ГЕНОФОНД И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ

6-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
посвященная 135-летию Н. И. Вавилова

23–25 ноября 2022 г.

Организаторы

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

Сибирское отделение Российской академии наук (СО РАН)

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

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

Новосибирское отделение ВОГиС

Вавиловский журнал генетики и селекции (ВЖГиС)

Новосибирский государственный аграрный университет

Кафедра цитологии и генетики НГУ,

Кафедра информационной биологии НГУ

Спонсор конференции

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

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

ГЕНОФОНД И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ

6-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

23–25 ноября 2022 г.

Доклады и сообщения

Новосибирск
ИЦиГ СО РАН
2022

Г 34

Генофонд и селекция растений: сборник материалов 6-й Международной конференции «Генофонд и селекция растений» (Новосибирск, 23–25 ноября 2022 г.) / Федер. исслед. центр Ин-т цитологии и генетики Сиб. отделения Росс. академии наук. – Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 2022. – 240 с. – ISBN 978-5-91291-061-6.

DOI 10.18699/GPB-2022-01

Genepool and Plant Breeding (GPB2022): The 6th International Conference (November 23–25, 2022, Novosibirsk, Russia); Proceedings / Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Novosibirsk: ICG SB RAS, 2022. – 240 P. – ISBN 978-5-91291-061-6.

В сборнике материалов 6-й Международной конференции «Генофонд и селекция растений» представлены доклады и сообщения, подготовленные 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
E-mail орг. комитета GPB-2022: GPB2022@icg.sbras.ru
Тел.: +7 913-895-14-69
Тел./факс: +7 (383) 363-49-73; (383) 363-49-72

Для бумажной корреспонденции
630501, пос. Краснообск, Новосибирская область, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН

ISBN 978-5-91291-061-6

© Коллектив авторов, 2022
© Институт цитологии и генетики СО РАН, 2022

Оценка яровой мягкой пшеницы в питомнике КАСИБ на устойчивость к основным фитопатогенам

Агеева Е.В., к.с.-х.н., с.н.с., Капко Т.Н., н.с., Советов В.В., к.с-х.н., с.н.с.

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, 630501, Россия, Новосибирская обл., Новосибирский р-он, р.п. Краснообск, а/я 375
**e-mail: elenakolomeec@mail.ru*

В 2021—2022 гг. на опытном поле СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН была проведена оценка устойчивости сортов и селекционных линий яровой мягкой пшеницы из питомника КАСИБ-22 к основным листовым патогенам и пыльной головне. Наиболее благоприятным для распространения болезней был вегетационный период 2022 г. Высокая устойчивость к бурой ржавчине, мучнистой росе и пыльной головне наблюдалась у генотипов Линия Пт-235 и Линия Пт-311 из Курганского НИИСХ; Лютесценс 1462, Лютесценс 1486 и Лютесценс 1489 из Самарского НИИСХ; Лютесценс 76-17 из Омского ГАУ.

Ключевые слова: *яровая пшеница, мучнистая роса, бурая ржавчина, пыльная головня, устойчивость.*

Assessment of bread wheat in the KASIB nursery in case of resistance of the phytopathogens

Ageeva E.V., Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Kapko T.N., Researcher, Sovetov V.V. Candidate of Agricultural Sciences, 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, 630501, Russia, Novosibirsk region, Novosibirsk district, r.p. Krasnoobsk, PO Box 375
**e-mail: elenakolomeec@mail.ru*

An assessment of resistance of cultivars and breeding lines of common wheat from the KASIB-22 nursery to main leaf pathogens and loose smut was made on the experimental field of SibRIPP&B — Branch of ICG SB RAS in conditions 2021-2022. The most favorable for the spread of diseases was the growing season of 2022. A high resistance to leaf rust, powdery mildew and loose smut was obtained at the genotypes Line Pt-235 and Line Pt-311 from the Kurgan Research Institute of Agriculture; Lutescens 1462, Lutescens 1486 and Lutescens 1489 produced by the Samara Research Institute of Agriculture; Lutescens 76-17 from the Omsk State Agrarian University.

Keywords: *common wheat, powdery mildew, leaf rust, loose smut, resistance.*

Пшеница является одной из основных продовольственных культур на Земле. Качество зерна пшеницы в большей степени зависит от технологии возделывания культуры и от почвенно-климатических условий вегетации [1].

В засушливые годы распространение патогенов таких болезней как ржавчина, мучнистая роса и пыльная головня происходит хуже, чем в годы, сопровождаемые повышенным количеством осадков и низкой температурой воздуха. Заражение зерновых культур этими патогенами приводит к снижению интенсивности фотосинтеза и дыхания растения через лист, а также к не явному и к скрытому недобору урожая: формированию меньшего по размеру колоса, пониженной озерненности колосков и т.д. [2–4].

Цель исследования – иммунологическая оценка сортов и селекционных линий различного эколого-географического происхождения в условиях Приобья.

Материалы и методы

В качестве исходного материала для исследований использовали сорта и селекционные линии из питомника КАСИБ-22. Сорта представлены из различных регионов России и Казахстана. Исследования проводились в условиях Новосибирской области в период с 2021 по 2022 гг. на поле СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН. Иммунологические оценки, фенологические наблюдения и учеты проведены согласно методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019) [5] и принятой программы КАСИБ. Международные стандарты питомника – Памяти Азиева, Дуэт, Омская 35, Терция, Астана, Саратовская 29. Местные стандарты – Новосибирская 41, Новосибирская 18, Сибирская 12.

Учеты бурой ржавчины проводят в фазу молочной спелости зерна. Оценка степени поражение сортов мягкой яровой пшеницы ржавчиной проводили по международной шкале CIMMIT [6]. Степень поражения мучнистой росой определяют по шкале Э.Э. Гешеле [6]. Учеты пораженности пыльной головней определяли по предложенной А.Е. Чумаковым и Т.И. Захаровой методике в интерпретации Шутко [7, 8].

Результаты исследования

Благоприятные условия для бурой ржавчины сложились в 2021 г.: теплый и избыточно увлажненный июнь (ГТК = 1,51) с осадками преимущественно в I и III декадах месяца способствовал развитию возбудителя в начале III декады июля. Распространение патогена оценивалось в среднем как 20MR–60S (у 26 образцов) (рисунок). Генотипами с устойчивостью к данному заболеванию оказались Лютесценс 8-12-18, Терция, Линия Пт-235, Линия Пт-311, Лютесценс 1462, Лютесценс 1486, Лютесценс 1489, Агрономическая 5, Лютесценс 76-17 и Лютесценс 71/10-4. Инфекция бурой ржавчины во второй год изучения набора сортообразцов на опытном поле была зафиксирована в третью декаду июля. Поражение было слабым и оценивалось как

O–30MR (у 39 образцов). Однако, дальнейшего распространение заболевания на посевах не наблюдалось, что можно связать с установившимися погодными условиями, поскольку в июле наблюдалась жаркая и засушливая погода. За весь месяц выпало всего 48 мм осадков, в том числе 24 мм за один день в середине первой декады и 19 – за начало третьей. Засуха продолжилась до середины августа. Такие условия отрицательно сказываются на распространении возбудителя бурой ржавчины. Наиболее устойчивы были те же сорта и селекционные линии, что и в 2021 г. Сильнее всего подвергались заражению данным патогеном в оба года изучения линии Лютесценс 176/09, Линия 435/12 и Лютесценс 77 201/09, поражение у этих образцов оценивалось в 60S.

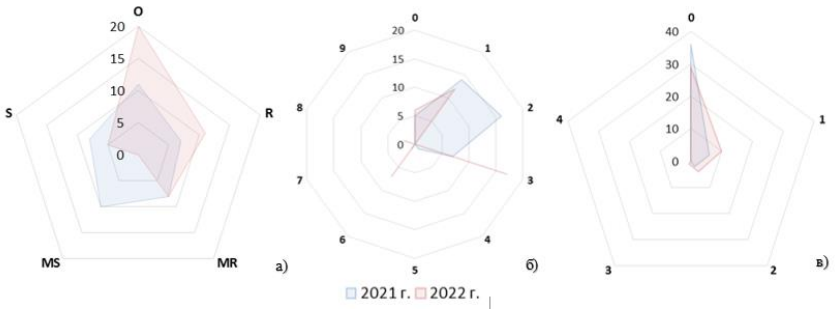


Рисунок. Поражение сортов яровой пшеницы основными фитопатогенами: а) бурой ржавчиной; б) мучнистой росой; в) пыльной головней.

Сортообразцы из питомника КАСИБ-22 в качестве исходного материала могут иметь большое значение в решении задач, связанных с устойчивостью к листовым болезням, о чем говорят полученные данные по мучнистой росе. Начало распространения возбудителя мучнистой росы в 2021-2022 гг. было отмечено в начале июля. В оба года исследования погодные условия (жаркая и влажная погода в июне), были благоприятны для распространения возбудителя. Большинство сортов и линий в 2021 и 2022 гг. имели степень поражения 0–10 % (19 и 18 шт. соответственно) и 20–30 % (23 и 17 шт.). Сильное поражение мучнистой росой (60–80 %) отмечено в 2022 г. у 9 генотипов. Это сорта и селекционные линии казахстанской селекции – Династия, Линия 198/225-2020, Линия 205-2020, Лютесценс 176/09, Лютесценс 2244, Лютесценс 2219, Лютесценс 2223, Линия 23/07 и стандартный сорт Терция.

Восприимчивыми к возбудителю пыльной головни оказались в 2021 г. 8 генотипов. В фазу цветения сложились благоприятные почвенно-климатические условия для распространения возбудителя, и заражению пыльной головней подверглись 15 сортообразцов из набора Казахстанско-Сибирского питомника, что было установлено на следующий год. В 2021 г. в основном

наблюдалось единичное поражение (1 балл) и лишь на двух образцах было слабое поражение (2 балла). Из 15 сортов и линий в 2022 г., оцененных по их реакциям на пыльную головню пшеницы, только десять имели единичное поражение, в то время как четыре линии имели слабое поражение и одна линия имела среднее поражение пыльной головней (3 балла).

В результате проведенных исследований, из набора питомника КАСИБ-22 были выделены сорта и селекционные линии, обладающие групповой устойчивостью к листовым болезням и пыльной головне. Высокая устойчивость к бурой ржавчине, мучнистой росе и к пыльной головне была отмечена у сортообразцов Линия Пт-235 и Линия Пт-311 из Курганского НИИСХ; Лютесценс 1462, Лютесценс 1486 и Лютесценс 1489 из Самарского НИИСХ; Лютесценс 76-17 из Омского ГАУ. Средняя устойчивость к бурой ржавчине и мучнистой росе наблюдалась у таких генотипов как Линия 2/03-09-3, Лютесценс 8-12-18, KS 14/09-2, KS 61/09-4, KS 285/12-1586, Лютесценс 1364, Агрономическая 5 и Лютесценс 71/10-4.

Таким образом, на образцах из питомника КАСИБ можно получить оценку исходного материала из РФ и Казахстана, а также отобрать наиболее устойчивые генотипы к бурой ржавчине, мучнистой росе и пыльной головне.

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

Список литературы

1. Bokore F.T., Knox R.E., Hiebert C.W., Cuthbert R.D., DePauw R.M., Meyer B., N'Diaye A., Pozniak C.J., McCallum B.D. A combination of leaf rust resistance genes, including Lr34 and Lr46, is the key to the durable resistance of the Canadian wheat cultivar, Carberry // Frontiers in Plant Science. Brent. 2022. V. 12. 775383. DOI:10.3389/fpls.2021.775383.
2. Доброзракова Т.Л. Сельскохозяйственная фитопатология // Под ред. проф. М.К. Хохрякова. Л.: Колос, 1974. 328 с.
3. Танский В.И., Долженко В.И., Гончаров Н.Р., Ишкова Т.И. Защита зерновых культур от вредителей, болезней и сорняков в Нечерноземной зане России. СПб.: Пушкин, ВИЗР, 2004. 48 с.
4. Койшыбаев М. Болезни пшеницы. Анкара. 2018. 365 с.
5. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М., 2019. 329 с.
6. Койшыбаев М., Муминджанов Х. Методические указания по мониторингу болезней, вредителей и сорных растений на посевах зерновых культур. Анкара, 2016. 29 с.
7. Койшыбаев М. Болезни зерновых культур: симптомы, распространение и вредоносность, специализация, биологические особенности, структура популяций возбудителей и интегрированная защита посевов. Алматы: «Бас-тау», 2002. 368 с.
8. Шутко А.П., Тутуржанс Л.В. Фитосанитарная диагностика болезней растений: учебное пособие. Ставрополь: АГРУС, 2018. 111 с.

Изучение генетического полиморфизма российских сортов вики с использованием SRAP-маркеров

Антонов А.А., м.н.с.; Душкин В.А., м.н.с.; Шамустакимова А.О., н.с.; Клименко И.А., к.с.-х.н., с.н.с., заведующая лабораторией молекулярно-генетических исследований кормовых культур*

ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса», МО, Лобня, Россия.
**e-mail: antonov4B@yandex.ru*

В ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» проведены исследования по изучению межсортового и межвидового полиморфизма вики посевной (Vicia sativa L.*) и мохнатой (Vicia villosa* Roth.*) с использованием SRAP-маркеров. Показана высокая эффективность применяемой системы маркирования, установлены филогенетические связи между анализируемыми образцами, определен набор информативных маркеров для различения видов и сортов.*

Ключевые слова: *Вика посевная, Вика мохнатая, генетический полиморфизм, ПЦР-анализ, SRAP-маркеры.*

The investigation of genetic polymorphism of Russian vetch varieties using SRAP markers

Antonov A.A., Dushkin V. A., Shamustakimova A.O., Klimenko I.A.*
Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Moscow region, Lobnya, Russia.
**e-mail: antonov4B@yandex.ru*

The inter-varietal and interspecies polymorphism of common vetch (Vicia sativa L.*) and hairy vetch (Vicia villosa* Roth.*) was assessed based on the data of SRAP analysis. The study was conducted in Williams Research Center of Forage Production and Agroecology. The high effectiveness of the marking system was found. Phylogenetic relationships between the studied samples were established and the set of markers for species and varieties differentiation was detected.*

Keywords: *common vetch, hairy vetch, genetic polymorphism, PCR analysis, SRAP markers.*

Вика (лат. *Vicia*) – род растений семейства бобовые, происходящий из Средиземноморья и Ближнего Востока. Это одна из традиционных для России кормовых бобовых культур, высевается как самостоятельно, так и в смеси со злаковыми и капустными видами. Наиболее распространенными представителями рода являются Вика посевная (*Vicia sativa* L.) и Вика мох-

натая (*Vicia villosa* Roth.). Используется в качестве зеленого корма, для заготовки сена, сенажа и силоса, как эффективный компонент комбикормов в рационах моногастричных животных и птицы. Кормовая ценность вики определяется высоким содержанием белка: от 18 до 22 % в зеленой массе (в пересчете на сухое вещество) и до 35 % – в семенах. Следует отметить и важную агротехническую роль этой бобовой культуры. Благодаря способности к симбиотической азотфиксации, вика оставляет в почве от 60 до 100 кг/га биологического азота и является хорошим предшественником для всех сельскохозяйственных культур [1].

За последние несколько десятилетий селекционерами создано множество высокопродуктивных сортов нового поколения, хорошо адаптированных к биотическим и абиотическим стрессам. Чтобы обеспечить рациональное использование, сохранение, правовую защиту селекционных достижений, своевременное решение вопросов сортообновления и сортосмены, необходимы надежные методы сортовой идентификации и контроля генетической изменчивости. С 90-х годов прошлого века для этих целей успешно применяются ДНК-маркеры на основе ПЦР-технологии. Генетическое разнообразие культивируемых сортов, образцов национальных коллекций и дикорастущих популяций вики изучали с использованием различных типов молекулярных маркеров: SSR, ISSR, AFLP, SCoT и др. [2–5].

В настоящей работе впервые проведен анализ ДНК-полиморфизма российских сортов вики посевной и мохнатой на основе маркерной системы SRAP (*sequence related amplified polymorphism*).

Материалы и методы

Объектом исследования служили 12 сортов Вики посевной и Вики мохнатой, полученные в ЦКП «Биологические коллекции кормовых растений» – ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» (Валентина, Луговская 15, Луговская 98, Юбилейная 110, Калиниградская 6) и из коллекции генофонда ВИР им. Н.И. Вавилова (Непоседа, Вера, Узуновская 91, Орловская 91, Луговская 2, Сиверская 2, Нежностебельная).

Геномную ДНК для ПЦР выделяли модифицированным SDS-методом из семидневных проростков [6]. Использовали суммарную навеску части растительной ткани (гипокотиль и эпикотиль) 30 генотипов от каждого сорта («балк-образец»). Концентрацию полученных образцов ДНК измеряли на спектрофотометре «NanoNabi» (Республика Корея) и доводили до единого значения 30 нг/мкл.

Амплификацию ДНК проводили в термоциклере C1000 («Bio-Rad», США) с использованием набора реагентов и 20 праймеров, синтезированных в ЗАО «Евроген» (Россия). Праймеры разработаны к SRAP-маркерам, информация о которых представлена в работе Rhouma et al. [7]. Реакционная смесь конечным объемом 20 мкл содержала 1,5х Taq Turbo buffer, 0,5х dNTP mix, 2,5 U Taq-ДНК полимеразы, 30 нг ДНК, а также по 0,5 мкМ каждого

праймера.

Продукты ПЦР разделяли в агарозном геле (1,6 %, LE2, «Amresco», США) и определяли их размер с помощью системы гель-документирования «GelDoc™ XR+» («Bio-Rad», США) и программного обеспечения «ImageLab». Для статистической обработки полученных данных использовали программу «PopGene» [8]; показатель информативности (PIC) молекулярных маркеров рассчитывали по формуле, приведенной в работе Чеснокова и Артемьевой [9].

Результаты и обсуждение

SRAP-анализ основан на ПЦР с парой праймеров, нацеленных на амплификацию интрон-экзонных участков генома или открытых рамок считывания (ORF). По результатам предварительного тестирования из 20 комбинаций SPAP-праймеров были выбраны 4 (табл. 1), обеспечивающие стабильные полиморфные фрагменты при условиях амплификации, предложенных Aneja et al. [10].

Таблица 1 – SRAP-маркеры для изучения ДНК-полиморфизма сортов вики (по Rhouma et al. [7])

Комбинация SRAP-маркеров	Нуклеотидная последовательность (п.н.)
F9-R8	GTAGCACAAGCCGGACC/GACACCGTACGAATTGAC
F10-R7	GTAGCACAAGCCGGAAG/GACTGCGTACGAATTGAG
F10-R14	GTAGCACAAGCCGGAAG/CGCACGTCCGTAATTAAC
F13-R7	CGAATCTTAGCCGGCAC/GACTGCGTACGAATTGAG

По результатам анализа получено в совокупности 156 фрагментов амплификации размером от 183 до 1089 п.н., из них полиморфных – 3. Средний уровень полиморфизма на каждую комбинацию праймеров составил 2,10 %. Эффективное число аллелей в общей выборке равнялось в среднем 1,638. Причем на одну комбинацию праймеров приходилось от 32 (F13-R7) до 49 (F9-R8) аллелей. Для изучаемого материала определены показатели генетического разнообразия: ожидаемая гетерозиготность (генетические дистанции по Нею – H_e) и индекс Шеннона, которые незначительно различались по сортам и, в среднем, составили 0,365 и 0,535 соответственно. Это свидетельствовало о невысокой степени ДНК-полиморфизма и могло быть обусловлено использованием общих или близкородственных генетических ресурсов для селекции данной культуры в разных научных учреждениях (ФНЦ «ВИК», ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, ФИЦ картофеля, Калининградский НИИСХ).

Таблица 2 – Показатели генетической изменчивости в исследуемой выборке сортов вики

Комбинация SRAP-праймеров	Размер ПЦР-продуктов, п.н.	Общее кол-во ПЦР-продуктов	Кол-во полиморфных продуктов	Процент полиморфизма	Эффективное число аллелей (N_e)	Индекс разнообразия по Нею (H_e)	Индекс Шеннона (I)
F9-R8	181-1697	49	-	-	1,69	0,38	0,55
F10-R7	235-1083	34	1	2,9 %	1,63	0,36	0,53
F10-R14	200-1089	41	1	2,4 %	1,59	0,35	0,52
F13-R7	414-836	32	1	3,1 %	1,64	0,37	0,54
Среднее	-	39,0	0,75	2,10 %	1,638	0,365	0,535

Эффективность SRAP-маркерной системы оценили путем расчета индекса информативности праймера или величины информационного полиморфизма (PIC). Индекс полиморфизма изменялся в диапазоне от 0,76 до 0,88 (рис.). Среднее значение PIC составило 0,825, что указывает на высокий уровень информативности используемых маркеров. Наиболее информативными для выявления генетической вариабельности оказались маркеры в комбинации F10-R14 (PIC 0,88), наименьшее значение этого показателя определено для F10-R7 (PIC 0,76).

На основании результатов SRAP-анализа была проведена кластеризация изучаемых образцов вики методом UPGMA. Сорта разделились по группам в соответствии с их видовой принадлежностью. В первую группу выделились образцы вики мохнатой (Сиверская 2, Калининградская 6, Нежностебельная, Луговская 2). Оставшиеся сорта вики посевной яровой оказались в отдельном кластере.

Информативные праймерные пары дифференцировали сорта вики, относящиеся к разным видам (посевная и мохнатая), а с комбинациями F10-R7, F10-R14 и F13-R7 получены сортоспецифичные бэнды для образцов Юбилейная 110 (349 п.н.), Луговская 98 (482 п.н.) и Калининградская 6 (545 п.н.) соответственно.

Проведенные исследования позволяют заключить, что испытанная техника SRAP-анализа пригодна для оценки генетического полиморфизма вики. Определены информативные ДНК-маркеры для различения сортов и видов. Однако для повышения потенциала системы по выявлению полиморфизма между сортами необходимо увеличивать выборку образцов для анализа и количество используемых маркеров.

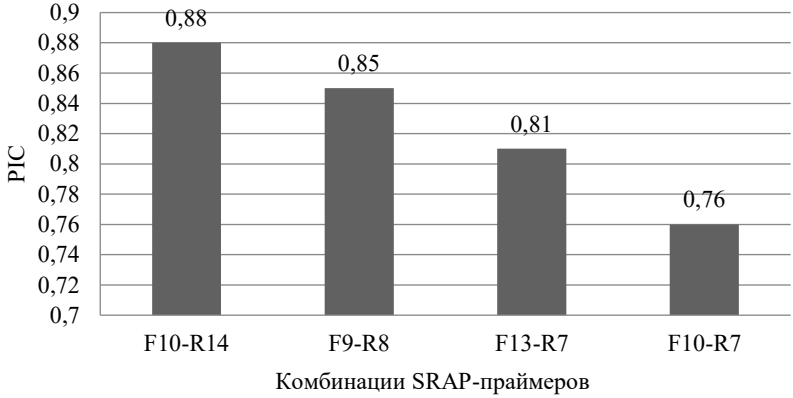


Рисунок. Значения индекса информационного полиморфизма (PIC) SRAP-маркеров, используемых для молекулярно-генетического анализа сортов вики.

Список литературы

1. Тюрин Ю.С., Косолапов В.М. Селекция сортов вики посевной зернофуражного и укосного использования // Кормопроизводство. 2015. №. 7. С. 29–32.
2. De la Rosa L. et al. Common vetch, valuable germplasm for resilient agriculture: genetic characterization and Spanish core collection development // Frontiers in plant science. 2021. Т. 12. С. 617873.
3. Potokina E.K., Aleksandrova T.G. Genetic singularity coefficients of common vetch *Vicia sativa* L. accessions determined with molecular markers // Russian journal of genetics. 2008. Т. 44. №. 11. С. 1309–1316.
4. Potokina E. et al. AFLP diversity in the common vetch (*Vicia sativa* L.) on the world scale // Theoretical and Applied Genetics. 2002. Т. 105. №. 1. С. 58–67.
5. Chai X. et al. Optimizing sample size to assess the genetic diversity in common vetch (*Vicia sativa* L.) populations using start codon targeted (SCoT) markers // Molecules. 2017. Т. 22. №. 4. С. 567.
6. Клименко И.А. и др. Идентификация и паспортизация сортов кормовых трав (клевера лугового, люцерны изменчивой, посевной и хмелевидной) на основе ДНК-маркеров. 2020.
7. Rhouma H.B. et al. Assessment of the genetic variation in alfalfa genotypes using SRAP markers for breeding purposes // Chilean journal of agricultural research. 2017. Т. 77. №. 4. С. 332–339.
8. Yeh F. C. et al. POPGENE, the user-friendly shareware for population genetic analysis // Molecular biology and biotechnology centre, University of Alberta, Canada. 1997. Т. 10. С. 295–301.
9. Чесноков Ю.В., Артемьева А. М. Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообразия // Сельскохозяйственная биология. 2015. №. 5. С. 571–578.
10. 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. Т. 19. №. 3. С. 399–407.

Высокоурожайные источники устойчивости яровой мягкой пшеницы среднеранней группы спелости в условиях Новосибирской области в 2019-2021 гг.

Апарина В.А., лаборант-исследователь; Сухомлинов В.Ю., агроном 1-ой категории; Потешкина А.А, м.н.с.; Пискарев В.В., к.с.-х.н., зав. лаб. генофонда растений.*

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
**e-mail: aparina.viktoriya@yandex.ru*

Одной из наиболее широко возделываемых культур в условиях Сибири является яровая пшеница. Листостебельные патогены могут снижать продуктивность пшеницы до 50%. В связи с этим, целью исследования является оценка показателей продуктивности коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы, устойчивых к комплексу грибных болезней. Исследование проведено на опытном поле СибНИИРС-филиал ИЦиГ СО РАН в 2019-2021 гг. Оценку поражения линий мягкой яровой пшеницы листостебельными фитопатогенами проводили в полевых условиях на естественном инфекционном фоне. В результате исследования были выделены источники, сочетающие устойчивость к бурой ржавчине и мучнистой росе (7-99 баллов) с высокой массой 1000 зёрен и урожайностью: Етюд (597,0), SW Vinjett (575,3), Свеча (573,1), Легенда (571,4), Харьковская 18 (567,9), Лютесценс 503 (560,7 г/м^2), Glenlea (46,6), Казанская юбилейная (45,9), Харьковская 22 (44,5), Eslenlea (44,4), Воронежская 16 (43,3), PS 133 (41,5), Челяба 75 (41,1), AC Drummond (41,1) AC Glenavon (40,9), Новосибирская 30 (40,8), Геракл (40,2 г).

Ключевые слова: *пшеница мягкая яровая урожайность; устойчивость; источник; урожайность; масса 1000 зёрен.*

High-yielding sources of resistance of spring soft wheat of the medium-early ripeness group in the conditions of the Novosibirsk region in 2019-2021

Aparina V.A., Sukhomlinov V.Yu., Poteshkina A.A., Piskarev V.V.
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS
e-mail: aparina.viktoriya@yandex.ru

One of the most widely cultivated crops in Siberia is spring wheat. Leaf-stemming pathogens can reduce wheat productivity by up to 50%. In this regard, the aim of the study is to assess the productivity indicators of bread wheat varieties

resistant to a complex of fungal diseases. The study was conducted at the experimental plot of SibRIPP&B - Branch of ICG SB RAS in 2019-2021. Evaluation of the resistance of soft spring wheat lines to leaf-stem phytopathogens defeat was carried out in the field on a natural infectious background. As a result sources of high 1000 grain weight and yield were identified: Etud (597.0), SW Vinjett (575.3), Svecha (573.1), Legenda (571.4), Kharkovskaya 18 (567.9), Lutescens 503 (560.7 g/m^2), Glenlea (46,6), Kazanskaya Jubileinaya (45,9), Kharkivskaya 22 (44,5), Eslenlea (44,4), Voronezhskaya 16 (43,3), PS 133 (41,5), Chelyaba 75 (41,1), AC Drummond (41,1) AC Glenavon (40.9), Novosibirskaya 30 (40.8), Gercules (40.2 g).

Keywords: *soft spring wheat; resistance; source; yield; 1000 grain weight.*

На территории России 64% посевных площадей занимают зерновые и зернобобовые культуры По данным Росстата в 2022 году в Новосибирской области засеяно 920 тыс. га яровой пшеницей, что составляет 38,7% от общей посевной площади области [1]. Однако, биотические и абиотические факторы оказывают лимитирующее воздействие на потенциал сортов пшеницы. Основными причинами недобора урожая являются засуха и пораженность грибными болезнями с воздушно-капельным путём распространения. При эпифитотийном развитии листовой ржавчины в отдельности и совместно с септориозом потери урожая яровой пшеницы могут достигать 15-25%, а от стеблевой ржавчины – 40-50% и более [3]. Проявление устойчивости у сортов часто снижает продуктивность, поэтому для селекционеров представляет интерес создание устойчивых и высокопродуктивных сортов мягкой пшеницы.

Целью исследования является оценка показателей продуктивности коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы, устойчивых к комплексу грибных болезней.

Исследование проводили на опытном поле СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН в 2019-2021 гг. Материалом для исследования послужили 81 линия пшеницы мягкой яровой среднеранней группы спелости, отобранные из коллекционных образцов, сохраняемых в лаборатории генофонда растений СибНИИРС, устойчивые к одному или нескольким заболеваниям. Стандартами для среднеранней группы спелости являлась Новосибирская 31. Посев питомника проводили в оптимальные сроки сеялкой ССФК-7. Площадь делянки 2 м^2, посев изучаемых образцов без повторений, стандартов в 4-х повторениях. Закладка опытов проводилась по чёрному пару. Обработка почвы общепринятая для лесостепной зоны.

Оценка элементов продуктивности изучаемых линий пшеницы мягкой яровой проведена по методике ВИР [4], разработанной для изучения новых поступлений коллекционных образцов. В период вегетации растений отмечены фенологические фазы – всходы, колошение, восковая спелость. В

фазу восковой спелости растения убраны в снопы и подвергнуты структурному анализу. Оценка поражения линий мягкой яровой пшеницы заболеваниями, распространенными в Западной Сибири, проводили в полевых условиях на естественном инфекционном фоне по методике ВИР [4]. Анализ устойчивости проводили в следующие фазы и периоды развития растений: выход в трубку–колошение – к мучнистой росе; колошение – к бурой ржавчине (первый раз); молочное состояние зерна – к бурой ржавчине (второй раз). Устойчивость образцов к грибным патогенам определяли по шкале: 99 баллов – признаки поражения отсутствуют, 9 баллов – поражение менее 5%, 7 баллов – 6…10%, 5 баллов – 11...20%, 3 балла – 21…50%; 1 балл – более 50% [4].

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы MS Excel. Существенность различий сортов оценивалась с учетом величины $НСР_{05}$ [2].

Влагообеспеченность периода вегетации 2019 и 2021 года характеризовалась как недостаточная, в то время как в 2020 году в целом сложились оптимальные условия для роста и развития растений.

В результате оценки сортов мягкой яровой пшеницы среднеранней группы спелости выделены образцы устойчивые к основным заболеваниям (мучнистая роса и бурая ржавчина, устойчивость 7…99 баллов) и характеризующиеся показателями продуктивности на уровне или выше стандарта (табл.). Комплексная устойчивость выявлена у образцов: Етюд с достоверной прибавкой урожайности на 121,7 г/м^2 в сравнении со стандартом Новосибирская 31 (475,3 г/м^2) и массой 1000 зёрен на уровне стандарта, Харьковская 22, PS 133, Челяба 75, Eslenlea, AC Glenavon, Казанская юбилейная, Воронежская 16, Геракл, Новосибирская 30, Glenlea, AC Drummond – линии с превышением по массе 1000 зёрен от 4,3 до 10,7 г и формирующие урожайность на уровне стандарта, SW Vinjett, Свеча, Легенда, Лютесценс 503- линии с достоверным превышением по урожайности от 85,4 до 100 г/м^2, Харьковская 18 с достоверной прибавкой урожайности на 92,6 г/м^2 и массы 1000 зёрен на 6,9 г в сравнении со стандартом Новосибирская 31.

Устойчивость к мучнистой росе проявляли образцы: Памяти Вавенкова с достоверным превышением по массе 1000 зёрен на 5,2 г, показавшая урожайность на уровне стандарта, Омская 33 – линия со значительным превышением по урожайности на 87,3 г/м^2 и с достоверным превышением по массе 1000 зёрен на 6,1 г, Омская 23 – линия превысившая стандарт по массе 1000 зёрен на 12,7 г.

Линия ACSAD 305 характеризовалась высокой устойчивостью к бурой ржавчине (99 баллов) с достоверным превышением по массе 1000 зёрен на 5,8 г стандарта Новосибирская 31 (35,9 г).

Таблица – Продуктивность и устойчивость образцов среднеранней группы спелости образцов яровой мягкой пшеницы в 2019–2021 гг.

Название	Масса 1000 зёрен, г (2019, 2021 гг.)	Урожайность, г/м^2 (2019, 2021 гг.)	Устойчивость к *…, балл	
			мучнистой росе (2019-2021 гг.)	бурой ржавчине (2019-2021 гг.)
St. Новосибирская 31	35,9	475,3	5-7	5-7
Етюд	32,4	597,0	9	99
SW Vinjett	31,9	575,3	9-99	5-7
Свеча	39,2	573,1	7-99	7
Легенда	34,6	571,4	5-9	7-9
Харьковская 18	42,8	567,9	5-7	5-9
Омская 33	42,0	562,6	7-9	3-5
Лютесценс 503	40,1	560,7	7-9	99
Омская 23	48,6	390,6	5-7	3-5
Glenlea	46,6	411,7	7-99	7-99
Казанская юбилейная	45,9	458,0	5-9	5-9
Харьковская 22	44,5	528,9	7-9	7
Eslenlea	44,4	469,6	5-99	9
Воронежская 16	43,3	424,7	3-7	3-9
ACSAD 305	41,7	384,7	1-5	99
PS 133	41,5	499,5	99	7-99
Челяба 75	41,1	472,5	3-7	99
AC Drummond	41,1	472,3	7-9	99
Памяти Вавенкова	41,1	461,6	5-7	3-5
AC Glenavon	40,9	433,9	3-7	5-9
Новосибирская 30	40,8	429,6	5-9	5-9
Геракл	40,2	528,6	7-99	9
$НСР_{05}$	4,2	78,6		

*-устойчивость приведена с варьированием по годам.

В результате исследования были выделены источники, сочетающие устойчивость к бурой ржавчине и мучнистой росе с высокой массой 1000 зёрен и урожайностью: Етюд (597,0), SW Vinjett (575,3), Свеча (573,1), Легенда (571,4), Харьковская 18 (567,9), Лютесценс 503 (560,7 г/м^2), Glenlea (46,6), Казанская юбилейная (45,9), Харьковская 22 (44,5), Eslenlea (44,4), Воронежская 16 (43,3), PS 133 (41,5), Челяба 75 (41,1), AC Drummond (41,1) AC Glenavon (40,9), Новосибирская 30 (40,8), Геракл (40,2 г).

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

Список литературы

1. Бюллетень «Посевные площади Российской Федерации в 2022 году (весеннего учета)» // Федеральная служба государственной статистики URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-sx-22.zip (дата обращения: 06.10.2022).

2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1968. 336 с.
3. Койшыбаев М., Болтыбаева Л.А., Копирова Г.И. Гермаплазма пшеницы с групповой устойчивостью к болезням с воздушно-капельной инфекцией. Агромеридиан. 2008. 9. №3. С.34–42.
4. Мережко А.Ф. и др. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале. Методические указания // СПб.: ВИР. 1999. 81 с.

Генофонд *Sorbocotoneaster* для селекции рябины

Асбаганов С.В., к.б.н., с.н.с.*

ФГБНУ Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия.
**e-mail: cryonus@mail.ru*

Sorbocotoneaster – естественный межродовой гибрид Sorbus и Cotoneaster. Сочетание межродовой гибридизации, полиплоидии и апомиксиса привели к образованию уникального природного гибридогенного комплекса, комбинирующего в своём генофонде хозяйственно ценные признаки. Экспериментально показано отсутствие репродуктивных барьеров между природными генотипами Sorbocotoneaster и устойчивыми в Сибири видами и сортами Sorbus, получены искусственные аллополиплоидные гибриды.

Ключевые слова: *Sorbocotoneaster, Sorbus, межродовая гибридизация, аллополиплоидия.*

Sorbocotoneaster gene pool in *Sorbus* breeding

*Asbaganov S.V.**
Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia.
**e-mail: cryonus@mail.ru*

Sorbocotoneaster is a natural intergeneric hybrid of Sorbus and Cotoneaster. The combination of intergeneric hybridization, polyploidy and apomixis led to the formation of a unique natural hybridogenic complex that combines economically valuable traits in its gene pool. The absence of reproductive barriers between the natural genotypes of Sorbocotoneaster and Sorbus species and varieties resistant in Siberia was experimentally shown; artificial allopolyploid hybrids were obtained.

Keywords: *Sorbocotoneaster, Sorbus, intergeneric hybridization, allopolyploidy.*

Гибридный род ×*Sorbocotoneaster* Pojark., возник от спонтанной гибридизации *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt и *Sorbus sibirica* Hedl. (Rosaceae). Единственный вид ×*Sorbocotoneaster pozdnjakovii* Pojark. описан А.И. Поярковой по сборам Л.К. Позднякова [1]. Узколокальный эндемик долины среднего течения р. Алдан (от г. Томмот до устья р. Учур), включен в Красные книги РФ (2008, статус 3а), Республики Саха (Якутия) (2017, статус 1).

В природе представлен множеством вариаций переходных между родительскими видами. Можно выделить три основных морфотипа: «рябиновый», «промежуточный», «кизильниковый». Формы с преобладанием генетического материала рябины предпочитают среднеувлажненные местообитания, что соответствует мезофитному облику *Sorbus sibirica*. Ксерофитная природа *Cotoneaster melanocarpus* проявляется у генотипов *Sorbocotoneaster* с преобладанием генетического материала кизильника, обитающих в составе сухих разреженных сосняков и на открытых склонах. Наибольшая пластичность характерна для промежуточных форм [2].

Sorbocotoneaster pozdnjakovii – кустарник от 1,2 до 4,8 м выс., обычно двумя-четырьмя (до 10 у рябиновых форм) тонкими стволами 2-3 см в диаметре. Молодые побеги сначала волосисто-войлочные, позднее рассеянно-волосистые. Листья очередные, простые лопастные или сложные непарноперистые, сверху зеленые матовые, снизу серо-войлочные. Форма листьев и листочков очень непостоянная, конечные листочки часто значительно крупнее боковых, цельнокрайние или на верхушке острозубчатые. Цветки по 2–8(11) шт. в кистевидных или щитковидных соцветиях на концах коротких облиственных веточек, обоеполые, правильные, с двойным околоцветником, чаще белые, лепестков и чашелистиков по 5, тычинки многочисленные, завязь нижняя или полунижняя. Плоды сочные, шаровидные, красные, красно-черные с восковым налетом, с ароматом и привкусом рябины. «Косточки» (3-4) как у кизильника [1, 3, 4]. Отмечается высокое содержание каратиноидов в плодах – 42.6 мг/% [5]. При переходе от «рябиновой» к «кизильниковой» форме наблюдается отчетливая скоррелированность изменения всех признаков. Уменьшаются размеры кустов и листьев, число боковых листочков и степень зазубренности их краев. Возрастает интенсивность опушения нижней поверхности листьев. Уменьшается число цветков и плодов в соцветиях, изменяются окраска и вкусовые качества плодов [4]. Известны числа хромосом 2n=51, 68, 85(84-87) [6, 7].

В Сибири интродуцирован в ЦСБС СО РАН, АЛТФ ЦСБС СО РАН, БС СВФУ, НИИСС ЯБС ИБПК СО РАН, СибБС ТГУ, ХНБС, ЯБС ИБПК СО РАН. Во всех пунктах интродукции устойчив, высокозимостоек [8]. В коллекцию ЦСБС СО РАН привлечен из Республики Саха (Якутия) (1987, 2015). В 2015 году сформирована полиморфная популяция из 16 форм, отобранных в природе в долине среднего течения р. Алдан.

В условиях культуры (по сравнению с природными образцами) растения характеризуются большей устойчивостью к неблагоприятным факторам, повышенной побегообразовательной способностью, густотой кроны, обильностью плодоношения. Увеличивается долговечность отдельных побегов за счет более мягкого климата условий интродукции. Феноритмотип в условиях Новосибирска весенне-летне-осенне-зеленый с периодом зимнего покоя. В Новосибирске в отдельные годы повреждается болезнями и вредителями характерными для родительских видов.

При интродукции в качестве пищевого растения необходим выбор хорошо освещенного участка, обработка от листогрызущих насекомых, плодовой моли, подкормка удобрениями, известкование кислых почв. Неустойчив к длительные засухе, нуждается в поливе особенно в первые 3-4 г. развития. В качестве декоративного растения теневынослив, неприхотлив к условиям выращивания.

Цветение хазмогамное в мае-июне. Созревание плодов и семян в августе-сентябре. Цветение и плодоношение ежегодное. Размножается семенами, летними черенками, прививкой на рябину. Черенки нуждаются в обработке стимуляторами (ИУК, 50 мг/л) и доращивании (без пересадки) на второй год в теплице. Сеянцы в условиях культуры переходят в генеративную фазу на 4-6 год. Привитые на рябину сибирскую растения зацветают на 2-3 год.

