассы растений от 0,21 г/раст. в фазе кущения до 1,90 г/раст. в фазе цветения (табл. 1). В фазе молочной спелости сухая биомасса растения отмечена на уровне 2,73 г/раст., из них 40,7 % составляла биомасса колоса.

Чистая продуктивность фотосинтеза, которая является произведением площади листовой поверхности, сухой биомассы и продолжительности межфазного периода, также увеличивалась от начала вегетации к молочной спелости (0,67–3,73 г/см²*сут.).

Таблица 1 – Основные показатели фотосинтетической продуктивности растений, в среднем по питомнику

Год	Накопление сухой биомассы вегетативной части растения, г/раст.				Накопление сухой биомассы колоса, г/раст.	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/см ² *сут.		
	фаза кущения	фаза выход в трубку	фаза цветения	Фаза молочной спелости		кущение-выход в трубку	выход в трубку - цветение	цветение - молочная спелость
2020	0,22	0,99	1,99	3,10	1,42	0,69	0,41	3,76
2021	0,19	0,90	1,81	2,36	0,81	0,64	0,39	3,70
\bar{x}	0,21	0,95	1,90	2,73	1,11	0,67	0,40	3,73
НСР ₀₅	0,01	0,08	0,11	0,12	0,07	0,06	0,05	0,43

Кластерный анализ используется в двух основных направлениях: классификация и анализ взаимосвязей и применяется для решения широкого спектра задач (чаще всего в задачах сегментация). Необходимым условием корректного анализа статистической совокупности является ее однородность, для формирования которой используются методы кластерного анализа. В результате проведенного анализа все сортообразцы возможно разделить на 3 кластера (рис. 2):

- первый кластер, в который вошли сорта, которые наиболее близки по значениям к стандартному сорту Жемчужина Сибири: Омская янтарная, Омский изумруд, Триада, Омский коралл, Памяти Васильчука, Памяти Янченко и Солнечная;

- второй кластер: Омский лазурит, Таганрог, Безенчукская золотистая, Рустикано, SI NYLO, Гордеиформе 12-11-5, Гордеиформе12-75-3 и Гордеиформе14-83-1;
- третий кластер: Безенчукская нива, Луч 25 и Одиссео.

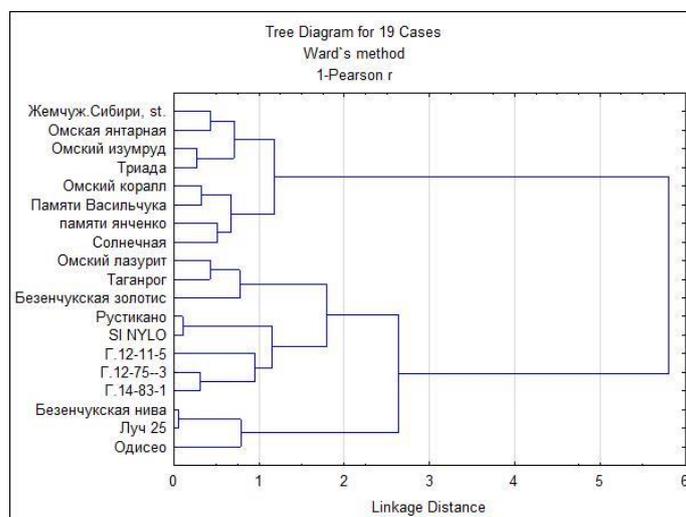


Рис. 2. Выделение наиболее перспективных сортообразцов яровой твердой пшеницы методом кластерного анализа

Характеристика перспективных сортов первого кластера по основным показателям продуктивности и активности фотосинтеза представлена в таблице 2. Очевидно, что данные сорта обладают различным механизмом формирования урожайности (в зависимости от донорно-акцепторных свойств).

Таблица 2 – Характеристика перспективных сортов (первый кластер), в среднем за период исследований

Сорт	ОАП, см ² /раст.	СБ, г/раст.	СБК, г/раст.	ФП, см ² *сут./раст.	ЧПФ, г*см ² *сут./раст.	К.хоз.	Урожайность, т/га
Жемчужина Сибири, st.	27,35	1,39	1,02	386,35	2,12	35,49	3,45
Омская янтарная	26,05	1,29	0,92	386,47	1,42	39,16	3,45
Омский изумруд	30,70	1,31	0,78	421,65	1,16	30,64	3,30
Триада	30,80	1,62	1,27	402,75	1,84	36,92	3,70
Омский коралл	32,30	1,58	0,92	409,08	1,14	33,40	3,40
Памяти Васильчука	31,70	1,70	1,10	398,07	1,48	34,14	3,90
Памяти Янченко	28,30	1,34	0,82	382,13	1,36	39,24	3,60
Солнечная	29,40	1,45	0,82	364,70	0,71	30,86	3,35
НСР ₀₅	0,90	0,50	0,06	20,30	0,50	2,50	0,10

Урожайность является интегральным признаком, определяющим результативность всех проводимых исследований [10, 11]. Достоверным превышением по урожайности (+0,15–0,45 т/га к st.) характеризовались следующие сорта первого кластера:

- Триада – за счет повышенных показателей площади листовой поверхности растений (+3,5 см²/раст. к st.), фотосинтетического потенциала (+16,4 см²*сут./раст. к st.), накопления сухой биомассы вегетативной части растений и колоса (+0,23 и

0,25 г/раст. к st. соответственно). Подобной интенсивное развитие растений в течение периода вегетации послужило формированию повышенного коэффициента хозяйственной эффективности (+1,43 к st.).

- Памяти Васильчука – повышенная урожайность (+0,45 т/га к st.) сформировалась в результате активной деятельности фотосинтетического аппарата (+4,35 см²/раст. к st. по ОАП; +11,72 см²*сут./раст. к st. по ФП), а также накопления сухой биомассы вегетативной части (+0,31 г/раст. к st.) и колоса (+0,08 г/раст. к st.).