Семена рябинокизильника после созревания находятся в состоянии глубокого физиологического покоя, для прорастания требуется холодная стратификация при температуре +1-5 ˚С. Семена заключены в плотную оболочку одревеснеющего эндокарпия. Извлеченные из этой оболочки прорастают в лабораторных условиях после 3-4 месяцев холодной стратификации [3, 9]. Интактным семенам в оболочке эндокарпия требуется более длительная стратификаци до 9 месяцев [10].

Рябинокизильник формирует семена путем стимулятивного апомиксиса, поэтому нуждается в опылении пыльцой рябины или других представителей подсемейства яблоневые. Семенное потомство генетически идентично материнскому растению. Аллотетраплоидные растения рябинокизильника репродуктивно изолированы друг от друга, но скрещиваются с родительским видом *Sorbus sibirica* и другими видами рода *Sorbus* L. Завязываемость плодов и полноценных семян зависит от филогенетической близости материнского растения к *Sorbocotoneaster*. При искусственном опылении р. сибирской и других ксеногамных видов *Sorbus* пыльцой рябинокизильника (табл.) наблюдается генетическая рекомбинация и формирование полиморфного потомства с отличным от родительских видов набором хромосом. Триплоидные и тетраплоидные формы с нечетным числом гапломов родительских видов проявляют сниженную фертильность.

У промежуточной аллотетраплоидной формы (геном AABB, 2n=68) в условиях Новосибирска семенная фертильность составляла 59 %, пыльцевая

фертильность – 92 % [9]. При использовании этой формы в качестве опылителя в гибридизации с устойчивыми в Сибири видами и сортами рябины (табл.) завязываемость плодов составляла от 34,5 до 86,7 %, полноценных семян от 2 до 4 шт./плод.

Широкий диапазон изменчивости, устойчивость в суровом климате Сибири и высокая репродуктивная совместимость с рябиной позволяют оценить генофонд *Sorbocotoneaster* как самый перспективный источник комплекса хозяйственно ценных признаков для селекции рябины в северных регионах.

Таблица – Результаты гибридизации ×*Sorbocotoneaster* (геном AABB) с видами, межвидовыми гибридами и сортами *Sorbus*

Материнское растение ♀	Опылитель ♂	Завязываемость, плодов, %	Всего получено выполненных семян, шт.	Выполненных семян шт./плод
Sorbus sibirica о.ф. ЦВПР-5	*S. pozdnjakovii*	86.7	491	2.7
	Свободное.	73.0	511	3.5
	Самоопыление	0.0	0	0.0
Sorbus aucuparia сорт `Невежинская`	*S. pozdnjakovii*	52.1	320	2.0
	Свободное	80.0	348	2.9
	Самоопыление	0.0	0	0.0
Sorbus sambucifolia о.ф. Б-1	*S. pozdnjakovii*	58.4	271	4.1
	S. sibirica	31.9	156	3.0
	Свободное	40.7	92	2.8
	Самоопыление	2.7	1	0.5
F_1 (*S. sibirica* × *S. aucuparia*) о.ф. (ИТПМ-1×Н) №2	*S. pozdnjakovii*	70.0	434	3.1
	Самоопыление	0.0	0	0.0
F_1 (*S. sambucifolia* × *S. sibirica*) сорт `Шарик`	*S. pozdnjakovii*	34.9	128	2.1
	S. sibirica	80.3	382	3.6
	Свободное	72.7	545	5.0
	Самоопыление	0.0	0	0.0

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН по проекту АААА-А21-121011290027-6.

При подготовке публикации использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» УНУ № USU 440534.

Список литературы

1. Пояркова А. И. *Sorbocotoneaster pozdnjakovii* Pojark. – новый естественный межродовой гибрид // Ботан. мат-лы гербария Ботан. ин-та им. В. Л. Комарова АН СССР. Т. 15. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 92-108.
2. Кузнецова Л.В. Фитоценотическая характеристика местопроизрастаний *Sorbocotoneaster pozdnjakovii* Pojark. (Rosaceae) // Вестник СВФУ, 2016. № 3 (53). С. 5-16.
3. Коропачинский И. Ю., Встовская Т. Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2012. 707 с.
4. Волотовский К.А., Кузнецова Л.В. Новые данные о естественном гибриде *Sorbocotoneaster pozdnjakovii* Pojark. (Rosaceae) // Ботан. журн. 1998. Т. 83. № 1. С. 94-103.
5. Абдуллина Р.Г., Денисова С.Г, Пупыкина К.А., Шигапов З.Х. Содержание каротиноидов в плодах некоторых представителей рода *Sorbus* L. при интродукции // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 229-235.
6. Гладкова В. Н. Цитологическое изучение спонтанного гибридогенного рода *Sorbocotoneaster* Pojark. // Ботан. журн. 1967. Т. 52. № 7. С. 981-983.
7. Крюгель Т. С. Числа хромосом некоторых видов Cotoneaster и межродового гибрида ×*Sorbocotoneaster pozdnjakovii* (Rosaceae) // Ботан. журн. 1990. Т. 75. № 3. 437 с.
8. Интродукция растений природной флоры Сибири / науч. ред. А.Н. Куприянов, Е.В. Банаев. Новосибирск. Академическое издательство «ГЕО», 2017. 495 с.
9. Асбаганов С. В., Кобозева Е. В., Агафонов А. В. Применение электрофореза запасных белков семядолей и ISSR-маркеров для идентификации гибридов между *Sorbus sibirica* Hedl. и *Sorbocotoneaster pozdnjakovii* Pojark. // Вавилов. журн. генет. и селекции. 2014. Т. 18. № 3. С. 486-496.
10. Романова А. Ю. Ведение в культуру Рябинокизильника Позднякова в Якутии // Вестник СВФУ. 2012. Т. 9. № 4. С. 36-39.

Сакара – новый сорт яровой шарозерной пшеницы (*Triticum sphaerococcum* Perciv.)

Асхадуллин Дамир Ф., к.с.-х.н., в.н.с; Асхадуллин Данил Ф., к.с.-х.н., в.н.с; Василова Н.З., к.с.-х.н., зав. лаб.; Тазутдинова М.Р., н.с.; Хусаинова И.И., н.с.; Гайфуллина Г.Р., м.н.с.*

Татарский НИИСХ – ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия.
**e-mail: trulik@yandex.ru*

На основе узкоэдемичного образца шарозерной пшеницы из Пакистана создан коммерческий сорт яровой шарозерной пшеницы – Сакара. Приведена его характеристика по основным хозяйственно полезным признакам в условиях Татарстана.

Ключевые слова: *яровая шарозерная пшеница, грибные болезни, урожайность, технологические качества зерна.*

Sakara is a new variety of spring Indian dwarf wheat (*Triticum sphaerococcum* Perceived.)

Askhadullin Damir.F., Askhadullin Danil.F., Vasilova N.Z., Tazutdinova M. R., Khusainova I.I., Gayfullina G.R.
Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center RAS, Kazan, Russia
**e-mail: trulik@yandex.ru*

The commercial variety Sakara was created based on a sample of Indian dwarf wheat from Pakistan. The article describes its characteristics according to the main economically useful features in the conditions of the Republic of Tatarstan, Russia.

Keywords: *Indian dwarf wheat, fungal diseases, yield, technological qualities of grain.*

Пшеница *Triticum sphaerococcum* (шарозерная), согласно ботанической номенклатуре описана как самостоятельный гексаплоидный вид [1]. Вид характеризуется компактностью растения, мелкой шаровидной зерновкой, низкой продуктивностью, сильным поражением грибными болезнями [2].

T. sphaerococcum узкоэндемичный вид, приуроченный к Индии и Пакистану в границах региона Пенджаб, в настоящее время, в местах первичного обнаружения не возделывается. На основе одного из образцов вида *T. sphaerococcum* сохранившихся в коллекции ВИР получен конкурентоспособный сорт – Сакара вида *T. sphaerococcum*. Сорт имеет шаровидную форму зерновки, компактную форму колоса (рис. 1), короткие, широкие, не поникающие листья, короткую прочную соломину, высокую полевую устойчивость к мучнистой росе и бурой ржавчине.

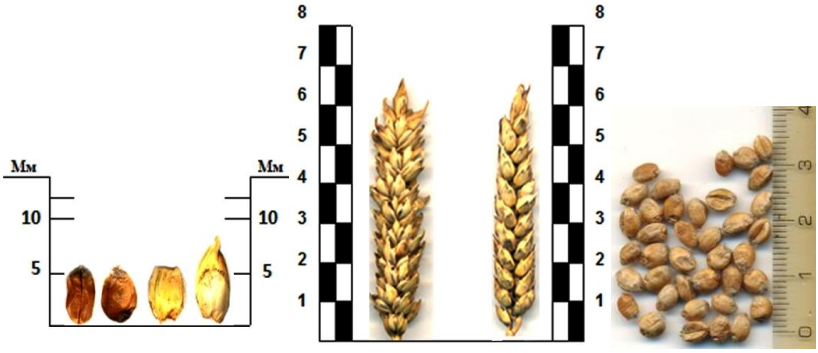


Рис. 1. Сорт Сакара (зерно, колос).

Сорт Сакара выведен методом индивидуального отбора из гибридной популяции F_3 К-350-10 (*T. aestivum*) / к-45738 (*T. sphaerococcum,* Пакистан*),* где К-350-10 – это сложный гибрид первого поколения, иммунный к мучнистой росе и бурой ржавчине.

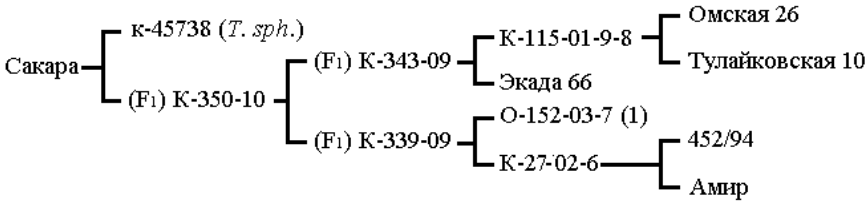


Рис. 2. Родословная сорта Сакара.

Сорт Сакара имеет значительные преимущества по урожайности и устойчивости к грибным болезням перед исходной формой яровой шарозерной пшеницы, но уступает по урожайности стандартному сорту яровой мягкой пшеницы для зоны Йолдыз. Сакара, по скороспелости, соответствует среднепоздним сортам, во все годы наблюдений полегания не отмечалось (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика сорта Сакара 2018-2022гг

Образец	Средняя урожайность т/га (2018-2021г)	Средняя продолжительность вегетационного периода, дней	Степень поражения в годы эпифитотий			Устойчивость к полеганию, балл
			Blumeria graminis, %	*Puccinia graminis*, %	*Puccinia recondite*, %	
Йолдыз, st	4,18	87	60	50	15	6-9
к-45738 (*T. sph.)*	0,97	90	85	80	90	9
Сакара (*T. sph.)*	2,84	96	20	40	5	9

Основным отличительным свойством шарозерной пшеницы имеющей конкурентное преимущество перед мягкой пшеницей являются формирование отличных хлебопекарных свойств зерна, даже в зонах возделывания, где не стабильно формирование высокого качества, в частности в республике Татарстан. Нами проведено сравнение показателей технологической оценки зерна сорта Сакара со стандартом для Татарстана – мягкой пшеницей Йолдыз и одним из лучших по мукомольно-хлебопекарным свойствам зерна возделываемых в республике Татарстан сортом Хазинэ в трехлетних испытаниях различных по водно-температурному режиму (табл. 2).

Таблица 2 – Технологическая оценка зерна у сортов пшеницы в сортоиспытании, 2019-2021 гг.

Сорт	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %	ИДК-1, ед.п.	Стекловидность, %	Масса 1000 зерен, г
Йолдыз, st	11,1	19,3	65	54	35,9
Хазинэ	13,4	26,7	74	58	37,9
Сакара	16,9	32,0	64	60	26,7

Можно отметить, что содержание белка и клейковины в зерне сорта Сакара существенно превышает содержание их в сортах мягкой пшеницы. По показателям технологической оценки зерна сорт Сакара соответствует классификационным требованиям отличного улучшителя.

Определяющими показателями, влияющими на характеристики выпекаемого хлеба, являются реологические свойства теста, выявляемые при замесе и деформации. Наиболее важным показателем является сила муки, определяемая на приборе альвеограф. У сорта Сакара среднее значение показателя сила муки составляет 483 е.а., что существенно выше, чем у сортов мягкой пшеницы (табл. 3).

Таблица 3 – Реологические свойства теста у сортов пшеницы в сортоиспытании, 2019-2021 гг.

Сорт	Сила муки, е.а.	Упругость теста, мм	Растяжимость теста, мм	Степень разжижения теста, е.ф.	Валориметрическая оценка, е.в.
Йолдыз, st	186	87	61	95	47
Хазинэ	183	79	84	50	62
Сакара	483	145	82	47	63

Соотношение показателей упругости к растяжимости теста у сорта Сакара составляет 1,8, что снижает качество зерна, в то же время мука пшеницы с увеличенным значением упругости теста может с успехом использоваться для укрепления пшениц с низким значением упругости. По показателям степени разжижения теста и валориметрической оценке определяемых на приборе фариограф сорт Сакара относится к отличным улучшителям.

Возделывание сорта яровой шарозерной пшеницы Сакара в условиях Татарстана позволяет получать гарантированно зерно высочайшего качества по большинству показателей соответствующему отличному улучшителю. Патентообладателем и оригинатором сорта Сакара является ФИЦ КазНЦ РАН.

Благодарности: Статья выполнена в рамках реализации проекта «Создание селекционно-ценных генотипов яровой шарозерной пшеницы»

Список литературы

1. Percival J. The Wheat Plant, a Monograph. London. 1921. 453p.
2. Дорофеев В.Ф., Удачин Р.А., Семенова Л.В., Новикова М.В., Градчанинова О.Д., Шитова И.П., Мережко А.Ф., Филатенко А.А. Пшеницы мира. Ленинград. 1987. 559с.

Формирование качества зерна у сорта яровой мягкой пшеницы Ситара

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., зав. лаб.; Хусаинова И.И., н.с.; Тазутдинова М.Р., н.с.; Гайфуллина Г.Р., м.н.с.*

Татарский НИИСХ - ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия.
**e-mail: trulik1917@mail.ru*

В 2020 году в реестр допущенных к использованию по Средневолжскому и Волго-Вятскому регионам был включен сорт яровой мягкой пшеницы Ситара. Госсорткомиссией отнесен по качеству зерна к удовлетворительным филлерам, однако наши исследования показывают, что формирование качества зерна этого сорта определяется уровнем поражения ржавчинными грибами.

Ключевые слова: *пшеница, бурая листовая ржавчина, стеблевая ржавчина, качество, реологические свойства теста*.

Improving of grain quality in the spring common wheat variety Sitara

Askhadullin Danil.F., Askhadullin Damir.F., Vasilova N.Z., Tazutdinova M. R., Khusainova I.I., Gayfullina G.R.
Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center RAS, Kazan, Russia
**e-mail: trulik1917@mail.ru*

In 2020, the variety of spring common wheat Sitara was included in the register of approved for use in the Middle Volga and Volga-Vyatka regions. The Gossortkomission classified the grain quality as satisfactory, but our research shows that the formation of the grain quality of this variety is determined by the level of damage by rust fungi.

Keywords: *wheat, leaf rust, stem rust, quality, rheology dough*.

Одной из основополагающих характеристик сорта яровой мягкой пшеницы для целей хлебопечения является комплекс показателей качества зерна. В последние годы в Республике Татарстан доминируют сорта яровой пшеницы, отнесенные Госсорткомиссией к филлерам, т.е. имеющие не высокое качество зерна. Однако, имеется много исследований, где при оптимизации минерального питания и других приемов агротехники, а также условий выращивания сорта пшеницы, классифицированные как имеющие не высокое качество зерна формируют высококачественное зерно.

Качество зерна пшеницы генетически детерминировано и имеет сложное взаимодействие со средой. Реализация потенциала качества зерна может не раскрываться. Для выявления потенциально качественных сортов может использоваться молекулярно-генетическое тестирование, одними из которых является тестирование генотипов по аллельным вариантам HMW субъединиц глютенинов по *Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-D1* локусам. На состав HMW субъединиц глютенина может приходиться 47-60% вариации хлебопекарного качества [1, 2]. Наличие желаемой комбинации аллельных вариантов *Glu-A1b* + *Glu-D1d* (Ax2*/5+10) отмечается и у сорта Ситара (табл. 1). В то же время, сорт Ситара отнесен Госсорткомиссией по качеству зерна к удовлетворительным филлерам.

Таблица 1 – Сочетание HMW субъединиц глютенина по *Glu-A1* и *Glu-D1* локусам у сортов яровой мягкой пшеницы

Сорт	Хлебопекарное качество зерна поданным Госсорткомиссии	*HMW-GS*	
		A1	*D1*
Йолдыз, st	Хороший филлер	*Ax2**	*5+10*
Ситара	Удовлетворительный филлер	***Ax2****	***5+10***
Балкыш	Ценная пшеница	*Ax1*	*2+12*
Аль Варис	Ценная пшеница	*Ax2**	*2+12*

Сорт Ситара допущен к использованию Госсорткомиссией по Средневолжскому и Волго-Вятскому региону в 2020 году, оригинатор и патентообладатель ФИЦ КазНЦ РАН. Родословная: Прохоровка / Cub. Качество зерна данного сорта сильно варьирует по годам испытания. В отдельные годы, в условиях Татарстана, отмечается высокий уровень развития ржавчинных грибов, часты эпифитотии, при этом сорт Ситара сильно восприимчив как бурой листовой, так и к стеблевой ржавчинам и слабо восприимчив к другим грибным болезням. Нами отмечено, что в годы эпифитотий ржавчинных грибов качество зерна данного сорта сильно снижается. Для определения влияния ржавчинных грибов на формирование комплекса показателей качества зерна пшеницы был заложен опыт с применением и без применения фунгицида. В 2019 году степень поражения бурой ржавчиной сорта Ситара, без применения фунгицида, составила 80%, стеблевой ржавчиной – 50%.

При применении фунгицида в фазу колошения (пираклостробин 62,5 г/л + эпоксиконазол 62,5 г/л), норма расхода 1,5л/га, степень поражения бурой листовой ржавчинной составила 5% и отмечались единичные пустулы стеблевой ржавчины. В 2020 году регистрировалось на посевах яровой пшеницы только умеренное развитие стеблевой ржавчины, без применения фунгицида степень поражения составляла 40%, с применением 5%. В таких условиях, отмечалось изменение качества зерна при применении фунгицида (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние фунгицида (пираклостробин 62,5 г/л + эпоксиконазол 62,5 г/л) на показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы сорта Ситара

Показатель	2019 год		2020 год	
	контроль	фунгицид	контроль	фунгицид
Массовая доля белка, %	10,0	11,6	11,7	11,9
Содержание сырой клейковины, %	17,2	20,6	21,5	22,5
Качество сырой клейковины в муке (ИДК-1), е.п.	62	62	53	54
Сила муки, е.а.	189	241	203	225
Разжижение теста, е.ф.	84	70	42	40
Валориметрическая оценка, е.в.	48	51	56	53

По основным показателем технологической оценки зерна: содержание белка и клейковины в зерне происходит их увеличение при применении фунгицида, улучшаются и реологические свойства теста на варианте с применением фунгицида. Таким образом, у некоторых сортов яровой мягкой пшеницы на примере сорта Ситара происходит снижение качества зерна при повышении уровня заболевания ржавчинными грибами. В то же время, ранее нами было отмечено, что применение препарата на основе пираклостробина не приводит к существенному изменению качества зерна и реологических свойств теста на устойчивых к ржавчинным грибам сортах [3].

Список литературы

1. Payne P.I., Nightingale M.A., Krattiger A.F., Holt L.M. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties // J. Sci. Food Agric. 1987. Vol. 40. P.51-65.
2. Lukow O.M., Payne P.I., Tkachuk R. The HMW glutenin subunit composition of Canadian wheat cultivars and their association with bread-making quality // J. Sci. Food Agric. 1989. Vol.46. P.451-460.
3. Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н.З., Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И. Влияние применения фунгицидов на основе стробилуринов на качество зерна яровой мягкой пшеницы // Агропромышленные технологии Центральной России. 2020. № 4(18). С. 23-31.

Анализ формы, размера и цвета зерен пшеницы на основе двумерных цифровых изображений: поиск QTL и оценка физиологических свойств зерен

Афонников Д.А.[1,2,3], к.б.н., в.н.с.; Комышев Е.Г. [1] к.б.н., н.с.; Ариф М.А.Р.[4], Генаев М.А. [1,2], к.б.н., с.н.с.; Коваль В.С. [1,2], к.б.н., вед.спец.; Ефимов В.М. [1,3], д.б.н., в.н.с.; Шмаков Н.А. [1,2], м.н.с.; Гирке П.У.[5], Бёрнер А.[6]*

[1]ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
[2] Курчатовский геномный центр Института цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
[3] Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия.
[4]Институт ядерных исследований для сельского хозяйства и биологии, Джанг Роад, Файзалабад, Пакистан.
[5]Государственное учреждение сельского хозяйства и садоводства, Центр тестирования и сертификации семян и посадочных материалов, Галле, Германия.
[6]Институт генетики растений и исследований растениеводства Лейбница, Гатерслебен, Германия
**e-mail: ada@bionet.nsc.ru*

Разработаны методы фенотипирования зерен злаков на основе приложения SeedCounter [1], реализованного для мобильных устройств на платформе Android и для ПК. Приложение обрабатывает изображения зерен, полученные несколькими протоколами и оценивает 7 характеристик формы/размера зерен и 48 характеристик цвета оболочки зерна. С помощью приложения проведен анализ характеристик зерен для рекомбинантных инбредных линий (РИЛ) мягкой пшеницы (T. aestivum) из популяции ITMI (International Triticeae Mapping Initiative): оценено влияние длительности хранения в генбанке на характеристики зерен и связь этих характеристик с всхожестью. Проведен поиск QTL, ассоциированных с характеристиками зерен.

Ключевые слова: *мягкая пшеница, зерна, цвет оболочки, компьютерное фенотипирование, локусы количественных признаков.*

Analysis of the shape, size and color of wheat grains based on two-dimensional digital images: QTL search and evaluation of the physiological properties of grains

Afonnikov D.A., Komyshev E.G., Arif, M.A.R., Genaev M.A., Koval V.S., Efimov V.M., Shmakov, N.A., Gierke P.U., Börner A.
[1]Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
[2]Kurchatov genomic centre, Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
[3]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia.
[4]Nuclear Institute for Agriculture and Biology, Faisalabad, Pakistan.
[5]Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau, Dezernat 42, Prüf- und Anerkennungsstelle für Saat- und
Pflanzgut, Halle (Saale), Germany.

[6]*Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, OT Gatersleben, Germany.*
**e-mail: ada@bionet.nsc.ru*

Methods of phenotyping cereal grains have been developed based on the Speed Counter application [1], implemented for mobile devices on the Android platform and for PCs. The application processes grain images obtained by several protocols and evaluates 7 grain shape/size characteristics and 48 grain shell color characteristics. With the help of the application, the analysis of grain characteristics for recombinant inbred lines (RIL) of soft wheat (T. aestivum) from the ITMI population (International Triticeae Mapping Initiative): the effect of storage duration in the genebank on grain characteristics and the relationship of these characteristics with germination was estimated. The search for QTL associated with grain characteristics was carried out.

Keywords: *bread wheat, grains, shell color, computer phenotyping, QTL.*

Для 44 РИЛ, выращенных в 4 разных сезона – 2003, 2004, 2009 и 2014 гг. показано, что генотип значимо влияет на изменчивость всех признаков зерен, а год урожая примерно на 3/4 из них (включая все признаки формы и размера) [2]. Для выявления тренда между изменением признака зерен и годом урожая мы оценили коэффициенты корреляции между ними и годом урожая. Для признаков формы/размера зерен такой тренд обнаружен не был, а три четверти признаков цвета такой тренд обнаружили. Наиболее значимые отрицательные корреляции между годом урожая выявлены для признаков красноты оболочки зерен: чем больше время хранения, тем более красный оттенок имеют зерна. В то же время показано, что зерна более длительного времени хранения (более ранний год урожая) оказываются и более светлыми.

Анализ линейных корреляций между всхожестью семян пшеницы 19 генотипов и годов урожая и их морфологическими признаками позволил выявить отрицательную линейную связь между красной компонентой цвета оболочки и всхожести: чем краснее зерна, тем ниже их всхожесть. Полученные результаты демонстрируют проявления метаболических изменений в оболочках зерен, связанные с длительным хранением и их связь с уменьшением жизнеспособности семян в результате этого.

На основе анализа 114 линий выявлены 212 аддитивных и 34 пары эпистатических QTL на всех хромосомах генома пшеницы, кроме хромосом 1A и 5D [3]. Многие QTL перекрывались. Мы продемонстрировали, что перекрытие между областями QTL было низким для признаков размера/формы семян и высоким для признаков окраски оболочки. Используя литературу и данные KEGG, мы идентифицировали 29 генов-кандидатов для локусов, связанных с размером семян, и 14 для локусов, связанных с цветом оболочки.

Благодарности: Работа выполнена за счет финансирования Курчатовского геномного центра Федерального исследовательского центра ИЦиГ СО РАН,

соглашение с Министерством образования и науки РФ № 075-15-2019-1662. Для анализа данных использовались вычислительные ресурсы ЦКП «Биоинформатика» при поддержке бюджетного проекта № FWNR-2022-0020

Список литературы

1. Komyshev E.G., Genaev M.A., Afonnikov D.A. (2017) Evaluation of the SeedCounter, a mobile application for grain phenotyping. Front. Plant Sci., 7:1990. doi: 10.3389/fpls.2016.01990
2. Afonnikov D.A., Komyshev E.G., Efimov, V.M., Genaev M.A., Koval V.S., Gierke P.U., Börner A. (2022) Relationship between the Characteristics of Bread Wheat Grains, Storage Time and Germination. Plants 2022, 11, 35. DOI 10.3390/plants11010035
3. Arif, M.A.R., Komyshev, E.G., Genaev, M.A., Koval, V.S., Shmakov, N.A., Börner, A., Afonnikov, D.A. (2022) QTL Analysis for Bread Wheat Seed Size, Shape and Color Characteristics Estimated by Digital Image Processing. Plants, 11, 2105.

Генетические ресурсы овощных растений для вертикального овощеводства

Балашова И.Т.[1], д.б.н., г.н.с.; Сирота С.М.[2], д.с.-х.н., г.н.с.; Харченко В.А.[1], к.с.-х.н., в.н.с.; Беспалько Л.В.[1], к.с.-х.н., с.н.с.; Бондарева Л.Л.[1], д.с.-х.н., г.н.с.; Пивоваров В.Ф.[1], д.с.-х.н., науч. рук. ФГБНУ ФНЦО; Макаркин А.А.[3], к.т.н., в.н.с.; Мащенко Н.Е.[4], к.х.н., в.н.с.*

[1]ФГБНУ Федеральный научный центр овощеводства РАН, г.Одинцово, Российская Федерация
[2]ООО «Гетерозисная селекция», Челябинская область, г. Миасс, Российская Федерация
[3]ООО «Агроэкосистемы», г. Москва, Российская Федерация
[4]Институт Генетики, Физиологии и Защиты растений, г. Кишинёв, Республика Молдова
**e-mail: balashova56@mail.ru*

Наиболее прогрессивным способом выращивания овощей является многоярусная гидропоника. Авторами созданы/отобраны генетические ресурсы овощных растений для вертикального овощеводства. Семейство Solanaceae: сорта томата Наташа, Тимоша, Маленький Мук, Огниво, Жегалов. Семейство Apiaceae: сорта – сельдерея листового Эликсир, укропа – Русич, кориандра посевного – Юбиляр. Семейство Lamiaceae: Monarda citriodora Cerv. ex Lag., Monarda fistulosa L. (сорт Кармелита), Melissa officinalis L. Семейство Brassicaceae: капуста японская – сорта Salad Mizuna, Салют Юбилею.

Ключевые слова: *вертикальное овощеводство, гидропоника, Solanaceae, Apiaceae, Lamiaceae, Brassicacea.*

Genetic resources of vegetable plants for vertical hydroponic vegetable crop production

Balashova I.T.[1], Sirota S.M.[2], Kharchenko V.A.[1], Bespal'ko L.V.[1], Bondareva L.L.[1], Pivovarov V.F.[1], Makarkin A.A.[3], Maschenko N.E.[4]*
[1]FSBSI Federal Scientific Vegetable Center RAS, Odintsovo, Moscow region, Russian Federation
[2]SRL "Heterosis breeding", Miass, Chelyabinsk region, Russian Federation
[3]SRL "Agroecosystems", Moscow, Russian Federation
[4]Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Republic of Moldova
**e-mail:balashova56@mail.ru*

Cultivation at the multi circle hydroponic is the most progressive method of vegetable cultivation now. Authors produced genetic resources of vegetable plants for vertical vegetable crop production. They are: from Solanaceae*-family: tomato varieties Natasha, Timosha, Malenikyi Muk, Ognivo, Zhegalov. From Apiaceae-family: Apium graveolens* L. *v. Elixir, Anethum graveolens* L. *v. Rusich, Coriandrum sativum* L. *v. Jubiliar. From Lamiaceae-family: Monarda citriodora Cerv. ex Lag., Monarda fistulosa L. v. Karmelita, Melissa officinalis L.. From Brassicaceae-family: Brassica rapa* L. *subsp. nipposinica varieties Salad Mizuna, Salut Jubileiu.*

Keywords: *vertical vegetable growing, hydroponic, Solanaceae, Apiaceae, Lamiaceae, Brassicacea.*

Выращивание овощей на многоярусных гидропонных конструкциях – наиболее перспективное технологическое решение в овощеводстве защищённого грунта. Рынок вертикальной гидропоники растёт в геометрической прогрессии: ожидаемый объём в 2025 году – 16 млрд. долларов. Самым быстрорастущим рынком будет Азиатско-Тихоокеанский рынок: Индия, Китай, Япония, Южная Корея [1]. С целью отбора сортов/гибридов овощных растений, пригодных для культивирования на вертикальных гидропонных установках, проведён анализ генетических ресурсов ФГБНУ ФНЦО, который начался в 2009-2011годах с оценки коллекций семейства Solanaceae.

Solanaceae. Из 1630 образцов, зарегистрированных в Государственном Реестре селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации в 2011 году [2], не было ни одного, который по ключевым морфологическим характеристикам (высота растения – 30-35 см) соответствовал бы разработанной нами модели сорта для многоярусных гидропонных установок [3]. Анализ генетических основ ключевого признака – «низкорослость» - у томата, позволил установить, что группа *d*-генов, контролирующая карликовость, проявляется на ранних стадиях развития растения и может быть сцеплена с генами раннеспелости [4,5]. Мы провели отбор по спорофиту в рассадном отделении теплицы 692 образцов пяти коллекций

и выделили 8 низкорослых и раннеспелых форм, сократив объём анализируемого материала в пребридинге в 86 раз [3]. Сокращение объёма и времени отбора позволило более полно проанализировать отобранный материал на многоярусной гидропонной установке, и индивидуально отобрать среди низкорослых растений наиболее крупноплодные. Разработанная нами технология отбора была названа «целевой селекцией». С помощью данной технологии были получены сорта томата Наташа (патент РФ 9060) и Тимоша (патент РФ 9059), внедрённые в производство в Республике Дагестан (ИП «Умалатов», 2018) и в посёлке нефтяников Новый Порт на полуострове Ямал – за Северным Полярным кругом (2019-2020). В 2015-2020 годах с помощью технологии целевой гибридизации получено ещё 3 новых среднеплодных сорта томата Огниво (патент РФ 11304), Маленький Мук (патент РФ 11303), Жегалов (код 7953502 в Государственном Реестре Селекционных достижений РФ). Таким образом, к 2021 году нами была создана линейка сортов томата для многоярусных гидропонных конструкций.

Apiaceae. Спрос на свежесрезанную зелень всегда актуален, особенно у потребителей овощной продукции из регионов Крайнего Севера. Зеленные культуры семейства Apiaceae (укроп, сельдерей, кориандр) богаты витаминами С, B_1, B_2, РР и солями минералов [6, 7], что обусловливает не только пищевые, но и лекарственные свойства данных культур. Наибольшую ценность им придаёт содержание жирных и эфирных масел, обладающих антибактериальным, антигрибным и антивирусным эффектами. Однако, именно содержание этих ценных, но быстро окисляющихся масел в семенах сокращает срок их хранения, вызывая потерю всхожести [8]. Поэтому для коллекции зеленных культур, отобранных ранее из существующего сортимента [7], мы приготовили «технологическую поддержку» в виде обработки семян 0,001%-ными водными растворами иммуномодуляторов, которые повышали всхожесть семян и продуктивность растений (табл. 1). Эффекты иммуномодуляторов были обусловлены именно повышением содержания антиоксидантов в растительном материале [9].

В результате из существующего сортимента нами были подобраны сорта зеленных культур для культивирования на многоярусных гидропонных конструкциях: сорт сельдерея листового Эликсир, сорт укропа огородного Русич и сорт кориандра посевного Юбиляр.

Lamiaceae. Растения семейства *Lamiaceae* хорошо известны как ароматические и медицинские растения с высоким содержанием эфирных масел, насыщенных монотерпенами и их производными с высокой антиоксидантной активностью [10]. Это позволяет использовать данные растения в системе оздоровительного питания как ароматические и вкусовые добавки к традиционным блюдам – салатам, супам и соусам. Мы изучили возможности использования листьев растений семейства *Lamiaceae* как биологически

Таблица 1 – Повышение всхожести семян и продуктивности зеленных культур семейства Apiaceae в результате обработки семян природными иммуномодуляторами. МУГ. ФГБНУ ФНЦО. 2021

Культуры	Варианты обработок	Параметры, $\bar{X}$		
		Всхожесть семян, %	Высота растения, см	Масса надземной части, г
Apium graveolens L. (сорт Эликсир)	St-дист. вода	32,5	37,0	51
	Линарозид	**60,0**	**42,8**	**115**
	Молдстим	32,5	36,0	44
Anethum graveolens L. (сорт Русич)	St-дист. вода	10,0	34,5	80
	Линарозид	**41,3**	36,8	59
	Молдстим	11,3	35,5	61
Coriandrum sativum L. (сорт Юбиляр)	St-дист. вода	92,5	36,5	85
	Линарозид	91,3	**43,0**	**100**
	Молдстим	100,0	36,5	71
$НСР_{05}$		11,6	2,7	14

активных добавок, оценив для этого их биохимический потенциал. При возделывании на пятиярусной гидропонной конструкции содержание сухого вещества в листьях *Monarda fistulosa* L. практически не изменялось в зависимости от яруса конструкции. Но содержание полифенольных соединений было выше в листьях растений IV яруса и в листьях второй и четвёртой срезки [9]. Иммуномодуляторы оказали положительное влияние на растения семейства *Lamiaceae*. *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. реагировала на обработку существенным увеличением массы надземной части (табл. 2). У *Monarda fistulosa* L. такого эффекта не наблюдалось, т.к. она и так содержит достаточное количество антиоксидантов.

Таблица 2 – Изменение массы надземной части растений семейства Lamiaceae в результате обработки семян иммуномодуляторами. МУГ. ФГБНУ ФНЦО. 2019

Культуры	Варианты обработок	Масса надземной части растений, $\bar{X}$, г	+/- к St
Monarda citriodora Cerv. ex Lag.	St-дист. вода	2,2	St
	Линарозид	**17,0**	**+14,8**
	Молдстим	**10,3**	**+8,1**
Monarda fistulosa L.	St-дист. вода	20,4	St
	Линарозид	7,5	-12,9
	Молдстим	10,9	-9,5
Melissa officinalis L.	St-дист. вода	17,6	St
	Линарозид	21,5	+3,9
	Молдстим	9,1	-8,5
$НСР_{05}$			8,1

Культуры семейства *Lamiaceae – Monarda citriodora Cerv. ex Lag., Monarda fistulosa L., Melissa officinalis L.* хорошо адаптировались к условиям многоярусной гидропоники и могут использоваться для культивирования на многоярусных гидропонных конструкциях.

Brassicaceae. Капуста японская – *Brassica rapa* L. *subsp. nipposinica* (L.H.Bailey) Hanelt) – относится к восточно-азиатским видам рода *Brassica*, известным своими диетическими свойствами [11]. В настоящее время в связи с обогащением пищевого рациона россиян, спрос на «жёлто-зелёные» овощи значительно вырос. В ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» создан новый сорт японской капусты – Салют Юбилею, который пользуется повышенным спросом у любителей-овощеводов. Анализ продуктивности и питательной ценности капусты японской в условиях вертикального овощеводства выявил существенное повышение показателей продуктивности у сорта Салют Юбилею в результате обработки семян природными иммуномодуляторами (с=0,005%). Оба сорта реагировали на обработку повышением суммарного содержания антиоксидантов и проявили хорошую адаптивность к условиям многоярусной узкостеллажной гидропоники (табл. 3), следовательно, могут выращиваться с использованием данной технологии.

Таблица 3 – Изменение биометрических и биохимических параметров растений семейства *Brassicaceae* в результате обработки семян водными растворами природных иммуномодуляторов МУГ. ФГБНУ ФНЦО. 2022

Сорта	Варианты обработок	Параметры, $\overline{X}$			
		Масса надземной части, г	Число листьев, штук	Содержание сухого вещества, %	Содержание суммы антиоксидантов, мг-экв. ГК/г с.в.
Brassica rapa L. *subsp. nipposinica* (сорт *Salad Mizuna*)	St-дист. вода	93,0 - St	31,0 - St	6,54 - St	1,38 - St
	Молдстим	88,6	39,6	5,73	1,35
	Линарозид	98,6	40,4	6,11	**1,72**
	Тригонелла	78,8	41,2	**7,32**	**1,79**
Brassica rapa L. *subsp. nipposinica* (сорт Салют Юбилею)	St-дист. вода	96,8- St	32,6 - St	6,69- St	1,84 - St
	Молдстим	**165**	**44,4**	6,22	**2,13**
	Линарозид	**134**	**44,4**	6,72	**2,07**
	Тригонелла	**134**	**44,8**	6,64	**2,32**
$НСР_{05}$		36,4	11,1	0,39	0,23

Таким образом, нами были созданы/отобраны генетические ресурсы овощных растений для возделывания на многоярусных гидропонных кон-

струкциях, которые могут использоваться в системах вертикального овощеводства (табл. 4).

Таблица 4 – Генетические ресурсы овощных растений для вертикального овощеводства. ФГБНУ ФНЦО. 2022

Семейства	Виды	Сорта	Оригинаторы
1. Apiaceae	*Apium graveolens* L.	Эликсир	ФГБНУ ФНЦО
	Anethum graveolens L.	Русич	ФГБНУ ФНЦО
	Coriandrum sativum L.	Юбиляр	ФГБНУ ФНЦО
2. Brassicaceae	*Brassica rapa* L. *subsp. nipposinica*	Salad Mizuna	Япония
	Brassica rapa L. *subsp. nipposinica*	Салют Юбилею	ФГБНУ ФНЦО
3. Lamiaceae	*Monarda fistulosa* L.	Кармелита	ФГБНУ ФНЦО
	Monarda citriodora Cerv. ex Lag.	-	ФГБНУ ФНЦО
	Melissa officinalis L.	-	ФГБНУ ФНЦО
4. Solanaceae	*Solanum lycopersicum subsp.lycopersicum* L.	Наташа	ФГБНУ ФНЦО
		Тимоша	ФГБНУ ФНЦО
		Огниво	ФГБНУ ФНЦО
		Маленький Мук	ФГБНУ ФНЦО
		Жегалов	ФГБНУ ФНЦО

Список литературы

1. URL: https://toeplitz.ru/hydro/prognoz-razvitija-rynka-gidroponiki.html (дата обращения 17.11.2021)
2. Государственный Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории Российской Федерации. Москва. 2011.
3. Balashova I.T., Sirota S.M., Pinchuk E.V. Vertical vegetable growing: creating tomato varieties for multi-tiered hydroponic installations// International Conference on Sustainable Development of Cross-Border Regions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Barnaul. 2019. 395 (012079).1-8. doi: 10.1088/1755-1315/395/1/012079.
4. Жученко А.А., Балашова Н.Н., Король А.Б., Самовол А.П., Грати В.Г., Кравченко А.Н., Добрянский В.А., Смирнов В.А., Бочарникова Н.И. Эколого-генетические основы селекции томатов. Кишинёв: Штиинца. 1988. С.144-145. ISBN 5-376-00540-2.
5. URL: http://solgenomics.net/locus/428/view (дата обращения 25.11.2020)
6. Пивоваров В.Ф. Овощи России. Москва: ГНУ ВНИИССОК. 2006. С. 267-272. ISBN 5-901695-07-0.
7. Шевченко Ю.П., Харченко В.А., Шевченко Г.С., Солдатенко А.В. Зеленные и пряно-вкусовые культуры. Ред. Тареева М.М.. Москва: ФГБНУ ФНЦО. 2019. С. 95-103. ISBN 978-5-901695-80-7.
8. Ткаченко К.Г. Эфиромасличные растения семейств Apiaceae, Asteraceae, Lamiaceae на Северо-Западе России (биологические особенности, состав и перспективы использования эфирных масел): Автореф. дисс. докт. биол. наук: 03.02.14/ ФГБУН «Тихоокеанский институт биоорганической химии имени Г.Б. Елякова». Санкт-Петербург. 2013. 40с.