- Памяти Янченко – результаты исследований показали, что превышение стандарта по урожайности (+0,15 т/га) наблюдалось в результате активного нарастания площади листовой поверхности (+0,95 см²/раст. к st.) и высокого К.хоз. (+3,75 к st.), несмотря на прочие показатели фотосинтетической активности и продуктивности, значения которых отмечены ниже стандарта.

Заключение. Таким образом, для дальнейших исследований рекомендуются сорта, характеризующиеся прибавкой по урожайности (+0,15–0,45 т/га к st.) за счет повышенной фотосинтетической активности: Триада, Памяти Васильчука и Памяти Янченко.

Список литературы

- 1 Тоболова Г.В., Летяго Ю.А., Белкина Р.И. Оценка сортов мягкой яровой пшеницы по техническим свойствам и биохимическим признакам. *Агропродовольственная политика России*. 2015. № 5(41). С. 64–67.
- 2 Khudhair A. Ja. Crop Physiology and Productivity the Iraqi Experience // *Agrarian science*. 2019. № 1. P. 33–37. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-33-37.
- 3 Логинов Ю.П., Казак А.А. Урожайность и качество зерна коллекционных сортов яровой мягкой пшеницы селекции Красноярского ГАУ, по разным предшественникам в лесостепной зоне Тюменской области // *Агропродовольственная политика России*. 2017. № 3(63). С. 48–56.
- 4 Анিকেев В.В., Кутузов Ф.Ф. Новый способ определения площади листовой поверхности у злаков. *Физиология растений*. 1961. № 8(3). С. 375–377.
- 5 Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. Краткий справочник по физиологии. Киев, 1973.
- 6 Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М.: Изд-во АН СССР, 1965. 135 с.
- 7 Альберт М.А., Галеев Р.Р., Ковалев Е.А. Особенности программирования урожайности зерновых культур при точном земледелии в лесостепи Новосибирского Приобья // *Вестник НГАУ*. 2022. № 4(65). С. 5–12. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-5-11).
- 8 Зарядов И.С. Введение в статистический пакет R: типы переменных, структуры данных, чтение и запись информации, графика. М.: Изд-во РУДНБ. 2010. 141 с.
- 9 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- 10 Parshutkin Yu.Yu, Nikolaev P.N., Yusova O.A., Yusov V.S. Yield and quality of spring cereals depending on cultivation conditions // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. № 624(1). P. 1–7. Doi: 10.1088/1755-1315/624/4/012172.
- 11 Юсова О.А., Николаев П.Н., Паршуткин Ю.Ю., Юсов В.С. Изменение хозяйственно ценных признаков яровых зерновых культур в зависимости от условий возделывания // *Агрофизика*. 2021. № 1. С. 26–33. DOI: 10.25695/AGRPH.2021.01.05.

Immunological assessment of spring wheat varieties to septoriosi in the Saratov region

Zeleneva Yu.V.¹ *, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher; Konkova E.A.², Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher; Sudnikova V.P.³, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher; Baranova O.A.¹, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher.

¹All-Russian Research Institute of Plant Protection, Pushkin, St. Petersburg, Russia

²Federal Center of Agricultural Research of the South-East Region, Saratov, Russia

³I.V. Michurin Federal Science Center, Middle-Russian Branch, Tambov Province, Russia

*email: zelenewa@mail.ru

Septoria is one of the harmful diseases of wheat cultivars cultivated in the Saratov region. This infectious disease of fungal etiology limits yield indicators and rapidly progresses in many regions of the Russian Federation. The aim of the research was to assess the resistance of winter and spring wheat cultivars that are referred to as promising and recommended for cultivation in the Low Volga region of the Russian Federation to pathogens of Septoria

Key words: effector genes; PCR-diagnosis; wheat selection; Septoria blotch; phytopathogenic fungi; PtrToxA; PtrTox1; PtrTox3

Our annual monitoring shows that in recent years in many regions of Russia, including the Saratov region, the pathogenic complex of septoriosi of wheat has been dominated by *Zymoseptoria tritici* species. Less common species are *Parastagonospora nodorum* and *P. pseudonodorum*. The fungi of *P. nodorum* and *P. pseudonodorum* are known for their ability to synthesize necrotrophic effectors (NEs), which function as pathogenicity factors. The priority direction of wheat breeding for immunity in the Lower Volga region has been and remains the continuous search and use of new effective genetic sources and donors.

During three years of testing against a natural infectious background, varieties were isolated that showed resistance or weak susceptibility to Septoriosi. A laboratory test of varieties for three pathogens of septoriosi was carried out: *Z. tritici*, *P. nodorum* (*ToxA*, *Tox1*, *Tox3*, *Tox267*), *P. pseudonodorum* (*ToxA*, *Tox1*, *Tox3*).

When wheat samples were infected with *Z. tritici* species, the following varieties performed well: Guberniya, Anastasiya, Sosedka, Favorit. Their degree of damage on average did not exceed 7%; they were included in the group of highly resistant varieties (RR). The degree of damage by *Z. tritici* species to the varieties Gostianum, Lutestsens 230, Podruga, Prokhorovka, Saratovskaya 70, Saratovskaya 73, Belyanka did not exceed 20 %, which made it possible to classify these varieties as resistant (R). Resistance to *P. nodorum* was confirmed by two varieties: Anastasia and Saratovskaya 73, and resistance to *P. pseudonodorum* by six varieties: Podruga, Anastasia, Sosedka, Favorit, Saratovskaya 73 and Belyanka.

Genotyping of wheat varieties using a molecular marker was aimed at identifying carriers of genes that control sensitivity and resistance to the SnToxA toxin [1]. The *Xfcp623* marker amplified a 380 bp fragment associated with the *Tsn1* gene, sensitive to the SnToxA toxin in 12 varieties of winter bread wheat: Lutestsens 230, Saratovskaya 8, Guberniya, Donskaya bezostaya, Saratovskaya 90, Zhemchuzhina Povolzhya, Saratovskaya 17, Kalach 60, Podruga, Anastasia, Sosedka and one variety of spring soft wheat, Lebedushka. The genotypes of two varieties of winter soft wheat: Gostianum 237 and Mironovskaya 808, six varieties of spring soft wheat: Favorit, Prokhorovka, Yugo-Vostochnaya 2, Saratovskaya 70, Saratovskaya 73 and Belyanka, are carriers of the recessive allele of the *tsn1* gene and they are protected at the genetic level from SnToxA of four dangerous plant pathogens: *Pyrenophora tritici-repentis*, *P. nodorum*, *P. pseudonodorum* and *Bipolaris sorokiniana*.