9. Балашова И.Т., Беспалько Л.В., Молчанова А.В., Сирота С.М., Харченко В.А., Солдатенко А.В. Биохимический состав ряда ароматических и лекарственных растений при культивации на многоярусных гидропонных конструкциях// Plant Biology and Horticulture: theory, innovation, 2021; 4(161):67-77, ISSN 2712-7788. DOI 10.36305/2712-7788-2021-4-161-67-77.
10. Федотов С.В. Эфирные масла и их влияние на высшую нервную деятельность человека // Сборник научных трудов ГНБС/ Ялта, Крым. 2015. Т. 141. С. 131-147.
11. Артемьева А.М., Соловьева А.Е. Генетическое разнообразие и биохимическая ценность капустных овощных растений рода Brassica L.// Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2018. №4. С. 50-61.

Идентификация генов устойчивости к стеблевой ржавчине в интрогрессивных линиях яровой мягкой пшеницы селекции ФАНЦ Юго-Востока с использованием молекулярных маркеров

Баранова О.А.[1] к.б.н., вед. науч. сотр.; Сибикеев С.Н.[2], д.б.н., глав. науч. сотр.; Конькова Э.А.[2] к.сх-н., вед. науч. сотр.*

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», Санкт-Петербург, Россия.
[2]ФГБНУ «Федеральный Аграрный Научный Центр Юго-Востока», Саратов, Россия.
**e-mail: baranova_oa@mail.ru*

В работе проанализированы 90 устойчивых к стеблевой ржавчине интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы на наличие известных Sr генов устойчивости. В проанализированных интрогрессивных линиях идентифицированы гены Sr31/Lr26, Sr25/Lr19, Sr57/Lr34 и Sr38/Lr37. В основном были идентифицированы гены Sr25 – в 48 линиях (53,3 % образцов) и Sr31 – в 41 линии (45,6 %). Сочетание генов Sr31+Sr25 было идентифицировано у 28 линий (31,1%). У пяти линий идентифицировано сочетание генов Sr25+Sr38, гены Sr28, Sr24, Sr26 и Sr36 в проанализированных линиях идентифицированы не были.

Ключевые слова: *яровая мягкая пшеница, интрогрессивные линии, Puccinia graminis f. sp. tritici, Sr гены.*

Identification of the stem rust resistance genes in introgression lines of spring bread wheat of FCAR of the South-East breeding by using molecular markers

Baranova O.A. All-Russian Institute of Plant Protection, St.Petersburg-Pushkin, Russia.*
Sibikeev S.N., Kon'kova E.A. «Federal Center of Agriculture Research of the

South- East Region», Saratov, Russia.
**e-mail: baranova_oa@mail.ru*

The 90 stem rust-resistant spring bread wheat introgression lines have been analyzed for the presence of known Sr- genes. In the analyzed introgression lines, the Sr31/Lr26, Sr25/Lr19, Sr57/Lr34, and Sr38/Lr37 genes were identified. The Sr25 genes were mainly identified in 48 lines (53.3% of the wheat accessions) and Sr31 genes in 41 lines (45.6%). The combination of Sr31+Sr25 genes was identified in 28 lines (31.1%). In five lines, the combination of Sr25+Sr38 genes was identified; the Sr28, Sr24, Sr26, and Sr36 genes were not identified in the analyzed lines.

Keywords: *spring bread wheat, introgression lines, Puccinia graminis f. sp. tritici, Sr-genes.*

Стеблевая ржавчина (возбудитель *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Eriks. & Henn) – опасное заболевание пшеницы. При эпифитотийном развитии болезни потери урожая могут достигать от 50 - 80% и более [2]. В последние годы наблюдается усиление вредоносности этого патогена как на территории стран Африки и Америки, так и стран Евразийского континента, в том числе и в России. На территории Российской Федерации эпифитотийное развитие болезни отмечалось в 2015 - 2020 годах в Западной Сибири, Центральном регионе Европейской части РФ и Нижнем Поволжье. Сохраняется угроза проникновения в РФ высоковредоносной расы возбудителя стеблевой ржавчины - Ug99. В связи с этим большое значение приобретает оценка генетического потенциала селекционного материала пшеницы и идентификация генов устойчивости, эффективных не только против местных популяций патогена, но и против расы Ug99.

Целью нашей работы была идентификация эффективных *Sr*- генов в устойчивых к стеблевой ржавчине интрогрессивных линиях яровой мягкой пшеницы с использованием молекулярных маркеров.

В работе анализировали селекционный материал ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (90 интрогрессивных линий). Все анализируемые линии были устойчивы к саратовской популяции *P. graminis* f. sp. *tritici* в полевых условиях. ДНК растений пшеницы выделяли из 5-ти дневных проростков с использованием цетилтриметиламмониумбромида (CTAB) [5]. Разделение продуктов амплификации проводили в 2% агарозных гелях, окрашенных бромистым этидием. Положительным контролем служили изогенные линии и сорта с известными *Sr*- генами, негативным контролем - восприимчивый сорт Хакасская. Для идентификации генов устойчивости (*Sr24, Sr25, Sr26, Sr28, Sr31, Sr36, Sr38* и *Sr57*) использовали ДНК маркеры, рекомендованные для маркер вспомогательной селекции (MAS): *Sr24/ Lr24 -Sr24#12* и *Sr24#50* [4], *Sr25/Lr19 - Gb* [6], *Sr26 - Sr26#43* [4], *Sr28 - wPt-7004-PCR* и *wmc 332* [7],

Sr31/Lr26 - Scm9 [9], *Sr36 - Xstm773-2* [8], *Sr38/Lr37 - VENTRIUP-LN2* [1], *Sr57/Lr34* - csLV34 [3].

Из генов, неэффективных к Ug99, но эффективных к местным популяциям стеблевой ржавчины в линиях был идентифицирован ген *Sr31*. Для его идентификации был использован маркер scm9, выявляющий ржаную транслокацию 1BL.1RS, несущую комплекс генов устойчивости к стеблевой *Sr31*, бурой *Lr26*, желтой *Yr9* ржавчинам и мучнистой росе *Pm8* (рисунок). Данная транслокация (ген *Sr31*) была идентифицирована у 41 линий из 90 (45,6 % образцов).

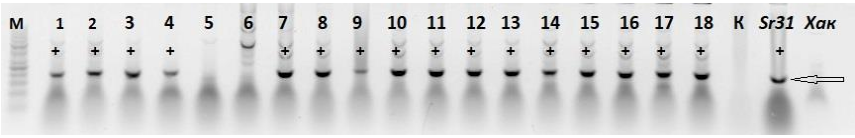


Рисунок. Идентификация гена *Sr31* с использованием молекулярного маркера *Scm9*. «М» - маркер молекулярного веса 50 bp «Fermentas», *Sr31* – положительный контроль (сорт Аврора); «Хак» - отрицательный контроль (сорт Хакасская); «К» - контроль на контаминацию. Стрелкой указан диагностический фрагмент с молекулярным весом 207 п.о. «+» - наличие диагностического фрагмента – 207 п.о.

Ген *Sr38* был идентифицирован в 10 линиях с использованием праймеров VENTRIUP-LN2. Из генов, эффективных к Ug99, в 48 линиях, с использованием рекомендованного для маркер вспомогательной селекции маркера *Gb* идентифицирован ген *Sr25* (53,3 % линий). Ген *Sr28* идентифицировали с использованием двух маркеров - *wPt-7004-PCR* и *wmc 332*. При использовании *wPt-7004-PCR* диагностический фрагмент был идентифицирован у 8 линий, а при использовании *wmc 332* – у 9 линий, однако результаты идентификации по обоим маркерам совпали только у контрольной линии – носителя *Sr28*, из чего был сделан вывод об отсутствии данного гена в исследуемом материале. Ген возрастной устойчивости *Sr57/Lr34* был идентифицирован в 5 линиях. Таким образом, в проанализированных интрогрессивных линиях были в основном идентифицированы гены *Sr25* и *Sr31*. Сочетание генов – *Sr31+Sr25* было идентифицировано у 28 линий (31,1%). У пяти линий идентифицировано сочетание генов *Sr25 + Sr38*. Гены *Sr24, Sr26* и *Sr36* в анализируемых линиях обнаружены не были.

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-26-00172, https://rscf.ru/project/22-26-00172/

Список литературы

1. Helguera M., Khan I.A., Kolmer J., et al. PCR assays for the *Lr37-Yr17-Sr38* cluster of rust resistance genes and their use to develop isogenic hard red spring wheat lines // Crop Science. 2003. V 43. P. 1839–1847.

2. Jin Y., Szabo L. J., Pretorius Z. A., Singh R. P., et al. Detection of virulence to resistance gene *Sr24* within race TTKS of Puccinia graminis f. sp. Tritici // Plant Disease. 2008. V 92. P. 923–926.
3. Lagudah E.S., McFadden H., Singh R.P. et al. Molecular genetic characterization of the *Lr34/Yr18* slow rusting resistance gene region in wheat // Theor. Appl. Genet. 2006. V.114. P. 21–30.
4. Mago R., Bariana H.S., Dundas I.S., et al. Development or PCR markers for the selection of wheat stem rust resistance genes *Sr24* and *Sr26* in diverse wheat germplasm // Theor. Appl. Genet. 2005. V.111. P. 496–504.
5. Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA // Nucleic Acids Res. 1980. V.8 (19). P.4321–4326. DOI:10.1093/nar/8.19.4321.
6. Prins R., Groenewald J. Z., Marais G. F., et al. AFLP and STS tagging of *Lr19*, a gene conferring resistance to leaf rust in wheat // Theor. Appl. Genet. 2001. V.103. P. 618–624.
7. Rouse M.N., Nava I.C., Chao S., Anderson J.A., Jin Y. Identification of markers linked to the race *Ug99* effective stem rust resistance gene *Sr28* in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Theoretical and Applied Genetics. 2012. V.125. P. 877–885. DOI:10.1007/s00122-012-1879-6
8. Tsilo T.J., Jin Y., Anderson J.A. Diagnostic microsatellite markers for detection of stem rustresistance gene *Sr36* in diverse genetic backgrounds of wheat // Crop Sci. 2008. V.48. P. 253–261.
9. Weng Y., Azhaguvel P., Devkota R.N., Rudd J.C. PCR-based markers for detection of different sources of 1AL.1RS and 1BL.1RS wheat–rye translocations in wheat background // Plant Breeding. 2007. V.126. P. 482–486.

Направления селекции картофеля в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН

Батов А.С., м.н.с.; Гуреева Ю.А. м.н.с.*

Сибирский НИИ растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики СО РАН, р.п. Краснообск, НСО, Россия.
**e-mail: alexandr-batov@mail.ru*

На базе СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН в 2019-2021 гг. проведено сравнительное изучение сортов картофеля собственной селекции. Представлены результаты изучения 8 сортов картофеля, пять из них районированы, а три в настоящее время проходят Государственное сортоиспытание. За стандарт взят отечественный сорт Невский, так как, он входит в первую десятку по объему посевных площадей в Российской Федерации. Сорта картофеля, созданные в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН отвечают современным требованиям, они формируют высокий урожай до 48,5 т/га (сорт Алка), имеют хорошие и отличные вкусовые качества. Сорт Сокур отличается высоким содержанием крахмала (до 17,8%).

Ключевые слова: *картофель, сорт, селекция, продуктивность, крахмал.*

Varieties of potato breeding SibRIPP&B – Branch of ICG SB RAS

Batov A.S., junior researcher; Gureeva Yu.A. junior researcher*
Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
**e-mail: alexandr-batov@mail.ru*

On the basis of SibRIPP&B – Branch of ICG SB RAS in 2019-2021 a study of potato varieties of its own selection was carried out. The results of the study of 8 varieties of potatoes are presented, five of them are zoned, and three are currently undergoing State variety testing. The domestic variety Nevsky was taken as the standard, since it is among the top ten in terms of sown area in the Russian Federation. Potato varieties created at SibNIIRS, a branch of the ICG SB RAS, meet modern requirements. They form a high yield (up to 48.5 t/ha for the Alka variety), the Sokur variety has a high starch content (up to 17.8%), and all varieties have good and excellent taste qualities.

Keywords: *potato, variety, selection, productivity, starc.*

Новосибирская область является благоприятным регионом для возделывания картофеля. По итогам 2021 года область занимает пятое место в Сибирском федеральном округе по производству картофеля [1,2].

В настоящее время существует высокая зависимость предприятий от импортных сортов картофеля, для решения этой проблемы необходима непрерывная селекционная работа по созданию новых отечественных сортов [3].

Основной задачей селекционной работы по картофелю в СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН, является создание столовых сортов картофеля различных групп спелости, адаптированных к местным условиям и обладающих комплексом хозяйственно – ценных признаков [4].

Сравнительная оценка сортов картофеля проведена на опытных полях Сибирского НИИ растениеводства и селекции – филиала ИЦиГ СО РАН, севооборот 4-х польный. Площадь питания растений картофеля 70 х 35 см. Закладка опыта проведена, согласно методических рекомендаций ВИР (2010) и ВНИИКХ им. А.Г. Лорха (2019). Биохимические показатели клубней после уборки определяли по методике Ермакова А.И. (1987). Вкусовые качества определяли органолептическим методом по 9-ти бальной шкале (Букасов, 1975).

Успех селекционной программы в значительной мере определяется правильным подбором исходного материала. В коллекционном питомнике ежегодно изучаются от 180 до 300 образцов картофеля различного эколого-географического происхождения из коллекции ВИР и других учреждений. В гибридизацию включаются сорта и гибриды, выделившиеся по комплексу признаков. Ежегодно проводятся скрещивания по 50–100 комбинациям.

Направление селекционной работы по картофелю в Новосибирской области в настоящее время может быть сведено к следующим положениям: 1. Селекция на скороспелость; 2. Селекция на продуктивность; 3. Селекция

столовых сортов; 4. Селекция на повышенную крахмалистость; 5. Селекция нематодоустойчивых сортов картофеля; 6. Селекция на пригодность к промышленной переработке.

В результате многолетнего изучения коллекционного материала в условиях лесостепной зоны Приобъя выделены перспективные источники ценных признаков для включения в селекционную программу по картофелю.

Для создания скороспелых сортов в гибридизацию необходимо включать сорта Винета, Жуковский ранний, Ломоносовский, Любава, Люкс, Самба и Регги.

В качестве родительских форм для селекции на высокую продуктивность в условиях лесостепи Новосибирского Приобья рекомендуются сорта Сальса, Гала, Садон, Аляска, Гранд, Тимо Ханкиян, Пентланд Кроун, Омега, Бекас, Агата, Диамант и Пикассо.

Среди сортообразцов коллекции СибНИИРС выделены сорта, отличающиеся высокими вкусовыми качествами: Регги, Гала, Адретта, Симфония, Омега, Свитанок киевский, Лазарь и Сентябрь.

Содержание крахмала определяет пищевую ценность картофеля. Для селекции картофеля на повышенное содержание крахмала рекомендуется использовать сорта, содержащие крахмал свыше 20%: Белорусский 3, Наяда, Регги, Никулинский, Танго, Свитанок киевский, Зарево и Лазарь.

В качестве исходного материала с целью получения сортов пригодных для переработки целесообразно использовать сорта Фрителла, Адретта, Садон, Лина и Сокур.

Селекция на нематодоустойчивость активно ведется в СибНИИРС, и в качестве исходного материала рекомендуются следующие сорта картофеля: Ароза, Латона, Дельфин, Ван Гог, Жуковский ранний, Фрегата, Розара, Санте, Пушкинец, Симфония, Невский и Агрия.

С 1998 и по 2021 гг. в СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН были созданы и включены в Государственный реестр селекционных достижений РФ 5 сортов картофеля: Лина, Сафо, Юна, Златка и Сокур. За последнее время были созданы и переданы на ГСИ три новых сорта картофеля среднеранней группы спелости: Адар, Алка и Ника.

Сорта Адар и Ника произошли от одной гибридной комбинации (Никулинский х Пикассо), однако они различаются окраской мякоти клубня, Адар – белая, а Ника – желтая.

Нами проведена оценка наших сортов по продуктивности за период 2019 – 2021 гг. (таблица).

Сорт Лина относится к группе среднеранних сортов. В среднем ранний урожай по годам исследования – 21,7 т/га. Конечный урожай составляет от 31,5 т/га до 35,8 т/га.

Сорт Сафо относится к среднеранней группе созревания, ранний урожай варьирует от 15,3 т/га до 31,8 т/га. Сафо формирует высокий конечный урожай от 28,4 т/га до 46,9 т/га, средняя урожайность за три года – 38,0 т/га.

Таблица – Продуктивность сортов картофеля, 2019–2021 гг.

Показатель		Невский (ст)	Лина	Сафо	Юна	Златка	Сокур	Адар	Алка	Ника
Ранний урожай, т/га	2019	21,2	21,9	27,3	18,5	25,1	22,7	26,8	22,4	26,8
	2020	17,2	17,5	15,3	16,8	16,0	19,0	25,4	27,1	28,0
	2021	25,2	25,7	31,8	28,9	25,1	30,3	28,6	31,2	28,0
	Среднее	21,2	21,7	24,8	21,4	22,1	24,0	26,9	26,9	27,6
	V, %	19,6	18,9	34,4	32,2	23,8	24,0	6,0	16,4	2,5
Конечный урожай, т/га	2019	37,8	35,0	46,9	28,0	35,0	38,2	40,9	40,2	38,6
	2020	18,7	31,5	28,4	22,3	29,0	26,7	35,0	30,6	29,8
	2021	29,9	35,8	38,8	33,4	36,8	36,4	40,6	48,5	45,9
	Среднее	28,8	34,1	38,0	27,9	33,6	33,8	38,8	39,8	38,1
	V, %	33,3	6,7	24,4	19,9	12,2	18,3	8,6	22,5	21,2

Сорт Юна относится к группе ранних сортов, урожайность в раннюю копку достигает до 28,9 т/га. Конечный урожай варьирует от 22,3 т/га до 28,0 т/га.

Сорт Златка и Сокур относятся к среднеспелой группе созревания. Конечный урожай Златки варьирует от 29,0 т/га до 36,8 т/га. Сокур формирует конечный урожай от 26,7 т/га до 38,2 т/га.

Сорта Адар, Алка и Ника относятся среднеранней группе спелости. Максимальный ранний урожай сорта Адар составляет 28,6 т/га, сорта Алка 31,2 т/га и сорта Ника 28,0 т/га. Максимальный конечный урожай сорта Адар 40,9 т/га, у сорта Алка 48,5 т/га, а у сорта Ника 45,9 т/га.

Содержание крахмала всех сортов селекции СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН, превышает стандартный сорт Невский. Максимальное содержание крахмала отмечено у сорта Сокур (16,0-17,8%). Отличные вкусовые характеристики (9 баллов) отмечены у сортов Лина, Златка и Сокур. Из сортов картофеля селекции СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН, наиболее пригодны к переработке на хрустящий картофель сорта Лина и Сокур.

Выводы. Селекционная работа по картофелю в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН, позволила получить сорта, отвечающие современным требованиям производства картофеля. За последние 5 лет включены в Госреестр селекционных достижений два среднеспелых сорта картофеля: Златка (2017 г.) и Сокур (2021 г.), они соответствуют предъявляемым требованиям потребительского рынка и адаптированы к местным условиям лесостепи Новосибирского Приобья.

В настоящее время на Государственном сортоиспытании находятся три новых сорта картофеля среднеранней группы спелости – Адар, Алка и Ника, формирующие высокий конечный урожай: 40,9 т/га, 48,5 т/га и 45,9 т/га соответственно. Данные сорта также имеют хорошие и отличные вкусовые качества.

Благодарности: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2019-0012.

Список литературы
1. Ильина Е.А., Тяпкина М.Ф., Доманова Е.О. Современное состояние сельского хозяйства в регионах Сибирского федерального округа // РЭиУ. 2020. №2 С. 34–36.
2. Петухова Н.В., Шипицына О.В. Оценка уровня развития картофелеводства Новосибирской области // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2016. № 23. С. 66–69.
3. Сафонова А.Д., Батов А.С., Гуреева Ю.А., Орлова Е.А. Эколого-географическое испытание картофеля ранней и очень ранней групп спелости в лесостепи Приобья // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 10. С. 56–61.
4. Сафонова А.Д., Батов А.С., Гуреева Ю.А., Орлова Е.А. Подбор пар для адаптивной селекции картофеля в меняющихся природно-климатических условиях // Генофонд и селекция растений: Материалы сателлитного симпозиума V Междунар. конференции, Новосибирск, 11–13 ноября 2020 г. Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 2020. С. 121–126.
5. 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.

Эффективность сотрудничества «Омский АНЦ» и «Северо-Казахстанская СХОС» при создании сортов яровой мягкой пшеницы

Белан И.А. к.с-х.н.[1], Федоренко Е.Н.[2], Россеева Л.П., к.с-х.н.[1]., Мухордова М.Е., к.с-х.н.[1], Блохина Н.П[1], Пугачева Н.С.[1], Игнатьева Е.Ю., к.с-х.н.[1]*

[1]«Омский аграрный научный центр» («Омский АНЦ»)
[2] ТОО «Северо-Казахстанская СХОС»
**e-mail: belan@anc55.ru*

Исследования направлены на изучение хозяйственно-ценных признаков и генетический контроль признаков устойчивости к листостебельным заболеваниям, фотопериоду и короткостебельности сорта Семеновна, созданного совместно ФГБНУ «Омский АНЦ» (Россия) с СК СХОС (Казахстан).

Ключевые слова: *селекция, пшеница мягкая яровая, урожайность, качество, устойчивость к заболеваниям, ПЦР анализ.*

The effectiveness of cooperation between "Omsk ASC" and "North-Kazakhstan AES" in the creation of varieties of spring soft wheat

Belan I.A. [1], Fedorenko E.N.[2], Rosseeva L.P. [1], Mukhordova M.E. [1], Blohina N.P. [1], Pugacheva N.S.[1], Ignatieva E.Yu. [1]*
[1]Omsk Agrarian Scientific Center" ("Omsk ASC")
[2] LLP "North Kazakhstan AES"
**e-mail: belan@anc55.ru*

The research is aimed at studying economically valuable traits and genetic

control of signs of resistance to leaf-stem diseases, photoperiod and short-stemmed variety of Semenovna, jointly created by the Omsk ASC (Russia) with NK AES (Kakhakhstan).

Keywords: *breeding, soft spring wheat, yield, quality, disease resistance, PCR analysis.*

Сортовые ресурсы пшеницы мягкой яровой существенно пополняются благодаря успехам селекционеров России и Казахстана. Более 40 лет в северных областях Казахстана возделываются сорта лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы. Площадь посева под 18 сортами лаборатории в 2021 г. составила 2 900750 га.

Особую актуальность для зон возделывания пшеницы мягкой яровой в Западной Сибири и Северного Казахстана имеют сорта с высоким потенциалом продуктивности, устойчивые к грибным патогенам, полеганию и более коротким вегетационным периодом [1].

Материалы и методы исследования

Исследования параллельного изучения селекционной линии Лютесценс 354/04-6 (сорт Семеновна) проводились в питомниках КСИ на опытных полях лаборатории селекции яровой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ» и ПСИ ТОО «Северо-Казахстанская СХОС», согласно методике Государственного сортоиспытания [2].

Питомники КСИ лаборатории селекции яровой пшеницы «Омский АНЦ» закладывали по пару, норма высева 5,5 млн. семян, повторность четырёхкратная. Стандартами служили два сорта – среднеранний Памяти Азиева и среднеспелый Дуэт. Посев питомника ПСИ ТОО «Северо-Казахстанская СХОС» проводился по пару, норма высева 3,5 млн. семян, повторность 3-х кратная, площадь учетных делянок 50 м^2. Новые линии сравнивались с двумя стандартами Астана (среднеранний) и Омская 35 (среднепоздний).

Учеты к листостебельным патогенам проводили как в полевых условиях в динамике через 6–8 суток с начала проявления заболеваний до восковой спелости, так и лабораторных условиях в вегетационно-климатическом шкафу Биотрон 8. Для сортообразцов, задерживающих развитие патогенов, рассчитывали площадь под кривой развития заболеваний (ПКРБ) и индекс устойчивости (ИУ) [3].

По показателям качества зерна определяли натуру, стекловидность, содержание белка и клейковины в зерне. Хлебопекарная оценка проведена по методикам, рекомендованным Госкомиссией РФ [4].

Геномная ДНК выделялась из 3-х дневных проростков зерен пшеницы с помощью готового набора реактивов «ФитоСорб» (ООО «Синтол», Россия). Полимеразная цепная реакция была проведена с использованием праймеров к генам Rht 8, Ppd-D1, Lr19, Lr26, Sr25, Sr31 [5].

Статистическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову [6] с применением пакета программ (MS Exel).

Результаты

Метеорологические условия в годы исследования были разнообразны. Анализ данных ГТК в обоих пунктах показал, что вегетационный период 2015 г. можно отнести к оптимальному по увлажнению, 2016 г. – слабо засушливому, а 2017 г. – засушливому.

В эти годы изучалась перспективная линия Лютесценс 354/04-6, которая в 2018 г. была передана на ГСИ РК под названием Семеновна и включена в Госреестр РК в 2021 г.

Родословная сорта: Уралосибирская/Омская 37 (Лютесценс 354/04-6). После проведенных скрещиваний в 2004 г. двух сортов в гибридных популяциях F_3 и F_4 была отобрана селекционная линия Лютесценс 354/04-6, которая изучалась последовательно в селекционных питомниках. В 2013 и 2014 гг. это линия испытывалась в питомнике КСИ лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы «Омский АНЦ» в среднеранней группе спелости, где стандартом служил сорт Памяти Азиева. За годы изучения линия Лютесценс 354/04-6 по урожайности в 2013 г. превысила стандарт на 0,67 т/га и в 2014 г. – на 0,50 т/га, проявила средний уровень устойчивости к мучнистой росе и не поражалась бурой ржавчиной. На полях яровой мягкой пшеницы в эти годы не наблюдалось массового развития стеблевой ржавчины, поэтому оценку к этому заболеванию проводили в лабораторных условиях в фазе проростков. Оценки показали, что стандарт Памяти Азиева был восприимчивым к этому патогену (балл поражения 4), а селекционная линия Лютесценс 354/04-6 проявила высокую устойчивость (балл поражения 0-1).

По показателям качества зерна в эти годы она была на уровне ценной пшеницы, однако, превосходила Памяти Азиева на 1–2 % по содержанию белка и на 3–4 % сырой клейковины.

В 2015 г. селекционная линия Лютесценс 354/04-6 была передана для испытания в ТОО «Северо-Казахстанская СХОС» и ее изучение продолжилось до 2018 г. в питомнике КСИ лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы.

На опытном поле «Омский АНЦ» средняя урожайность линии Лютесценс 354/04-6 (4,40 т/га) превосходила стандарты Памяти Азиева и Дуэт на 1,74 и 1,84 т/га, соответственно. По продолжительности вегетационного периода новый сорт (90 суток) превышал среднеранний стандарт Памяти Азиева на 3 суток, но созревал на 2 суток раньше среднеспелого стандарта Дуэт. На опытных полях ПСИ ТОО «Северо-Казахстанская СХОС» средняя урожайность Лютесценс 354/04-6 равнялась 2,73 т/га, что на 0,61 т/га выше среднераннего стандарта Астана и 0,49 т/га среднепозднего стандарта Омская 35. По длине вегетационного периода Лютесценс 354/04-6 (80 суток) лишь на сутки превышал стандарт Астана и четверо суток скороспелее стандарта Омская 35. Безусловно, такие результаты по урожайности связаны с более высоким уровнем устойчивости к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам среды.

Молекулярно-генетический анализ пула образцов выявил, что комплекс генов Lr19/Sr25 в изучаемой линии отсутствует, наличие комплекса генов Lr26/Sr31 обнаружено, что указывает на присутствие пшенично-ржаной транслокации 1RS.1BL.

Идентификация Лютесценс 354/04-6 по аллелям генов фотопериода и короткостебельности показала фоточувствительность к длине дня, что подтверждает аллель PpdD1a, а аллель Rht8b, определяет его как среднестебельный.

Линия Лютесценс 354/04-6 (сорт Семеновна) задерживала развитие патогена как бурой, так и стеблевой ржавчины. На полях «Омского АНЦ» в 2015–2017 гг. наблюдались эпифитотии ржавчинных заболеваний [7]. Стандарты Памяти Азиева и Дуэт были восприимчивые к стеблевой ржавчине (ИУ = 0,90–1,0), а сорт Дуэт характеризуется высокой устойчивостью к бурой ржавчине (ИУ = 0–0,31). Новый сорт Семеновна проявлял высокую устойчивость, как к бурой, так и стеблевой ржавчине (ИУ = 0–0,23).

На полях ПСИ «Северо-Казахстанская СОС», только в 2015г. наблюдалось массовое развитие бурой ржавчины (восприимчивый сорт Астана поразился на 80 % (80 S), а сорт Семеновна – 50 MR), в 2016 и 2017 гг. поражение стандартов не превышало 40 % (40 S), новый сорт проявлял высокий уровень устойчивости к этому патогену. Эпифитотийного развития стеблевой ржавчины за годы изучения не наблюдалось. Восприимчивые сорта имели слабое поражение (5 MS), а сорт Семеновна не поражался этим патогеном. Таким образом, сорт Семеновна независимо от года и пункта изучения проявляет высокую устойчивость к бурой и стеблевой ржавчине.

Заключение

Сорт Семеновна включен в Госреестр РК в 2021 г. Патентообладатели: ТОО «Северо-Казахстанская СХОС» – 50 % и ФГБНУ ««Омский аграрный научный центр» – 50 %.

Сорт создан путем скрещивания двух высококачественных сортов среднепоздней группы спелости Уралосибирская и Омская 37, с последующим индивидуальным отбором. Сорт среднеспелый (вегетационный период 80–85 суток), разновидность лютесценс, относится к степной агроэкологической группе. Высота растения 80 см. Средняя урожайность за годы конкурсного сортоиспытания составила 2,77 т/га. Масса 1000 зерен 37,4 г. Содержание в зерне протеина 14,86 %, сырой клейковины – 28,4 %, общая хлебопекарная оценка – 4,5 балла. Сорт устойчив к ржавчинным заболеваниям и полеганию.

Сорт Семеновна сочетает повышенную урожайность с устойчивостью к листостебельным патогенам. Генотип сорта содержит пшенично-ржаную *1RS.1BL* транслокацию (с кластером генов *Lr26/Sr31/Pm8/Yr9*). Сорт среднестебельный несет в своем генотипе аллель Rht 8b (174 п.н.) и является фоточувствительным к длине дня (аллель 414 п.н.).

Новый сорт достоверно превосходит стандарты Астана (СК СХОС) и

Дуэт (Омский «АНЦ»): по урожайности – на 0,61 т/га и 1,84 т/га; по массе 1000 зерен – на 7,9 г и 10,6 г; по натуре – на 20 г/л и 9 г/л; по содержанию сырой клейковины – на 0,8 % и 4,9 % и белка – на 1 % и 1,39 %, соответственно в обоих пунктах. Семеноводство сорта развернуто как на Северо-Казахстанской СХОС, так и в ФГБНУ «Омский аграрный научный центр».

Список литературы

1. Гончаров Н. П., Косолапов В. М. Селекция растений – основа продовольственной безопасности России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. № 4. С. 361–366.
2. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. Москва, 2019. 329 с.
3. 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.
4. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. Госагропром. Москва. 1988. 121 с.
5. Мухордова М. Е., Белан И. А., Россеева Л. П. Использование молекулярных маркеров в селекции пшеницы мягкой яровой в Омском аграрном научном центре // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 6. С. 5-10.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос. 1985. 415 с.
7. Россеева Л.П., Белан И.А., Мешкова Л.В., Блохина Н.П., Ложникова Л.Ф., Трубачеева Н.В., Першина Л.А. Селекция на устойчивость к стеблевой ржавчине яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 7 (153). С. 5–12.

Картирование локусов, связанных с продолжительностью межфазных периодов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.)

Бережная А.А.[1]; Киселёва А.А.[1,2], к.б.н., н.с.; Стасюк А.И.[1], м.н.с.; Салина Е.А.[1,2], д.б.н., г.н.с.*

[1]ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
[2] Курчатовский геномный центр Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия.
**e-mail: BerezhnayaAA@bionet.nsc.ru*

Для изучения локусов, влияющих на продолжительность межфазных периодов у мягкой пшеницы, была создана картирующая популяция F_2 от скрещивания раннего сорта мягкой пшеницы Новосибирская 31 и поздней линии 124-1. Оценка фенотипа проводилась в гидропонных теплицах центра

искусственного выращивания растений ИЦиГ СО РАН. Потомство каждого растения F_2 было разделено на две равные группы, высаживалось в течение двух лет (2020, 2021 годы) в полевых условиях СибНИИРС. Для картирующей популяции было проведено высокопроизводительное SNP генотипирование (чип Illumina Wheat 25K). По результатам QTL-анализа был выявлен 21 локус количественных признаков, объясняющих 10-20% вариации соответствующих признаков. Один из локусов соответствует несинонимической замене в кодирующей области гена Vrn-B3, известного регулятора времени колошения мягкой пшеницы. Также в составе выявленных локусов были отмечены: ген группы SQUAMOSA promoter-binding protein-like (SPL) (TraesCS4A02G359500), ген, кодирующий гистоновый белок H4 (TraesCS6B02G404400), и ортолог гена CHE арабидопсиса (TraesCS6B02G462100), являющиеся наиболее вероятными генами-кандидатами.

Ключевые слова: *яровая пшеница, время колошения, время созревания, налив зерна, QTLs.*

Mapping loci associated with heading date and grain-filling duration

Berezhnaya A.A.[1], Kiseleva A.A.[1, 2], Stasyuk A.I.[1], Salina E.A.[1, 2]*
[1]Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
[2]Kurchatov Genomic Center of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia
**e-mail: BerezhnayaAA@bionet.nsc.ru*

The study of the loci that affect the duration of growth periods in common wheat was based on the F_2 mapping population, created from a cross of the early common wheat variety Novosibirskaya 31 and the late line 124-1. The phenotype was assessed in the hydroponic glasshouse of the Center for Artificial Plant Cultivation of the Institute of Cytology and Genetics. The offsprings of each F_2 plant were divided into two equal groups which were planted for two years (2020, 2021) in the fields of SibNIIRS. A high-throughput SNP genotyping was performed on the Illumina Infinium SNP platform (Illumina Wheat 25K chip). According to the results of QTL analysis, 21 QTLs were identified, each explaining 10–20% of the variation of the traits. One of the loci corresponds to a non-synonymous substitution in the coding region of the Vrn-B3 gene, a known regulator of heading time in common wheat. The identified loci also included the SQUAMOSA promoter-binding protein-like (SPL) group gene (TraesCS4A02G359500), the gene encoding the H4 histone protein (TraesCS6B02G404400), and the orthologue of the Arabidopsis CHE orthologue (TraesCS6B02G462100), which were selected as the best candidate genes.

Keywords: *common wheat, heading time, maturity time, grain-filling duration, QTLs.*

Вегетационный период пшеницы состоит из нескольких фаз развития. Вегетативный рост начинается с прорастания семян и заканчивается цветением. Генеративный рост в период от цветения до созревания зёрен называют периодом налива. Обе стадии вносят свой вклад адаптивность и урожайность культуры, при этом период налива изучен намного меньше. Это исследование было проведено с целью выявить локусы количественных признаков, ассоциированные с периодами колошения, созревания, налива зерна.

В данной работе картирование QTL было проведено с использованием популяции F_2 от скрещивания раннего сорта мягкой пшеницы Новосибирская 31 и поздней линии 124-1. Родительские линии и 117 растений F_2 были высажены в теплицах ЦКП «Лаборатория искусственного выращивания растений». Фенотип растений изучали в условиях длинного светового дня. Отмечали дату перехода к следующим стадиям развития: всходы, кущение, выход в трубку, колошение, созревание в соответствии со шкалой фаз развития пшеницы Zadoks et. al. [1]. Время колошения фиксировали индивидуально для каждого растения в момент выхода колоса из трубки наполовину и высчитывали как количество дней от всходов до колошения (GS55). Созревание определяется твёрдым зерном, пожелтением и высыханием колосьев и стеблей (соответствует стадии GS92).

Картирование локусов также было проведено для популяций $F_{2:3}$, для этого каждая семья $F_{2:3}$ была разделена на две группы в среднем по 18 растений, фенотип оценивался в течение двух лет (2020, 2021) в полевых условиях СибНИИРС.

Для картирующей популяции было проведено высокопроизводительное SNP генотипирование на платформе SNP Illumina Infinium *(*чип Illumina Wheat 25K*)*. Генотипирование было осуществлено в компании TraitGenetics GmbH (Германия). Принадлежность групп сцепления к хромосомам оценивалась при помощи ресурса CerealsDB [2]. Построение генетической карты и QTL анализ проводился с использованием пакетов программ MultiPoint UltraDense (версия 3.3) и MultiQTL (версия 2.6).

В условиях теплицы у родительских линий разница в продолжительности налива была более выражена, чем в колошении: линия 124-1 выколашивалась в среднем на 0.8 дней позже, а период колошение-созревание был на 6.8 дней больше. Растения популяции F_2 выколашивались в среднем за 31.8 дня, созревали в среднем за 69.5 дня. Была выявлена значимая корреляция между колошением и созреванием $r = 0.64$, наливом и созреванием $r = 0.81$, но не между колошением и наливом.

В полевых условиях в 2020 и 2021 посевных сезонах продолжительность межфазных периодов была больше, чем в теплице. Также в обоих сезонах значения всех изучаемых признаков были выше у линии 124-1, чем у сорта Новосибирская 31. На полевых данных в 2020 году была выявлена значимая корреляция между колошением и созреванием $r = 0.62$, и наливом и

созреванием r = 0.53, также выявлена значимо отрицательная корреляция между колошением и наливом r = -0.32. Данные за 2021 год подтверждают эти результаты: колошение и созревание r = 0.65, *p*-value < 0.0001, налив и созревание r = 0.55, колошение и налив r = -0.28. Значение *p*-value во всех вышеуказанных тестах было < 0.0001.

Для картирующей популяции были получены данные о 24146 SNP, среди них полиморфными оказались 6752 маркера. С помощью пакета программ MultiPoint косегрегирующие маркеры были объединены в группы сцепления. Таким образом, были созданы карты 25 групп сцепления, соответствующие 18 хромосомам пшеницы. Общая длина карты составила 2368 сМ, среднее расстояние между соседними маркерами составила 3.1 сМ.

Выявление локусов количественных признаков проводили с помощью программы MultiQTL по алгоритмам интервального картирования и множественного интервального картирования. Достоверность каждого QTL оценивали по пороговому значению LOD-score (logarithm of odds) с уровнем значимости не менее 95%. Был выявлен 21 локус количественных признаков.

QTL *QHd.icg-7B.1* времени колошения (LOD=4.71) связан с маркером *AX-94810990* на коротком плече 7B хромосомы, который располагается в кодирующей области гена *TraesCS7B02G013100*, или *Vrn-B3*. Этот вариант обуславливает миссенс-мутацию [G/C] в сайте 19, что приводит к с замене аспарагина на гистидин. Донором аллеля С была линия 124-1. В нашей выборке была выявлена значимая разница между группами (F= 6.515, p <0.001, однофакторный ANOVA). Разница между средними в группах GG и CC составила 2.2 дня, тогда как группы GG и CG значимо не отличались.

На хромосоме 4A был выявлен локус времени колошения *QHd.icg-4A* (12% объясненной вариации, LOD=3.76). Смежный с ним локус вегетационного периода *QVp.icg-4A* объясняет 23% вариации. Интервал этого локуса *Excalibur_c82040_91 – wsnp_Ra_rep_c70233_67968353* содержит лишь 26 генов, среди которых можно отметить *TraesCS4A02G359500.* Этот ген кодирует белок, относящийся к семейству *SQUAMOSA promoter-binding protein-like* (*SPL*). Роль этих генов мало исследована у пшеницы, но на других видах растений показано, что гены группы SPL оказывают влияние на различные процессы, в том числе на развитие цветков [3].

Два локуса для времени созревания были идентифицированы на хромосомах 6A и 6B в поколении F3 в 2021 году. Локусы *QMt.icg-6A* и *QMt.icg-6B* имели значение LOD 3.50 и 2.7, индивидуально объясняли 21 и 14% вариации признака, соответственно. QTL *QMt.icg-6B* включает ген *TraesCS6B02G462100* с доменом TCP. Авторы Rees H. et al., исследовавшие циркадно экспрессируемые гены пшеницы, определили ген *TraesCS6B02G462100* как ортологичный гену арабидопсиса CHE (*At5g08330*) [4]. Авторы отмечают, что ген *TraesCS6B02G462100* и его го-

меологи наиболее активно экспрессируются на 2–4 день после опыления, поэтому можно предположить, что ген наиболее активно принимает участия в раннем развитии зерна.

Таким образом, в ходе данной работы был выявлен ряд локусов, ассоциированных с продолжительностью межфазных периодов у мягкой пшеницы. Результаты могут быть использованы в маркер-ориентированной селекции при создании сортов с заданными сроками колошения и созревания.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-016-00059.

Список литературы

1. Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. // Weed Res. 1974. Vol. 14. № 6. P. 415–421.
2. Wilkinson P.A. et al. CerealsDB 2.0: an integrated resource for plant breeders and scientists // BMC Bioinformatics. 2012. Vol. 13. № 1. P. 1–6.
3. Jiao Y. et al. Regulation of OsSPL14 by OsmiR156 defines ideal plant architecture in rice // Nat. Genet. 2010. Vol. 42. № 6. P. 541–544.
4. Rees H. et al. Circadian regulation of the transcriptome in a complex polyploid crop // bioRxiv. 2022.

Изучение расового состава популяции покрытой головни овса посевного в условиях лесостепи Приобья

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

СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия.
**e-mail: telichkinanina@mail.ru*

Для условий лесостепи Приобья покрытая головня овса (Ustilago kolleri Wille) является одним из наиболее распространенных и вредоносных заболеваний. Для успешной селекции высокоустойчивых сортов к возбудителю покрытой головни следует начинать с определения расового состава. В связи с этим нами были проведены исследования по расовой дифференциации популяционного состава возбудителя заболевания Ustilago kolleri Wille в условиях лесостепи Приобья. Изучение расового состава покрытой головни овса проводили в полевых условиях на инфекционном фоне фитопатологического участка лаборатории генофонда растений СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН в 2013-2022 годах. Анализ экспериментальных данных по восприимчивости тест – сортов в условиях лесостепи Приобья показал, что популяция возбудителя Ustilago kolleri непостоянна и не дифференцируется на наборе ВИР.

Ключевые слова: *овес посевной, пыльная головня, покрытая головня, расовый состав, сорта – дифференциаторы.*

The study of the racial composition of the population of the covered smut of oats sown in the conditions of the forest-steppe of the Ob region

Behtold N.P., Orlova E.A.*
SibRIPP&B — Branch of ICG SB RAS
**e-mail: Telichkinanina@mail.ru*

For the conditions of the forest-steppe of the Ob region, covered oat smut (Ustilago kolleri Wille) is one of the most common and harmful diseases. For successful breeding of highly resistant varieties to the pathogen of the covered smut, it is necessary to begin with the determination of the racial composition. In this regard, we conducted studies on the racial differentiation of the population composition of the causative agent of the disease Ustilago kolleri Wille in the conditions of the forest-steppe of the Ob region. The study of the racial composition of the covered oat smut was carried out in the field against an infectious background of the phytopathological section of the plant gene pool laboratory of SibRIPP&B — Branch of ICG SB RAS in 2013-2022. Analysis of experimental data on the susceptibility of test varieties in the conditions of the forest–steppe of the Ob region showed that the population of the causative agent Ustilago kolleri is unstable and does not differentiate on a set of VIR.

Keywords: *seed oats, dusty smut, covered smut, racial composition, differentiator varieties.*

В условиях лесостепи Приобья наблюдается распространение головневых заболеваний. Головня овса – одно из наиболее вредоносных болезней. Отличается тем, что поражает ту часть растения, ради которой культура выращивается (метелка). Покрытая головня овса (*Ustilago kolleri* Wille) значительно снижает урожай и качество зерновой продукции [1, 2]. Для успешной селекции на иммунитет исследования по головневым болезням следует начинать с определения расового состава. Появление и размножение новых рас – одна из основных причин потери сортами устойчивости к покрытой головне. Расы возбудителей возникают в процессе взаимодействия патогена с растением-хозяином и отличаются по реакциям, которые они вызывают на различных сортах. По характеру этих реакций и осуществляется дифференциация внутривидовых таксонов. Изучение расового состава позволяет выявить различную степень поражения сортов, определить сортовые различия по расоспецифической устойчивости [3]. В связи с этим нами были проведены исследования по расовой дифференциации популяционного состава возбудителя заболевания *Ustilago kolleri* Wille в условиях лесостепи Приобья.

Изучение расового состава покрытой головни овса проводили в полевых условиях на инфекционном фоне фитопатологического участка лаборатории генофонда растений СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН в 2013-2022 годах. Расовый состав *Ustilago kolleri* определяли на общепринятом

наборе сортов-дифференциаторов с идентифицированными генами устойчивости (табл. 1).

Таблица 1 – Тест-сорта для идентификации рас покрытой головни овса

№ по каталогу ВИР	Сорт	Происхождение	Гены устойчивости
			Uk
8054	Anthony	США	-
1830	Black Diamond	Франция	-
8259	Victory	Швеция	24,25
1854	Gothland	США	-
2038	Monarch	Франция	-
2022	Fulghum	США	-
9981	Leline	США	-
9809	Black Mesdag	Франция	-
10790	Льговский 1026	СССР	-

Семена инфицировали перед посевом телиоспорами на приборе РТ-1 по методике Кривченко [4]. Посев осуществляли в первой декаде мая, кассетной сеялкой СКС-6. Погодные условия в годы исследований были различными, но в основном складывались благоприятно для создания инфекционного фона, а также для роста и развития растений овса.

Дифференциацию возбудителя осуществляли по методике ВИР. Учетную реакцию каждого сорта фиксировали по максимальному поражению. Подсчет больных и здоровых метелок проводили в фазу молочной спелости. Полученные результаты сравнивали с ключом для определения физиологических рас. Классификацию устойчивости проводили по международной шкале R-S, где R – устойчивость (поражение до 10%), S – восприимчивость (поражение более 10%).

С целью контроля вирулентности популяций проводили оценку устойчивых сортов Сиг и Орион и стандарта восприимчивости – Ровесник.

Сорта Сиг и Орион проявляли иммунитет к патогену покрытой головни до 2018 года. С 2019 года сорта начали терять устойчивость (табл. 2).

Таблица 2 – Динамика поражения сортов Сиг и Орион возбудителем *Ustilago kolleri*, 2013-2022 гг.

Сорт	2013-2018 гг.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Сиг	0	12,6	18,9	11,2	44,5
Орион	0	16,4	33,9	20,1	55,7

Полученные результаты указывают на изменение расового состава популяции *Ustilago kolleri*. Это подтверждается и реакцией тест-сортов (табл. 3).

Дифференциацию рас возбудителей головни овса изучали согласно

методическим рекомендациям ВИР. В указанном наборе представлены 4 расы покрытой головни. Популяция Новосибирской области на данном наборе не дифференцируется с момента изучения.

Анализ экспериментальных данных по восприимчивости тест-сортов в наших условиях показал, что популяция возбудителя *Ustilago kolleri* непостоянна. За годы исследований тест-сорта поражались от 0 до 85,8 %.

С учетом изменения поражения сортов Сиг, Орион и тест-сортов Monarch, Fulghum результаты изучения условно разделили на два периода: с 2013 по 2018 гг. и с 2019 по 2022 гг.

Таблица 3 – Процент поражения сортов дифференциаторов овса покрытой головней, 2013-2022 гг.

Сорт	2013-2018 гг.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Anthony	(21,9-65,7) **S***	(27,5) **S**	(45,2) **S**	(12,3) **S**	(39,8) **S**
Black Diamond	(0) **R***	(0) **R**	(0) **R**	(0) **R**	(3,9) **R**
Victory	(11,9-27,0) **S**	(13,1) **S**	(45,5) **S**	(11,5) **S**	(25,8) **S**
Gothland	(0-1,5) **R**	(0) **R**	(9,9) **R**	(9,7) **R**	(4,9) **R**
Monarch	(0-2,3) **R**	(10,1) **S**	(62,7) **S**	(15,4) **S**	(50,2) **S**
Fulghum	(0) **R**	(0) **R**	(50,6) **S**	(40,1) **S**	(19,6) **S**
Black Mesdag	(0) **R**	(0) **R**	(2,9) **R**	(0) **R**	(0) **R**
Leline	(5,7- 22,5) **S**	(42,8) **S**	(85,8) **S**	(80,2) **S**	(70,1) **S**
Льговский 1026	(0-9,4) **R**	(8,0) **R**	(2,3) **R**	(0) **R**	(6,4) **R**
Ровесник, st восп.	(29,3-61,9) **S**	(28,9) **S**	(51,4) **S**	(43,1) **S**	(82,4) **S**

Примечание: *Классы устойчивости: R – устойчивый, S – восприимчивый.

По данным Мешковой Л.В. с соавторами в Омской области в популяции *U. kolleri* зафиксирована раса У 2, которая в отличие от Новосибирской популяции поражает сорта Black Diamond, Gothland и не поражает сорт Victory. Как видно из таблицы – сорт Victory, несущий два гена устойчивости (*Uk* 24,25), поражался возбудителем во все годы исследований от 11,9 % до 45,5 %. Для условий лесостепи Приобья эти гены являются не эффективными. Тест - сорта Monarch и Fulghum до 2019 года проявляли иммунитет. Существенное увеличение поражения сортов и преодоление их устойчивости патогеном отмечено с 2020 года. На протяжении десяти лет сохраняют свою устойчивость сорта Black Diamond, Black Mesdag и Льговский 1026.

Проведенные исследования в изучении расового состава популяции возбудителя *U. kolleri* показали на его изменения с 2019 года. Это видно по снижению устойчивости сортов Сиг и Орион. По ключу для определения рас, рекомендованным ВИР, популяция не дифференцируется в течение десяти лет. Отмечено отличие популяции покрытой головни лесостепи Приобья от популяции Омской области.

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

Список литературы

1. Мешкова Л.В., Пяткова О.В. Мониторинг популяций возбудителей головневых заболеваний овса в Омской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. № 11 (157). С. 13-18.
2. Идентифицированный генофонд растений и селекция. СПб.: ВИР, 2005. 896 с.
3. Бахарева Ж.А., Христов Ю.А. Создание сортов зерновых культур, устойчивых к головневым заболеваниям в Западной Сибири. Методические рекомендации РАСХН. Сиб. отд-ние. СибНИИРС. Новосибирск, 2003. 49 с.
4. Кривченко В. И. Устойчивость зерновых колосовых к возбудителям головневых болезней / Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. – М; Колос, 1984 – 304 с.

Эффективность оздоровления картофеля методом химиотерапии в культуре *in vitro*

Бычкова О.В., к.с.-х.н., с.н.с.; Мироненко О.Н., к.б.н., директор Алтайского центра прикладной биотехнологии; Хлебова Л.П., к.б.н., в.н.с.; Бровко Е.С., зав. лаб.; Небылица А.В. лаб.-исследователь*

ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия.
**e-mail: olga4ka_asu@mail.ru*

В статье представлены данные об использовании «Арпефлю» и «Римантадин» в качестве противовирусных препаратов для оздоровления картофеля в условиях in vitro. Показана эффективность препаратов в рабочем диапазоне концентраций (20-40 мг/л), а также отзывчивость вирусов на предложенную схему химиотерапии.

Ключевые слова: картофель, вирусы картофеля, оздоровление, химиотерапия, оздоровленные растения

Efficiency of Potato Health Improvement by In Vitro Chemotherapy

Bychkova O.V., Mironenko O.N., Khlebova L.P., Brovko E.S., Nebylitsa A.V.*
Altai State University, Barnaul, Russia.
**e-mail: olga4ka_asu@mail.ru*

The article presents data on the use of "Arpeflu" and "Rimantadin" as antiviral drugs for elimination of viruses in vitro from infected potato plants. The effectiveness of drugs in the working range of concentrations (20-40 mg l^{-1}), as well as the sensibility of viruses to the proposed chemotherapy regimen, was shown.

Keywords: *potatoes, potato viruses, plant health improvement, chemotherapy, virus-free plants*

Одной из основных возделываемых культур в нашей стране является картофель. В Алтайском крае производится более 600 тысяч тонн картофеля в год. Для повышения продуктивности картофелеводства актуальной задачей является обеспечение высокого качества посадочного материала и благоприятной фитосанитарной обстановки в агроэкосистемах.

Картофель, как культура, размножаемая вегетативно, относится к растениям, сильно поражаемым вирусными болезнями, отмечено более 50 фитовирусов, в том числе 36 – широко распространенных [1-3]. Ситуацию усугубляет завоз в страну значительного количества экспортного семенного картофеля, ресурсоемкость дифференциальной диагностики патогенов и недостаточность мониторинговых данных о распространенности новых опасных организмов, в том числе карантинных по территории регионов [4].

Ключевым приоритетом в семеноводстве картофеля признано внедрение технологий на основе меристемно-тканевых культур, клонального микроразмножения и применения методов диагностики фитопатогенов на всех этапах. В соответствии с ГОСТ 33996-2016 [5] в посадочном материале рекомендуется контролировать наличие 10 патогенов, в том числе пяти вирусов и одного вироида, с помощью методов полимеразной цепной реакции (ПЦР) или иммуноферментного анализа (ИФА) [5, 6].

Целью исследования являлась оценка эффективности использования умифеновира и римантадина в качестве действующих веществ для химиотерапии картофеля сорта Гала.

В партнерстве с сельхозтоваропроизводителями проведена диагностика семенного картофеля сорта Гала, предназначенного для посадки на сельхозугодьях на Бийско-Чумышской возвышенности в умеренно-теплом, увлажненном подрайоне (II в) Алтайского края. Среднеранний сорт Гала немецкой селекции, в России внесен в Государственный реестр селекционных достижений допущенных к использованию в 2008 году и широко возделывается в различных регионах. Исследовались образцы урожая 2021 г. из трех разных партий 1-3 репродукции, как выращенные в регионе, так и ввезенные извне.

Тестирование на наличие вирусов исходного материала проводили методом ПЦР в режиме Real-time с использованием наборов для диагностики вирусов PVS, PVA, PVM, PLRV, PSTV, PVX и PVY (Синтол). РНК выделялось набором DiamondDNA, согласно представленной производителем инструкцией. Исследование проводили на ДНК-амплификаторе в реальном времени QuantStudio5. Режимы работы амплификатора устанавливали согласно инструкции производителя наборов для анализа.

В качестве действующего вещества для химиотерапии использовали умифеновир (торговое название препарата «Арпефлю») и римантадин (торговое название препарата «Римантадин»). Рабочие концентрации составляли

20, 30 и 40 мг/л в пересчете на действующее вещество. Ретестирование проводили теми же методом с использованием того же набора реактивов. Количество растений при повторной диагностике составляло 20-22 шт.

В таблице представлена эффективность оздоровления методом химиотерапии с применением в качестве ингибиторов вирусов препараты «Арпефлю» и «Римантадин».

Наиболее отзывчивыми к представленной схеме оздоровления оказались вирусы картофеля М и Х, которые являются возбудителями различных видов мозаик. Так, присутствие 40 мг/л действующего вещества позволило полностью избавиться от данных вирусов. Снижение дозы противовирусных средств привело к оздоровлению около половины образцов картофеля сорта Гала.

Таблица – Эффективность оздоровления картофеля сорта «Гала» в культуре *in vitro*, %

Препарат	Концентрация, мг/л	PVS	PVA	PVM	PLRV	PSTV	PVX	PVY
Исходный образец		+	+	+	+	-	+	+
Арпефлю	40	0	47,0	100	47,0	-	100	0
	30	0	28,2	42,3	18,8	-	65,8	0
	20	0	0	47,0	0	-	28,2	0
Римантадин	40	0	70,5	100	37,6	-	100	0
	30	0	37,6	65,8	0	-	65,8	0
	20	0	0	65,8	0	-	0	0

Использование умифеновира и ремантадина в качестве действующего вещества в концентрации 20-40 мг/л не позволило освободить материал картофеля от вирусов PVS и PVY. Все растения после ретестирования содержали РНК указанных выше вирусов.

Низкая эффективность представленной схемы оздоровления оказалась по отношению к вирусу скручивания листьев картофеля (PLRV). Так применение «Арпефлю» в концентрации 30-40 мг/л и «Римантадина» – 40 мг/л привело к оздоровлению регенерантов картофеля в 18,8, 47,0 и 37,6 % случаев, соответственно. Минимальная концентрация препаратов – 20 мг/л оказалась недостаточной для того чтобы ингибировать размножение вирусов PVA, вируса скручивания листьев (PLRV). Более высокие дозы противовирусных препаратов позволили освободить в среднем 45% растений регенерантов картофеля от вируса А.

Таким образом, использование умифеновира и римантадина в качестве действующих веществ в различных концентрациях показали отличия в эффективности оздоровления картофеля от вирусов PVS, PVA, PVM, PLRV, PVX и PVY. Так, вирусы PVS и PVY оказались устойчивыми в отношении данных противовирусных препаратов.

Максимальная эффективность оздоровления наблюдалась при использовании Ремантадина в концентрации 40 мг/л и Арпефлю – 30-40 мг/л. При этом доля оздоровленного материала картофеля сорта Гала варьировала от 18,8 до 100% в зависимости от восприимчивости патогена.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Губернатора Алтайского края для разработки качественно новых технологий, создания инновационных продуктов и услуг в сферах переработки и производства пищевых продуктов, фармацевтического производства и биотехнологий в рамках Соглашения № 3 от 12.04.2022 г.

Список литературы

1. Рогозина Е.В., Мироненко Н.В., Афанасенко О.С., Мацухито Ю. Широко распространенные и потенциально опасные для российского агропроизводства возбудители вирусных болезней картофеля // Вестник защиты растений. 2016. № 4(90). С. 24–33.
2. Лебенштейн Г., Бергер Ф.Х., Брант А.А., Лоусон Р.Х. Вирусные и вирусоподобные болезни и семеноводство картофеля. – Санкт-Петербург, Пушкин. ВИЗР. Научное издание. 2000. 275 с.
3. Subramanya Sastry K., Mandal B., Hammond J., Scott S. W., Briddon R.W. Enciclopedia of Plant Viruses and Viroids. New Delhi: Springer, 2019. 2936 c. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-3912-3
4. Лазарев А.М. Новый возбудитель бактериоза картофеля атакует российские поля // Защита и карантин растений. 2013. №6. С. 11–15.
5. ГОСТ 33996-2016 «Межгосударственный стандарт. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества» М.: Из-во стандартов. 36 с.
6. Передовые методы диагностики патогенов картофеля: науч. анал. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 92 с.

Биологически активные фитонутриенты плодов жимолости синей (*Lonicera caerulea* L.) и условия их аккумуляции

Ершова И.В., к.б.н., в.н.с., руководитель лаборатории

ФГБНУ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, отдел «НИИСС», Барнаул, Россия
e-mail: inessers@yandex.ru

В статье представлены результаты исследования содержания ряда биологически активных соединений в ягодах жимолости синей в условиях лесостепной зоны Алтайского края: биофлавоноидов, аскорбиновой кислоты (витамина С), пектиновых веществ. Выявлены источники их высокого содержания, амплитуда изменчивости показателей в зависимости от генотипов и метеорологических условий периода вегетации.

Ключевые слова: *жимолость синяя, плоды, биофлавоноиды, аскорбиновая кислота, пектиновые вещества.*

Biologically active phytonutrients in the fruits of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) and the conditions for their accumulation

Ershova I.V.
Federal Altai Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, Barnaul, Russia
e-mail: inessers@yandex.ru

The article represents the results of research on the content of a number of biologically active substances in the fruits of Blue honeysuckle in the conditions of forest-steppe zone of Altai region: bioflavonoids, ascorbic acid (Vitamin C), and pectin substances. The sources of high content of these substances were determined, as well as their variability range depending on the genotypes and meteorological conditions of the vegetation period.

Keywords: *blue honeysuckle, fruits, bioflavonoids, ascorbic acid (vitamin C), pectin substances.*

Жимолость синяя (*Lonicera caerulea* L.) на сегодняшний день является довольно популярной, востребованной ягодной культурой с высоким коммерческим потенциалом. В последние годы на мировом рынке наблюдается формирование тренда на эту культуру, активно закладываются ее промышленные плантации, как в России, так и за рубежом. Популярность жимолости обусловлена, с одной стороны, сверхранним сроком созревания ягод, ежегодной стабильной урожайностью, относительной неприхотливостью и технологичностью возделывания, пригодностью к механизированной уборке урожая, с другой – высокой пищевой и фармакологической ценностью плодов. В них представлен сбалансированный природный комплекс углеводов, органических кислот, минеральных и других веществ [1]. Кроме того, ягоды жимолости отличаются высоким содержанием биологически активных соединений (БАВ), в том числе – и антиоксидантного ряда, что является особенно актуальным в современных условиях жизнедеятельности человека [2, 3]. Наиболее значимые группы биологически активных фитонутриентов представлены в плодах культуры фенольными соединениями (биофлавоноидами, ФС), аскорбиновой кислотой (витамин С, АК), пектиновыми веществами. Общеизвестны роль первых двух в протекании окислительно - восстановительных процессов в живых организмах, их антиоксидантные, противовоспалительные, адаптогенные, капилляроукрепляющие, нейропротекторные свойства [2, 3]. Ценным является их синергетическое действие. Главная роль пектиновых веществ заключается в нейтрализации ионов тяжелых и радиоактивных металлов, ослаблении последействия радиоактив-

ного поражения. Они являются эффективными детоксикантами, антиоксидантами. Желирующие свойства пектинов широко используются в пищевой промышленности, в производстве косметических средств, лекарственных препаратов. С содержанием пектиновых веществ связаны характер структуры тканей плодов, пригодность последних к транспортировке, хранению, технологической переработке [4].

В отделе НИИ садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко ФГБНУ ФАНЦА (НИИСС) ведется активная селекционная работа по жимолости синей, одним из направлений которой является создание сортов с повышенным содержанием особо ценных фитонутриентов в плодах. Уровень их аккумуляции определяется генетическими особенностями сорта, погодно-климатическими условиями произрастания, агротехническими приемами возделывания и пр. Данная работа была направлена на изучение содержания биофлавоноидов, витамина С и пектиновых веществ в ягодах сортов и гибридов жимолости коллекции НИИСС в условиях лесостепной зоны Алтая, выявление источников их высокого содержания, амплитуды изменчивости показателей в зависимости от генотипов и метеорологических условий периода вегетации.

Исследования проводились в 2018–2021 гг. Материалом служили свежие зрелые плоды перспективных в хозяйственном отношении сортов и гибридов жимолости. Суммарное содержание и компонентный состав ФС определяли спектрофотометрическими и колориметрическими методами в этанольных экстрактах плодов [5]. Количество витамина С определяли индофенольным титрованием с потенциометрической индикацией (по ГОСТ 24556-89), содержание пектиновых веществ – титриметрическим методом (по ГОСТ 29059-91).

Биологическая ценность плодов культуры обусловливается, прежде всего, значительным содержанием БАВ фенольной природы – биофлавоноидов, мощных природных антиоксидантов. Для всех видов синих жимолостей характерно их высокое содержание. Количество ФС в плодах сортов и гибридов жимолости коллекции НИИСС в годы исследований варьировало в весьма широком диапазоне, что свидетельствовало о выраженных генотипических и межсезонных различиях в их накоплении. Пределы изменчивости показателя составили 1022,4 – 1944,0 мг/100 г при среднем значении 1225,9 мг/100 г. Максимальная аккумуляция биофлавоноидов была отмечена в плодах гибридной формы 4-21-09 (1944 мг/100 г). Достоверно высоким, по сравнению с контролем, уровнем содержания ФС (1400-1600 мг/100 г) характеризовались сорта Юмис (1600 мг/100 г – максимум за период, здесь и далее), Ассоль и Огненный опал (1400 мг/100 г), гибриды 21-30-06 (1600 мг/100г), 53-31-07 (1512 мг/100 г), ряд других.

Довольно высокой концентрацией ФС в плодах отличился и контрольный сорт Берель – 1300 мг/100 г, для которого данный показатель не

предел. Наибольшей степенью гомеостаза характеризовались сорта и гибридная форма 21-30-06 (5 % < V < 10,3 %).

Количественно ведущей группой комплекса ФС ягод жимолости являются антоцианы (41,3 %), практически равные доли приходятся на катехины (23,2 %) и процианидины (21,4 %), в существенно меньшем количестве представлены флавонолы (14,1 %).

Посредством корреляционного анализа была установлена прямая положительная взаимосвязь суммарного содержания биофлавоноидов с показателями суммы осадков (СО) и гидротермического коэффициента вегетационного периода (ГТК), выраженная в сильной степени (r = 0,99 в обоих случаях). Меньшее влияние на накопление ФС в плодах оказывала сумма активных температур (САТ) (r = –0,69). Как правило, избыточная увлажненность вегетационного периода при повышенном температурном фоне способствовала активизации накопления биофлавоноидов в плодах.

Жимолость, как известно, не относится к С-витаминным культурам. Однако, как показали исследования, ягоды сортов и гибридов коллекции НИИСС способны накапливать до 50 мг/100 г витамина С. Количество АК варьировало в диапазоне 17,7–52,4 мг/100 г, составляя в среднем 38,0 мг/100 г. Сортообразцы характеризовались средней изменчивостью признака (15 % < V < 20 %). Наибольшим содержанием витамина С в плодах отличился сорт Голубое веретено (52,4 мг/100 г). Большим потенциалом в этом отношении выделились сорта Юмис (51 мг/100 г – наибольший показатель, здесь и далее), Берель (49 мг/100 г), Огненный опал (47 мг/100 г), гибридные формы 37-34-07 и 28-1-06 (51 мг/100 г), 19-114-94 (45 мг/100 г). Выше среднего по коллекции значения показателя были зафиксированы у сортов Касмала, Синий шарик, Бакчарский великан, гибридов 53-31-07, 36-42-07, 1-59-09 и др. (39–45 мг/100 г).

Изучение зависимости процесса аккумуляции АК от метеофакторов вегетационного периода культуры выявило положительную связь с показателями СО и ГТК, выраженную в сильной степени (r = 0,75 и r = 0,87 соответственно). В годы с холодным летом, большим количеством осадков и более высоким ГТК отмечалась активизация синтеза витамина С (2018 г.). Наименьшее влияние на этот процесс оказывала САТ, о чем свидетельствовала установленная слабая обратная зависимость между показателями (r = –0,3). Двукратное снижение количества осадков и показателя ГТК (2019 г.) снизило уровень аккумуляции витамина С в ягодах в 1,5 раза.

Суммарное содержание пектиновых веществ в плодах исследованных сортообразцов жимолости составило в среднем 1,5 % и варьировало в пределах 0,7–2,8 %. Количество растворимого пектина, в зависимости от генотипа, менялось в диапазоне 0,4–1,7 % при среднем показателе – 1 %. К особо ценным источникам содержания пектина были отнесены сорта Юмис (1,7 %), Сибирячка (1,6 %), формы 33-4-07 и 37-22-07 (1,6 %), 47-80-07

(1,5 %). Повышенным уровнем его накопления (1-1,5 %) характеризовались сорта Ассоль, Герда, Золушка, Касмала, гибриды 53-31-07, 49-12-07, 36-42-07, 13-28-08, 14-14-08, ряд других. Наиболее продуктивным в отношении аккумуляции пектиновых веществ был признан гибрид 16-3-94 (2,8 %). Их повышенным уровнем (более 2 %) отличились сорта Касмала, Сибирячка, гибридные формы 33-4-07, 36-42-07, 47-80-07, 1-11-09, 37-22-07. От 1,5до 2 % накапливали в своих плодах указанные выше сорта и ряд гибридов с высоким содержанием растворимого пектина в ягодах.

Данная группа БАВ была наиболее подвержена влиянию погодных условий периода вегетации. Коэффициенты вариации показателей были очень высокими, от 20 до 40 % – для пектина и от 21 до 26 % – для суммы пектиновых веществ. Выявленную зависимость содержания пектиновых веществ от метеофакторов нельзя назвать однозначной, однако, было отмечено, что наиболее продуктивными в отношении их синтеза были теплые периоды с дефицитом осадков. Наиболее тесная отрицательная зависимость уровней аккумуляции пектина и пектиновых веществ установлена в отношении показателя САТ ($r = –0,89$ и $r = –0,72$ соответственно). Аналогичная зависимость, выраженная в средней степени, прослеживалась в отношении СО и количества растворимого пектина ($r = –0,47$), слабая корреляция – с суммой пектиновых веществ ($r = –0,28$). Двукратное снижение СО сопровождалось повышением уровня аккумуляции пектиновых веществ в 1,4 раза.

Резюмируя итоги данных исследований, следует отметить повышенную способность сортообразцов жимолости синей генофонда НИИСС к накоплению в плодах биологически активных фитонутриентов, что обусловливает их высокую биологическую ценность и перспективность в селекционном и технологическом аспектах.

Список литературы

1. Плеханова М.Н. Жимолость: Нетрадиционные садовые культуры. Мичуринск, ВНИИС, 1994. С. 99–149.
2. Гудковский В.А. Антиокислительный комплекс плодов и ягод и его роль в защите живых систем (человек, растение, плод) от окислительного стресса и заболеваний // Основные итоги и перспективы научных исследований ВНИИСС им. И.В. Мичурина (1931–2001 гг.): сб. науч. тр. Тамбов, 2001. Т. 1. С. 76–88.
3. Bonarska-Kujawa D., Pruchnik H., Cyboran S. Biophysical mechanism of the protective effect of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica* Sevast.) polyphenols extracts against lipid peroxidation of erythrocyte and lipid membranes // J. Membrane Biol. 2014. Vol. 247. P. 611–625.
4. Сапожникова Е.В. Пектиновые вещества плодов. М.: Наука, 1965. 182 с.
5. Самородова-Бианки Г.Б., Стрельцина С.А. Исследования биологически активных веществ плодов: методические указания. Л.: ВИР, 1989. 47 с.

Влияние комбинации аллелей генов *VRN* пшеницы и ржи на время колошения и зимостойкость пшенично-ржаных 5R(5A) замещенных линий

Ефремова Т.Т.[1], к.б.н., с.н.с.; Жукова И.М. магистран[1,2]; Чуманова Е.В.[1], м.н.с.; Кондратьева И.В.[2], к.с.-х.н., доцент*

[1]*ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.*
[2]*Новосибирский государственный аграрный университет (НГАУ), Новосибирск, Россия.*
**e-mail: efremova@bionet.nsc.ru*

Изучили тип развития, время колошения и зимостойкость пшенично-ржаных 5R(5A) замещенных линий по озимым сортам Филатовка (Фил), Ульяновка (Ул) и Безостая 1 (Б1) с хромосомой 5R ржи Вьетнамская местная (Вьет), а также у замещенной линии сорта Фил с хромосомой 5R ржи Онохойская (Он). С использованием аллель-специфичных праймеров к локусам VRN1 показано, что пшенично-ржаные линии имеют рецессивные аллели vrn-B1 и vrn-D1 при отсутствии хромосомы 5A пшеницы. Установлено, что линии Ул-Вьет 5R(5A), Фил-Вьет 5R(5A) и Б1-Вьет5R(5A) имеют яровой тип развития в результате замещения рецессивного аллеля vrn-A1 пшеницы на доминантный ген Vrn-R1 ржи. При этом эти линии перезимовывают в условиях лесостепной зоны Новосибирской обл. На основании этого полученные линии можно отнести к формам с факультативным типом развития. Замещенная линия Фил-Он 5R(5A) имеет озимый тип развития, поскольку несет рецессивные гены vrn как пшеницы, так и ржи.

Ключевые слова: *мягкая пшеница, рожь, чужеродное замещение хромосом, зимостойкость, время колошения.*

Effect of wheat and rye *VRN* allele combination on earing time and winter hardiness of wheat-rye 5R(5A) substituted lines

Efremova T.T.[1], Zhukova I.M.[1,2], Chumanova E.V. [1], 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 (NSAU), Novosibirsk. Russia.*
**e-mail: efremova@bionet.nsc.ru*

We studied the growth habit, ear emergence time and winter hardiness in the wheat-rye 5R(5A) substituted lines of winter varieties Filatovka (Fil), Ulyanovka (Ul) and Bezostaya 1 (B1) with 5R chromosome of Vietnamese native rye

(Viet), and in the substituted line of Fil variety with 5R chromosome of Onohoiskaya rye (On). Using allele-specific primers to the VRN1 loci, it was shown that wheat-rye lines have recessive alleles of vrn-B1 and vrn-D1 in the absence of wheat chromosome 5A. The lines Ul-Viet 5R(5A),Fil-Viet 5R(5A), and B1-Viet5R(5A) were found to have spring growth habit development as a result of substitution of the recessive allele vrn-A1 of wheat for the dominant gene Vrn-R1 of rye. At the same time, these lines overwinter in the conditions of forest-steppe zone of Novosibirsk region. On the basis of this fact, the obtained lines can be referred to the forms with facultative type of development. Substituted line Fil-On 5R(5A) has winter growth habit, since it carries recessive genes vrn both wheat and rye.

Keywords: *common wheat, rye, alien chromosome substitution, winter hardiness, earing time.*

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) выращивается в разнообразных климатических условиях. Поэтому изучение генетического контроля взаимосвязи основных вариаций скорости и типа развития пшеницы со стадийными изменениями в онтогенезе растений имеет большое значение для понимания способов адаптации пшеницы в условиях изменяющегося климата. Сроки наступления фенологических фаз (например, колошение), в основном, обусловлены реакцией на температуру, яровизацию и фотопериод. Ответ культур на эти факторы регулируется генетически и определяется комбинацией множества генов (*VRN*, *PPD, EPS, FR),* влияющих на тип развития и продолжительность вегетационного периода [1]. Сроки наступления фаз развития также влияют на устойчивость к абиотическим стрессам, например, на зимо –морозостойкость.

Чувствительность к яровизации у пшеницы представлена тремя ортологичными генами: *VRN-A1, VRN-B1* и *VRN-D1,* локализованными в хромосомах 5A, 5B и 5D [2]. У ржи ген *VRN-R1* локализован в хромосоме 5R [3, 4]**.** Гены *VRN* тесно сцеплены с генами холодостойкости *FR* (cold/freezind tolerance) [4].

Полиморфизм рецессивного аллеля *vrn1* ассоциирован с озимым типом развития, сильной реакцией на яровизацию и морозостойкостью озимой пшеницы [2]. Высокая зимостойкость предполагает наличие длительного глубокого покоя и высокой морозостойкости. Эти факторы действуют как по отдельности, так и в комплексе. По сравнению с пшеницей, рожь более морозостойкая [5] и может быть использована для повышения зимо-морозостойкости пшеницы.

В статье сообщается о получении 5R(5A) пшенично-ржаных замещенных линий по озимым сортам (Филатовка (Фил), Ульяновка (Ул) и Безостая 1 (Б1)) с хромосомой 5R от ржи Вьетнамская местная (Вьет). Представлены результаты изучения продолжительности вегетационного периода и зимостойкости в условиях Западной Сибири, а также анализ аллельного состава

генов *Vrn* у пшенично-чужеродных замещенных линий.

Провели изучение аллельного состава известных локусов *Vrn-A1* и *Vrn-B1*, локализованных в хромосомах 5 гомеологической группы с использованием аллель-специфичных праймеров (рис.1). Было обнаружено, что у всех изученных пшенично-ржаных линий, не имеющих 5А хромосому пшеницы, не обнаружены фрагменты амплификации, характерные для аллель-специфичных праймеров к доминантным и рецессивным аллелям *Vrn-A1*. У всех замещенных линий амплифицировался фрагмент 1150 п.н., характерный для рецессивного аллеля гена *vrn-B1* (рис.1).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что у пшенично-ржаных линий по озимым сортам Фил, Ул и Б1 отсутствует хромосома 5А пшеницы и линии несут рецессивный аллель *vrn-B1*.

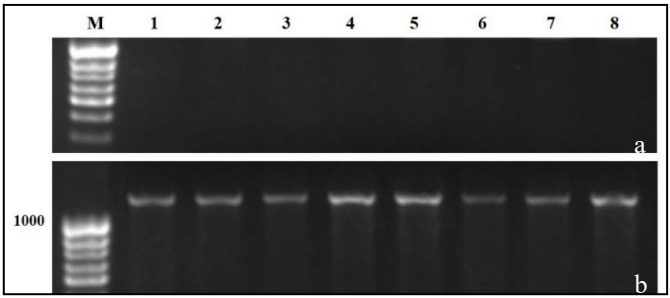


Рис. 1. Идентификация аллелей локусов *Vrn-A1* (a) и *Vrn-B1* (b) с использованием аллель-специфичных праймеров. M –100 bpLadder. 1–4 – номера изученных растений линии Филатовка-Вьет 5R(5A), 5-8 – номера изученных растений линии Ульяновка-Вьет 5R(5A).

Исследование типа развития пшенично-ржаных замещенных линий проводили в яровом посеве и в теплице. Установлено, что пшенично-ржаные 5R(5A) замещенные линии по озимым сортам Ул, Б1 и Фил с хромосомой 5R ржи Вьет. оказались яровыми и выколашивались без яровизации в теплице за 42, 40 и 39 дней, соответственно. В яровом посеве фаза колошения наступила через 52, 51 и 49 дней от всходов, соответственно Ул-Вьет 5R(5A), Б1-Вьет 5R(5A) и Фил-Вьет 5R(5A). Поскольку, как показали наши исследования с использованием молекулярных маркеров, эти линии несут рецессивные аллели локуса *VRN-1*, поэтому вероятно, яровой тип развития определяется доминантным геном *Vrn-R1* ржи.

Напротив, изучение линии Фил-Он 5R(5A) показало, что эта озимая линия, которая не выколашивалась как в теплице, так и в яровом посеве. Следовательно, генотип этой линии определяется не только рецессивными генами *vrn* пшеницы, но и ржи.

На рисунке 2 представлены данные по зимостойкости пшенично-ржаных замещенных линий и озимых сортов. Один балл означает, что зимостойкость крайне низкая, все растения погибли (90%), 9- все растения выжили.

В 2019/2020 гг. зимние погодные условия складывались благоприятно для развития озимых. В результате новые замещенные линии по озимым сортам Ул, Фил и Б1 показали высокую зимостойкость и не отличались по этому признаку от своих озимых сортов реципиентов (рис. 2). Из чего можно заключить, что полученные линии Ул-Вьет 5R(5A), Фил-Вьет 5R(5A) и Б1-Вьет 5R(5A) несмотря на яровой тип развития зимуют в условиях Западной Сибири, поэтому их можно отнести к линиям с факультативным типом развития. Они могут развиваться как в яровом, так и в озимом посеве.

Таким образом, на базе созданной коллекции пшенично-ржаные замещенные линий и разработанных методов направленного замещения хромосом нами отработаны подходы для получения зимостойких линий мягкой пшеницы.

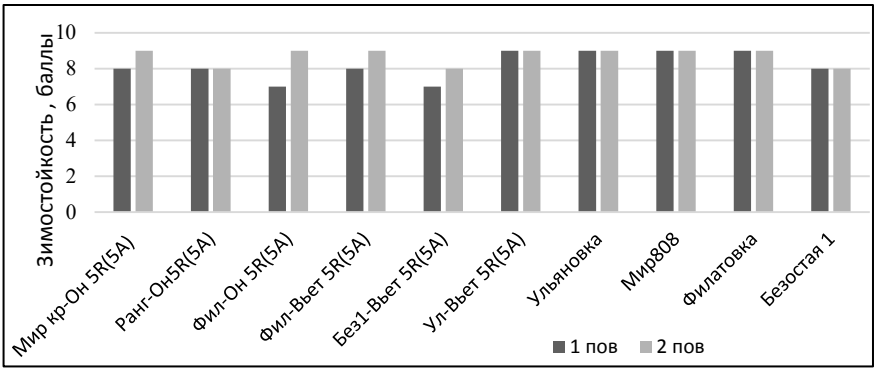


Рис. 2. Зимостойкость пшенично-ржаных замещенных линий и озимых сортов пшеницы.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-26-00085.

Список литературы

1. Hyles J., Bloomfield M.T., Hunt J.R., Trethowan R.M., Trevaskis B. Phenology and related traits for wheat adaptation // Heredity. 2020. T. 125. C. 417–430.
2. Yan L., Helguera M., Kato K., Fukuyama S., Sherman J., Dubcovsky J. Allelic variation at the *VRN-1* promoter region in polyploid wheat // Theor Appl Genet. 2004.T. 109. C.1677–1686.
3. Erath W., Bauer E., Fowler D.B., Gordillo A., Korzun V., Ponomareva M., Schmidt M., Schmiedchen B., Wilde P., Schön C.-C. Exploring new alleles for frost tolerance in winter rye // Theor Appl Genet. 2017. T. 130. C. 2151-2164.
4. Galiba G., Vagujfalvi A., Li C., Soltesz A., Dubcovsky J. Regulatory genes involved in the determination of frost tolerance in temperate cereal // Plant Sci. 2009. T. 176. C.12–19.
5. Fowler D.B., Limin A.E. Interactions among factors regulating phenological development and acclimation rate determine low-temperature tolerance in wheat // Ann Bot. 2004. T. 94. C. 717-724.

ДГ линии – исходный материал для селекции тритикале в Нижнем Поволжье

Жилин С.В., аспирант; Акинина В.Н., к.б.н., ведущий научный сотрудник; Дьячук Т.И., д.б.н., главный научный сотрудник; Хомякова О.В., к.б.н., старший научный сотрудник; Барнашова Е.К., к.с.-х.н., научный сотрудник; Калашникова Э.В., младший научный сотрудник; Куликова В.П., младший научный сотрудник; Сайфетдинов Е.А., лаборант-исследователь.*

ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», г.Саратов, Россия.
**e-mail: cell_selection@list.ru*

В условиях Нижнего Поволжья изучена селекционная ценность ДГ линий тритикале, полученных в культуре пыльников in vitro. Выделены линии с повышенными показателями зерновой продуктивности, сниженной высотой растений и устойчивостью к предуборочному прорастанию зерна. Максимальная урожайность зерна *(10 т/га, при урожае стандартов 8,8 и 8,7 т/га) выявлена у высокорослой ДГ линии № 30. Высокой зерновой продуктивностью в сочетании со сниженной высотой соломины характеризовались ДГ линии №№ 11,18,26 и 34.*

Ключевые слова: *тритикале, селекция, культура пыльников in vitro, ДГ линии.*

DH lines as an initial breeding stocks for triticale breeding in lower Volga region

Zhilin S.V., graduate student, Akinina V.N., Candidate of biological Sciences, leading researcher, Dyatchuk T.I, doctor of biological sciences, main research worker, Khomyakova O.V., Candidate of biological Sciences, senior researcher, Kalashnikova E.V., junior researcher, Barnashova E.K., candidate of agricultural science, researcher, Kulikova V.P., junior researcher, Saifetdinov E.A., technical researcher.*
Federal State Budgetary Organization «Federal Center of Agricultural Researsh of the South-East Region», Saratov, Russia.
**e-mail: cell_selection@list.ru*

The breeding value of triticale DH lines obtained by anther culture in vitro method was studied in the conditions of the Lower Volga region. Lines with increased grain productivity, reduced plant height and resistance to pre-harvest grain germination have been identified. The maximum grain yield (10 t/ha, with a yield of standards 8.8 and 8.7 t/ha) was found in tall DH line No. 30. High grain productivity in combination with a reduced straw height was characterized by DG lines Nos. 11, 18, 26 and 34.