Screening of genotypes of wheat varieties for the presence of a dominant or recessive gene (*Snn1/snn1*) was carried out using PCR with primer pairs *Xfcp624F/Xfcp624R* [2]. The marker amplified a 345 bp fragment associated with the *Snn1* gene, sensitive to the SnTox1 toxin in 14 varieties: Gostianum, Saratovskaya 8, Guberniya, Mironovskaya 808, Donskaya bezostaya, Saratovskaya 90, Zhemchuzhina Povolzhya, Saratovskaya 17, Kalach 60, Podruga, Anastasiya, Sosedka, Saratovskaya 70 and Saratovskaya 73; 6 varieties have the recessive *snn1* allele in their genotype: Lutescens 230, Favorit, Prokhorovka, Yugo-Vostochnaya 2, Belyanka and Lebedushka. The variety Mironovskaya 808 was taken as the standard, the genotype of which carries *Snn1* and *tsn1* according to T. Nuzhnaya et al., 2021 [3].

Funding: The work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 19-76-30005.

References

- 1 Faris J.D., Zhang Z., Lu H.J., Lu S.W., Reddy L., Cloutier S., Fellers J.P., Meinhardt S.W., Rasmussen J.B., Xu S.S., Oliver R.P., Simons K.J., Friesen T.L. A unique wheat disease resistance-like gene governs effector-triggered susceptibility to necrotrophic pathogens. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2010. 107(30). P. 13544–13549. DOI: 10.1073/pnas.1004090107
- 2 Bertucci M., Brown-Guedira G., Murphy J.P., Cowger C. Genes conferring sensitivity to *Stagonospora nodorum* necrotrophic effectors in *Stagonospora nodorum* blotch-susceptible U.S. wheat cultivars. *Plant Dis*. 2014 98(6). P. 746–753. DOI: 10.1094/PDIS-08-13-0820-RE
- 3 Nuzhnaya T.V., Veselova S.V., Burkhanova G.F. [et al.] Molecular screening of susceptibility genes *Tsn1* and *Snn1* in the accessions of genus *Triticum* L. for resistance to the toxins SnToxA and SnTox1 from the *Stagonospora nodorum*. Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology: The 6th International Scientific Conference. Abstracts, Novosibirsk, 14–18 июня 2021 года / Editors: Alexey V. Kochetov, Elena A. Salina. Новосибирск: Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук. 2021. P. 161. DOI: 10.18699/PlantGen2021-145

Авторский указатель

- А**
Абросимова Т.Н. 421
Агафонов А.В. 5
Агеева Е.В. 242
Адолина И.Г. 352
Акимов А.В. 109
Акинина В.Н. 113
Амосова А.В. 426
Антонов А.А. 9
Апарина В.А. 14, 55, 280
Артеменко Н.В. 26
Асхадуллин Дамир Ф. 17, 21, 93, 381, 384
Асхадуллин Данил Ф. 17, 21, 93, 381, 384
Афонников Д.А. 26, 27
Афонникова С.Д. 27
Ачимова А.А. 129
- Б**
Бабурин Ю.Ю. 30
Багавиева Э.З. 381
Базюк Д.А. 34
Баранцова М.А. 352
Бареева А.Ш. 97
Барнашова Е.К. 39
Батов А.С. 42, 103
Батурин С.О. 47
Безукладов И.В. 409
Белан И.А. 138, 222, 251
Белозерова А.А. 34
Бережная А.А. 148
Березовская А.Г. 103
Бехтольд Н.П. 51
Билова Т.Е. 107
Блохина Н.П. 138, 222
Бойко Н.И. 55, 321, 336, 352
Боме Н.А. 34, 167, 399
Бондарь А.А. 5
Борис К.В. 363
Борисенко О.М. 60
Боровикова Т.В. 260
Боровский Г.Б. 64
Брагина М.В. 367
Братилова Н.П. 69
Булавин И.В. 72, 388, 392
Булатов И.О. 317
Булгакова В.С. 77
Буренков С.С. 80
- В**
Василова Н.З. 17, 21, 381
Васильев Г.В. 77
Вертикова Е.А. 39, 314
Ветрова С.А. 83
Виниченко Н.А. 192
Вихорев А.В. 417
Вишнякова М.А. 88, 107
Волынкин В.А. 199
- В**
Воронцова Е.В. 321
- Г**
Гаар А.В. 109
Гайфуллина Г.Р. 17, 93
Гальперина А.Р. 97
Гараева Н.Ш. 207
Генаев М.А. 26
Гильмуллина Л.Ф. 207
Глаголева А.Ю. 417
Глушаков Д.А. 434
Гончаров Н.П. 26
Горбылева Е.Л. 64
Гордеева Е.И. 317, 344
Гордон М.Л. 101
Гребенников А.А. 265
Григорьев Ю.Н. 332, 360
Гуреева Ю.А. 42, 103
Гурина А.К. 88, 107
- Д**
Дзюбенко Е.А. 88
Дорогина О.В. 129
Думачева Е.В. 109, 265
Дьячук Т.И. 113
- Е**
Евдокимов М.Г. 429
Егиазарян Е.Е. 284
Елисеева А.Д. 118
Енгальчева И.А. 355
Еникеев А.Г. 121
Епанчинцева А.П. 194
Ермошкина Н.Н. 296
Ессе С.А. 409
Ефремова Т.Т. 125, 324, 404
- Ж**
Жернаков А.И. 101
Жилин С.В. 39, 113
Жмудь Е.В. 129
Жуков В.А. 101
- З**
Захарова С.А. 314
Зорин Е.А. 101
Зошук С.А. 426
Зуев Е.В. 17, 55, 384
Зыкова В.К. 134
Зырянов Б.В. 138
- И**
Иванова Н.Н. 72, 163
Иванова Ю.С. 367
Идиатова Р.Х. 381
Илалова Л.В. 207
- К**
Казиков Г.В. 310
Казантаева М. 107
Калашникова Э.В. 113
Калмыкова Д.И. 72
Капустянчик С.Ю. 142
Карелова А.С. 409
- К**
Катышев А.И. 64
Кириллова Е.С. 381
Киселёва А.А. 27, 148
Клименко А.И. 273
Клименко И.А. 9
Кнауб В.В. 151
Коваль В.С. 26
Козарь Е.Г. 83, 355
Коложвари А.Э. 148
Коломыцев М.В. 219
Колошина К.А. 14, 155
Комышев Е.Г. 26, 27
Кондратьева И.В. 125, 324, 404
Конобеев В.Д. 72
Коновалова Д.А. 69
Константинов Ю.М. 158
Корзина Н.В. 163
Королев К.П. 167
Королева Е.В. 171
Коротаева Н.Е. 64
Короткова А.М. 148
Костерин О.Э. 77
Котоловец З.В. 199
Кочерина Н.В. 88
Кочетов А.В. 148
Креймер В.К. 30
Кручинина Ю.В. 26, 175
Кубан И.Н. 129
Кудрявцев А.М. 363
Кукоева Т.В. 179, 360, 417
Куколева С.С. 183
Кулаева О.А. 101
Кулаков Ю.В. 370
Купцова В.А. 187
Кустов В.А. 121
- Л**
Лашин С.А. 273
Леонова И.Н. 192, 341
Лепехов С.Б. 321
Ли Вэньцзянь 317
Лихенко Н.Н. 194
Лиховской В.В. 199
Логинова А.С. 352
Лысенко Н.С. 93
- М**
Макаров С.С. 234
Максимов А.Ю. 118
Максимова П.В. 109
Мальшева Н.Ю. 203
Мальчиков П.Н. 341, 363
Малюга А.А. 42
Маннапова Г.С. 207
Мантулина А.В. 69
Маренкова А.Г. 212
Медведева С.О. 215
Мирошниченко Н.Н. 72