Keywords: *triticale, breeding, anther culture in vitro, DH lines.*

Тритикале (× *Triticosecale* Wittm.) – синтетический ботанический род семейства мятликовых (Poaceae), объединяющий в одном геноме хромосомы пшеницы и ржи. На современном этапе тритикале (AABBRR) является коммерческой культурой с многоцелевым использованием зерна, обладающей огромным потенциалом в качестве продукта питания человека и корма для животных [2, 4]. В условиях нарастания аридизации и континентальности климата проявилась высокая конкурентная способность этого вида по сравнению с другими злаками. Адаптивная селекция основана на создании сортов, приспособленных к комплексу неблагоприятных факторов в конкретном регионе возделывания культуры. В селекции тритикале наряду с традиционными методами нашли применение методы биотехнологии, основанные на культивировании органов и клеток *in vitro*. Технологии получения удвоенных гаплоидов (ДГ-линий) интегрированы в селекционный процесс различных видов злаков [5]. С практической точки зрения наиболее значимыми являются два аспекта их применения: 1) ускоренное создание сортов у самоопыляемых культур и 2) получение гомозиготных линий в селекции на гетерозис, где создание инцухт-линий занимает 5–6 лет. Сроки селекции при использовании гаплоидов сокращаются в среднем на 5 лет. Несмотря на использование различных методов селекции, создаваемый сорт должен отвечать запросам производителя и потребителя.

Цель исследования: изучить селекционную ценность удвоенных гаплоидов тритикале в засушливых условиях Нижнего Поволжья.

В изучении находились 32 ДГ-линии тритикале различного происхождения, полученные в культуре пыльников *in vitro*. В качестве стандартов использовали допущенные к возделыванию в Нижневолжском регионе РФ сорта Зубр и Валентин 90.

Анализ урожайности зерна выявил варьирование признака на уровне 4,5–10,0 т/га (при урожае стандартов 8,7 и 8,8 т/га). Максимальное значение – 10,0 т/га – получено у высокорослой ДГ № 30 (Студент/Патриот). В исследованиях [1] выявлена положительная корреляция между урожайностью зерна и высотой растений. Создание короткостебельных высокоурожайных сортов остается важной проблемой селекции тритикале зернового направления использования. Среди изученных линий высокой зерновой продуктивностью в сочетании со сниженной высотой растений характеризовались ДГ линии №№ 11,18,26 и 34 (табл.).

По продолжительности вегетационного периода выделены ДГ линии, более скороспелые в сравнении со скороспелым сортом Зубр на 2–3 дня (ДГ №№ 1, 2, 12, 13, 33). Среди ультраскороспелых линий только две (ДГ №№ 1 и 33) формировали урожай зерна на уровне стандартных сортов. Как правило, ультраскороспелые линии были менее урожайны.

Крупность зерна, выраженная через массу 1000 зерен, варьировала от 35,0 до 57,6 г. Максимальная выраженность показателя составила 57,6 г у ДГ линии №11.

Изучение устойчивости линий к предуборочному прорастанию зерна на основе индекса прорастания выявило дифференциацию показателя от 0 до 0,88. К устойчивым к предуборочному прорастанию зерна относят сорта, индекс прорастания (ИП) которых на 7 сутки не превышает 0,1–0,2 [3]. К устойчивым по этому показателю линиям относятся 9 ДГ линий, у двух из них (№№ 28 и 34) значения ИП составили 0 (табл.).

Таким образом, ДГ линии тритикале являются ценным исходным материалом в селекции этой культуры на лимитирующие признаки в условиях Нижнего Поволжья.

Список литературы

1. Ворончихина И.Н., Ворончихин В.В., Пыльнев В.В., Рубец В.С. Изучение устойчивости сортообразцов озимой тритикале к полеганию в условиях центрального региона нечерноземной зоны России // Тритикале: материалы заседания секции ОСХН РАН он-лайн «Селекция, генетика, агротехника и технологии переработки сырья». 9 июня 2020 г. (9 выпуск). С. 97–101.
2. Грабовец А.И., Крохмаль А.В. Тритикале. Монография. Ростов-на Дону. ООО «Издательство «Юг», 2019. 440 с.
3. Biddulph T.B., Plummer J.A., Setter T.L., Mares D.J. Seasonal conditions influence dormancy and preharvest sprouting tolerance of wheat *(Triticum aestivum* L.*)* in the field // Field. Crops Res. 2008. Vol. 107. P. 116–128.
4. Mergoum M., Sapkota S., ElFatih A., ElDoliefy A. et al. Triticale (Triticosecale Wittmack) Breeding // Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals. Al-Khayri et al.(eds). Springer Nature Switzerland AG 2019. P .405-451. DOI: 10.1007/978-3-030-23108-8_11.
5. Weyen J. Application of Doubled Haploids in Plant Breeding and Applied Research. // Doubled Haploid Technology. Segui-Simarro J.M. (ed.). Vol.1. Springer Science+Business Media, 2021. P.23-41.

Скрининг сортов яровой мягкой пшеницы к болезням в подтаёжной зоне Тюменской области

Казак А. А., д.с.-х.н., зав. кафедрой, Ященко С.Н., преподаватель, Шведчикова В.М., аспирант*
ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия
**e-mail: kazakaa@gausz.ru*

В 2022 году на естественном фоне в условиях подтаёжной зоны Тюменской области провели исследования 69 сортов яровой мягкой пшеницы. Природно-климатические условия исследуемого года в данной климатической зоне сложились благоприятно для развития на естественном фоне бурой ржавчины и мучнистой росы. В результате полевой оценки удалось выявить устойчивые сорта яровой пшеницы.

Ключевые слова: *мягкая пшеница, устойчивость к болезням.*

Screening of varieties of spring soft wheat for diseases in the subtail zone of the Tyumen region

*Kazak A.A. *, Yashchenko S.N., Shvedchikova V.M.*
FSBEI HE Trans-Ural SAU, Tyumen, Russia
**e-mail: kazakaa@gausz.ru*

In 2022, 69 varieties of spring soft wheat were studied against a natural background in the conditions of the sub-zone of the Tyumen region. The natural and climatic conditions of the study year in this climatic zone were favorable for the development of brown rust and powdery dew against the natural background. As a result of the field assessment, it was possible to identify sustainable varieties of spring wheat.

Keywords: *soft wheat, disease resistance.*

В последнее десятилетие наблюдается потепление климата [2, 3]. Это сказывается и на ухудшении фитопатологической обстановки, с появлением более агрессивных рас грибных болезней [1, 3]. Как никогда становится наиболее актуальным подбор нового исходного материала с длительной устойчивостью к болезням. По данным фитосанитарных служб, обозначены только лишь наличие болезней и процент проявления. Но для полноценной оценки был проведен скрининг всех сортов селекции последних 3-х лет по ряду распространённых в Тюменской области болезней яровой мягкой пшеницы.

Цель работы: оценка новых сортов яровой мягкой пшеницы на устойчивость к болезням и выделить перспективные сорта для селекции в условиях подтаёжной зоны Тюменской области.

Материалы и методы. Провели полевую оценку 69 сортов яровой мягкой пшеницы в подтаёжной зоне Тюменской области. Учёты и наблюдения проведены в соответствии с методиками государственного сортоиспытания. Общая площадь делянки 50,25 м^2, учётная – 50 м^2, размещение делянок рендомизированное, повторность четырехкратная. Технология возделывания общепринятая в регионе.

Результаты. Условия 2022 года характеризовались по ГТК=1,36, как влажные. Полевая оценка была проведена визуально по болезням, проявляющимся чаще всего в условиях Тюменской области: мучнистая роса (*Erysiphe graminis DC.*), стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis Pers.*), бурая ржавчина (*Puccinia dispersa Eriks. Et Henn*) и септориоз *(Septoria nodorum Berk., и Septoria tritici Rob. Et Desm.).*

В результате полевого обследования наблюдалось: 35 % - поражённых мучнистой росой, 30 % - септориозом, 48 % - бурой ржавчиной, а поражение стеблевой ржавчиной в полевых условиях не наблюдалось.

По полевой устойчивости к ряду оцениваемых заболеваний выдели-

лись сорта: среднеранние – Екатерина, Нива 55, Новосибирская 15, Новосибирская 49, Одинцовская, Тюменская юбилейная; в среднеспелые – Икар, Кулич, Ласкада, Ликамеро, Омская 45, Курьер, Мадам.

В ближайшее время предстоит оценить данные сорта по устойчивости к патогенам бурой ржавчины в лабораторных условиях на инфекционном фоне и выявить устойчивые для включения в селекционный процесс.

Список литературы

1. Казак А.А., Логинов Ю.П., Якубышина Л.И., Ященко С.Н. Селекция и элементы технологии возделывания среднеранних и среднеспелых сортов яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири. Тюмень, 2021. 308 с.
2. Лыков И.Н. Погода и климат. Глобальное потепление // Вестник Калужского университета. 2019. № 2. С. 81-89.
3. Михилев А.В. Потепление климата - конкурентное преимущество сельского хозяйства Российской Федерации // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 7. С. 70-73.
4. 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. Tritici* // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. № 1. С. 49-58.

Оценка нового исходного материала для селекции *Miscanthus*

Капустянчик С.Ю., к.б.н., с.н.с.; Бурмакина Н.В., к.б.н., инженер*

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
**e-mail: kapustjanchiksv@mail.ru*

В условиях интродукции изучена коллекция мискантус (Miscanthus), состоящая из 21 образца и представленная двумя видами – мискантус сахароцветный (M. sacchariflorus) и мискантус гигантеус (M. giganteus). Исследуемые образцы показали устойчивость к местным зимним температурам на протяжении 4 лет интродукции, не поражались болезнями и вредителями, проходили все этапы онтогенеза (за исключением образцов 13, 15, 27), не формировали жизнеспособных семян. Отмечено, что собранный исходный материал отличается по ритмам цветения (конец августа – сентябрь). По результатам проведенных исследований к числу перспективных образцов с высокой продуктивностью и для использования в целлюлозно-бумажной промышленности можно отнести мискантус сахароцветный под номерами 12, 19, 21, 23 и 25.

Ключевые слова: *Miscanthus, исходный материал, морфологические особенности, качество сырья.*

Assessment of new source material for *Miscanthus* breeding

Kapustyanchik S.Yu., Burmakina N.V.*
Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
**e-mail:* kapustjanchiksv@mail.ru

The collection of Miscanthus, consisting of 21 samples and represented by two species - M. sacchariflorus and M. giganteus was studied under the conditions of introduction. The studied samples showed resistance to local winter temperatures during 4 years of introduction, were not affected by diseases and pests, all stages of ontogenesis (except for samples 13, 15, 27) passed, viable seeds were not formed. It is noted that the collected source material differs in flowering rhythms (end of August - September). Among the promising samples with high productivity and for use in the pulp and paper industry, M. sacchariflorus numbers 12, 19, 21, 23 and 25 can be attributed according to the results of the studies.

Keywords: *Miscanthus, source material, morphological features, the quality of raw materials.*

Одним из перспективных интродуцируемых энергетических растений на территории России с различными вариантами использования биомассы является род мискантус, или веерник (лат. *Miscánthus*) — род многолетних травянистых растений семейства Злаки (*Poaceae*). Его распространение относится преимущественно к тропическим и субтропическим зонам Азии, Африки и Австралии [1, 2]. До настоящего времени, из более чем 20 видов, интерес для промышленного использования представляют только *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. et Hook. f. ex Franch.), *M. Sinensis Andersson* и *M. giganteus* J.M.Greef, Deuter ex Hodk., Renvoize.

Генетическое разнообразие *Miscanthus* позволяет осуществить эффективный отбор образцов, что необходимо для сохранения, использования генетического ресурса и для дальнейшей селекции. На сегодняшний день существует необходимость в создании новых широко адаптированных генотипов, подходящих для ряда регионов значительно отличающихся по климатическим показателям, а также выращиваемых на неплодородных землях. Работы в этом направлении ведутся зарубежными исследователями [3, 4].

В Сибири выращивание культуры в целях получения сырья из надземной биомассы остается практически не изученной. В результате возникла необходимость селекции мискантуса, способного поддерживать высокую продуктивность в рамках лимитирующих факторов континентального климата с использованием диких видов *M. sacchariflorus*, отобранных на Дальнем Востоке РФ экспедицией ИЦиГ СО РАН в количестве 20 образцов (№ 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 25) и M. *giganteus*, находящегося в коллекции ИЦиГ СО РАН в количестве 1 образца (№27).

Экспериментальная часть исследований выполнялась в лесостепной

зоне Западной Сибири: центрально-лесостепном Приобском агроландшафтном районе (согласно районированию СибНИИЗХим [5]). По данным "АМС Огурцово» в вегетационные периоды культуры (май-сентябрь) в 2017, 2018 и 2020 гг. сумма осадков составила 316, 297 и 314 мм, сумма температур 2340, 2199 и 2493°С, соответственно; в 2019 г. – сумма осадков составила 248 мм, сумма эффективных температур 2283°С, при среднемноголетних значениях 263 мм и 2248°С. Из этих данных следует, что 2017, 2018 и 2020 гг. были умеренно переувлажненными ($ГТК_{05-09}$ составляет 1,3); 2019 г. ($ГТК_{05-09}$ составляет 1,1) был увлажненным.

Объектами опыта являлись растительных образцы мискантуса, представленные следующими видами: *M. sacchariflorus и M. giganteus.*

Цель опыта: оценить по комплексу хозяйственно-ценных признаков продуктивность растительных образцов и качество получаемого сырья мискантуса.

Задачи данного исследования: оценить их адаптивный потенциал мискантуса; отобрать формы, обладающие наибольшей устойчивостью в культуре и дать оценку их перспективности.

Питомник исходного материала заложен на научно-экспериментальной базе СибНИИРС — филиал ИЦиГ СО РАН (Новосибирская область, п. Мичуринский, 54°53′16,6″N, 82°59′37,3E″) в 2017 г. на серых лесных глубокооглеенных почвах. Посадка осуществлялась гнездовым способом. Площадь одной микроделянки 120*120 см. Мискантус высаживали рассадой по 5 растений на делянку. Повторность опыта 3-кратная. Исследования проводили в 2017-2020 гг. Морфологические и хозяйственно-ценные признаки оценивали ежегодно в течении вегетации растений; качественную оценку получаемого сырья проводили в 2019 г. Морфологический анализ проводили глазомерной оценкой, измерениями и по балльным шкалам.

В первый год вегетации (2017 г.) происходит адаптация растений к полевым условиям произрастания. По показателям прироста за вегетацию (высота растений, масса растений на 1м^2) 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 растений 74-100 г /10 растений. В 2018 г. к окончанию вегетационного периода образцы сформировали достаточно плотный травостой и полностью распределились по деляночной площади размером 1,2*1,2 м^2.

В 2019, 2020 гг. на сформированных деляночных площадях проводили анализ морфологических показателей растений и адаптивных качеств интродуцентов (5-балльная шкала морозостойкости), повреждаемости болезнями (5-балльные шкалы повреждаемости ржавчиной и мучнистой росой) и вредителями [6, 7]. Образцы получили предварительную оценку перспективности: все интродуцированные образцы мискантуса оказались

устойчивыми к местным зимним температурам, болезням и вредителям, но у некоторых образцов не наступала генеративная фаза (табл. 1).

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 м^2 составило от 55 до 136 шт./м^2. *M. giganteus,* представленный одним образцом, имел высоту 184 см и диаметр стебля 5,9 мм и 54 стебля на м^2. Сухое вещество также варьировало в зависимости от генотипов и достигало 158–332 г/ м^2.

Таблица 1 – Морфологические особенности исходного материала мискантуса 2019–2020 гг. (сформированные делянки) (n=4, *M*±SEM)

№	Высота, см	Стеблестой, шт./ м^2	Кол-во метелок, шт./м^2	Масса снопа, г/м^2	Диаметр стеблей, мм	*Фаза при уборке
1	157,0±1,4	102±25	14±4	277,0±29,7	4±0,5	2
2	164,5±12,0	94±13	15±5	274,8±33,6	4,6±0,5	3
3	182,5±33,2	133±15	37±3	298,0±30,4	4,8±0,5	4
5	166,0±18,4	100±11	25±7	284,3±18,0	4,3±0,5	2
7	141,0±11,3	96±13	15±8	215,3±39,2	4,3±0,5	2
8	138,5±12,0	55±18	11±5	158,0±28,8	4,3±0,3	3
9	151,5±10,6	136±16	57±12	323,3±24,9	3,8±0,4	3
11	152,0±12,6	83±18	45±14	237,3±15,3	4,2±0,5	3
12	184,5±14,1	68±8,	56±8	230,5±33,9	4,7±0,5	4
13	149,0±16,2	84±17	0	194,8±23,0	3,8±0,7	1
14	151,0±14,1	75±18	12±3	198,0±22,3	5,1±0,6	2
15	134,5±11,3	83±19	0	183,8±24,8	3,1±0,5	1
16	160,5±9,1	118±17	12±6	267,3±30,0	3,2±0,3	3
17	149,5±9,1	98,5±11	42±17	212,8±23,7	3,3±0,8	3
18	189,5±7,7	92±19	66±19	240,3±31,5	3,9±0,7	4
19	180,5±7,8	84±12	49±12	250,3±32,9	4,2±0,5	4
21	211,0±28,2	103±17	66±9	332,3±11,0	4,1±0,6	4
22	161,5±5,6	127±12	29±8	244,8±12,4	3,9±0,6	2
23	160,5±14,8	72±13	50±13	210,5±31,1	4,0±0,3	4
25	144,0±4,9	110±15	64±16	242,5±6,4	3,4±0,6	4
27	184,0±25,4	54±18	0	168,5±24,0	5,9±0,2	0

*Примечание: 0 – нарастание, 1 – флаговый лист, 2 – начало цветения, 3 – цветение, 4 – отмирание.

Проведенный анализ по морфологическим и биологическим признакам, 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/м^2. Причем

образцы 3, 12, 18, 19, 21, 23 и 25 достигли фазы отмирания, что говорит о лучшей приспособительной функции к условиям произрастания получении сырья с низким содержанием влаги.

Далее решили провести оценку изучаемых образцов мискантуса по показателям качества получаемого сырья для использования в целлюлозно-бумажной промышленности (табл. 2).

Таблица 2 – Химический состав надземной биомассы образцов мискантуса (биомасса 2019 г., а.с.в., n=3, *M*±SEM)

№	Целлюлоза по Кюршнеру, %	Лигнин, %	Пентозаны, %	Зольность, %	ЖВФ, %
1	49,4±1,0	19,4±1,0	23,1±0,5	3,6±0,5	1,1±0,5
2	49,0±1,0	20,8±1,0	22,2±0,5	2,7±0,5	1,1±0,5
3	50,7±1,0	18,9±1,0	24,2±0,5	2,4±0,5	0,8±0,5
5	50,2±1,0	21,3±1,0	21,7±0,5	3,9±0,5	1,5±0,5
7	50,9±1,0	20,7±1,0	24,7±0,5	2,2±0,5	0,8±0,5
8	49,8±1,0	20,1±1,0	23,5±0,5	4,5±0,5	1,0±0,5
9	46,2±1,0	22,2±1,0	24,3±0,5	3,5±0,5	0,9±0,5
11	48,0±1,0	20,2±1,0	25,8±0,5	3,1±0,5	0,6±0,5
12	48,8±1,0	18,9±1,0	24,9±0,5	2,8±0,5	0,6±0,5
13	52,6±1,0	20,8±1,0	22,7±0,5	3,7±0,5	1,0±0,5
14	52,2±1,0	19,7±1,0	24,1±0,5	2,3±0,5	0,7±0,5
15	48,8±1,0	21,7±1,0	23,4±0,5	3,2±0,5	1,0±0,5
16	44,9±1,0	20,4±1,0	22,5±0,5	3,0±0,5	1,1±0,5
17	49,0±1,0	20,3±1,0	22,6±0,5	3,1±0,5	0,8±0,5
18	53,3±1,0	19,8±1,0	24,9±0,5	2,2±0,5	0,5±0,5
19	51,1±1,0	18,9±1,0	23,9±0,5	2,4±0,5	0,6±0,5
21	50,0±1,0	19,8±1,0	25,2±0,5	2,0±0,5	0,7±0,5
22	51,0±1,0	20,0±1,0	26,2±0,5	2,4±0,5	0,6±0,5
23	48,0±1,0	18,0±1,0	25,2±0,5	2,0±0,5	0,6±0,5
25	50,0±1,0	18,0±1,0	23,0±0,5	2,7±0,5	0,6±0,5
27	46,7±1,0	18,5±1,0	17,8±0,5	3,1±0,5	1,1±0,5

Выделяются следующие перспективные образцы с максимальным содержанием целлюлозы и низким содержанием лигнина: 3, 12, 14, 19, 21, 23, 25.

На основе сравнительного анализа морфологических, биологических и экологических особенностей разных морфотипов мискантуса выделены как наиболее перспективные и продуктивные для дальнейшей селекции образцы мискантуса сахароцветного под номерами 12, 19, 21, 23 и 25.

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

Список литературы

1. GrassBase - The Online World Grass Flora [Электронный ресурс]. https://powo.science.kew.org /taxon/urn:lsid:ipni.org:names:18514-1#image-gallery (дата обращения: 20.03.2022).
2. Береснева С.А., Ивлева О.Е., Маслова А.О. Технические возможности видов рода мискантус (*Miscanthus Anderss*) и перспективы его возделывания на территории Приморского края // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 7 (97), ч.2. С. 6-10.
3. Cai X., Zhang X., Wang D. Land availability for biofuelproduction // Environmental Science and Technology. 2011. № 45. P. 334 339.
4. Donnelly A., Styles D., Fitzgerald J. et al. A proposed framework for determining the environmental impact of replacing agricultural grassland with *Miscanthus* in Ireland // Global Change Biology Bioenergy. 2011. № 3. P. 247-263.
5. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области / РАСХН. Сиб. отд-ние. СибНИИЗХим. Новосибирск, 2002. 388 с.
6. Зоны морозостойкости, USDA-зоны, температурные значения [Электронный ресурс]. URL: http://www.pro-rasteniya.ru/glossariy/zoni-morozostoykosti-usda-zonitemperaturnieznacheniya (дата обращения: 20.03.2022).
7. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1989. Вып. 2: 195 с.

Определение пигментного состава зерен ячменя на основе двумерных цифровых изображений

Комышев Е.Г. [1] к.б.н., н.с.; Генаев М.А. [1,2], к.б.н., с.н.с.; Бусов И.Д. [1,3], м.н.с.; Коваль В.С. [1,2], к.б.н., вед.спец.; Афонников Д.А.[1,2,3], к.б.н., в.н.с.*

[1]ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
[2] Курчатовский геномный центр Института цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
[3] Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия.
**e-mail: komyshev@bionet.nsc.ru*

Предложен подход предсказания пигментного состава зерна ячменя на основе модели семантической сегментации для предсказания масок зерен на цифровых изображениях зерен в чашках Петри, и модели с архитектурой U-Net с дополнительным выходным слоем - головой классификации. Точность предложенного метода составила 0.852.

Ключевые слова: *зерна, цвет оболочки, пигменты, меланины, антоцианы, компьютерное фенотипирование.*

Determination of the pigment composition of barley grains based on two-dimensional digital images

Komyshev E.G.[1], Genaev M.A.[1,2], Busov I.D.[1,3], Koval V.S.[1,2], Afonnikov D.A.[1,2,3]*

[1]*Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.*
[2]*Kurchatov genomic centre, Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.*
[3]*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia.*
**e-mail: komyshev@bionet.nsc.ru*

An approach is proposed for predicting the pigment composition of barley grain based on a semantic segmentation model for predicting grain masks on digital images of grains in Petri dishes, and a model with the U-Net architecture with an additional output layer - the classification head. The accuracy of the proposed method was 0.852.

Keywords: *grains, shell color, pigments, melanins, anthocyanins, computer phenotyping.*

Цвет оболочки зерен злаков – важный признак, характеризующий содержащиеся в ней пигменты и метаболиты. Наличие пигментов в оболочке влияет на различные технологические свойства зерна. Показано, что растения с темной окраской зерна являются более холодо- и засухоустойчивыми, а также обладают повышенной устойчивостью к действию патогенов. Темная окраска может быть обусловлена синтезом и накоплением двух групп пигментов. Голубая и фиолетовая окраска зерна связана с синтезом антоцианов. Серую и черную окраску ячменя обуславливают пигменты меланины. Для точного определения наличия/отсутствия пигментов используются дорогие и трудозатратные химические и генетические методы. Сознание нового метода для быстрой оценки наличия пигментов в зернах является актуальной задачей, решение которой поможет при исследовании механизмов генетического контроля окраски зерен.

В работе были использованы семена 41 образца ячменя (Hordeum vulgare) с темной окраской оболочек зерна, а также 38 образцов с неокрашенным зерном. Материал был получен из коллекции ячменя Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), коллекции ячменя Института Цитологии и Генетики СО РАН (ИЦиГ), а также был использован материал популяции Oregon Wolfe Barleys (OWB). Для отложенной выборки был отдельно выбран 21 образец ячменя из коллекции ВИР с различными комбинациями пигментов в зерне.

Для фенотипирования образцов был разработан протокол получения цифровых двумерных изображений: на белый фон помещается чашка Петри с зернами и цветовая палитра ColorChecker Mini Classic target (https://xritephoto.com/camera). Цветные изображения зерен были получены с помощью цифровой фотокамеры Canon EOS 600D, объектив Canon EF 100mm f/2.8 Macro USM в формате jpg, разрешение 18 Мрх. В среднем при съемке в чаше Петри находилось 30 зерен, принадлежащих одному образцу. Для 212 изображений была выполнена ручная разметка зерен и границ чаши

Петри с помощью приложения LabelMe.

Для получения масок зерен была обучена модель семантической сегментации U-net с энкодером ResNet-18 на 261 изображениях, для которых маски зерен были размечены вручную. Точность на тестовой выборке составила 0.985 по метрике IoU.

Для предсказания пигментов была обучена модель на основе сегментации с архитектурой U-Net, в которую был добавлен дополнительный выходной слой (голова) для классификации. В качестве энкодера была использована архитектура EfficientNet-B0. В качестве loss-функций использовалась комбинация бинарной кросс-энтропии BCEWithLogitsLoss с уменьшением по среднему значению и DiceLoss с функцией активации Sigmoid. Оптимизация параметров производилась алгоритмом Adam с начальной скоростью обучения lr=1e-4.

На выходе модель вычисляла 2 числа, каждое из которых характеризовало наличие/отсутствие (1|0) меланина и антоциана. Для оценки точности определялись показатели: TP (true positive) - число изображений с правильно предсказанным наличием пигмента, TN (true negative) – число изображений с правильно предсказанным отсутствием пигмента, P и N - общее количество предсказаний наличия (positive) и отсутствия (negative) пигментов. Корректность предсказания определялась на основе значений, полученными при помощи качественных химических реакций на антоцианы и меланины в лаборатории. Данные показатели определялись для антоцианов и меланинов независимо, после чего вычислялась итоговая точность с помощью меры accuracy (ACC) согласно формуле: ACC = (TP + TN) / (P + N). Итоговая точность составила 0.852.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 22-74-00122.

Влияние фенилпропаноидных и стериновых метаболитов на устойчивость яровой мягкой пшеницы к грибным инфекциям листьев

Коновалов А.А.[1], дбн, снс, Орлова Е.А.[2], кбн, внс, Карпова Е.В.[3], кхн, снс, Шундрина И.К.[3], кхн, снс, Нефедов А.А.[3], кхн, снс*

[1]Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, 630090 Россия
[2]Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирская область, Новосибирский район, пос. Краснообск, 630501 Россия
[3]Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, 630090 Россия
**e-mail: konov@bionet.nsc.ru*

Устойчивый и восприимчивый к листовым инфекциям генотипы яровой мягкой пшеницы Triticum aestivum L. выращивали на инфекционном фоне и при его отсутствии. Ткани растений изучали по ряду показателей, в том числе по содержанию фенилпропаноидных метаболитов, а также стеринов и сапонинов. По фенилпропаноидам наблюдается увеличение ряда метаболитов под действием инфекции, особенно конiферилацетата и синапового альдегида. Обнаружено уменьшение концентрации некоторых стеринов в тканях у устойчивого генотипа под влиянием инфекции. Уменьшение концентрации некоторых стеринов в тканях является защитной реакцией растений от грибных инфекций, поскольку стерины необходимы самим паразитическим грибам для размножения.

***Ключевые слова**: мягкая пшеница, мучнистая роса, бурая ржавчина, фенилпропаноиды, стерины, сапонины.*

The influence of phenylpropanoid and sterol metabolites on spring bread wheat resistance to fungal leaf infections

Konovalov A.A.[1], Orlova E.A.[2], Karpova E.V.[3], Shundrina I.K.[3], Nefedov A.A.[3]*
[1] Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russia
[2] Siberian Research Institute of Plant Cultivation and Breeding—Branch of Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501 Russia
[3] Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russia
**e-mail: konov@bionet.nsc.ru*

Resistant and susceptible to leaf infections, Triticum aestivum L. spring bread wheat genotypes were grown on infectious background and in its absence. Plant tissues were studied for a number of indicators, including the content of phenylpropanoid metabolites, as well as sterols and saponins. Phenylpropanoids show an increase in a number of metabolites due to infection, especially coniferyl acetate and synapic aldehyde. A decrease in the concentration of some sterols in tissues in a stable genotype under the influence of infection was found. Reducing the concentration of some sterols in tissues is a protective reaction of plants against fungal infections, since sterols are necessary for parasitic fungi themselves to reproduce.

Keywords: bread wheat, powdery mildew, brown rust, phenylpropanoids, sterols, saponins.

На предыдущей конференции [1] были представлены наши результаты по изучению полиморфизма ароматической дегидрогеназы (cinnamyl

alcohol dehydrogenase, дегидрогеназа коричного спирта; КФ 1.1.1.195), и влиянии этого полиморфизма на устойчивость к мучнистой росе и бурой ржавчине. Было установлено, что наибольший вклад в устойчивость или восприимчивость растений к этим инфекциям вносят аллельные варианты по локусу CAD-im [2].

Материалом исследований являлись потомства F_5, полученные скрещиванием устойчивого ярового сорта Новосибирская 61 с восприимчивым яровым сортом Скала. Два контрастных образца, 9-1 и 9-65 выращивали на инфекционном поле СибНИИРС и в гидропонной теплице ИЦиГ. На инфекционном поле присутствуют популяции возбудителей грибных инфекций, в частности бурой ржавчины и мучнистой росы. Кроме полевой оценки, проводилась оценка лабораторным методом.

Растения, выращенные в теплице, не подвергались воздействию грибной инфекции в отличие от растений, выращенных в поле. Все растения для проведения анализов были собраны после созревания зерна и высушены на воздухе. Надземная часть растений использовалась для анализа. Ткани растений изучали по ряду показателей, в том числе по содержанию фенилпропаноидных метаболитов, а также стеринов и сапонинов. Цель работы заключалась в изучении изменений, происходящих в метаболизме растений пшеницы под действием грибных инфекций, и их возможном участии в формировании механизмов неспецифической устойчивости.

Согласно данным литературы в механизме защиты растений от грибных инфекций могут быть задействованы фенольные соединения и стерины [3, 4]. Данные по фенолам приведены на рис. 1. Под действием инфекции содержание некоторых фенилпропаноидов повышается, особенно конифорилацетата и синапового альдегида, а также трицина (№ 14, 16, 18, рис. 1). Из всех фенилпропаноидов альдегиды наиболее токсичны для микроорганизмов, и вероятно оказывают защитное действие против инфекции. Фенилпропаноидные фитоалексины (защитные вещества) характерны для злаков [3].

В полевых условиях под действием инфекции у устойчивого генотипа 9-65 содержание ряда стеринов не увеличивается, а уменьшается, особенно β-ситостерола (№ 23, рис 2). Стерины необходимы паразитическим грибам для размножения, причем как для полового (спороношения), так и бесполого, а также ветвления мицелия [4]. Уменьшение концентрации некоторых стеринов является защитной реакцией растений от грибных инфекций. Одним из наиболее значимых стеринов является β-ситостерол, по нашим данным, именно по этому метаболиту наблюдаются наибольшие различия между восприимчивым и устойчивым образцами в условиях инфекционного поля по сравнению с тепличным посевом (№ 23, рис. 2).

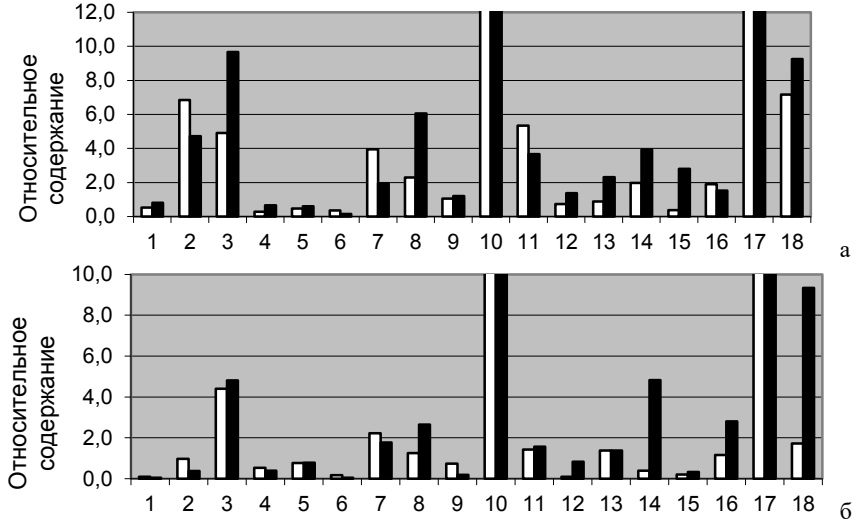


Рис. 1. Вещества фенольного типа, обнаруженный в хлороформенных экстрактах образцов в условиях теплицы (а) и инфекционного поля (б). Светлые столбики – восприимчивый образец 9-1; тёмные столбики – устойчивый образец 9-65. 1: 2,6-Диметоксифенол; 2: 4-Гидроксибензальдегид; 3: Ванилин; 4: Ацетованиллон; 5: Бутированиллон; 6: 3,4,5-Триметоксифенол; 7: *n*-Кумаровый спирт; 8: Сиреневый альдегид; 9: Метиловый эфир гомованилиновой кислоты; 10: Конифериловый спирт; 11: *n*-гидроксикоричная кислота; 12: Сиреневая кислота; 13: β-Гидроксипропиованиллон; 14: Конифералацетат; 15: Метил 2-(4-гидрокси-3,5-диметоксифенил)-ацетат; 16: Синаповый альдегид; 17: Синаповый спирт; 18: Трицин.

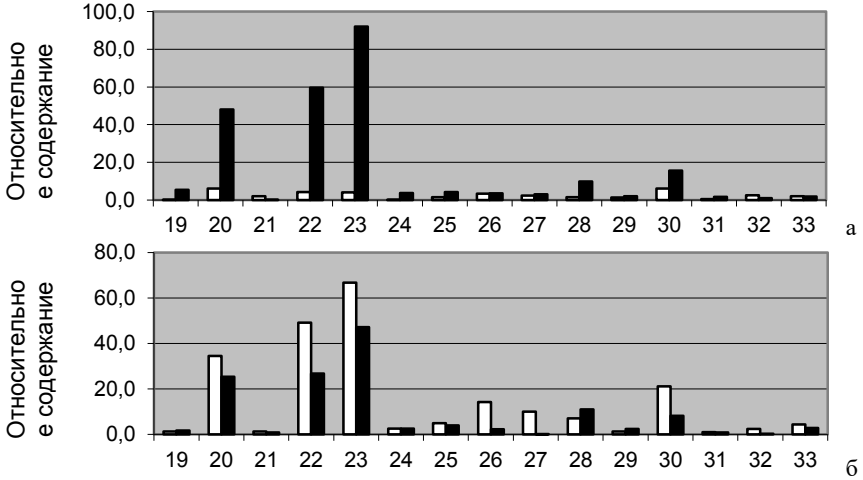


Рис. 2. Содержание стеринов и сапонинов. Обозначения те же, что на рис. 1.
Стероиды: 20: Кампестерол; 21: 4-Кампестен-3-он; 22: Стигмастерол; 23: β-ситостерол; 24: стигмастанол; 25) β-амирин; 26: (24R)-эргост-4-ен-3-он; 27: Спинастерон; 29: Стигмаста-3,5-диен-7-он; 30: Ситостенон; 31:Аборенон; 32: 4,4-Диметил-холестан-3-он; 33: (3β)-3-гидрокси-стигмаст-5-ен-7-он. Сапонины: 25: β-амирин; 28: лупеол.

В данном исследовании обнаружены два механизма устойчивости, один из которых связан с повышением содержания фенилпропаноидных метаболитов, второй связан с понижением содержания стеринов, необходимых самому возбудителю для роста и развития. Можно предположить, что один из этих факторов придает устойчивость к одной из двух листовых инфекций (мучнистая роса и листовая ржавчина), а другой – соответственно к другой инфекции. В ходе дальнейших исследований возможно удастся выяснить соответствие механизмов устойчивости и инфекционных агентов.

Благодарности: Работа поддержана бюджетными проектами № FWNR-2022-0017 (ИЦИГ СО РАН) и 1021051503141-0-1.4.1 (НИОХ СО РАН), а также региональным проектом РФФИ № 19-44-540003 р_а.

Список литературы

1. Коновалов А.А., Орлова Е.А., Карпова Е.В., Шундрина И.К. Влияние полиморфных вариантов CAD (EC 1.1.1.195) на устойчивость пшеницы к грибным инфекциям. Генофонд и селекция растений. V международная конференция. 11–13 ноября 2020 г. Доклады и сообщения. Новосибирск. ИЦиГ СО РАН. 2020. С. 147-150. DOI 10.18699/GPB2020-00
2. Коновалов А.А., Карпова Е.В., Шундрина И.К., Размахнин Е.П., Ельцов И.В., Гончаров Н.П. Влияние аллельных вариантов ароматической алкогольдегидрогеназы CADim на микроморфологические и химические показатели тканей у яровой мягкой пшеницы T*riticum aestivum* L. Прикладная биохимия и микробиология. 2021. 57(4):402-414 . DOI: 10.31857/S0555109921040085
3. Дьяков Ю.Т., Озерецковская О.JL, Джавахия В.Г., Багирова С.Ф. Общая и молекулярная фитопатология. М.: Из-во Общество фитопатологов, 2001. 302 с.
4. Метлицкий Л.В., Озерецковская О.Л., Васюкова Н.И. Фитостерины и их роль во взаимоотношениях растений с паразитарными грибами (на примере грибов семейства Pythiaceae) //спехи совр. биол. 1980. Т. 89(1). С. 28-41.

Влияние генотип-средовых факторов на формирование количественных признаков *Linum ussitatissimum* L.

Королев К.П., к.с.-х.н., н.с.

ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия.
e-mail: corolev.konstantin2016@yandex.ru

В условиях полевого эксперимента (2017-2020 гг., опытный полигон биостанции «Озеро Кучак» Тюменского госуниверситета, Нижнетавдинский р-н, Тюменская область) были изучены 60 коллекционных образцов льна-долгунца различного эколого-географического происхождения. Цель исследований -определить влияние факторов на степень проявления признаков

в условиях полевого опыта, выделить источники селекционно - ценных признаков для практической селекции. Согласно многофакторного дисперсионного анализа, на формирование урожайности достоверное (F факт >F теор.) влияние оказывали особенности генотипа, его взаимодействие с факторами среды. Установлены образцы с высокими показателями продуктивности по льносоломе (21 шт.), тресте (19 шт.), волокну (6 шт.), семенам (9 шт.)

Ключевые слова: *лен, образец коллекции, стабильность, адаптивность.*

Influence of genotype-environmental factors on the formation of quantitative traits of *Linum ussitatissimum* L.

Korolev K.P., candidate of agricultural sciences, researcher
Tyumen State University, Tyumen, Russia.
e-mail: corolev.konstantin2016@yandex.ru

Under the conditions of a field experiment (2017-2020, experimental site of the Lake Kuchak biostation, Tyumen State University, Nizhnetavdinsky district, Tyumen region), 60 collection samples of fiber flax of various ecological and geographical origin were studied. The purpose of the research is to determine the influence of factors on the degree of manifestation of traits in a field experiment, to identify sources of selection-valuable traits for practical selection. According to multivariate analysis of variance, the yield formation was significantly influenced (F fact > F theor.) by the features of the genotype, its interaction with environmental factors. Samples with high productivity rates for flax straw (21 pcs.), trust (19 pcs.), fiber (6 pcs.), seeds (9 pcs.)

Keywords: *linen, sample of the collection, stability, adaptability*.