- Михайличенко О.А. 187
 Моксина Н.В. 219
 Молобекова К.А. 417
 Молчанова А.В. 291
 Морозов С.В. 417
 Морозова Е.В. 255, 269
 Муравенко О.В. 426
 Мусинов К.К. 336
 Мухина К.С. 83
 Мухина Я.В. 138, 222
 Мухордова М.Е. 222
 Мушинский А.А. 301
 Мышкин И.А. 269
 Мякошина Ю.А. 203
- Нагайцев** Д.В. 227
 Наджодов Б.Б. 230
 Насырова Ф.Ю. 230
 Нгамбу Год Гивэн Тэрдон 234
 Нестеров М.А. 148
- Одерова** Е.В. 413
 Орбант М.О. 239
 Орлова Е.А. 51, 242
 Осипова С.В. 247
- Пахотина** И.В. 222
 Пермьяков А.В. 121, 247
 Пермьякова М.Д. 247
 Перфильев Р.Н. 277
 Першина Л.А. 251
 Петраш Н.В. 255, 244
 Петрук В.А. 260
 Печегин А.Ю. 265
 Печегина Ю.В. 265
 Пискарев В.В. 14, 55, 242, 255, 269, 280, 336, 341
 Плотников К.О. 273
 Плотникова Л.Я. 151
 Полулях А.А. 199
 Полухин Н.И. 155
 Полюдина Р.И. 277
 Полякова Е.А. 64
 Поморцев А.В. 247
 Пономарев С.Н. 207
 Пономарева М.Л. 207
 Пономаренко А.В. 72
 Потапов Д.А. 277
 Потешкина А.А. 14, 280
 Потоцкая И.В. 409
 Протасова Е.М. 118
 Пугачева Н.С. 138, 222
 Пшеничникова Т.А. 247, 317
 Пыльнев В.В. 212, 230
 Пятрикас Д.В. 64
- Разуваева** А.В. 321
- Розова М.А. 284
 Романов Б.В. 287
 Романов В.С. 291
 Россеева Л.П. 138, 222, 251
 Рубец В.С. 212, 230
 Рудиковская Е.Г. 247
 Рябовол И.В. 60
- Сайфетдинов** Е.А. 113
 Сайфутдинова Д.Д. 207
 Саламатина А.А. 296
 Салина Е.А. 27, 148, 192, 277, 352
 Саматадзе Т.Е. 426
 Саплев Н.М. 72
 Саубанова Г.Р. 381
 Саудабаева А.Ж. 301
 Семёнов А.А. 121
 Семенов А.Р. 426
 Семенова Е.В. 269
 Середа Г.А. 305
 Середа С.Г. 305
 Середа Т.Г. 305
 Сидоров А.В. 64
 Сидоров Р.А. 310
 Силкова О.Г. 344
 Симагин А.Д. 314
 Симагина А.С. 314
 Симонов А.В. 317
 Сколотнева Е.С. 321
 Соболев К.В. 125, 324, 404
 Солдатов Д.К. 72
 Сопрунова О.Б. 97
 Сорокопудов 329
 Сотник А.Я. 332
 Сочалова Л.П. 336
 Стасюк А.И. 341
 Степанов А.В. 64
 Степанов В.А. 355
 Стёпочкин П.И. 255, 344
 Студенникова Н.Л. 199
 Сунь Ц. 348
 Сухомлинов В.Ю. 55, 269, 280
- Тазутдинова** М.Р. 17
 Тептина А.Ю. 215
 Тимонова Е.М. 148, 352
 Тихонова Т.О. 355
 Тоцкий И.В. 360
 Трифонова А.А. 363
 Трубачеева Н.В. 251
- Усольцева** Е.В. 265
- Федосеева** И.В. 64
 Федяева А.В. 27
 Феськов С.А. 72
 Филиппов Е.Г. 215
- Фомин С.И. 207
 Фомина М.Н. 367
 Фомичева М.Г. 370
 Фотев Ю.В. 171, 348, 374
 Фролов А.А. 88, 107, 379
 Фролова Н.В. 88
- Хайленко** Е.В. 134
 Хайруллина А.Р. 381
 Хлесткина Е.К. 417
 Хомякова О.В. 113
 Хусаинова И.И. 17, 384
 Хуснутдинова А.Т. 421
- Цюпка** В.А. 134, 388, 392
 Цюпка С.Ю. 388, 392
- Чепурнов** Г.Ю. 395
 Черевацкая М.А. 88, 107
 Черепанов А.В. 399
 Черепанова О.Е. 215
 Черняк Е.И. 417
 Чудецкий А.И. 234
 Чуманова Е.В. 125, 324, 404
 Чурсин А.С. 409
- Шабанова (Кобозева)** Е.В. 5
 Шаманин В.П. 409
 Шамустакимова А.О. 9
 Шаухаров Р.А. 88, 107
 Шацкая Н.В. 77
 Шепелев С.С. 409
 Шигарова А.М. 64
 Шишкина Е.В. 413
 Шмаков Н.А. 417
 Шоева О.Ю. 179, 239, 255, 360, 417
 Шпилев В.С. 219
 Шурхаева К.Д. 421
- Щукина** Л.В. 247
- Юркевич** О.Ю. 426
 Юсов В.С. 429, 434
 Юсова О.А. 434
- Яковлева** А.О. 409
- Varanova** O.A. 439
- Konkova** E.A. 439
- Sudnikova** V.P. 439
- Zeleneva** Yu.V. 439

Содержание

Агафонов А.В., Шабанова (Кобозева) Е.В., Бондарь А.А. Дифференциация субгеномов среди StY-геномных видов рода <i>Elymus</i> (<i>Triticeae</i> , <i>Poaceae</i>) с территории России по данным секвенирования ядерного гена <i>GBSSI</i> (<i>waxy</i>)	5
Антонов А.А., Шамустакимова А.О., Клименко И.А. Молекулярный анализ козлятника восточного (<i>Galega orientalis</i> Lam.) с использованием SSR- и SRAP-маркеров ю	9
Апарина В.А., Потешкина А.А., Колошина К.А., Пискарев В.В. Влияние регуляторов роста на корнеобразование ежевики <i>in vitro</i>	14
Асхадуллин Дамир Ф., Асхадуллин Данил Ф., Василова Н.З., Зуев Е.В., Хусаинова И.И., Гайфуллина Г.Р., Тазутдинова М.Р. Источники высокого качества зерна и других хозяйственно ценных признаков яровой мягкой пшеницы	17
Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н.З. Хлебопекарные свойства <i>Waxy</i> линий мягкой пшеницы с двумя нуль-аллелями (<i>Wx-A1b</i> и <i>Wx-B1b</i>)	21
Афонников Д.А., Генаев М.А., Комышев Е.Г., Артеменко Н.В., Кручинина Ю.В., Коваль В.С., Гончаров Н.П. Оценка количественных характеристик колосьев пшеницы на основе анализа цифровых изображений и методов глубокого машинного обучения	26
Афонникова С.Д., Киселёва А.А., Федяева А.В., Комышев Е.Г., Афонников Д.А., Салина Е.А. Поиск локусов и генов-кандидатов, ассоциированных с окраской и предуборочным прорастанием зерна у краснозерной озимой мягкой пшеницы	27
Бабурин Ю.Ю., Креймер В.К. Биомасса облепихи крушиновидной как источник серотонина.	30
Базюк Д.А., Белозерова А.А., Боле Н.А. Оценка мутантов ярового ячменя по элементам урожайности с использованием селекционных индексов	34
Барнашова Е.К., Вертикова Е.А., Жилин С.В. Оценка влияния содержания α -амилазы на предуборочное прорастание зерна тритикале	39
Батов А.С., Гуреева Ю.А., Малюга А.А. Оценка эффективности применения гуминовых препаратов при возделывании картофеля	42
Батулин С.О. Оценка энергии прорастания и всхожести семян в семенных поколениях нейтральнодневных гибридов F_1 крупноплодной земляники (<i>Fragaria</i> \times <i>ananassa</i> Duch.)	47
Бехтольд Н.П., Орлова Е.А. Полевая устойчивость коллекционных образцов овса к возбудителю <i>Drechslera avenae</i> (Eidam.) Ito et Kuribay.	51
Бойко Н.И., Сухомлинов В.Ю., Апарина В.А., Зуев Е.В., Пискарев В.В. Источники селекционно ценных признаков яровой мягкой пшеницы, выявленные для условий Новосибирской области в 2021–2022 гг.	55
Борисенко О.М., Рябовол И.В. Характеристика семян масличного подсолнечника	60
Боровский Г.Б., Горбылева Е.Л., Катъшев А.И., Коротаева Н.Е., Полякова Е.А., Пятрикас Д.В., Сидоров А.В., Степанов А.В., Федосеева И.В., Шигарова А.М. Влияние гиперэкспрессии гена митохондриальной альтернативной «внешней» NAD(P)H-дегидрогеназы арабидопсиса на продукцию активных форм кислорода в клетках табака при низкотемпературном стрессе	64
Братилова Н.П., Коновалова Д.А., Мантулина А.В. Влияние длины семядолей всходов на накопление фитомассы однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской	69
Булавин И.В., Иванова Н.Н., Мирошниченко Н.Н., Саплев Н.М., Феськов С.А., Пономаренко А.В., Солдатов Д.К., Калмыкова Д.И., Конобеев В.Д. <i>Nyssopus officinalis in vitro</i> : анатомия, пloidность, генетическое сходство, компонентный состав эфирного масла	72
Булгакова В.С., Шацкая Н.В., Костерин О.Э., Васильев Г.В. Множественные источники геномов оргanelл культурного гороха (<i>Pisum sativum</i> L. subsp. <i>sativum</i> s.l.)	77