Лен является ценным культурным растений многостороннего использование, обладающим относительно высоким адаптивным потенциалом. Изучение экологического статуса растений льна при интродукции является важным составляющим компонентом, требующим легких и доступных оценочных подходов. При этом, как указывает Жученко А.А. [2] необходимо проводить скриниг не только адаптивной способности и стабильности генотипов в различных средах, но и анализировать среды по их пригодности в качестве фона для отбора. На важность характеристики среды как фона указывает и Кильчевский А.В. [3] согласно которому, ошибка в выборе среды на любом этапе селекции приводит к неадекватной оценке генотипов и потере ценного селекционного материала. Существуют общепринятые приемы диагностики стабильности и пластичности растений, одним из которых является метод, предложенный S.A. Eberhart, W.A. Russel, апробирован на многих сельскохозяйственных растениях, однако использование его на льне ограничено.

Исследования проводили на территории биостанции «Озеро Кучак» ТюмГУ 2017-2020 гг. Объект исследования – образцы из генетического

фонда кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Института биологии. Посев семян производили на опытных делянках с учетной площадью 1 м^2, в трехкратной, повторности с рандомизированным размещением. Почва дерново-подзолистая супесчаная с содержанием гумуса 3,67%, подвижных форм фосфора – 3434 мг/кг, обменного калия – 234,00, кальция – 3362,33, меди – 55,41, железа – 3553,51, магния – 1125,37, цинка – 402,52 мг/кг почвы. Предшественник – озимые и яровые зерновые культуры. Уборку растений льна с каждой делянки осуществляли при наступлении фазы ранней желтой спелости [4]. Условия 2018 - 2020 гг. характеризовались как слабо засушливые (ГТК = 1,2 - 1,3), 2017 и 2019 годов – влажные (ГТК = 1,5 - 1,6). Обработку экспериментальных данных проводили по Б.А. Доспехову [1], расчет экологических показателей по *S.A. Eberhart, W.A. Russel* [5].

Исходя из результатов многофакторного дисперсионного анализа установлены достоверность различий между образцами по урожайности соломы, тресты, волокну, семенам. Нами установлен вклад факторов на формирование продуктивности растений льна (рис.). Согласно расчета доли факторов установлено, что влияние генотипических особенностей было максимальным по урожайности семян (30,0%) и льносоломы (25,6%). Условия выращивания определяли уровень урожайности тресты (65,1%), семян (53,1%). Взаимодействие генотипа со средой проявлялось в урожайности соломы (31,2%), волокна (28,9%), тресты (19,4%).

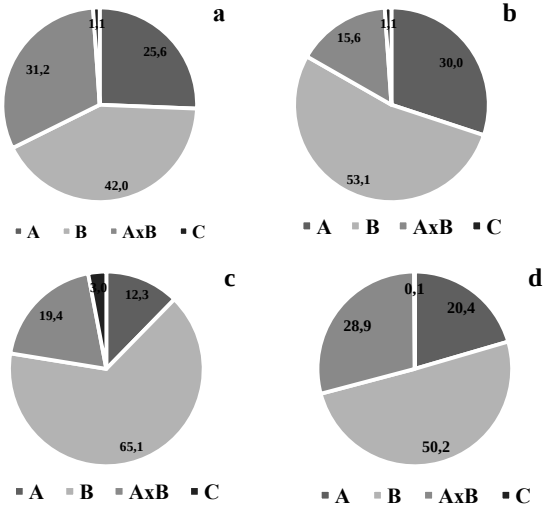


Рисунок. Вклад генотипа (A), условий среды (B), их взаимодействий (AxB) и случайного фактора (C) в формирование урожайности соломы (a), семян (b), тресты (c) волокна (d) у коллекционных образцов льна-долгунца, %, 2017-2020 гг.

Коэффициент линейной регрессии сортов (bi) показывает реакцию генотипа на изменение условий выращивания. Он может принимать значения больше и меньше 1, а также быть равным 1. Чем выше значение коэффициента bi, тем большей отзывчивостью обладает данный сорт. В случае bi<1 сорт реагирует слабее на изменения условий среды, чем в среднем весь набор изучаемых сортов. При условии bi=1 имеется полное соответствие изменения признака сорта изменению условий выращивания [5].

Согласно оценки линейной и нелинейной функций «генотип – средовых» взаимодействий нами были выделены группы образцов: показывают лучшие результаты в неблагоприятных условиях (bi <1, S^2d_i=0), нестабильные: Sheyenne, Печерский кряж, Велижский кряж, 403-4 (по урожайности семян); Luzacija, Sheyenne, Печерский кряж, Велижский кряж, 403-4, Tammes v(2-69), Лидер (по урожайности тресты); Лидер, Смолич, Sheyenne, Biei Shinshu, 403-4, Tammes v(2-69), Luzacija, Ottava 770 B See, Печерский кряж, Велижский кряж, Hermes (по урожайности соломы). Образцы Sheyenne, Печерский кряж, 403-4, Велижский кряж, Luzacija, Tammes v(2-69), Лидер, Biei Shinshu, Смолич, Engelum 51 УП, Comun del Peru L5, Норд, Союз, Львовскій 7, Honkei 41, Теха, Добрыня, 4.911-4.-1.8, Ottava 770 B See, Aoyagi, Hermes, Квартет, Karnobat-448, С-108, Colchagui M.A.g., Веста, Прибой, Пересвет, Ярок, Betertelsdorfer 6884/60, Currong, 36.3.-4, Upite-2, (урожайность общего волокна). Стабильные, с высокими результатами в благоприятных условиях (bi =1, S2di=0): по урожайности тресты и общего волокна –Wiko. Обладают высокой отзывчивостью в благоприятных условиях среды, нестабильные (bi >1, S2di=0): Karnobat-448, Тост-3, Aoyagi (урожайность семян); Upite-2, Маяк, Зоря-87, Орион (урожайность соломы); Svalof, Орион, Зоря-87, Ива, Восход, Drakkar, Памяти Крепкова, Marylin, Рубин, Тост-3, Маяк, Тост-5, Русич, Импульс, Томич, Грант, Мара, Антей, Suzanne, Тост-4, ТОСТ, Томский-17, Alizee, Глінум, Томский-16, Томский-18 (урожайность тресты); образцы Svalof, Орион, Зоря – 87, Ива, Восход, Drakkar, Памяти Крепкова, Marylin, Рубин, Тост-3, Маяк, Тост-5, Русич, Импульс, Томич, Грант, Мара, Антей, Тост-4, Suzanne, ТОСТ, Томский – 17, Alizee, Томский – 16, Томский – 18, Глінум.

На основании проведенных исследований, нами были установлены достоверные различия между образцами по уровню проявления признаков при различных условиях выращивания. Выявлено, что в условиях Тюменской области определяющими факторами на формирование высокой урожайности являются среда и сложные генотип-средовые взаимодействия. Выявлены перспективные образцы льна, сочетающие продуктивность, экологическую адаптивность, которые можно рекомендовать в селекционно-генетических программах исследований.

Список литературы

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и дополн. М.: Альянс. 2014. 351 с.

2. Жученко, А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы) / А.А. Жученко. М.: РУДН, 2001. Т.1.783 с.
3. Кильчевский, А.В. Экологическая селекция растений / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылёва. Мн.: Тэхналогія, 1997. 372.
4. Методические указания по селекции льна-долгунца /Л.Н. Павлова [и др.]; Всерос. науч. – исслед. ин-т льна. Москва. 2004. 44 с.
5. Eberhart S. A. Stability parameters for comparing varieties / S.A. Eberhart et W.A. Russel // Jorp Sci. 1966. V. 6. №1. P. 36–40.

Поиск дифференциально экспрессирующихся генов в мутантах по гену *nud* ячменя

Короткова А.М.[1], м.н.с., Скрипилева А.И., Вихорев А., Колосовская Е.В.[1], Герасимова С.В.[1,2] к.б.н., н.с., Хлесткина Е.К.[3], д.б.н., Профессор РАН, директор.*

[1] ИЦИГ СО РАН, Новосибирск, Россия
[2] НГУ, Новосибирск, Россия
[3] Всероссийский институт растениеводства имени Н. И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия
**e-mail: korotkova@bionet.nsc.ru*

Для поиска дифференциально экспрессирующихся генов, связанных со свойством голозерности/пленчатости ячменя, был проведен транскриптомный анализ для сравнения изогенных генотипов сорта Golden promise (Nud) и полученного ранее мутанта (nud). В результате было отобрано 19 генов с дифференциальной экспрессией у мутанта относительно контроля. Изменение экспрессии генов было подтверждено с помощью количественного ПЦР для каждого гена.

Ключевые слова: *CRISPR, транскриптом, Nud, ячмень.*

Search for differentially expressed genes in barley nud gene mutants

Korotkova A.M.[1], Skripileva A.I., Vihorev A., Kolosovskaya E.V.[1], Gerasimova S.V.[1,2], Khlestkina E.K.[3]*
[1]Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia
[2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
[3]N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia
**e-mail: korotkova@bionet.nsc.ru*

In order to search for differentially expressed genes associated with barley

naked/hulled feature, a transcriptomic analysis was performed to compare the isogenic genotypes of the cultivar Golden promise (Nud) and the previously obtained mutant (nud). As a result, 19 genes with differential expression in the mutant relative to the control were selected. The difference in gene expression was confirmed by quantitative PCR for each gene.

Keywords: *CRISPR, transcriptome, Nud, barley*.

Ячмень (*Hordeum vulgare L.*) является важной продовольственной культурой во всем мире и в России, в частности. Признак голозерности является ценным селекционным признаком. Голозерный ячмень имеет преимущества над пленчатым для потребления в пищу, поскольку он дешевле в обработке и содержит больше ценных диетических компонентов. Ген *Nud* кодирует фактор транскрипции, предположительно участвующий в формировании липидного слоя на поверхности зерна ячменя. Если функция гена *Nud* утрачена, цветковые чешуи больше не прикрепляются к поверхности зерна, что влечет за собой фенотип голозерности. В недавнем исследовании мы получили линии с нарушенным геном *Nud* путем направленного мутагенеза с использованием направляющей РНК и эндонуклеазы Cas9 в сорте ярового ячменя «Golden promise» [1].

Для проведения транскриптомного анализа была выбрана одна из полученных мутантных по гену *Nud* линий ячменя, показавшая наилучшие результаты при анализе агрономически значимых свойств [2]. Цель эксперимента – выявить набор генов, участвующих в формировании свойства голозерности. Для эксперимента были взяты две изогенные линии (отличающиеся только одним геном *Nud*): контрольная линия Golden promise и мутантная линия *nud*. Семенные оболочки зерен собирали на двух стадиях развития колоса: 1) молочная спелость – чешуи еще не прилипают, 2) восковая спелость - чешуи начинают прилипать к зерну.

Из образцов алейронов и перикарпов выделяли РНК и проводили транскриптомный анализ на платформе Illumina NextSeq 550. Была выявлена группа генов с активацией уровня экспрессии (51) и группа генов с понижением уровня экспрессии (185) у мутантной линии. Верификацию транскриптомных данных решено было делать на 19 генах. Для последовательности каждого из выбранных генов подбирали праймеры, и с помощью количественного ПЦР-анализа подтверждали повышение или понижение экспрессии.

В результате исследования было отобрано 19 генов, предположительно участвующих в формировании свойства пленчатости ячменя.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке РНФ № 21-66-00012.

Список литературы

1.Gerasimova S.V, Hertig C., Korotkova A.M., Kolosovskaya E.V., Otto I., Hiekel S., Kochetov A.V., Khlestkina E.K., Kumlehn J. Conversion of hulled into naked barley by Cas

endonuclease-mediated knockout of the NUD gene // BMC PLANT BIOL –2020 – 20, 255.
2. Antonova, E.V.; Shimalina, N.S.; Korotkova, A.M.; Kolosovskaya, E.V.; Gerasimova, S.V.; Khlestkina, E.K. Seedling Biometry of nud Knockout and win1 Knockout Barley Lines under Ionizing Radiation // Plants 2022, 11, 2474. DOI: 10.3390/plants11192474

Реализованный потенциал коллекции «Арсенал» в селекции мягкой пшеницы на устойчивость к болезням и перспективы ее использования по другим направлениям

Лапочкина И.Ф., д.б.н., г.н.с., Макарова И.Ю., к.б.н., с.н.с., Гайнуллин Н.Р., к.б.н., в.н.с., Яшина Н.А., к.с-х.н., н.с. Нардит А.В., к.с-х.н.н., в.н.с., Груздев И.В.[1], к.б.н., н.с.*

ФИЦ «Немчиновка», Одинцово, рп Новоивановское, Россия
[1] ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, Россия
**e-mail:inna-lapochkina@yandex.ru*

Цитогенетическая коллекция мягкой пшеницы «Арсенал» содержит более 300 интрогрессивных линий с генетическим материалом видов Aegilops speltoides, Ae.triuncialis, Triticum kiharae и Secale cereale. Чужеродный материал представлен в виде множественных транслокаций по В–геному мягкой пшеницы, а также в виде добавленных хромосом в линиях 2n=44 и дисомно замещенных линиях 2n=42. Из коллекции выделены источники и доноры устойчивости к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине, темно-бурой и желтой пятнистостям листьев, которые были использованы в создании вторичного генофонда и конкурентоспособных селекционных линий яровой и озимой пшеницы с групповой устойчивостью к болезням. Часть линий устойчива к карантинному заболеванию – стеблевой ржавчине расе Ug99, а также представляет интерес в качестве источников числа зерен в колосе, короткостебельности, раннего выколашивания, высокого содержания белка и клейковины в зерне.

Ключевые слова: *мягкая пшеница, грибные болезни, чужеродные виды, доноры, качество зерна, маркер-вспомогательная селекция.*

The realized potential of the Arsenal collection in the selection of soft wheat to disease resistance and the prospects for its use in other areas

Lapochkina I.F., Makarova I.Yu., Gainullin N.R., Yashina N.A., Nardit A.V., Gruzdev I.V[1].*
FRC "Nemchinovka", Odintsovo, rp Novoivanovskoe, Russia
[1] ARRIAB, Moscow, Russia

The cytogenetic collection of soft wheat "Arsenal" contains more than 300

introgressive lines with genetic material of the species Aegilops speltoides, Ae.triuncialis, Triticum kiharae and Secale cereale. The alien material is presented in the form of multiple translocations along the B–genome of soft wheat, as well as in the form of added chromosomes in lines 2n=44 and disomically substituted lines 2n=42. Sources and donors of resistance to powdery mildew, leaf and stem rust, spot blotch and tan spot have been identified from the collection, which were used in the creation of a secondary gene pool and competitive breeding lines of spring and winter wheat with group resistance to diseases. Some of the lines are resistant to the quarantine disease – stem rust of the Ug99 race, and are also of interest as sources of short stems, early hatching, high protein and gluten content in grain.

Keywords: *common wheat, fungal diseases, alien species, donors, grain quality, marker-assisted selection.*

Цитогенетическая коллекция мягкой пшеницы «Арсенал» создавалась в период с 1980 по 1996 гг. методами отдаленной гибридизации с использованием гамма-облучения пыльцы дикорастущих сородичей малыми, средними и высокими дозами радиации. Коллекция включает линии яровой и озимой пшеницы *2n=44* с дисомными дополнениями хромосомами вида *Ae.speltoides*, а также линии с дисомными замещениями хромосом и транслокациями (*2n=42*) видов *Ae. speltoides, Ae.triuncialis, Triticum kiharae* и *Secale cereale* [1]. С использованием микросателитных маркеров **B**-генома мягкой пшеницы установлено наличие множественных транслокаций у созданного материала. В образцах коллекции «законсервирована» генетическая изменчивость перечисленных видов по морфологическим, биохимическим и другим свойствам, а также по устойчивости к грибным заболеваниям пшеницы (бурая, желтая и стеблевая ржавчина пшеницы, мучнистая роса, темно-бурая и желтая пятнистость листьев). Методом фитопатологического тестирования и с использованием специфичных молекулярных маркеров к генам устойчивости *Pm, Lr* и *Sr* выделены доноры устойчивости к этим заболеваниям.

Проверка донорских качеств некоторых образцов коллекции проводилась в простых и беккроссных скрещиваниях с восприимчивыми селекционными линиями и сортами на искусственном инфекционном фоне бурой ржавчины. Процесс передачи генов устойчивости к бурой ржавчине (*Lr9, Lr37* и *Lr46*) отслеживался с использованием молекулярных маркеров, начиная со второго поколения. В результате экспериментов в старших поколениях удалось отобрать генотипы с двумя и тремя генами устойчивости и улучшенными хозяйственно-ценными признаками, которые были переданы в селекционные лаборатории и которые пополнили коллекцию «Арсенал». Направление использования образцов коллекции в селекции на иммунитет является наиболее разработанным. В тоже время потенциал коллекции изучен слабо по устойчивости к абиотическим стрессам, технологическим и биохимическим признакам качества зерна, количественным признакам,

определяющих продуктивность и ряду других хозяйственно ценных признаков, имеющих адаптационное значение и важных в селекции этой культуры. К таким признакам следует отнести раннее выколашивание и созревание, устойчивость к прорастанию на корню, короткостебельность и устойчивость к полеганию. Ниже приведен перечень некоторых образцов коллекции с селекционно-значимыми признаками и свойствами, имеющих адаптационное значение (табл. 1).

Таблица 1 – Перечень образцов коллекции Арсенал с селекционно-значимыми признаками и свойствами

Образец	Признак	Примечание
Озимые образцы		
179/98w	повышенная способность хорошо скрещиваться с рожью и конъюгировать с ее хромосомами	аналог *ph1b*-мутанта мягкой пшеницы [2]
28/95w	многоколосковость колоса (до 28 колосков)	Хорошо передается потомству
84/98w	мягкозерность зерновки	Использовался для создания линии с двумя генами мягкозерности [3]
9/00w	высокая устойчивость мучнистой росе и бурой ржавчине; устойчивость к стеблевой ржавчине расы Ug99 на стадии проростков, тип реакции 1, 2	*Lr9, Lr46, Sr15 ,Sr22, Sr32*
119/4-06rw	устойчивость к мучнистой росе и бурой ржавчине, стеблевой ржавчине Ug99 (тип реакции 1, 2), а также темно-бурой и желтой пятнистостям	*Sr22, Sr32, Sr9a, Sr31, Sr19* [8]
*16-19w	раннее выколашивание на 246 день от всходов (на 5 дней раньше стандарта), хорошая перезимовка и групповая устойчивость к листовым болезням: мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине, темно-бурой пятнистости; выявлена устойчивость к гипоксии. Урожайность на уровне стандартного сорта Московская 39	*Sr2, Sr22, Sr36*
*29-19w	ранее выколашивание на 246 день от всходов, короткий стебель 88 см, групповая устойчивость к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине, продуктивность колоса более 2,0 г, масса 1000 зерен 51 г	Идентификацию генов не проводили
*31-19w	ранее выколашивание на 247 день от всходов, хорошая перезимовка и групповая устойчивость к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине. Масса 1000 зерен 50 г. Высокое содержание белка и клейковины в зерне. Продуктивность на уровне стандартного сорта	*Sr22, Sr36*
*48-19w	групповая устойчивость к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине, продуктивность колоса 2,4 г, масса 1000 зерен 48 г. Формирует урожай достоверно выше стандартного сорта	*Sr2, Sr22, Sr28, Sr36*
*62-19w	раннее выколашивание на 247 день от всходов,	*Lr34/Sr57*

	хорошая перезимовка и групповая устойчивость к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине, в том числе и к Западно-Сибирской популяции. Наличие антоциана на перикарпе зерновки. Формирует урожай достоверно выше стандартного сорта	
Яровые образцы		
k-62904	устойчивость к мучнистой росе и бурой ржавчине	Идентифицирован новый ген устойчивости *Pm32* [4]
102/00i	редкое опушение листа, отсутствие воска на растении, антоциан на пыльниках, высокая устойчивость к бурой ржавчине	Новый ген *Hl2^{aesp}* имеет значение для адаптивности к засухе [5]. Наличие идентифицированных генов устойчивости *Lr10, Lr21, Lr35* [6], *Lr12, Lr27+Lr31*
201/04i	фурки на цветковой чешуе (новообразование)	Признак не изучался, возможно, сцеплен с устойчивостью к бурой ржавчине
72/00i	устойчивость к мучнистой росе и бурой ржавчине	Идентифицирован ген устойчивости *Lr35* [6]
120/00i	устойчивость к мучнистой росе и бурой ржавчине	*Lr1, Lr10, Lr21, Lr9, Sr24, Lr37* [6]
113/00i-4	устойчивость к мучнистой росе и бурой ржавчине, желтой пятнистости листьев, иммунитет к стеблевой ржавчине расе Ug99 (тип реакции 0)	*Lr1, Lr10, Lr21, Lr37; Pm3c* [7] *Sr2, Sr36, Sr39, Sr40, Sr47, Sr15* [8]

* - линии, полученные с использованием образцов коллекции Арсенал (вторичный рекомбинантный фонд)

В настоящее время наши усилия направлены на выделение генотипов, сочетающих устойчивость к болезням с высокими технологическими показателями качества зерна. Часть коллекции, представленная 95 образцами пшенично-эгилопсно-ржаных гибридов, прошла тестирование на наличие ценных высокомолекулярных субъединиц глютенина. Получены предварительные данные о наличии у образцов по субгеному **A** ценных субъединиц 1 и 2* (аллели *Glu-A1a* и *Glu-A1b*). Наличие таких субъединиц по данным Payne et al [9], свидетельствует о хорошем потенциале качества. По субгеному **B** у подавляющего большинства образцов идентифицирован аллель *Glu-B1c* (субъединицы 7+9), связанный с повышенной прочностью теста [10]. Наиболее ценный аллель *Glu-B1b* идентифицирован у образца 27/4-06rw. По субгеному **D** у 12 образцов коллекции зафиксирован ценный аллель *Glu-D1d* (5+10) (рисунок), обеспечивающий наивысшие показатели для хлебопечения [9].

Прогресса в создании селекционного материала устойчивого к стеблевой ржавчине удалось достичь с момента выделения и использования доноров устойчивости к этому патогену. Из 100 образцов коллекции, протестированных на стадии проростков к проникновению *Puccinia graminis tritici* расы Ug99, отобрано 5 с типом реакции 2 и один иммунный образец с типом реакции 0;. У этих образцов идентифицировано от 2 до 5 генов Sr, которые

включают как эффективные, так и не эффективные гены устойчивости к Ug99 [8]. Методом сложных ступенчатых скрещиваний этих доноров между собой созданы линии яровой и озимой мягкой пшеницы с идентифицированным спектром генов устойчивости к стеблевой ржавчине: *Sr2, Sr31, Sr22, Sr32, Sr36* и *Sr47* в различных сочетаниях. Линии прошли оценку устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине в трех географически удаленных регионах РФ (Центральном, Северо-Кавказском и Западно-Сибирском) в условиях эпифитотийного развития заболеваний или на инфекционных фонах развития болезней. В результате испытаний отобраны конкурентоспособные линии яровой и озимой пшеницы для селекционных питомников с устойчивостью к популяциям бурой и стеблевой ржавчины с широким спектром вирулентности [11, 12].

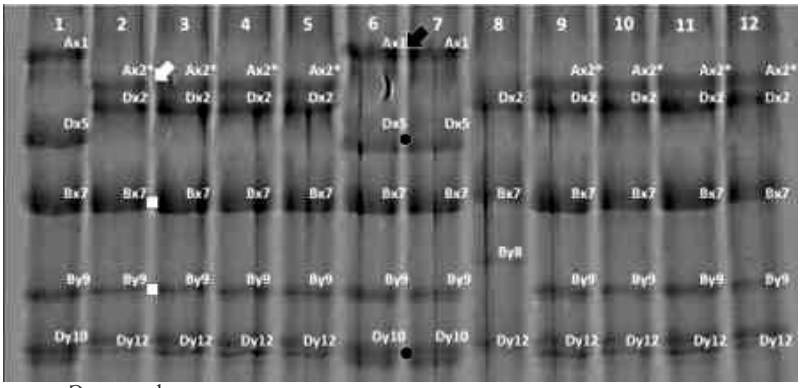


Рисунок. Электрофореграмма высокомолекулярных глютенинов у пшенично-эгилопсно-ржаных гибридов с условными обозначениями ценных аллелей: Ax1 – черная стрелка; Ax2* – белая стрелка; Bx7+By9 – белый квадрат; Dx5+Dy10 – черный круг. 1 – Лада (Ax1/Bx7+By9/Dx5+Dy10) (яровая мягкая пшеница); 2 – 322/15 (Ax2*/Bx7+By9/Dx2+Dy12) инд. зерновка; 3 – 322/15 (Ax2*/Bx7+By9/Dx2+Dy12) mix; 4 – 325/15 (Ax2*/Bx7+By9/Dx2+Dy12) инд. зерновка; 5 – 325 14/15 32/3p4-06 (Ax2*/Bx7+By9/ Dx2+Dy12) mix; 6 – 324/15 Ax1/Bx7+By9/Dx5+Dy10) инд. зерновка; 7 – 324/15 (Ax1/Bx7+By9/Dx5+Dy10) mix; 8 – Chinese Spring (AxN/Bx7+By8/Dx2+Dy12) (яровая мягкая пшеница); 9 – 327/15 (Ax2*/Bx7+By9/Dx2+Dy12) инд. зерновка; 10 – 327/15 (Ax2*/Bx7+By9/Dx2+Dy12) mix; 11 – 326/15 (Ax2*/Bx7+By9/Dx2+Dy12) инд. зерновка; 12 – 326/15 (Ax2*/Bx7+By9/Dx2+Dy12) mix.

Предпринята попытка сгруппировать лучшие выделенные рекомбинантные линии в зависимости от педигри и направления скрещивания донорских линий: ярового образца 113/00i-4 с генетическим материалом вида *Ae.speltoides* и *T.kiharae*, озимой линии 119/4-06rw, озимого образца GT96/90 из Болгарии с генетическим материалом *T. migushovae* и сорта Донская полукарликовая. (табл. 2). Использование образца 113/00i-4 в прямых и обратных скрещиваниях с линией GT96/90 не влияло достоверно на отклонение

параметров развития признаков и формирование урожая в сравнении со стандартом. Однако в комбинации [(113 х 96/90) х Д х Д] отмечается тенденция формирования более высокобелкового зерна и повышенного содержания клейковины в зерне. К сожалению, качество клейковины подавляющего числа линий относится ко II или III группе. Отмечается также тенденция к формированию более высокого урожая за счет повышения показателя продуктивности колоса, массы 1000 зерен и хорошей перезимовки 90% при использовании образца 119/4-06rw в скрещиваниях с GT96/90 и комбинации (113/00i-4 х 119/4-06rw).

Таблица 2 – Развитие хозяйственно-ценных признаков у лучших линий в КП - 2019 г. в различных комбинациях скрещивания (средние значения по комбинациям)

Педигри	Число дней до колошения	Высота, см	Зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Урожай зерна, г/м^2	Белка в зерне, %	Клейковины в зерне, %	ИДК, ед. шкалы прибора (от–до) и группа качества
(96/90 х 113)хД хД	249	112,7	1,83	47,2	807,0	16,7	37,0	80 (II) – 95 (II)
(113 х 96/90)хД хД	249,5	110,6	1,75	45,0	840,7	18,9	53,8	88 (II) – 105 (III)
(113 х 119)хД хД	247,6	112,3	1,52	42,6	852,5	17,2	41,4	77 (I) – 102 (II)
(119 х 96/90)хД	250	120,2	1,90	46,0	945,1	18,1	43,8	78 (II) – 105 (III)
Московская 39 (Ст)	253	116,0	1,75	45,2	815,5	18,7	40,2	70 (I)

В данный момент устанавливаются возможные причины формирования клейковины, относящейся ко II-III группе качества. Изучен полиморфизм высокомолекулярных глютенинов у 10 продуктивных линий с групповой устойчивостью к грибным болезням, высеянных в конкурсном сортоиспытании, в сравнении с сортом Московская 39, который является эталоном качества хлебопекарной пшеницы для Нечерноземной зоны.

Установлено, что у всех образцов присутствуют ценные аллели субгенома **A**: Glu-A1a и Glu-A1b (субъединицы Ax1 и Ax2* соответственно). Две линии (10-19w и 92-19w), также как и сорт, несут ценный аллель Glu-A1a субъединицу Ax2*.

По **D**-геному линии и сорт не различаются и имеют ценный аллель субгенома **D** – Glu-*D1d* (Dx5+Dy10).

По **B**-геному у всех линий идентифицирован аллель Glu-B1c (субъединицы Bx7+By9), как и у большинства образцов коллекции «Арсенал». У сорта Московская 39 присутствует более ценный аллель Glu-B1b (субъединицы Bx7+By8). Различия по этому аллелю и могут быть одной из причин формирования клейковины II-III группы качества. Перспектива использования такого зерна в пищевой промышленности связана с изготовлением галет

и печенья, а также в помольных смесях при хлебопечении.

Список литературы

1. Лапочкина И.Ф. Чужеродная генетическая изменчивость и ее роль в селекции пшеницы//в книге «Идентифицированный генофонд растений и селекция» под редакцией Ригина Б.В. Изд. ВИР. 2005. с.684-740.
2. Lapochkina I.F., Vlasova E.V., Yatchevskaya G.L. Identification of a high-pairing line of common wheat with genes from *Aegilops speltoides Tausch*.//AWN. 2000.v.46 p.106-107.
3. Симонов А.В., Чистякова А.Л., Морозова Е.В., Щукина Л.В., Бернер А. Пшеничникова Т.А. Создание нового для мягкой пшеницы генотипа – носителя двух локусов мягкозерности.//Вавиловский журнал генетики и селекции.2017. (3):341-346.
4. Hsam S.L.K., Lapochkina I. F., Zeller F.J. Chromosomal location of genes for resistance to powdery mildew in common wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell). 8. Gene Pm32 in a wheat-*Aegilops speltoides* translocation line. //Euphytica. 2003. v.133. p.367-370.
5. Pshenichnikova T.A., I.F. Lapochkina, L.V. Shchukina L.V. The inheritance of morphological traits introgressed into common wheat (*Triticum aestivum* L.) from Aegilops speltoides Tausch. //Genetic Resources and Crop evolution. 2007. 54. p.287-293.
6. Гайнуллин Н.Р., Лапочкина И.Ф., Жемчужина А.И., Киселева М.И., Коломиец Т.М., Коваленко Е.Д. Использование фитопатологического и молекулярно-генетических методов для идентификации генов устойчивости к бурой ржавчине у образцов мягкой пшеницы с чужеродным генетическим материалом коллекции «Арсенал»//Генетика. 2007.т.43. №8. с.1-7.
7. Дженин С.В., Лапочкина И.Ф., Жемчужина А.И., Коваленко Е.Д. Доноры яровой мягкой пшеницы с генетическим материалом видов Aegilops speltoides, Aegilops triuncialis, Triticum kiharae.//Доклады РАСХН. 2009. № 5.с.3-7.
8. Баранова О.А., Лапочкина И.Ф., Анисимова А.В., Гайнуллин Н.Р., Иорданская И.В., Макарова И.Ю. Идентификация генов Sr у новых источников устойчивости мягкой пшеницы к расе стеблевой ржавчины UG99 с использованием молекулярных маркеров.//Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. т.19. №3. с.316-322.
9. P.I. Payne, M.A. Nightingale, A.F. Krattiger, L.M. Holt The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties // J. Sci. Food Agric. 1987. 40. P. 51-65.
10. Chen, Q., Zhang, W., Gao, Y., Yang, C., Gao, X., Peng, H., Yao, Y. High molecular weight glutenin subunits 1Bx7 and 1By9 encoded by Glu-B1 locus affect wheat dough properties and sponge cake quality// Journal of agricultural and food chemistry. 2019. 67(42). p.11796-11804.
11. Inna Lapochkina, Olga Baranova, Nail Gainullin, Michael Kuzmich, Svetlana Polyakova, Petr Polityko, Ramin Mamedov and Sergey Voronov. Genetic Improvement of Bread Wheat for Stem Rust Resistance in the Central Federal Region of Russia: Results and Prospects // Part of the book: Global Wheat Production. 2018-16-08. P. 183-203. DOI: 10.5772/intechopen.75379
12. Лапочкина И.Ф., Гайнуллин Н.Р., Баранова О.А., Коваленко Н.М., Марченкова Л.А., Павлова О.В., Митрошина О.В. Комплексная устойчивость линий яровой и озимой мягкой пшеницы к биотическим и абиотическим стрессам//Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021.т.25. №7. с.721-729.

Межвидовая гибридизация в интродукции черемухи

Локтева А.В., к.б.н., научный сотрудник

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Россия, г. Новосибирск
*e-mail: Lokteva30@mail.ru

Черемухи обычно выращивают в умеренной зоне и горных системах Северного полушария. Они тетраплоиды и могут скрещиваться только в своем роде. Наиболее зимостойки в Сибири черемуха обыкновенная и черемуха виргинская североамериканская, обладающие разными полезными свойствами. Они хорошо скрещиваются, их гибриды объединяют в себе полезные признаки отцовских видов. Во втором и последующих поколениях гибриды изначально сочетают в себе отцовские признаки. Уже получены семь пищевых сортов и 3 декоративных сорта. С использованием нового генетического материала получено много перспективных пищевых и декоративных гибридов.

Ключевые слова: *черемуха обыкновенная, черемуха виргинская, селекция, гибриды, цветки, плоды.*

Interspecific hybridization in genus *Padus* introduction

Lokteva A.V.
Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia.

Padus species are usually grown at moderate zone and mountain systems of Northern hemisphere. They are tetraploids and can be crossing only into their genus. Native bird cherry and Northern American common chokecherry with different useful features are most winter hardy in Siberia. They can crossing well, their hybrids unite useful features of paternal species. In second and following generations hybrids are originally combined paternal features. Seven food cultivars and 3 ornamental cultivars are already obtained. Many perspective food and ornamental hybrids are obtained with using new genetic material.

Keywords: *Padus avium, Padus virginiana, selection, hybrids, flowers, fruits.*

Виды черемухи – genus *Padus* Mill. = subgen. *Padus*, genus *Prunus* L. – встречаются на обширных территориях в умеренной зоне Северного полушария и по горным системам заходят далеко на юг. Как правило, это деревья и крупные кустарники. Это небольшой по видовому составу род (подрод). Его первый монограф Koehne [1], основываясь на изучении только гербарного материала из Восточной Азии, описал свыше 20 видов. На что I.

Collinwood [2], изучавший живые растения в природе и в коллекциях, заметил, что Кёне превзошел сам себя в описании этого рода. Проведенное нами [3] изучение возможности гибридизации и особенностей морфологии одного из дальневосточных видов показало, что отнесение черемухи Маака к этому роду было неправомерно и ее следует отнести к роду (подроду) Вишня под названием Cerasus maackii Erem.et Simagin. По современным представлениям [4], видовой ранг имеют, несомненно, черемуха обыкновенная (кистевая) *Prunus padus* L., черемуха виргинская *Prunus virginiana* L., черемуха поздняя *Prunus serotina* Ait. и черемуха сьори *Prunus ssiori* Fr.Schmidt. Таксономический ранг остальных восточноазиатских видов нуждается в подтверждении путем изучения современными генетико-биохимическими методами, тем более, что некоторые их видоспецифичные, по мнению Кёне, признаки мы наблюдали у гибридов черемухи виргинской и кистевой второго и третьего поколений [5].

В настоящее время известны многочисленные гибриды (спонтанные и селекционные) черемухи виргинской и черемухи кистевой. Также идентифицированы нами как гибриды черемухи поздней с черемухой виргинской растения, выращенные из семян черемухи виргинской позднцветущей, поступивших по делектусу из США. Нами были получены гибриды черемухи кистевой с черемухой поздней. М.Н. Матюнин в Чемале получил гибрид черемухи виргинской с черемухой сьори. В тоже время, несмотря на встречающиеся изредка в литературе сведения о получении гибридов черемух с представителями других родов, достоверно такие гибриды не известны. Причиной такой изолированности черемух от других косточковых является, по-видимому, их геномный состав – отсутствие полиплоидного ряда. Все известные виды тетраплоиды, вероятно аллополиплоидного происхождения, что приводит к невозможности получения плодовитых гибридов с видами – носителями иных геномов при сохранении уровня плоидности.

Межвидовая гибридизация позволяет получать в гибридном потомстве растения, сочетающие в своих признаков желательные особенности исходных видов. Поэтому, для Сибири и близких по условиям территорий, наиболее перспективными являются скрещивания местного вида – черемухи кистевой с наиболее зимостойким интродуцентом – черемухой виргинской. Местная черемуха имеет высочайшую среди своего рода (подсемейства) зимо и морозостойкость, крупные красивые цветки, легко укореняется зелеными черенками, но высокорослa, рано цветет и нерегулярно плодоносит, относительна мелкоплодна. Внутри вида встречаются генотипы с более крупными плодами, поздним цветением, оригинальной окраской цветков и листьев. Черемуха виргинская немного уступает ей в зимостойкости, труднее размножается вегетативно, несмотря на большое количество поросли, но более низкорослa, цветет позже на 10-15 дней, регулярнее плодоносит и более крупноплодна.

Их межвидовые скрещивания легко удаются. Гибриды первого поколения, как правило, удачно сочетают многие достоинства исходных видов. Они высоко зимостойки, высокорослы, цветут в промежуточные сроки, высоко урожайны, склонны к регулярному обильному плодоношению, хорошо укореняются зелеными черенками. Морфологические признаки листьев, цветков и соцветий ближе к черемухе виргинской (Локтева, 2013).

Во втором и последующих поколениях гибриды весьма разнообразны по перечисленным выше признакам и свойствам, причем часто у одного растения своеобразно сочетаются ярко выраженные отдельные признаки исходных видов. Таким образом, при использовании в гибридизации лучших гнотипов обоих видов по желательным свойствам и признакам, можно заметно улучшить их потребительские качества. Это позволит создать растения, заметно превосходящие исходные образцы по потребительским характеристикам и пригодные для разнообразного культивирования [6].

При использовании имевшихся первоначально в коллекции лаборатории интродукции пищевых растений генотипов исходных видов семь лучших гибридов первого и второго поколений официально оформлены в качестве пищевых сортов под названиями Памяти Саламатова, Черный блеск, Плотнокистная, Самоплодная, Ранняя круглая, Мавра и Поздняя радость. Пополнение коллекции новыми крупноплодными источниками обоих видов позволило получить в их потомстве от скрещиваний с некоторыми сортами и между собой ряд сеянцев, превосходящих родителей по массе плода на 30-50 %. Около двух десятков лучших из них по комплексу признаков проходят конкурсное изучение в коллекциях ЦСБС, НИИСС им Лисавенко и ряда других научных учреждений [6]. По нашему мнению, повторные скрещивания лучших гибридов позволит увеличить массу их плодов ещё на 20-30% и довести её до 1,7-2,0г.

Для использования черемухи в качестве декоративного растения наибольший интерес представляют носители оригинальных признаков – сорта черемухи кистевой Colorata с весенней краснолистностью и сиреневато-розовыми цветками, Нежность с нежно-розовыми цветками и особо крупноцветковые образцы обычной белой окраски из нашей коллекции. У черемухи виргинской наиболее интересны сорт Shubert с белыми цветками и летне-осенней краснолистностью и образцы с длинными кистями с большим количеством цветков. При гибридизации крупноцветкового образца черемухи кистевой с сортом Shubert получены и уже официально оформлены как декоративные сорта Пурпурная свеча, Сибирская красавица и Красный шатер с летне–осенней краснолистнолстью, различающиеся особенностями габитуса кроны. Остальные их качества типичны для гибридов первого поколения.

При скрещивании сортов Пурпурная свеча и Colorata получен новый

сорт Красный сезон, впервые сочетающий весеннюю краснолистность и сиреневато-розовую окраску цветков с летне-осенней краснолистностью. При скрещивании сортов Пурпурная свеча и сеянец Нежности впервые получено несколько гибридов, сочетающих краснолистность типа Shubert с розовой окраской цветков. Лучший из них оформляется как сорт Стройная. Получен также ряд интересных гибридов, сочетающих признаки сорта Colorata с признаками черемухи виргинской, в том числе очень низкорослые, гибрид с белыми колокольчатыми цветками и гибриды с очень длинными многоцветковыми кистями. Молодые растения, полученные в большом количестве на основе новых гибридов с сортов, позволят ещё больше расширить диапазон изменчивости декоративных признаков и получить их оригинальные сочетания.

Таким образом, межвидовая гибридизация кистевой и виргинской черемухи позволяет получать растения, хорошо приспособленные к местным условиям существования. Скрещивания лучших видовых образцов между собой, а также повторные скрещивания гибридов и исходных генотипов позволяют получать растения с разнообразными сочетаниями многих признаков. Это обуславливает возможность получать сорта с высокими пищевыми и декоративными качествами, заметно превосходящими растения исходных видов и таким образом реально интродуцировать черемуху, как полезное растение в Сибири.

Список литературы

1. Koehne E. Prunus L. //Plantae Wilsonianae. Cambrige, 1913. Vol. 1 p. 59-75.
2. Ingram Collinwood Ornamental Cherries. - London, 1948, 260 p.
3. Еремин Г.В., Симагин В.С. Исследование систематического положения черемухи Маака *Padus maackii* (Rupr.) Kom. в связи с ее селекционным использованием. //Научно-техн. бюллетень ВИР, 1986, вып. 166, с 44-49.
4. Еремин, Г.В. Систематика косточковых плодовых растений. // Помология Том III Косточковые культуры. Орел, 2008
5. Симагин В.С., Еремин Г.В. О разнообразии черемухи кистевой в Евразии. //Флора и растительность Алтая. Труды Южно-сибирского бот. сада. Т. 4, вып. 1, Барнаул, 1999, с. 76-85.
6. Локтева А.В. Черемуха //Интродукция нетрадиционных плодовых, ягодных и овощных растений в Западной Сибири / под ред. И.Ю. Коропачинского. Новосибирск. 2013, с 37-60

Оценка эффективности селекционного отбора жаро- и засухоустойчивых генотипов среди гибридных популяций картофеля

Молянов И.В., аспирант

«ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»
**e-mail: MOLYANOV@yandex.ru*

В статье представлены результаты изучения эффективности использования свыше 50 сортообразцов в качестве доноров комплекса хозяйственно ценных признаков для реализации важнейших направлений селекции на основе оптимальных вариантов гибридизации и отбора жаро и засухоустойчивых генотипов в стрессовых климатических условиях Самарской области.