Буренков С.С. Макро- и микроэлементный состав трутовика скошенного (<i>Inonotus obliquus</i> Pil.) . . .	80
Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Мухина К.С. Оценка селекционного материала свеклы столовой на устойчивость к церкоспорозу	83
Вишнякова М.А., Шаухаров Р.А., Гурина А.К., Кочерина Н.В., Дзюбенко Е.А., Черевацкая М.А., Фролова Н.В., Фролов А.А. Гуар в Российской Федерации: попытка осмысления полученного опыта	88
Гайфуллина Г.Р., Лысенко Н.С., Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф. Источники селекционно ценных признаков <i>Triticum polonicum</i> L. и <i>Triticum petropavlovskiyi</i> Udacz.et Migusch. выявленные в условиях Татарстана	93
Гальперина А.Р., Сопрунова О.Б., Бареева А.Ш. Идентификация ризосферных микроорганизмов аридных экосистем Астраханской области	97
Гордон М.Л., Жернаков А.И., Кулаева О.А., Зорин Е.А., Жуков В.А. Локализация гена FAS линий Немчиновский и Штамбовый гороха посевного (<i>Pisum sativum</i> L.)	101
Гуреева Ю.А., Батов А.С., Березовская А.Г. Изучение исходного материала для селекции раннеспелых сортов картофеля в условиях Лесостепи Новосибирского Приобья	103
Гурина А.К., Билова Т.Е., Казантаева М., Шаухаров Р., Черевацкая М.А., Фролов А.А., Вишнякова М.А. Фенотипирование и физиологический скрининг как подходы для выявления засухоустойчивых сортов гуара	107
Думачева Е.В., Максимова П.В., Гаар А.В., Акимов А.В. Идентификация ризосферных микроорганизмов с потенциальными полезными свойствами в условиях карбонатных почв	109
Дьячук Т.И., Хомякова О.В., Акинина В.Н., Жилин С.В., Калашишникова Э.В., Сайфетдинов Е.А. Влияние источника углеводов на параметры гаплопродукции в культуре пыльников тритикале (<i>Triticosecale</i> Wittm.)	113
Елисеева А.Д., Протасова Е.М., Максимов А.Ю. Фитостимулирующие действие комплексных препаратов на основе влагоудерживающих полимеров и клеток бактерий <i>Pseudomonas reli</i> – продуцентов гидролитических ферментов на рост кресс-салата <i>Lepidium sativum</i>	118
Еникеев А.Г., Кустов В.А., Пермьяков А.В., Семёнов А.А. Сложные эфиры орто-фталевой кислоты как инструмент защиты растений от фитопатогенов при прорастании семян	121
Ефремова Т.Т., Чуманова Е.В., Соболев К.В., Кондратьева И.В. Влияние чужеродных замещений и транслокаций на проявление признаков, определяющих устойчивость к стрессам и качество зерна мягкой пшеницы	125
Жмудь Е.В., Дорогина О.В., Кубан И.Н., Ачимова А.А. ISSR-анализ генетической изменчивости в ценопопуляциях некоторых редких и уязвимых видов сибирской флоры	129
Зыкова В.К., Цюпка В.А., Хайленко Е.В. Подбор и апробация молекулярных маркеров для селекции садовых роз на устойчивость к черной пятнистости	134
Зырянов Б.В., Белан И.А., Россеева Л.П., Блохина Н.П., Мухина Я.В., Пугачева Н.С. Генофонд для селекции пшеницы мягкой яровой в условиях Омской области	138
Капустянчик С.Ю. Изучение генетической коллекции мискантуса по устойчивости к абиотическим стрессам	142
Киселёва А.А., Тимонова Е.М., Бережная А.А., Короткова А.М., Коложвари А.Э., Нестеров М.А., Кочетов А.В., Салина Е.А. Редактирование генома возделываемых сортов пшеницы и ячменя с использованием направленной нуклеазы Cas9 для улучшения сельскохозяйственных признаков	148
Кнауб В.В., Плотникова Л.Я. Механизмы действия <i>Sr2</i> гена возрастной устойчивости пшеницы к стеблевой ржавчине	151

Колошина К.А., Полухин Н.И. Получение микроклубней картофеля <i>in vitro</i>	155
Константинов Ю.М. Перспективы использования свойств митогеномов в биотехнологии и селекции сельскохозяйственных растений	158
Корзина Н.В., Иванова Н.Н. Влияние криоконсервации на всхожесть семян <i>Glycyrrhiza glabra</i> L.	163
Королев К.П., Боме Н.А. Скрининг сортов <i>Linum usitatissimum</i> L. по комбинационной способности в системе диаллельных скрещиваний	167
Королева Е.В., Фотев Ю.В. Создание и оценка исходного материала декоративно-цветущих растений <i>Clarkia Pursh</i> на юге Западной Сибири	171
Кручинина Ю.В. Изучение наследования классификационных признаков и скороспелости у пшениц	175
Кукоева Т.В., Шоева О.Ю. Селекционная схема получения голозёрных изогенных линий ячменя с повышенным содержанием антоцианов в зерне на основе сорта Ворсинский 2	179
Куколева С.С. Генофонд сортов суданской травы селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» Нижневолжского региона	183
Купцова В.А., Михайличенко О.А. Опыт выращивания <i>Vaccinium macrocarpon</i> Aiton на юге Хабаровского края	187
Леонова И.Н., Виниченко Н.А., Салина Е.А. Минеральный состав зерна интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом тетраплоидных видов рода <i>Triticum</i>	192
Лихенко Н.Н., Епанчинцева А.П. Изменчивость шишек и семян в клоновом архиве сосны кедровой сибирской в Краснообске	194
Лиховской В.В., Волынкин В.А., Полулях А.А., Студенникова Н.Л., Котоловец З.В. Биоразнообразии винограда в России и селекция с использованием отечественных автохтонных сортов	199
Мальшева Н.Ю., Мякошина Ю.А. Изучение кариотипов жизненных форм люцерны хмелевидной (<i>Medicago lupulina</i> L.)	203
Маннапова Г.С., Пономарева М.Л., Пономарев С.Н., Гильмуллина Л.Ф., Фомин С.И., Илалова Л.В., Сайфутдинова Д.Д., Гараева Н.Ш. Генофонд озимой ржи для селекции на продуктивность в лесостепной зоне Среднего Поволжья	207
Маренкова А.Г., Рубец В.С., Пыльнев В.В. Изучение вариабельности ряда количественных признаков ячменя, используемых при испытаниях на охраноспособность	212
Медведева С.О., Черепанова О.Е., Филиппов Е.Г., Тептина А.Ю. Проблемы верификации гибридов карликовых берез на примере образца из горной популяции Алтая	215
Моксина Н.В., Коломыцев М.В., Шпилев В.С. Изменчивость плодов разных сортов яблони домашней (<i>Malus domestica</i> Borkh) в Ботаническом саду им. Вс.М. Крутовского	219
Мухордова М.Е., Белан И.А., Россеева Л.П., Блохина Н.П., Мухина Я.В., Пахотина И.В., Пугачева Н.С. Адаптивная селекция пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области	222
Нагайцев Д.В. Характеристика ваху-линий озимой пшеницы в Центральном Нечернозёмном районе.	227
Наджодов Б.Б., Пыльнев В.В., Рубец В.С., Насырова Ф.Ю. Изучение хозяйственно полезных признаков синтетических гексаплоидных линий яровой пшеницы СИММУТ в условиях ЦРНЗ	230
Нгамбу Год Гивэн Тэрдон, Макаров С.С., Чудецкий А.И. Создание сортоиспытательного участка голубики на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева	234

Орбант М.О., Шоева О.Ю. Идентификация и структурно-функциональный анализ гена-кандидата из локуса <i>Ant27</i> , контролирующего синтез проантоцианидинов зерне ячменя (<i>Hordeum vulgare</i> L.) . . . . .	.239
Орлова Е.А., Агеева Е.В., Пискарев В.В. Генетическая изменчивость изолятов пыльной головни пшеницы <i>Ustilago tritici</i> (Pers.) Jens. . . . .	.242
Пермякова М.Д., Пермяков А.В., Щукина Л.В., Осипова С.В., Рудиковская Е.Г., Поморцев А.В., Пшеничникова Т.А. Влияние интрогрессий от <i>Triticum timopheevii</i> в хромосому 2В пшеницы на устойчивость к засухе . . . . .	.247
Першина Л.А., Трубачеева Н.В., Россеева Л.П., Белан И.А. Аллоплазматические линии (<i>H. vulgare</i>)- <i>T. aestivum</i> с разным уровнем цито-ядерной совместимости: генетические модели и перспективные генотипы для селекции . . . . .	.251
Петраш Н.В., Стёпочкин П.И., Морозова Е.В., Шоева О.Ю., Пискарев В.В. Анализ молекулярными маркерами фиолетовой окраски зерна в потомстве отдаленных гибридов тритикале, полбы и пшеницы . . . . .	.255
Петрук В.А., Боровикова Т.В. Ремонтантная земляника в условиях лесостепи Сибири . . . . .	.260
Печегина Ю.В., Думачева Е.В., Печегин А.Ю., Гребенников А.А., Усольцева Е.В. Изучение сопряженности процессов газообмена у коллекционных образцов <i>Trifolium alexandrinum</i> L. с высокой устойчивостью к абиотическим стрессорам на ювенильном этапе . . . . .	.265
Пискарев В.В., Сухомлинов В.Ю., Морозова Е.В., Семенова Е.В., Мышкин И.А. Результаты изучения исходного материала гороха в 2023 году для выделения источников высокой выраженности ценных признаков . . . . .	.269
Плотников К.О., Клименко А.И., Лашин С.А. Анализ влияния аллелей <i>Vrn-1</i> и <i>Ppd-1</i> на хозяйственно ценные признаки мягкой пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.) . . . . .	.273
Потапов Д.А., Перфильев Р.Н., Салина Е.А., Полюдина Р.И. Изучение коллекции сои (<i>Glycine max</i> (L.) Merr.) для селекции на урожайность и содержание белка в зерне в условиях Западной Сибири . . . . .	.277
Потешкина А.А., Апарина В.А., Сухомлинов В.Ю., Пискарев В.В. Получение нового селекционного материала с транслокацией, несущей ген устойчивости <i>Lr42</i> . . . . .	.280
Розова М.А., Егиазарян Е.Е. Исходный материал в селекции яровой твердой пшеницы (<i>Triticum durum</i> Desf.) на Алтае . . . . .	.284
Романов Б.В. Ценный исходный селекционный материал из гексаполоникума . . . . .	.287
Романов В.С., Молчанова А.В. Межвидовая гибридизация в увеличении биоресурсной коллекции лука . . . . .	.291
Саламатина А.А., Ермошкина Н.Н. Исследование особенностей осеннего роста и развития и уровня зимостойкости озимой ржи в 2022–2023 гг. в условиях Западной Сибири . . . . .	.296
Саудабаева А.Ж., Мушинский А.А. Изучение морфологических признаков перспективных форм абрикоса в богарных условиях Оренбургской области . . . . .	.301
Серета Г.А., Серета С.Г., Серета Т.Г. Исходный материал и селекция яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Казахстана . . . . .	.305
Сидоров Р.А., Казаков Г.В. Особенности распределения жирных кислот в триацилглицеринах зрелых семян лунника оживающего (<i>Lunaria rediviva</i> L.) . . . . .	.310
Симагин А.Д., Симагина А.С., Захарова С.А., Вертикова Е.А. Биоресурсная коллекция льна кафедры генетики, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. . . . .	.314