Ключевые слова: *картофель, селекция, сорта, гибридизация, отбор, жаро и засухоустойчивость.*

Evaluation of the efficiency of breeding selection of heat and drought-resistant genotypes among hybrid potato populations

Molyanov I.V., post-graduate student
Russian Potato Research Centre
e-mail: MOLYANOV@yandex.ru

The article presents the results of studying the effectiveness of using over 50 varieties as donors of a complex of economically valuable traits for the implementation of the most important areas of breeding based on optimal hybridization options and selection of heat and drought-resistant genotypes in the stressful climatic conditions of the Samara region. Keywords: potato, breeding, varieties, hybridization, selection, heat and drought resistance.

Оптимальный выбор сортов для выращивания в конкретных агроэкологических условиях регионов России является одним из определяющих факторов обеспечения высокой урожайности и качества продовольственного и семенного картофеля [1]. Почвенно-климатические условия Самарской области характеризуются повышенной стрессовой нагрузкой на растения картофеля из-за высокой температуры воздуха и почвы в период вегетации и, как следствие, почвенной и воздушной засухой [2]. Поэтому в товарном производстве рекомендуется использовать сорта с высокой адаптивностью к абиотическим факторам среды и устойчивостью к наиболее вредоносным болезням. Однако среди отечественных сортов Госреестра РФ, предложенных к районированию в Самарской области и характеризующихся комплексом таких признаков, пока еще недостаточно.

В этой связи целью исследования является анализ эффективности селекционного отбора в гибридных популяциях от целенаправленных скрещиваний подобранных родительских форм по устойчивости к недостаточному увлажнению, что весьма актуально при создании высокопродуктивных сортов картофеля для почвенно-климатических условий Средневолжского региона.

Условия, материал и методы исследований

В качестве исходного материала для гибридизации использовали свыше 50 сортообразцов отечественной и зарубежной селекции, характеризующиеся различной устойчивостью к тяжелым формам вирусных болезней и комплексом важнейших хозяйственно полезных признаков. Полевые и лабораторные исследования проводили в 2020-2021г. в Центре селекции ООО «Агростар» (Самарская область). Гибридизацию сортообразцов осуществляли в оптимальных условиях весенне-летних теплиц. Для скрещивания отбирали родительские формы, характеризующееся, по данным оригинатора, раннеспелостью, устойчивостью к био и абио факторам и привлекательным внешним видом клубней. Одновременно клубни сортообразцов высаживали в полевых условиях в питомнике сортоиспытания по схеме 75*35 см в двух повторностях. Количество растений в каждой повторности - 10 шт. В период вегетации проводились фенологические наблюдения, оценка полевой устойчивости к вирусным болезням и учет продуктивности в соответствии с методическими указаниям по технологии селекционного процесса [3] и экологического сортоиспытания картофеля [4]. Анализ гибридных популяций по хозяйственно полезным признакам осуществлялся в первом клубневом поколении, выращивая не менее 80 генотипов. [5].

Результаты исследований

Вегетационный период 2020 г характеризовался значительными колебаниями температуры воздуха и уровня атмосферных осадков. Период всходов, формирования надземной массы растений и начало цветения характеризовался высокими температурами и недостаточным увлажнением. Однако в фазу цветения и накопления массы клубней отмечено снижение температуры ниже среднемноголетних значений и выпадение обильных осадков, способствующее увеличению запаса влаги в почве, что благоприятно отразилось на продуктивности большинства изученных сортообразцов картофеля. В 2021 г. в период интенсивного роста растений и клубнеобразования дневные температуры достигали 32-37 ℃ и наблюдался дефицит влажности воздуха, что вызвало недобор урожая.

Для реализации программы гибридизации подбор родительских форм проводили с учетом комплекса хозяйственно ценных признаков и, прежде всего, урожайности, раннеспелости, устойчивости к тяжелым формам вирусных заболеваний, привлекательного внешнего вида клубней (табл.1).

Таблица 1 – Подбор родительских форм для скрещивания

Хозяйственно ценные признаки	Сорта-источники
Высокая продуктивность (урожайность, товарность)	Лабадна, Белларoза, ВР 808, Ривьера, Метеор, Колетте, Гала
Скороспелость	Гулливер, Метеор, Колетте, Белларoза, Крепыш, Ривьера, Гала, Королева Анна
Красная кожура клубней	Ред Фэнтази, Розара, Роко, Ароза, Эльдорадо, Дезире
Устойчивость к вирусу Y	Метеор, Гала, Королева Анна, Ароза, Дубрава
Устойчивость к фитофторозу	Ред Леди, Метеор, Розара, Дубрава, Роко
Устойчивость к парше обыкновенной	Розара, Эльдорадо, Роко, Ароза, Инноватор, Гала, Белларoза

Согласно полученным данным, наибольшую ценность в качестве источников хозяйственно полезных признаков представляют сорта Лабадиа, Белларoза, ВР 808, Метеор, Крепыш, Дубрава, Роко, Ароза, Гала, которые наиболее успешно использованы в качестве компонентов скрещивание. Причем, данные сортообразцы, отличающиеся интенсивностью цветения и фертильностью пыльцы, обеспечивали высокий уровень результативности скрещиваний и на их основе получено наибольшее количество гибридных комбинаций (табл.2).

Анализ результатов гибридизации позволил выделить эффективные сорта-опылители с оплодотворяющей способностью на уровне 70-90 % – Крепыш, Лабадна, Белларoза, Кенза, Инноватор, Роко, ВР 808, Дубрава, и материнские формы, среди которых сорта Королева Анна, Гулливер, Ред Фэнтази, Гала, Розара, Эльдорадо, Дезире, Кристель, Метеор.

Таблица 2 – Результативность скрещиваний родительских пар с высокими показателями селектируемых признаков

Гибридные комбинации	Опылено цветков, шт.	Получено ягод	
		шт.	%
Дезире х Кенза	29	21	72,4
Наташа х Инноватор	36	29	80,6
Эльдорадо х Крепыш	48	45	93,8
Гала х Лабадна	56	47	83,9
Севим х Инноватор	34	27	79,4
Гулливер х Инноватор	46	41	89,1
Кристель х Белларoза	18	16	88,9
Метеор х Дубрава	25	21	84
Ред Фэнтази х Инноватор	28	21	75
Гулливер х Белларoза	42	40	95,2
Эльмундо х Кенза	38	35	92,1
Эльмундо х Лабадна	46	33	71,7
Королева Анна х ВР 808	45	37	82,2
Розара х Роко	37	27	72,9

Для анализа результатов селекционного отбора среди сформированных из сеянцев наборов гибридных популяций в сезоне 2020 г использовали 4500 одноклубневок, среди которых предварительно выделено 120 генотипов (2,67%). Причём, с оптимальным проявлением хозяйственно полезных признаков отобрано 8 гибридов (5,6 %) в популяции Королева Анна х ВР 808, 6 гибридов (4,8 %) в популяции Кристель х Белларoза и 5 гибридов (4,2 %) в популяции Севим х Инноватор. Оценка идентичных гибридных популяций в 2021г. показала эффективность отбора среди аналогичного объема одноклубневок на уровне 2,31 % (104 генотипа), из которых наибольший отбор выявлен в гибридной популяции Гулливер х Инноватор - 7 гибридов (4,0%), Метеор-Дубрава - 4 гибрида (3,2%) и Эльмундо х Кенза - 4 гибрида (3,0 %).

При дальнейшей селекционной проработке отобранных в 2020г. генотипов в питомнике гибридов второго года (2021г.) в качестве основного критерия для отбора использовали засухо и жароустойчивость, так как сезон отличался повышенной температурой и ограниченным количеством осадков. Наиболее приспособленными к сложившимся природным условиям оказались 4 гибрида из популяции Королева Анна х ВР 808, 3 гибрида из популяции Кристель х Белларoза и 1 гибрид из популяции Севим х Инноватор. В этом экстремальном году данные гибриды сформировали урожайность на уровне 790-920 г/куст и 8-10 клубней на одно растение.

Выводы

В результате исследований в коллекционном питомнике выделены сорта с комплексом хозяйственно полезных признаков, адаптированные к условиям повышенной температуры и недостаточному увлажнению Самарской области и включены в программы скрещиваний: Гулливер, Белларoза, Дубрава, Метеор, Крепыш, Инноватор, Лабадна, ВР 808, Гала, Кристель. Использование этих сортообразцов, характеризующихся интенсивностью цветения и фертильностью пыльцы в качестве родительских пар, обеспечивало высокий уровень результативности гибридизации и получения наибольшего количества гибридных комбинаций. В процессе селекционного отбора наиболее приспособленными к стрессовым климатическим условиям оказались 8 гибридов от скрещивания сортов Королева Анна х ВР 808, Кристель х Белларoза и Севим х Инноватор с урожайностью 790-920 г/куст и количеством клубней от 8-10 на одно растение.

Список литературы

1. Симаков Е.А., Анисимов Б.В., Жевора С.В. и др. Сортовые ресурсы картофеля для возделывания в регионах России. -М.: ООО “Достижения науки и техники АПК. 2018. 172 с.
2. Бакунов А.Л., Милехин А.В., Рубцов С.Л., Дмитриева Н.Н. Оценка сортов картофеля по устойчивости к вирусным заболеваниям, повышенным температурам воздуха и недостаточному увлажнению // Intern.Journal of Humanitites and Nature Sciences. 2019. v.11-1 (38), p.47-53

3.Симаков Е.А. Склярова Н.П., Яшина И.М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. - М.: ООО “Достижения науки и техники АПК. 2006. 75 с.
4.Методические указания по экологическому сортоиспытанию картофеля. М.: ВНИИКХ, 1982. 25с.
5.Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. с.58

Эффективность использования ДНК-маркеров при селекции мягкой яровой пшеницы в ФГБНУ «Омский АНЦ»

Мухордова М.Е., к.с.-х.н., в.н.с.; Россеева Л.П., к.с.-х.н., в.н.с.; Белан И.А., к.с.-х.н., в.н.с.*

ФГБНУ «Омский Аграрный Научный Центр».
**e-mail: mukhordova@anc55.ru*

В ФГБНУ «Омский АНЦ» была проведена идентификация перспективных селекционных линий и сортов пшеницы мягкой яровой с использованием молекулярных маркеров.

Ключевые слова: *пшеница мягкая яровая, короткостебельность, фотопериод, бурая и стеблевая ржавчина, устойчивость, сорт.*

The effectiveness of the use of DNA markers in the selection of soft spring wheat in the Omsk ASC

Mukhordova M.E., Rosseeva L.P., Belan I.A.*
FGBSI «Omsk Agrarian Scientific Center», Omsk, Russia.
**e-mail: mukhordova@anc55.ru*

The identification of promising breeding lines and varieties of soft spring wheat using molecular markers was carried out at the Omsk ANC.

Keywords: *soft spring wheat, short-stemmed, photoperiod, brown and stem rust, stability, variety.*

Для решения проблемы увеличения спроса на продукцию аграрного сектора, наряду с классическими методами создания сортов, используют и молекулярную идентификацию. При этом необходимо применять принципы взаимосвязи данных методик, которые не должны исключать друг друга [1].

В условиях Западной Сибири селекционные программы, помимо высокой адаптивности, урожайности включают и создание более скороспелых сортов [2]. Важнейшим направлением выведения высокоурожайных сортов пшеницы мягкой яровой также является использование генов короткостебельности для снижения высоты растений с целью предотвращения полегания [3].

Возделывание генетически устойчивых сортов к грибным заболеваниям представляется наиболее эффективным, экономически и экологически надежным методом, позволяющим снизить или элиминировать применение фунгицидов и свести к минимуму потери урожая от листостебельных заболеваний [4].

Цель исследования – выявить гены короткостебельности (Rht), фотопериода (Ppd) и устойчивости к бурой и стеблевой ржавчинам (Lr, Sr) в перспективных селекционных линиях и сортах пшеницы мягкой яровой с использованием молекулярных маркеров.

Материалы и методика исследований

Для осуществления эксперимента выбраны 11 селекционных линий, которые изучались в питомнике КСИ и восемь сортов местной селекции. Полевые исследования выполняли на опытных полях лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы (зона южной лесостепи Омской области). Норма высева семян на гектар при посеве в питомнике конкурсного сортоиспытания составила 5,5 млн всхожих зерен, повторность опыта четырёхкратная, площадь делянок 10 м^2. Стандартом служил среднеспелый сорт Дуэт.

Поражаемость изучаемых форм в полевых условиях к бурой и стеблевой ржавчине определяли по международной шкале [5]. Учеты проводили в динамике каждые 6–8 суток с начала проявления заболеваний до фазы восковой спелости, затем рассчитывали площадь под кривой развития болезней (ПКРБ) и индекс устойчивости (ИУ). Наблюдения, учёты, изучение материала конкурсного сортоиспытания проводили согласно методикам ВИР [6].

В исследованиях экспериментальные данные обрабатывались методами дисперсионного и корреляционного анализа по Б.А. Доспехову [7] с использованием программного продукта STATISTICA.

Лабораторные эксперименты выполняли в лаборатории молекулярно-генетических исследований. Геномная ДНК выделялась из 10-ти дневных проростков с помощью готового набора реактивов «ФитоСорб» (ООО «Синтол», Россия). Определение наличия генов проводили с использованием праймеров к гену Rht 8: WMS261-F и WMS261-R [8], для определения аллельного состояния гена Ppd-D1: Ppd-D1F/Ppd-D1R1/Ppd-D1R2 - праймеры, разработанные Beales с соавторами [9]. Скрининг генов устойчивости к ржавчинам провели с праймерами к маркеру гена Lr19: SCS265 F и SCS265 R [10]; к маркеру гена Lr26: SecA2 и SecA3 [11]; к маркеру гена Sr25: Xwmc 221F и Xwmc 221R [12]; к маркеру гена Sr31: SCSS30.2 F и SCSS30.2 R [13]. Продукты ПЦР разделяли в 1,5 % агарозном геле с буфером ТВЕ и окрашивали бромистым этидием.

Для идентификации всех маркеров устойчивости к заболеваниям лабораторией мягкой яровой пшеницы были предоставлены ранее проанализированные сорта-контроли, несущие целевые гены, а именно Дуэт (Lr9), Омская 37 (Lr19+Lr26), Омская 38 (Lr19+Lr26) и Сигма (Lr26).

Результаты и их обсуждение

Среди исследуемых форм носителями Rht8b являются: сорт Омская крепость и селекционные линии Лютесценс 417/10-5, Лютесценс 46/10-17, Лютесценс 205/12-5, Лютесценс 15/10-1-24, Лютесценс 63/14-5. В остальных линиях длина амплифицированного участка ДНК соответствовала аллелю Rht8a. Все исследованные сорта имели генотип PpdD1b. Пул сортов и линий, которые были протестированы по генам короткостебельности и фотопериода. Пять из них имели генотип Rht8a Ppd D1b (Омская 45, Лютесценс 36/17, Лютесценс 14/10-14, Лютесценс 297/13-4, Лютесценс 258/11-1-2), а остальные шесть – генотип Rht8b Ppd D1b. Исходя из трехлетних наблюдений формы, которые несут аллель Rht8b в сочетании с Ppd D1b, являются среднерослыми и среднеспелыми. А линии с генотипом Rht8a Ppd D1b – среднерослые, но с незначительным увеличением высоты растения. По-видимому, это связано с присутствием в генотипе аллелей высокорослости других геномов А и В. Сорт же Омская 45 и линия Лютесценс 258/11-1-2, наоборот, имели тенденцию к снижению высоты растения. Таким образом, требуется дополнительное изучение исследуемых генотипов по данным признакам.

При идентификации изучаемого набора сортов и линий на наличие гена Lr19 соответствующий фрагмент был выявлен у сортов Омская 45, Омская 44 и Уралосибирская 3, а также у линии Лютесценс 46/10-17. Ген устойчивости к стеблевой ржавчине Sr25 идентифицирован в тех же сортах, что и обнаружен по гену Lr19. Стоит отметить, что гены Lr19 и Sr25 тесно сцепленные [14]. Полученные нами результаты подтверждают данное наблюдение: сорта положительные на Lr19 таковые и на Sr25. По остальным сортам выявлен отрицательный результат на оба гена. Полученные данные о наличии гена устойчивости Lr26 свидетельствуют о присутствии изучаемого гена во всех сортах и селекционных линиях. По аналогии со сцепленными генами Lr19/Sr25, из литературных данных известно, что линии, проявляющие устойчивость к бурой ржавчине с геном Lr26, характеризуются устойчивостью к стеблевой ржавчине с геном Sr31 [15]. Данный факт также нашел подтверждение и в нашем анализе – в изученном материале выявлен кластер Lr26/Sr31 во всех испытуемых сортах и линиях.

Данный спектр генов устойчивости, выявленный в селекционных линиях мягкой пшеницы и в сортах, обусловлен интрогрессиями от чужеродных видов, использованных при их создании. В полевых условиях изучаемый набор в основном проявил высокий уровень устойчивости к бурой ржавчине (ИУ <0,35) за исключением трех сортов Тарская юбилейная, Омская 43 и Сигма, которые характеризовались средним уровнем устойчивости (ИУ колебался от 0,51 до 0,58). К стеблевой ржавчине все сорта и селекционные линии проявляют высокий уровень устойчивости к этому патогену (ИУ <0,35).

Урожайность восприимчивого к стеблевой ржавчине сорта Дуэт в среднем за годы исследований равнялась 2,83 т/га, а сорта и селекционные

линии, которые характеризовались высоким уровнем устойчивости к этому патогену, обеспечивали урожайность свыше 4,0 т/га. Максимальную урожайность показала селекционная линия Лютесценс 275/11-2-5 (6,06 т/га), превысившая сорт Дуэт на 3,23 т/га.

Рассчитанные коэффициенты корреляции указывали на отсутствие связи между урожайностью и уровнем устойчивости к бурой ржавчине (r = 0,01) и среднюю сопряженность с уровнем устойчивости к стеблевой ржавчине (при 5 %-ном уровне значимости r = 0,60). Множественный корреляционный анализ показал, что урожайность сортов и селекционных линий зависела от уровня устойчивости к стеблевой ржавчине на 40 %.

Выводы:

1. В результате проведенного молекулярно-генетического скрининга 11 форм характеризовались наличием рецессивного аллеля Ppd-D1b. При детекции гена Rht 8 выявлено шесть генотипов с аллелем Rht 8b и пять с аллелем Rht 8a. Формы, которые несут аллель Rht 8b в сочетании с Ppd D1b, были среднерослыми и среднеспелыми.

2. Комплекс генов устойчивости Lr26/Sr31 детектирован во всех линиях и сортах, а комплекс генов Lr19/Sr25 выявлен у двух сортов Омская 45, Омская 44 и двух линий Лютесценс 46/10-17, Лютесценс 71/10-4.

3. Расчеты сопряженности урожайности указывают на отсутствие связи с бурой ржавчиной (r = 0,01) и среднюю (r = 0,60) сопряженность с уровнем устойчивости к стеблевой ржавчине, а доля вклада резистентности к этому патогену составляет 40 %.

4. Полученные результаты будут использованы в ФГБНУ «Омский АНЦ» для создания устойчивых к бурой и стеблевой ржавчинам сортов пшеницы с применением MAS-селекции.

Список литературы

1. Некоторые задачи агрофизического обеспечения селекционных технологий для генетического повышения продуктивности и урожая растений / В.А. Драгавцев Г. А. Макарова, А. А. Кочетов [и др.] // Агрофизика. 2011. № 1. С. 14–22.
2. Изучение аллельного состава генов Vrn1 и Ppd-1 у раннеспелых и среднеранних сортов яровой мягкой пшеницы Сибири / И.Е. Лихенко, А.И. Стасюк, А.Б. Щербань [и др.] // Вавил. журнал ген. и сел. 2014. Т. 18. № 4 (1). С. 691–703.
3. Мухордова М.Е. Выявление доноров короткостебельности у образцов озимой пшеницы с помощью ДНК маркеров и диаллельного анализа // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4 (56). С. 73–79.
4. Study of Adaptive and Agronomic Characters in Lines of Common Wheat Omskaya 37 Carrying 1RS.1BL and 7DL_7Ai Translocations / I.A. Belan, L.P. Rosseeva, V.M. Rosseev [et al.] // Russian Journal of Genetics: Applied Research. 2015. Vol. 5. No. 1.P. 41–47.
5. Методы селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах членов СЭВ. Прага. 1988. 321с.
6. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания / А.Ф. Мережко [и др.] СПб.: ВИР, 1999. 82 с.

7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М, 1973. 416с.
8. Genetic analysis of the dwarfing gene (Rht8) in wheat. Part I. Molecular mapping of Rht8 on the short arm of chromosome 2D of bread wheat (Triticum aestivum L.) / V. Korzun, M.S. Roder, M.W. Ganal, A.J. Worland [et al.] // Theor. Appl. Genet. 1998. № 96. P. 1104 –1109.
9. A pseudo-response regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive Ppd-D1a mutant of wheat (*Triticum aestivum* L.) / J. Beales, A. Turner, S. Griffiths [et al.] // Theor Appl Genet. 2007. Vol.115. P. 721–733.
10. Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance geneLr19in wheat / S.K. Gupta, A. Charpe, K.V. Prabhu, Q.M. Rizwanul // TheorAppl Genet. 2006. № 113(6). P. 1027–1036.
11. De Froidmont D. A co-dominant marker for the 1BL/1RS wheat-rye translocation via multiplex PCR / De Froidmont D. // Journal of Cereal Science.1998. Vol. 27. P. 229–232.
12. Postulation of seedling stem rust resistance genes of Yunnan wheat cultivars in China/ T.Y. Li, X.X. Wu, X.F. Xu [et al.] // Plant Prot. Sci. 2016. Vol. 52. P. 242–249.
13. Development of SCAR markers for identification of stem rust resistance gene “Sr31” in the homozygous or heterozygous condition in bread wheat / B. K. Das, A. Saini, S. G. Bhagwat, N. Jawali.2006. Vol. 125(6). P. 544–549.
14. Методические подходы к идентификации эффективных генов, определяющих устойчивость пшеницы к комплексу грибных заболеваний / Е.С. Сколотнева, И.Н. Леонова, Е.Ю. Букатич, Е.А. Салина // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21(7). С. 862–869.
15. Применение молекулярных маркеров в селекции пшеницы в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко / Л.А. Беспалова, А.В. Васильев, И.Б. Аблова и [др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 1. С. 37–43.

Резервы повышения продуктивности колоса мягкой яровой пшеницы

Новохатин В.В., к.с.-х.н., в.н.с.,; Шеломенцева Т.В. н.с.; Айтбаева Р.Н. м.н.с.*

НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия
**e-mail: tatyanka.leonova.2020@bk.ru*

В Северном Зауралье, из-за ограниченного теплового режима, урожай зерна пшеницы формируется за счёт продуктивности главного колоса. Выявлено, что крупнозёрные сортообразцы выделяются невысоким процентом содержания мякины (16,7-22,0%), а у многозёрных генотипов величина значительно выше (25-31,3%). Снижение содержания мякины в колосе – это один из резервов повышения его продуктивности. Выявлено, что у крупнозёрных форм озернённость колоса является определяющим фактором его продуктивности - r= 0,940; R= 0,885. Урожай многозёрных форм формируется в значительной степени озернённостью колоса - r= 0,672; R= 0,450, а также и массой 1000 зёрен - r= 0,470; R= 0,221. Поэтому оптимальное соотношение озернённости колоса (30-34 шт.) и массы 1000 зёрен (40-41г)

при невысоком содержании у него мякины (16-21%) – это довольно значимо скажется на продуктивности колоса и урожайности в целом.

Ключевые слова: *пшеница, сорт, генотип, масса колоса, масса зерна с колоса, мякина, корреляция.*

Reserves for increasing the productivity of the ear of soft spring wheat

Novokhatin V.V., Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher; Shelomentseva T.V., Researcher; Aitbayeva R.N., Junior Researcher
NIISH SZ – branch of TYUMNTS SB RAS

In the Northern Trans-Urals, due to the limited thermal regime, the wheat grain harvest is formed due to the productivity of the main ear. It was revealed that coarse-grained varieties are distinguished by a low percentage of chaff content (16.7-22.0%), and in multi-grain genotypes the value is much higher (25-31.3%). Reducing the chaff content in the ear is one of the reserves for increasing its productivity. It was revealed that in coarse-grained forms, the ear lake is the determining factor of its productivity - r= 0.940; R= 0.885. The yield of multi-grain forms is formed to a large extent by the ear's lake content - r= 0.672; R= 0.450, and also by the mass of 1000 grains - r= 0.470; R= 0.221. Therefore, the optimal ratio of the ear's lake content (30-34 pcs.) and the mass of 1000 grains (40-41g) with a low content of chaff (16-21%) – this will have a rather significant impact on the productivity of the ear and yield in general.

Keywords: *wheat, variety, genotype, ear weight, grain weight from ear, chaff, correlation.*

Создание высокопродуктивных, интенсивных, адаптированных, пластичных к условиям Северного Зауралья сортов мягкой яровой пшеницы, устойчивых к абиотическим факторам среды, формирующих высококачественное зерно – это важная народнохозяйственная задача, решить которую можно только селекционным путем. При этом важное значение отводится исходному материалу сконцентрированному в коллекции ВИРа [1-3]. При подборе исходного материала для интенсивной селекции культуры учитывается полное генеалогическое древо родительских сортов [4], что позволяет установить эколого-географическое их происхождение и выявить динамику их лимфакторов среды в данной зоне [5]. Это во многом объясняется эколого-генетической организацией количественных признаков [6], что определяется семью генетически-физиологическими системами (ГФС) определяющих урожай: аттракции, микрораспределений аттрагированных пластических веществ, адаптивности горизонтального иммунитета, оплаты сухой биомассы лим-фактора почвенного питания, толерантности к загущению и продолжительностью фаз онтогенеза [7]. Для селекции важно иметь экспресс методы точной идентифи-

кации, среди которых важное значение имеют аттракции и микрораспределения продуктов фотосинтеза [8, 9]. Одной из определяющих ГФС адаптивность - к той или иной зоне, является проявление у генотипов абсолютной массы зерна, которая входит в составляющую информационного индекса микрораспределения пластических веществ в колосе: отношение массы зерна в колосе – к массе мякины; мякина - кроющие чешуи на зернах, ости, колосовой стержень - закладывается до колошения, а масса зёрен - после цветения и до полной спелости [10]. В Северном Зауралье, где ограничен период вегетации, продуктивная кустистость малоэффективна, поэтому урожай здесь формируется за счет продуктивности главного колоса, а продуктивный ценоз формируется нормой высева [11].

Материалы и методы

В течение ряда лет (2017-2021гг.) по методическому указанию изучения мировой коллекции пшеницы [12] было изучено 167 сортообразцов мягкой яровой пшеницы, у которых после первого года испытания, для дальнейшего изучения было оставлено 72 сортообразца. В качестве стандарта – сравниваемого сорта взят среднеспелый, урожайный, интенсивный сорт местной селекции Тюменская 29. Данный набор генотипов изучался на опытном поле НИИСХ Северного Зауралья - филиал Тюменского научного центра СО РАН, на темно-серой почве. Предшественник черный, удобренный - $N_{30}P_{45}K_{30}$ кг.д.в/га пар. Агротехника – принятая в зоне. Площадь делянки, по годам, 2-3 м², повторность однократная. Стандарт размешался через 10 номеров. Норма высева – 650 всхожих зерен на 1м². Посев проводился в оптимальные сроки – 20-25 мая, порционной сеялкой СКС 6-10. Учеты и наблюдения по методике ГСИ (1989). Структурный анализ проводился по 20 растениям каждого сорта, взятым из пробных площадок.

Годы исследований отличались контрастностью: увлажненными были 2017, 2018 и 2019, ГТК за вегетацию: 1,48: 1,68 и 1,57 (норма 1,31). При этом 2017 и 2019 были теплыми – сумма активных температур - 1900°С и 1906°С (норма - 1843°С). Прохладным был 2018 год - 1824°С. Засушливыми выдались 2020 год – ГТК за вегетацию = 0,87 и, особенно - 2021 год – ГТК = 0,47.

Учитывая сложившуюся ситуацию, более объективная оценка изучаемым генотипам делятся по первым трем годам.

Обработка экспериментальных данных проведена по Б.А. Доспехову (1973) [13].

Результаты и обсуждения

Абсолютная масса зерна, изучаемых сортообразцов варьировала от 26 до 40-43 и 50-54 грамм при уровне стандарта – Тюменская 29 – 41-42 грамма. Показано 11 генотипов (табл. 1), выделенных по крупнозёрности, среди них - четыре иностранной селекции: India 288, SSL 46-50, Kommissar, Remus и семь - отечественной: Линия, Маргарита, Тулайковская Надежда, Алабуга, Тобольская 2, Уралосибирская 2, Гренада.

Таблица 1 – Показатель продуктивности колоса (2017-2019гг.)

№ каталога ВИР	Признак / Сорт	Масса 1000 зёрен, г	Количество зёрен в колосе, шт.	Масса колоса, г	Масса зерна с колоса, г	Мякина, %
Крупнозёрные сорта						
65116	India 288	42-43	21	1,2	0,9	18,2
65021	Линия	44-46	28	1,6	1,3	18,8
64851	Маргарита	42-43	26	1,3	1,1	15,4
65841	SSL 46-50	43-44	23	1,3	1,0	23,1
66021	Kommissar	41-42	34	1,8	1,4	22,2
66025	Remus	41-43	27	1,4	1,1	21,4
65827	Тулайковская Надежда	41-43	22	1,1	0,9	18,2
	Алабуга	50-54	20	1,2	1,0	16,7
	Тобольская 2	41-42	32	1,6	1,3	18,8
	Уралосибирская 2	41-43	24	1,2	1,0	16,7
	Гренада	45-47	33	1,9	1,5	21,1
	$x_{ср.}$	**43,1**	**26**	**1,4**	**1,1**	**19,2**
Сорта с многозёрным колосом						
64975	AC Pollet	38-39	31	1,7	1,2	29,4
65253	Омская 41	35-37	31	1,5	1,4	26,7
65807	UI Alta Blanca	33-34	33	1,6	1,1	31,3
65813	Jin Mai 71	38-39	39	2,0	1,5	25,0
65843	Байтерек	35-37	35	1,7	1,3	23,5
66023	Raffles	32-33	32	1,3	1,0	23,1
66031	Greina	34-35	32	1,6	1,1	31,3
66032	Torinit	36-37	36	1,8	1,3	27,8
	Кедем	32-33	38	1,7	1,2	29,4
	Омская 36, ст.	32-34	24	1,2	0,9	29,0
	Тюм. 29, ст.	41-42	34	1,8	1,5	16,7
	Тюм. 29, ст.	42-43	26	1,2	1,0	21,4
	$x_{ср.}$	**36,2**	**33**	**1,5**	**1,2**	**25,5**
	$x_{ср.общ.}$	**39,3**	**30**	**1,5**	**1,2**	**22,6**

Данная группа сортов, за некоторым исключением, отличается ограниченным числом зёрен в колосе – от 20-27-28 шт. Более озернённый он – у Тобольской 2 и Гренады (32-33 шт.). При таком их сочетании масса зерна с колоса в среднем по группе 1,1 грамма, за исключением многозёрных – Тобольской 2 и Гренады (1,3 и 1,5 г) Общая масса колоса – с учётом зерна и половы в среднем составляет 1,4 г. Она наиболее выражена у Линии, Komissar, Тобольской 2, Гренады (1,6-1,8-1,9 г). Анализ корреляционной зависимости здесь показывает (табл.2), что она слабо отрицательно выражена у массы 1000 зёрен с озернённостью колоса (r= -0,267) и процентом содержания мякины (r= -0,214), Число зёрен в колосе имеет высокую положительную связь с массой

колоса (r=0,941; R=0,885) и слабовыраженную (r=0,439; R=0,192) с содержанием мякины. Масса колоса – как интегральный признак имеет почти функциональную положительную связь с массой зерна в колосе (r=0,983; R=0,966) и выраженную с содержанием мякины (r= 0,524; R= 0,274).

Несколько иначе проявление признаков продуктивности колоса выражено в группе сортообразцов с многозёрным колосом. Здесь, масса 1000 зёрен колеблется от 32-33 до 37-39 грамм, при средней по группе – 36,1 грамма. Почти все генотипы данной группы многозёрные – $x_{ср.}$= 33 шт. (от 31 до 38-39 шт.). Сочетание данных признаков обеспечило продуктивность зерна с колоса – от 1,0 до 1,2-1,5 грамм. Наиболее продуктивной массой зерна с колоса выделяются: Омская 41, UL Alta Blanca, Jin Mai 71, Байтерек, Toronit, Kodem. Общая масса колоса, в данном случае, у большинства генотипов (10 шт.) довольно выраженна – 1,5-1,7-2,0 г. В данном случае отсутствует сопряженность массы 1000 зёрен с озернённостью и массой колоса. Она слабо положительно выраженна с массой зерна с колоса – r = 0,470 (R = 0,221).

Таблица 2 – Корреляционные связи признаков продуктивности колоса

Коррелируемые признаки	Масса 1000 зёрен, г	Число зёрен в колосе, шт.	Масса колоса, г	Масса зерна с колоса, г	Проценты мякины, %
1.Крупнозёрные					
Масса 1000 зёрен, г	1,00	-0,267	0,011	0,062	-0,214
Число зёрен в колосе, шт.	-0,267	1,00	0,935	0,941*	0,439
Масса колоса, г	0,011	0,935*	1,00	0,983*	0,524
Масса зерна с колоса, г	0,062	0,941*	0,983*	1,00	0,396
Проценты мякины, %	-0,214	0,439	0,524	0,396	1,00
					R_{05}=0,602
2. Сорта с многозёрным колосом					
Масса 1000 зёрен, г	1,00	-0,047	-0,157	0,470	-0,648*
Число зёрен в колосе, шт.	-0,047	1,00	0,742*	0,673*	-0,058
Масса колоса, г	-0,157	0,742*	1,00	0,381	0,459
Масса зерна с колоса, г	0,470	0,673*	0,381	1,00	-0,493
Проценты мякины, %	0,648*	-0,058	0,459	-0,493	1,00
					R_{05}=0,553
3. По опыту					
Масса 1000 зёрен, г	1,00	-0,498*	-0,219	0,043	-0,746*
Число зёрен в колосе, шт.	-0,499*	1,00	0,792*	0,769*	0,431*
Масса колоса, г	-0,219	0,792*	1,00	0,860*	0,480*
Масса зерна с колоса, г	0,043	0,769*	0,680*	1,00	-0,019
Проценты мякины, %	-0,746*	0,431*	0,480*	-0,019	1,00
					R_{05}=0,404

*- уровень значимости при R≥0,5

При этом отличается довольно значимая её отрицательная связь с содержанием мякины r=-0,649; R=-0,421. Масса колоса и масса зерна с колоса в данной группе значимо зависят от озернённости колоса (r=0,742 и 0,673) (R=0,551 и 0,453). Озерненность колоса не имеет сопряженности с содержанием мякины, что позволяет отбирать многозёрные колосья с пониженным содержанием мякины. Масса колоса в данной группе слабо положительно сопряжена с массой зерна с колоса (r= 0,381; R= 0,145) и содержанием мякины (r= 0,459; R= 0,211). Масса зерна с колоса в данном случае в слабой степени (r= 0,470; R= 0,221) обусловлена абсолютной массой зерна и довольно значимо озернённостью колоса (r= 0,673; R= 0,453). Здесь, масса с колоса отрицательно коррелирует с содержанием мякины (r= -0,493; R= -0,243). Такая выраженность сопряженности элементов массы зерна с колоса в значительной степени объясняет низкий процент мякины в колосе (от 16,7 до 21,2%) у крупнозёрных форм и довольно значимая его выраженность (от 25,0 до 31,3%) у генотипов с многозёрным колосом.

Сопряженность элементов продуктивности колоса в целом у всех сортообразцов опыта (табл.1) отражает производное её проявление первых двух групп. В данном случае просматривается отрицательно выраженная корреляция массы 1000 зёрен с озернённостью колоса (r= -0,498; R= -0,248), массой колоса (r= -0,219) и довольно значимо с содержанием мякины (r= -0,746; R= -0,556). Крупнозерность слабо влияет на массу колоса и его продуктивность. Озернённость же колоса, в основном, определяет массу колоса (r= 0,792; R= 0,627) и массу зерна с колоса (r= 0,769; R= 0,591) и положительно сопряжена с содержанием мякины (r= 0,431; R= 0,186). На массу колоса довольно значительное влияние оказывает содержание мякины (r= 0,480; R= 0,230). Практически отсутствует её влияние на массу зерна с колоса. Показанные сопряженные связи элементов продуктивности колоса у различных групп сортов позволяют научно обоснованно подходить к подбору родительских компонентов для гибридизации и ведения отборов в селекционных питомниках.

Таким образом, выявлено, что крупнозёрные сортообразцы содержат значительно меньше мякины в колосе (16,2-21,5%), чем многозёрные (25,0-31,3%). При этом у них в различной степени проявляются сопряжённые связи элементов продуктивности колоса. Снижение содержания мякины в колосе – это один из резервов повышения его продуктивности. Установлено, что оптимальное соотношение озернённости колоса (30-34 шт.), абсолютной массы зерна (40-41 г) и содержания мякины (16-22%) способствуют повышению массы зерна с колоса. Аналогом данного являются новые, зарегистрированные сорта местной селекции: Гренада, Тюменская 29, Тюменская 25.

Список литературы

1.Вавилов Н.И. Научные основы селекции пшеницы // Теоретические основы селекции. М.; Л. 1935. Т. №2. 246 с.

2.Дорофеев В.Ф., Якубцинер М.М., Руденко М.И., Мигушова Э.Ф., Удачин Р.А., Мережко А.Ф., Семенова Л.В. Пшеницы мира. Л.: Колос. 1976. 486 с.

3.Зыкин В.А. Селекция мягкой яровой пшеницы в условиях в Западно-Сибирской равнины: Автореф. дис. д-ра с.-х. наук. Новосибирск. 1988. 45 с.

4.Новохатин В.В. Обоснование генетического потенциала у интенсивных сортов мягкой пшеницы (Triticum aestivum L.). //Сельскохозяйственная биология. 2016. Т.51. №29. С. 627-635.

5.Новохатин В. В., Драгавцев В. А. Научное обоснование эколого-генетической селекции мягкой яровой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. №. 12. С. 33-40.

6.Драгавцев В.А., Цильке Р.А., Рейтер Б.Г., Воробьёв В.А., Дубровская А.Г., Коробейников Н.И., Новохатин В.В., Максименко В.П., Бабакишиев А.Г., Илющенко В.Г., Калашник Н.А., Зуйков Ю.П., Федотов А.М. Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири (под ред. акад. Д.К. Беляева)//. Изд. «Наука», Сибирское отделение АН СССР. 1984. 228 с.

7.Драгавцев В.А., Дьяков А.Б. Теория селекционной идентификации генотипов растений по фенотипам на ранних этапах селекции. В сб.: Фенетика популяций. М.1982. С. 30-37.

8.Кочерина Н.В., Драгавцев В.А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. Санкт-Петербург, Изд. «Дон Боско». 2008. 87 с.

9.Драгавцев В.А., Эколого-генетическая количественных признаков растений и теория селекционных признаков. В кн.: «Экологическая генетика культурных растений» Краснодар: ВНИИ риса. 2012. Т. 4. №3. С. 251-262.

10.Драгавцев В.А., Михайленко И.М. Введение в эколого-генетическую теорию селекционных индексов. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Современные проблемы адаптации» (Жученковские чтения IV), 24-26 сентября 2018. Изд. «Белгород» (НИУ БелГУ). 2018. С.51-58.

11.Новохатин В.В. Селекция мягкой яровой пшеницы в Северном Зауралье и Казахстане// Аграрная наука развитию и стабилизации агропромышленного комплекса Тюменской области (к 400-летию ГНУ НИИСХ СеверногоЗауралья): сб.науч.тр., Тюмень, «Вектор Бук». 2006. С.55-63.

12.Методические указания по изучению мировой коллекции. Л. 1985. 27 с.

13.Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.Агропромиздат. 1973. С. 335.

Изменчивость вирулентности возбудителя пыльной головни яровой пшеницы

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

Сибирский НИИ растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
** e-mail: orlova.lena10@yandex.ru*

В статье приведены данные по изучению изменчивости вирулентности пыльной головни яровой пшеницы. В изучении находилась алтайская раса с сорта Алтайская 100 и ее изоляты. На двух наборах дифференциаторах показано, что полученные от одной расы изоляты отличаются между собой по вирулентности.

Ключевые слова: *яровая пшеница, пыльная головня, сорта-дифференциаторы, раса, изолят.*

Variability of virulence of the causative agent of loos smut of spring wheat

Orlova E.A., Behtold N.P.*
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences
** e-mail: orlova.lena10@yandex.ru*

The article presents data on the study of the virulence variability of the loos smut of spring wheat. The Altai race from the Altai 100 variety and its isolates were studied. It is shown on two sets of differentiators that isolates obtained from the same race differ in virulence.