Симонов А.В., Гордеева Е.И., Булатов И.О., Ли Вэньцзянь, Пшеничникова Т.А. Влияние интрогрессированных в геном мягкой пшеницы генов опущения листа на параметры фотосинтеза и устойчивость к засухе	317
Сколотнева Е.С., Разуваева А.В., Бойко Н.И., Лепехов С.Б., Воронцова Е.В. Изучение генетических основ устойчивости к фитопатогенным микроорганизмам и толерантности к абиотическим факторам сортов и линий мягкой пшеницы	321
Соболев К.В., Чуманова Е.В., Ефремова Т.Т., Кондратьева И.В. Использование генетического потенциала гексаплоидной пшеницы <i>Triticum petropavlovskyi</i> Udacz. et Migusch. в селекции мягкой пшеницы	324
Сорокопудов В.Н. Перспективы селекции <i>Sambucus nigra</i> L. в Центральном Нечерноземье	329
Сотник А.Я., Григорьев Ю.Н. Оценка сортов ячменя по урожайности в лесостепи Новосибирского Приобья	332
Сочалова Л.П., Бойко Н.И., Мушинов К.К., Пискарев В.В. Источники устойчивости мягкой яровой и озимой пшеницы к мучнистой росе и бурой ржавчине в условиях Новосибирской области	336
Стасюк А.И., Леонова И.Н., Мальчиков П.Н., Пискарев В.В. Изучение коллекции образцов твердой пшеницы по качеству зерна и аллельному составу локусов высокомолекулярных глютеинов	341
Стёпочкин П.И., Петраш Н.В., Гордеева Е.И., Силкова О.Г. Гибриды полбы (<i>T. dicosum</i> (Schrank) Schuebl.) и гексаплоидных тритикале (\times <i>Triticosecale</i> Wittmack)	344
Сунь Ц., Фотев Ю.В. Устойчивость к низкой температуре и патогенным микромицетам видов и форм рода <i>Vigna</i> Savy (<i>Fabaceae</i>)	348
Тимонова Е.М., Адонина И.Г., Логинова А.С., Бойко Н.И., Баранцова М.А., Салина Е.А. Получение удвоенных гаплоидов мягкой пшеницы для ускорения селекционного процесса	352
Тихонова Т.О., Степанов В.А., Козарь Е.Г., Енгальчева И.А. Оценка генофонда моркови столовой сортотипа Шантенэ по комплексу селекционно важных признаков и устойчивости к болезням для механизированной технологии	355
Тоцкий И.В., Кукоева Т.В., Григорьев Ю.Н., Шоева О.Ю. Создание беспроантоцианидиновых линий ячменя	360
Трифорова А.А., Борис К.В., Мальчиков П.Н., Кудрявцев А.М. Изучение вариабельности генов липоксигеназы у отечественных сортов твердой пшеницы	363
Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Брагина М.В. Источники засухоустойчивости для создания сортов овса и ячменя в условиях Северного Зауралья	367
Фомичева М.Г., Кулаков Ю.В. Повышение эффективности получения удвоенных гаплоидов моркови столовой (<i>Daucus carota</i> L.) за счет повышения эффективности удвоения ДНК и эмбрионного потенциала культуры микроспор	370
Фотев Ю.В. Интродукция и селекция теплолюбивых овощных растений в Сибири	374
Фролов А.А. Перспективы использования методов протеомики и метаболомики в селекции растений	379
Хайруллина А.Р., Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н.З., Кириллова Е.С., Идиатова Р.Х., Саубанова Г.Р., Багавиева Э.З. Особенности аминокислотного состава белка сорта шарозерной пшеницы Сакара и его связь с качеством зерна	381
Хусаинова И.И., Зуев Е.В., Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф. Характеристика образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР устойчивых к мучнистой росе в условиях Средневолжского региона	384

Цюпка В.А., Цюпка С.Ю., Булавин И.В. Морозостойкость сортов и гибридных форм маслины европейской (<i>Olea europaea</i> L.) коллекции Никитского ботанического сада	388
Цюпка С.Ю., Цюпка В.А., Булавин И.В. Оценка структурных особенностей <i>Olea europaea</i> L. в связи с засухоустойчивостью	392
Чепурнов Г.Ю. Анализ структурной организации и экспрессии гена <i>Vrn-D1</i> , контролирующего тип развития у <i>Aegilops tauschii</i> Coss.	395
Черепанов А.В., Боме Н.А. Лабораторная оценка устойчивости коллекционных образцов овса к хлоридному засолению	399
Чуманова Е.В., Ефремова Т.Т., Соболев К.В., Кондратьева И.В. Получение линий мягкой пшеницы с черной окраской зерна путем комбинирования генов, контролирующих фиолетовую окраску перикарпа и голубую окраску алейронового слоя	404
Шаманин В.П., Потоцкая И.В., Чурсин А.С., Ессе С.А., Безукладов И.В., Яковлева А.О., Карелова А.С., Шепелев С.С. Селекция на улучшение технологических и пищевых свойств яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири	409
Шушкина Е.В., Одерова Е.В. Агробиологическая оценка образцов лука батун (<i>Allium fistulosum</i> L.) в однолетней культуре	413
Шоева О.Ю., Глаголева А.Ю., Шмаков Н.А., Вихорев А.В., Молобекова К.А., Кукоева Т.В., Морозов С.В., Черняк Е.И., Хлесткина Е.К. Исследование хозяйственной ценности генов, контролирующих синтез меланинов в колосе ячменя (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	417
Шурхаева К.Д., Хуснутдинова А.Т., Абросимова Т.Н. Результаты селекции гороха на повышение урожайности в Татарском НИИСХ	421
Юркевич О.Ю., Саматадзе Т.Е., Семенов А.Р., Зоцук С.А., Амосова А.В., Муравенко О.В. Анализ репитома вида <i>H. flavescens</i> рода <i>Hedysarum</i> и поиск перспективных хромосомных маркеров	426
Юсов В.С., Евдокимов М.Г. Геномные области, связанные с массой тысячи зерен твердой пшеницы, в условиях Западной Сибири	429
Юсова О.А., Юсов В.С., Глушаков Д.А. Физиологическое развитие коллекционных сортообразцов яровой твердой пшеницы	434
Zeleneva Yu.V., Konkova E.A., Sudnikova V.P., Baranova O.A. Immunological assessment of spring wheat varieties to septoriosiis in the Saratov region	439
Авторский указатель	441

Научное издание

**ГЕНОФОНД
И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ**

Материалы 7-й Международной конференции,
посвященной 95-летию академика РАН П. Л. Гончарова

Публикуется в авторской редакции

Сетевое издание

СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН
630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1