Keywords: *spring wheat, loos smut, varieties-differentiators, race, isolate.*

Среди многочисленных болезней зерновых культур пыльная головня по-прежнему остаётся одним из распространенных и вредоносных заболеваний, вызывающих значительное снижение урожая. В селекционных программах, направленных на создание устойчивых генотипов растений, основная роль отводится изучению формообразовательных процессов, приводящих к изменениям в структуре популяции гриба. Впервые физиологическую специализацию головневых грибов начали изучать в 20-х годах прошлого столетия. Наиболее полные исследования по дифференциации рас патогена провел Grevel (1930), в дальнейшем работы были продолжены Oort (1947) Bever (1953), Cherewick (1953). [1] Современный дифференцирующий набор, составленный Nielson (1987) состоит из 19 сортов и включает сорта,

подобранные A. J.P. Oort. Этот набор является наиболее популярным при идентификации рас пыльной головни во многих странах мира. [2] В России для изучения расового состава пыльной головни пшеницы В. И. Кривченко, Д. В. Мягковой (1972) был предложен тестерный набор, состоящий из девяти сортов яровой пшеницы (6-мягкой и 3-твердой). В советское время на нем было идентифицировано более 70 рас пыльной головни пшеницы.

Понятие о физиологической расе у возбудителей головневых несколько видоизменено, что связано с особенностями биологии гриба. В патогенной для растения дикориофазе у патогена отсутствует бесполое размножение. При каждом прорастании телиоспор и слиянии гаплоидных гиф разных половых групп, происходит перекомбинация признаков, в результате чего паразитный дикариофитный мицелий постоянно гетерозиготен. Следовательно, популяция патогена в ряде поколений может быть генетически неоднородной и нестабильной по вирулентности. Тем не менее для возбудителя пыльной головни на IV Международном ботаническом конгрессе было введено понятие «раса». Физиологическая раса – это образец или коллекция телиоспор, которая имеет одинаковую вирулентность на определенных сортах-дифференциаторах [3].

В настоящее время нами, с использованием двух дифференцирующих наборов, была предпринята работа по изучению изменчивости возбудителя пыльной головни пшеницы. Для сопоставления полученных результатов мы воспользовались методикой, предложенной J. Nielson (1987) и объединили в класс устойчивых (R), растения с поражением от 0 до 10% (тип реакции 0 и 1) и восприимчивых (S), с поражением более 10% [4].

В качестве объекта исследований была выбрана алтайская популяция, споровый материал с сорта яровой мягкой пшеницы Алтайская 100 (с селекционных полей АлтайНИИСХ). Исследования проводились в период 2016-2020гг. Для стабилизации клона Алтайскую 100 инокулировали телиоспорами, взятыми с одного головневого колоса этого же сорта. В зимний период в камере ускоренного выращивания (УВР) стабилизированным клоном заражали 2 набора сортов-дифференциаторов, а также сорта Алтайская 100, Памяти Вавенкова, Безечукская 98, Новосибирская 61 и Новосибирская 16. Заражали по 3-4 колоса каждого сорта. Летом, с целью изучения изменчивости вирулентности расы, изолятами с этих сортов были повторно инокулированы дифференциаторы, а также дополнительный список сортов.

На российском дифференцирующем наборе раса с Алтайской 100 не совпала ни с одной реакцией известных по ключу рас. Кроме того, изоляты этой расы также не тестировались на этом наборе, т.е. все типы реакций являются новыми. Было установлено 2 типа реакции изолятов (табл. 1). В первом случае изляты Н-61 и Н-16 показали аналогичную реакцию с исходным А-100. Во втором случае реакция изолятов П.В., Моск., Б-98 была идентичной, но отличалась по вирулентности от первой группы реакцией на сорт Preston. Этот

сорт обладает высокой устойчивостью к новосибирской популяции на протяжении многих лет, и не поражался первой группой изолятов, но поразился второй.

На канадском дифференцирующем наборе, также, как и на российском, все типы реакций испытуемых изолятов были новыми, и отличались от зарегистрированных ранее рас. Реакция пяти изолятов была схожей, в отличии от Б-98, который был вирулентен дифференциатору TD10, несущем ген устойчивости Ut1. Поражение этого сорта составило 46,1%. Этот дифференциатор, также, как и сорт Preston, является эффективным источником к новосибирской популяции пыльной головни.

Таблица 1 – Реакция сортов-дифференциаторов на изоляты А-100

Сорт-дифференциатор	Изоляты					
	А-100	Н-61	Н-16	Б-98	П.В.	Моск
Набор ВИР						
Московка	S	S	S	S	S	S
Kota	S	S	S	S	S	S
Preston	R	R	R	S	S	S
Rumkers Dikkopf	R	R	R	R	R	R
Reward	R	R	R	R	R	R
Diamant	S	S	S	S	S	S
Акмолинка 5	R	R	R	R	R	R
Народная	R	R	R	R	R	R
Mindum	R	R	R	R	R	R
Раса не идентифицируется.						
Канадский набор						
TD -1 Mindum	R	R	R	R	R	R
TD -2 Renfrew	R	R	R	R	R	R
TD -3 Floren/aurore	R	R	R	R	R	R
TD -4 Kota	S	S	S	S	S	S
TD-5 Little club	R	R	R	R	R	R
TD-6 PJ 69282	R	R	R	R	R	R
TD-7 Reward	R	R	R	R	R	R
TD-8 Carma	R	R	R	R	R	R
TD-9 Kearney	S	S	S	S	S	S
TD-10 Red bobs	R	R	R	S	R	R
TD-11 Pentad	R	R	R	R	R	R
TD-12 Thatcher/Regent	R	R	R	R	R	R
TD-13 PJ 29854/ CJ 7795	S	S	S	S	S	S
TD-14 Sonop	R	R	R	R	R	R
TD-15 H44/ Marquis	R	R	R	R	R	R
TD-16 Marroqui 588	R	R	R	R	R	R
TD-17 Marquillo/Waratah	R	R	R	R	R	R
TD-18 Manitau 2/Giza 144	R	R	R	R	R	R
TD-19 Wakooma	R	R	R	R	R	R
Раса не идентифицируется						

Полученные данные дают возможность предположить, что расы

пыльной головни, по аналогии с бурой ржавчиной, состоят из более мелких единиц – патотипов, различающихся между собой реакцией на сортах дифференциаторах.

Для проверки этой гипотезы мы включили в исследование дополнительный набор сортов с различной генетической наследственностью. Анализируя полученные данные было установлено, что на одних сортах реакция всех клонов была одинаковой. Выделенные изоляты были вирулентны сортам Новосибирская 16, Новосибирская 61, Сибирская 12, Скала и не поражали сорта Новосибирская 15, Новосибирская 44, Обская 2, Сибирская 17. У других изолятов, как видно из таблицы 2, реакция была различная. Так, для сортов Безенчукская 98 и Экада 70 вирулентными были изоляты А100, Б-98, Моск., для сорта Новосибирская 18 – Н-61 и Моск., для Памяти Вавенкова – А-100, Н-61, Б-98, П. В. Сорт Симбирцит поразился изолятами Н-16 и Б-98 (табл. 2).

Таблица 2 – Реакция дополнительного набора сортов на изоляты *U. tritici.*

Сорт	Изоляты					
	А-100	Н-61	Н-16	Б-98	П.В.	Моск
Безенчукская 98	S	R	R	S	R	S
Экада 70	S	R	R	S	R	S
Новосибирская15	R	R	R	R	R	R
Новосибирская 16	S	S	S	S	S	S
Новосибирская 18	R	S	R	R	R	S
Новосибирская 44	R	R	R	R	R	R
Новосибирская 61	S	S	S	S	S	S
Обская 2	R	R	R	R	R	R
Памяти Вавенкова	S	S	R	S	S	R
Сибирская 17	R	R	R	R	R	R
Сибирская 12	S	S	S	S	S	S
Симбирцит	R	R	S	S	R	R
Скала	S	S	S	S	S	S

Подобные изменения реакций можно объяснить многими причинами: это и возможностью селективного влияния сорта-возобновителя, и перекомбинацией факторов вирулентности. Процесс мейоза между двумя последовательными поколениями спор оказывает влияние на изменчивость вирулентности рас, гетерозиготных по этому признаку. Расы патогена остаются неизменными лишь в течении одного поколения, т.к. перед прорастанием телиоспор у них завершается половой цикл.

В. Т. Тихомировым [5] и А. Е. Дружиным [2] были выдвинуты предположения, что расы возбудителя пыльной головни состоят из более мелких единиц (изолятов, патотипов), вирулентность которых может отличаться от исходной расы по реакции на тест-сортах.

Таким образом, проведенные исследования продемонстрировали постоянно идущий процесс расообразования у возбудителя пыльной головни и накопление в популяции биотипов, способных преодолеть устойчивость непоражаемых ранее сортов.

Благодарности: Исследования выполнены при финансовой поддержке бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018»

Список литературы

1. Кривченко В. И. Устойчивость зерновых колосовых к возбудителям головневых болезней // М., 1984. 303 с.
2. Дружин А. Е. Расовая дифференциация Ustilago tritici (Pers). Rost. в Саратовской области с использованием канадских и советских сортов-дифференциаторов //Аграрный вестник Юго-Востока. 2009. №2. С.18-22
3. Кривченко В. И., Мягкова Д. В. Расы некоторых видов головни /Методические указания по идентификации. Л., 1972. 67 с.
4. Nielsen J. 1987. Races of Ustilago tritici and techniques for their study. Canadion Journal of Plant Pathology, V 9, 1987, P. 91–105. doi:10.1080/07060668709501888
5. Тихомиров В. Т. Устойчивость яровой пшеницы к пыльной головне в Восточной Сибири / автореф. канд. дис. Л., 1980. 23 с.

Генотипический полиморфизм по урожайности в сортовом ряду микрозелени гороха овощного

Пашкевич А.М.[1], [*], аспирант, зав. сект.; Чайковский А.И.[1], к. с-х. н., директор; Рупасова Ж.А.[2], д.б.н., зав. лаб.; Трофимов Ю.В.[3], к.т.н., директор

[1]РУП «Институт овощеводства», аг. Самохваловичи, Минский район, Республика Беларусь
[2]ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь,
[3]РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь
[*] 375298516620@mail.ru

В последние годы в Беларуси наметилась тенденция к существенному увеличению спроса на продукцию микрозелени овощных культур из-за ее высокой питательной ценности. Однако генетическая изменчивость между сортами по интересующим признакам на микрозелени малоизученна. По этой причине нами проведены исследования по изучению биомассы в сортовом ряду гороха овощного в культуре микрозелени.

Ключевые слова: *микрозелень, горох овощной, биомасса, генетический полиморфизм, урожайность.*

Genotipic polymorphism in yield in the varietal range of microgreens of vegetable peas

Pashkevich A.M.[1], graduate student, head sect.; Tchaikovsky A.I.[1], PhD, director; Rupasova Zh.A.[2], doctor, head of the laboratory; Trofimov Yu.V.[3], PhD, director*
[1]RUP "Institute of Vegetable Growing", ag. Samokhvalovichi, Minsk district, Republic of Belarus
[2]GNU "Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Republic of Belarus,
[3]RNPUP "Center of LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Republic of Belarus
** 375298516620@mail.ru*

In recent years, there has been a trend in Belarus towards a significant increase in demand for micro-green vegetable crops due to its high nutritional value. However, the genetic variability between varieties for the traits of interest in micro-greenery is poorly studied. For this reason, we have conducted research on the study of biomass in the varietal range of vegetable peas in the culture of microgreens.

Keywords: *microgreens, vegetable peas, biomass, genetic polymorphism, yield.*

Микрозелень (microgreens) – новый класс съедобных специализированных растений, представляющих собой нежную незрелую зелень, относящуюся к категории «функциональных продуктов» со свойствами, способствующими укреплению здоровья, помимо основной функции обеспечения питательными веществами. В зависимости от вида растений и условий выращивания, микрозелень обычно собирают на уровне грунта, обычно в течение 7-15 дней после прорастания семян [1]. В основном в микрозелени используются виды, принадлежащие семействам *Brassicaceae* Burnett, *Chenopodiaceae* Burnett, *Astteraceae* Bercht. & Presel, *Lamiaceae Martinov*, *Apiaceae* Lindl., *Amarillydaceae* J.St. - Hil., *Amaranthceae* Juss., Cucurbitaceae Juss. Особую популярность в качестве растений для производства микрозелени приобрело семейство *Fabaceae* Lindl. (Бобовые) из-за их высокой питательной ценности, обилия минералов и вторичных метаболитов, в целом, и такой вид, как горох овощной, который содержит генотипы, удовлетворяющие высоким требованиям органолептических показателей и полезности для здоровья человека, в частности [2]. При этом одним из важных аспектов выращивания микрозелени является подбор семян соответствующих высокопродуктивных сортов, обеспечивающих получение качественной продукции. По этой причине нами проведены исследования по изучению биомассы в сортовом ряду гороха овощного в культуре микрозелени с целью выявления перспективных генотипов и их дальнейшего использования при разработки технологии выращивания данной органической продукции.

Исследуемые образцы гороха овощного отбирались из существующей коллекции генетических ресурсов овощных культур РУП «Институт овощеводства». Изучаемые сортообразцы различались по группе созревания (ранняя – Преладо, Воронежский зеленый, среднеранняя – Белорусский овощной, Куявяк средняя – Павлуша, Радован, среднепоздняя – Слодыч, Прометей, поздняя – Фея, Торнадо), а также по селекционному происхождению, или по стране-оригинатору (Слодыч, Павлуша, Белорусский овощной, Прометей – Беларусь, Фея, Воронежский зеленый – Россия, Преладо – Нидерланды, Радован – Чехия, Торнадо – Германия, Куявяк – Польша). Контролем был выбран Слодыч, используемый Государственной инспекцией по испытанию сортов в качестве стандарта для гороха овощного.

Предварительно была определена лабораторная всхожесть и энергия прорастания отобранных семян лабораторным методом [3] для исключения фактора использования посевного материала с низкими кондиционными показателями. Установленная всхожесть находилась на уровне 98%, энергия прорастания – на уровне 97%. Посевной материал промывался и выдерживался в отстоянной воде (комнатной температуры + 22 °С, pH – 7,7, содержание хлора – не более 1,1 мг/л) в течение 12 часов. Перед посевом семена дезинфицировались 3% раствором перекиси водорода [4, 5] и снова промывались; посев выполнялся сплошным методом из расчета 160 шт. семян на делянку. Полив проводился через сутки по 60 мл на делянку отстоянной водопроводной водой ранее указанных характеристик. Культивирование микрозелени проводилось в полипластовых поддонах (179×132 мм, объемом 750 мл), стерилизуемых 96% этиловым спиртом. В качестве грунта для выращивания использовался подготовленный торфяной субстрат, проавтоклавированный в паровом автоклаве ВК-75-01 (время стерилизационной выдержки – 20 мин, при температуре 132±2˚С и давлении 0,1 МПа). Опыты закладывались в трехкратной повторности в три цикла выращивания. Расположение делянок – случайное (рендомизированное), размер одной делянки составлял 237 см^2 (17,9×13,2 см), площадь под одним вариантом – 0,4 м^2. Выращивание опытных растений осуществлялось в условиях светокультуры в фитотроне, оснащённом облучательной фитоустановкой стеллажного типа FLORA LED 300/2/4 разработки и производства Государственного научно-производственного унитарного предприятия «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси». Установка была оснащена десятью светодиодными светильниками ДСП08-3х12-004 УХЛ4 при интенсивности освещения 100 мкмоль/м^{2}сек и при продолжительности 14 часов. Учет урожайности микрозелени гороха овощного проводился ежедневно, начиная с 3-их суток выращивания, путем срезания опытных растений, их последующего взвешивания (определение сырой биомассы), пересчета на сухое вещество с учетом последнего показателя, установленного по ГОСТ 28561-90 [6] (определение сухой биомассы). Данные урожайности в

г/м^2 приведены в табл. 1 для каждого сортообразца, на момент достижения горохом овощным товарного вида (согласно коммерческим протоколам выращивания) – на 10-е сутки выращивания.

Проведенные исследования позволили установить генотипический полиморфизм исследуемых сортообразцов гороха овощного по формированию урожайности. Абсолютным лидером по накоплению биомассы показал себя горох овощной Павлуша, превысивший контроль по данному показателю почти в 1,5 раза. Также урожайными образцами были отмечены Преладо и Воронежский зеленый, сформировавшими сухую биомассу на 10-е сутки культивирования 231,6±0,6 и 242,0±1,6 г/м^2, соответственно. На уровне с контролем по урожайности были установлены сортообразцы польской и немецкой селекции – Куявяк и Торнадо – 191,4±0,5 и 191,5±1,3 г/м^2 соответсвенно. Наименьшим показателем биомассы на 10-е сутки выращивания характеризовались горох овощной Фея, Прометей и Радован, которые были меньше контроля по биомассе в 1,5-1,9 раза (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность микрозелени гороха овощного, выраженная в виде биомассы, в г/м^2, на 10-е сутки выращивания

№	Сортообразец	Сырая биомасса		Биомасса в пересчете на сухое вещество	
		$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t
1	Слодыч, *контроль*	1585,0±6,4		196,5±1,4	
2	Павлуша	2133,1±16,0	31,8*	291,0±2,2	40,7*
3	Бел. овощной	1638,3±8,7	4,9*	171,0±0,9	-21,1*
4	Преладо	1805,0±4,7	27,8*	231,6±0,6	35,3*
5	Фея	1236,3±20,0	-16,6*	100,3±1,6	-53,3*
6	Прометей	1564,7±15,5	-1,2	126,6±1,3	-47,1*
7	Ворон. зелен.	1892,3±12,8	21,5*	242,0±1,6	25,0*
8	Радован	1557,3±12,2	-2,0	124,0±1,0	-58,0*
9	Торнадо	1635,3±10,7	4,0*	191,5±1,3	-3,4*
10	Куявяк	1623,3±4,1	5,1*	191,4±0,5	-5,6*

*Примечание * – Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем при p<0,05*

Исходя из проведенных опытов по оценке урожайности среди десяти сортообразцов гороха овощного в культуре микрозелени, удалось установить генотипический полиморфизм в сортовом ряду, который мы расположили по мере убывания биомассы: Павлуша > Воронежский зеленый > Преладо > Слодыч, *контроль* > Торнадо = Куявяк > Белорусский овощной >

Прометей > Радован > Фея. Также нами не было установлено зависимости накопления биомассы исследуемыми образцами от группы созревания.

Благодарности: Исследования выполнены в рамках Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», подпрограмма 6 «Земледелие и селекция».

Список литературы

1. Пашкевич, А.М. Микрозелень – новая категория органической овощной продукции / А.М. Пашкевич, Н.В. Медведь, О.С. Мороз // Научно-инновационные основы развития отрасли овощеводства: тезисы докладов Международной научно-практической конференции, аг. Самохваловичи, Минский район, 14-16 августа, 2018 г. / Институт овощеводства; редкол.: А.И. Чайковский (гл. ред) [и др.]. Самохваловичи, 2018. С. 25-28.
2. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens/ Z. Xiao [et al.] // Postharvest Biology and Technology. 2015. Vol. 110. P. 140-148.
3. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести: ГОСТ 12038-84. – Введ. 01.07.86. – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1995. 21 с.
4. Гордеева, А.Н. Влияние предпосевной обработки семян на развитие микрозелени / А.Н. Гордеева [и др.] // "Агротехнологии XXI века", Всеросс. науч.-практ. конференц. (2016; Пермь) / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, ФГБОУВО "Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академ. Д. Н. Прянишникова"; ред. Ю. Н. Зубарев [и др.]. Пермь: ИПЦ "Прокростъ", 2016. С. 318-320.
5. Кунавин, Г. Обработка семян овощных культур раствором перекиси водорода и гидроперита / Г. Кунавин, М. Касторнова // Овощеводство и тепличное хозяйство: научно-практический журнал. 2017. № 1. С. 7-10.
6. Методы определения сухих веществ: ГОСТ 8756.2-82. Введен 01.01.1983. М.: Издательство стандартов,1982. 5 с.

Влияние аллельного разнообразия генов, контролирующих фотопериод, на сроки созревания сои

Перфильев Р.Н.[1], аспирант; Щербань А.Б.[1,2], д.б.н., с.н.с.; Потапов Д.А.[3], к. с.-х.н. в.н.с.; Максименко К.В.[4], к. с.-х.н. н.с.; Кирюхин С.В.[4], к.с.-х.н., в.н.с.; Гуринович С.О.[4], зав. группы; Панарина В.И.[4] к.с.-х.н., рук. ССЦ; Полюдина Р.И.[3] д. с.-х.н., рук. ССЦ; Салина Е.А.[1,2], д.б.н., рук. КГЦ ИЦиГ СО РАН*

[1]ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
[2]Курчатовский геномный центр ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия
[3]Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, Новосибирск, Россия.
[4]ФГБНУ Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур, Орел, Россия.
**email: PerfilyevRN@bionet.nsc.ru*

Создание скороспелых сортов сои, адаптированных к условиям умеренного климата — одна из приоритетных задач в селекции отечественных сортов сои. В данной работе генотипированы основные аллели генов E1-E4, E9 и GmFT5a в коллекции из 180 сортообразцов сои различного происхождения. Также определено влияние установленных генотипов на вегетационный период в условиях Новосибирской и Орловской области. В результате было показано, что сортообразцы с генотипами e1-as/e2/e3/e4 и e1-nl/e2/e3/e4 имеют самый короткий вегетационный период в обоих областях. Следовательно, данные генотипы являются приоритетными в селекции сои на скороспелость в климатических условиях средней полосы РФ и Западной Сибири.

Ключевые слова: *соя, E гены, GmFT5a, вегетационный период.*

Effect of allelic variation of photoperiod geneson soybean maturity time

Perfiliev R.N.[1]; Shcherban A.B.[1,2]., Potapov D.A.[3]; Maksimenko K.V.[3]; Kiryukhin S.V.[4]; Gurinovich S.O.[4]; Panarina V.I.[4]; Polyudina R.I.[3]; Salina E.A.[1,2]*
[1]Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia.
[2]Kurchatov Genomic Center ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia
[3]Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies, Novosibirsk, Russia. RAS.
[4]Federal Scientific Center for Legumes and Groats, Orel, Russia.
**email: PerfilyevRN@bionet.nsc.ru*

The creation of early maturing soybean varieties adapted to temperate climate is one of the priority tasks in the breeding of domestic soybean cultivars. In this work, the main alleles of the E1-E4, E9 and GmFT5a genes were genotyped in a collection of 180 soybean accessions of various origins. The influence of the

established genotypes on vegetation period in the conditions of the Novosibirsk and Oryol regions was determined. As a result, accessions with genotypes e1-as/e2/e3/e4 and e1-nl/e2/e3/e4 had the shortest maturity time in both regions. Therefore, the achievement of these genotypes is a priority in soybean breeding for lower maturity time for climatic conditions of the Russian central zone and Western Siberia.

Keywords: *soybean, E genes, GmFT5a, vegetation period.*

Соя — культура короткого дня с сильной реакцией на фотопериод. В условиях Новосибирской и Орловской областей при длинном световом дне, продолжительность фаз цветения и созревания сои сильно затягивается, из-за чего она не успевает созреть до наступления первых заморозков. Гены *E1-E4* имеют самый сильный эффект на чувствительность к фотопериоду. Накопление рецессивных аллелей генов *E1-E4* снижает реакцию на фотопериод, что уменьшает вегетационный период при длинном дне [1-4]. Также некоторые вариации в вегетационном периоде могут быть обусловлены эффектом генов *E9* [5] и *GmFT5* [6]. Ранее установленная структура различных аллелей обозначенных генов, определяющих тот или иной эффект на фенотип, делает возможным разработку и использование аллель специфичных молекулярных маркеров, для изучения генофонда сои и высокоэффективной маркерной селекции. В коллекции Сибирского НИИ кормов (СибНИИК, г. Новосибирск) поддерживаются сортообразцы различного происхождения, большая часть которых адаптирована к продолжительности светового периода в Западной Сибири. Целью настоящей работы было генотипирование указанной коллекции по генам *E1-E4*, *E9* и *GmFT5*, а также оценка влияния различных аллелей на продолжительность вегетационного периода в условиях Новосибирской и Орловской областей.

Материалом послужили 172 сортообразца сои из коллекции СибНИИК и 8 сортов, полученных от компании «ЭФКО» (г. Белгород).

В 2021 году в полевых условиях СибНИИК (55° с.ш.) и Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур (ФНЦ ЗБК, 53° с. ш., г. Орёл), была изучена продолжительность основных фаз развития сои: всходы, цветение и созревание, согласно общепринятой методике [7].

В работе использовали ранее разработанные ДНК-маркеры для идентификации основных аллелей генов *E1* [1, 8], *E2* [2], *E3* [3, 9], *E4* [4;10], *E9* [5] и *GmFT5a* [8].

В результате проведенного генотипирования мы установили почти полное преобладание рецессивных аллелей генов *E1-E4* в изученной коллекции сортообразцов сои (таблица). Полученный результат подтверждает ключевую роль этих аллелей в адаптации сои к указанным выше широтам. При этом в коллекции СибНИИК широкое распространение получили аллели *e1-nl, e3-fs* и *e4-kes*, которые редко встречаются в зарубежных коллекциях сои.

Все сортообразцы несли доминантный аллель *E9*, который сокращает вегетационный период. Три сорта: Кассиди, Припять и Актай имели довольно редкий для зарубежных сортов гаплотип *GmFT5a-H4,* ассоциированный с ранним цветением, поэтому эти сорта могут использоваться в селекции в качестве доноров данного гаплотипа.

Таблица – Установленные в работе аллели генов *E1-E4*

E1	N*	%	*E2*	N	%	*E3*	N	%	*E4*	N	%
e1-nl	118	62,6	*e2*	168	93,3	*e3-fs*	122	67,7	*e4-SORE-1*	93	51,6
e1-as	59	32,8	*E2*	12	6,6	*e3-tr*	38	21,1	*e4-kes*	45	25,5
E1	2	1,1				*e3-ns*	10	5,5	*E4*	42	2,7
e1-fs	1	0,5				*E3-Ha*	8	4,4			
						*e3***	2	1,1			

* — кол-во сортообразцов; ** — смесь аллелей *e3-fs* и *e3-tr*

В результате полевого эксперимента в Новосибирске 10 сортообразцов к концу вегетационного периода не достигли полной зрелости. Из анализа по Новосибирской области данные образцы были исключены. В условиях Орловской области все образцы к концу вегетации достигли полной зрелости.

В условиях как Новосибирской, так и Орловской области наиболее раннеспелыми оказались сортообразцы, содержащие генотипы *e1-as/e2/e3/e4* и *e1-nl/e2/e3/e4*, за исключением сорта Бара (*e1-as/e2/e3/e4*), созрели в условиях Новосибирской области (рисунок).

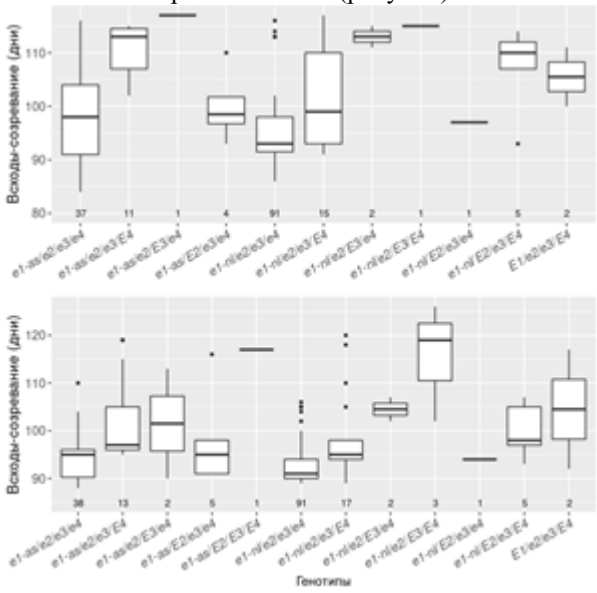


Рисунок. Время созревания установленных генотипов: а) 170 сортообразцов в условиях Новосибирской области; б) 180 сортообразцов в условиях Орловской области.

Следовательно, данные генотипы могут выступать в качестве ориентира в селекции на скороспелость, для создания сортов, пригодных к возделыванию в регионах России с умеренным климатом. Генотипы с доминантным аллелем *E3* имели самый длинный вегетационный период в обоих областях. В Новосибирске половина сортообразцов несущих *E3* к концу вегетации не достигли полной спелости. Следовательно, наличие рецессивного аллеля *E3* критически необходимо для создания сортов, пригодных к возделыванию в Западной Сибири. Доминантный аллель *E4* также увеличивает вегетационный период в обоих зонах. Влияние гена *E2* на изученном материале установить не удалось.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, № 21-76-30003.

Список литературы

1. Xia Z., Watanabe S., Yamada T., et al. Positional cloning and characterization reveal the molecular basis for soybean maturity locus *E1* that regulates photoperiodic flowering // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2012. V. 109. e2155-2164.
2. Watanabe S., Xia Z., Hideshima R., et al. A map-based cloning strategy employing a residual heterozygous line reveals that the GIGANTEA gene is involved in soybean maturity and flowering // Genetics. 2011. V. 188. P. 395–407.
3. Watanabe S., Hideshima R., Xia Z., et al. Map-based cloning of the gene associated with the soybean maturity locus *E3* // Genetics. 2009. V. 182. P. 1251–1262.
4. Liu B., Kanazawa A., Matsumura H. et al. Genetic redundancy in soybean photoresponses associated with duplication of the phytochrome A gene // Genetics. 2008. V. 180. P. 995–1007.
5. Zhao, C., Takeshima, R., Zhu, J. et al. A recessive allele for delayed flowering at the soybean maturity locus *E9* is a leaky allele of *FT2a*, a *FLOWERING LOCUS T* ortholog // BMC Plant Biol. 2016. V.16. P. 20.
6. Takeshima R., Hayashi T., Zhu J., et al. A soybean quantitative trait locus that promotes flowering under long days is identified as *FT5a*, a *FLOWERING LOCUS T* ortholog // J. Exp. Bot. 2016. V. 67. P. 5247–5258.
7. Корсаков Н.И., Адамова О.А., Будакова В.И. Методические указания по изучению колекции зерновых бобовых культур Л.: ВИР. 1975. с. 59
8. Перфильев Р.Н., Щербань А.Б., Салина Е.А. Разработка панели маркеров для генотипирования отечественных сортов сои по генам, контролирующим срок вегетации и реакцию на фотопериод // Вавиловский журнал селекции и генетики. 2021. Т.25. No7. С. 761–769.
9. Xu M., Xu Z., Liu B., Kong F., et al. Genetic variation in four maturity genes affects photoperiod insensitivity and PHYA-regulated post-flowering responses of soybean // BMC Plant Biol. 2013. V. 13. P. 91.
10. Tsubokura Y., Matsumura H., Xu M., et al. Genetic Variation in Soybean at the Maturity Locus E4 Is Involved in Adaptation to Long Days at High Latitudes // Agronomy. 2013. V. 1. P.117–134.

Оценка исходного селекционного материала пшеницы по отзывчивости к андрогенезу *in vitro*

Петраш Н.В., м.н.с. лаборатории генофонда растений*
Капко Т.Н., н.с. лабораторрии селекции, семеноводства и технологии возделывания полевых культур

СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН, 630501, НСО, г. Новосибирск, р.п. Краснообск, С-200, зд. 5/1, а/я 375
**pnv11@bionet.nsc.ru*

Данная работа посвящена изучению андрогенетического потенциала исходного селекционного материала при культивировании пыльников in vitro. Установлено, что максимальными значениями изучаемых признаков характеризуются сорт Новосибирская 15 и гибрид №3 (Новосибирская 15 × Лютесценс ШТ-335). Полученные ДГ-линии будут включены в дальнейший селекционный процесс.

Ключевые слова: *культура пыльников, сорт, гибриды, удвоенные гаплоиды, пшеница.*

Evaluation of the original breeding material of wheat by responsiveness to androgenesis *in vitro*

Petrash N.V., Junior Researcher; Kapko T.N., Researcher*
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 630501, Novosibirsk region, Novosibirsk district, r.p. Krasnoobsk, PO Box 375.
**pnv11@bionet.nsc.ru*

This paper is devoted to the study of the androgenetic potential of the initial breeding material in anther culture. It was established that the Novosibirskaya 15 variety and F_2 combination No. 3 (Novosibirskaya 15 × Lutescens ShT-335) are characterized by the maximum values of the evaluated traits. The generated DH-lines will be included in the further breeding process.

Keywords: *anther culture, variety, hybrids, doubled haploids, wheat.*

Культура пыльников *in vitro* (КП) является наиболее эффективным технически не сложным инструментом для получения удвоенных гаплоидов пшеницы, DH (от английского doubled haploids) [1, 2]. Данный метод позволяет за одну генерацию получить однородные гомозиготные линии и избежать нескольких поколений самоопыления, тем самым способствует снижению сроков и стоимости выведения новых сортов. Однако, существуют факторы, ограничивающие эффективность КП, такие как сильная генотипиче-

ская зависимость и альбинизм. Увеличение эффективности КП пшеницы может быть достигнуто путем использования в скрещиваниях отзывчивого селекционного материала [3]. Известно, что признаки андрогенеза *in vitro* имеют большую видовую и сортовую изменчивость и обусловлены действием генов и QTL, расположенных в разных хромосомах [3, 4]. Таким образом, целесообразно проводить оценку исходных сортов и линий для выявления отзывчивых к андрогенезу *in vitro* образцов, что позволит значительно облегчить селекционный процесс.

Целью настоящей работы было проведение оценки исходного селекционного материала по способности к андрогенезу в культуре пыльников *in vitro*.

В качестве материала использовали перспективные для селекции сорта и их гибриды F_2 (табл. 1).

Таблица 1 – Список гибридов F_2 пшеницы и их родительских сортов, оцениваемых по отзывчивости в культуре пыльников

Сорт	Гибриды F_2	
	№	Комбинация скрещивания
Новосибирская 15	№ 3	Новосибирская 15 × Лютесценс ШТ-335
Новосибирская 16	№ 2	Новосибирская 15 × Лютесценс 111/09
Новосибирская 18	№ 7	Новосибирская 16 × Лютесценс 111/09
Новосибирская 31	№ 9	Новосибирская 18 × Лютесценс 111/09
Новосибирская 75	№ 61	Новосибирская 18 × Сигма
Загора Новосибирская	№ 23	Новосибирская 75 × Лютесценс. 111/09
Обская 2	№ 14	Новосибирская 31 × Лютесценс 111/09
КВС Торридон	№ 26	Загора Новосибирская × Лютесценс 111/09
Сигма	№ 24	Загора Новосибирская × Обская 2
Лютесценс 111/09	№ 25	Загора Новосибирская × КВС Торридон
Лютесценс ШТ-335		

Растения-доноры пыльников пшеницы выращивались в полевых условиях на селекционном участке СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН в 2022 г. Основные этапы КП *in vitro* проводили согласно изложенным методикам [5, 6]. Колосья с главных побегов собирали, когда микроспоры в пыльниках находились в средней или поздней одноядерной стадии. Инокуляцию пыльников проводили в чашки Петри, содержащие 15–20 мл индукционной среды N6 с добавлением 90 г/л мальтозы, 2,5 мг/л $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 100 мг/л миоинозитола, 1 мг/л 2,4-Д, 0,5 мг/л кинетина и 6 г/л агара. После 30–40 дней инкубации при температуре 28˚С новообразования (каллусы и эмбриоподобные структуры) переносили по 3–5 структур в 28 мм Ø пробирки с регенерационной средой Гамборга, B5, без фитогормонов с добавлением сахарозы – 30 г/л и растительного агара – 5 г/л. Регенерация проростков происходила под светодиодными лампами при 16-часовом световом периоде и темпера-

туре 18–20˚С в течение 20–30 дней. Зеленые растения-регенеранты выращивались под светодиодными лампами при температуре 19–21˚С и влажности около 60–70 %. Статистическая обработка проводилась с помощью программы MS Excel 2013. Оценку влияния генотипа на изучаемые признаки проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа.

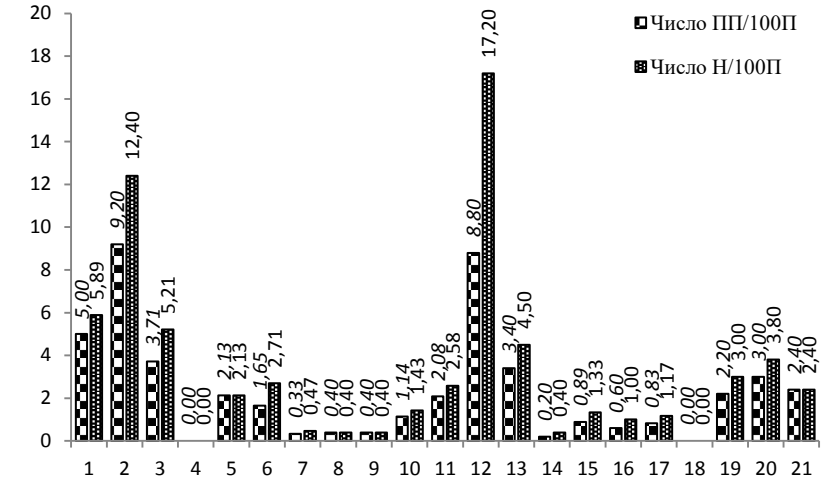
Культивирование пыльников приводило к формированию новообразований, включающих плотные беловатые структуры (эмбриоиды) или каллусы. Их дальнейшее культивирование приводило к образованию зеленых и альбиносных проростков, однако часть новообразований развивались по типу ризогенеза или оставались без развития. Для оценки эффективности КП проводили учет по показателям: число продуктивных пыльников на 100 выделенных пыльников (ПП/100П), число новообразований на 100 выделенных пыльников (Н/100П), число всех регенерантов на 100 выделенных пыльников (ВР/100П), число зеленых регенерантов на 100 выделенных пыльников (ЗР/100П), число альбиносов на 100 выделенных пыльников (А/100П). Статистический анализ показал, что влияние генотипа было достоверным ($p<0,0001$) по всем изучаемым признакам (табл. 2).

Таблица 2 – Однофакторный дисперсионный анализ признаков андрогенетического ответа в культуре пыльников *in vitro* сортов и гибридов F_2 пшеницы

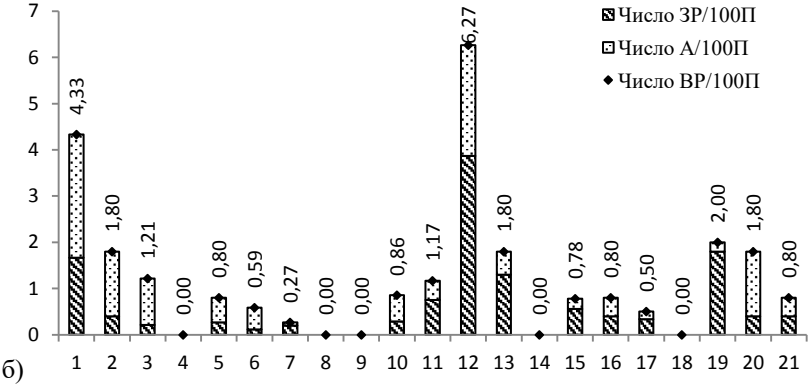
Источник варьирования	*df*	Число ПП/100П		Число Н/100П		Число ЗР/100П		Число А/100П	
		MS	r_{wg}	MS	r_{wg}	MS	r_{wg}	MS	r_{wg}
Фактор «генотип»	20	22,19*	0,84	55,45*	0,73	2,49*	0,79	0,77*	0,52
Случайные факторы	42	1,32		5,95		0,21		0,42	

Примечание. * значения достоверно различаются при $p< 0.0001$; MS – средний квадрат отклонений; r_{wg}– доля влияния факторов «генотип»; *df* – число степеней свободы; ПП/100П – продуктивные пыльники/100пыликов; Н/100П – новообразования/100пыльников; ЗР/100П – зеленые растения-регенеранты/100П; А/100П – альбиносы/100П

Оценка андрогенеза *in vitro* пыльников изучаемых образцов пшеницы показала их различную реакцию (рисунок а, б). Число ПП/100П для изучаемых образцов варьировало от 0 (Новосибирская 31, гибрид №14) до 9,2 (Новосибирская 16) при среднем 2,26. Достоверно превысили среднее значение Новосибирская 15, Новосибирская 16 и гибрид №3. По числу сформированных новообразований достоверно выше среднего значения (3,27) оказались образцы Новосибирская 16 и гибрид №3. Варьирование признака число Н/100П было в пределах от 0 до 17,20. Способность к формированию проростков является одним из главных показателей андрогенетической способности.



а)



б)

Рисунок. Показатели андрогенной способности в культуре пыльников *in vitro* сортов и гибридов F_2 пшеницы: а) – число продуктивных пыльников/100 пыльников и число новообразований/100 пыльников; б) – число зеленых растений/100 пыльников, число альбиносов/100пыльников и число всех регенерантов/100 пыльников; *1* – Новосибирская 15; *2* – Новосибирская 16; *3* - Новосибирская 18; *4* - Новосибирская 31; *5* - Новосибирская 75; *6* - Загора Новосибирская; *7* - Обская 2; *8* - КВС Торридон; *9* – Сигма; *10* - Лютесценс 111/09; *11* - Лютесценс ШТ-335; *12* - Новосибирская 15 × Лютесценс ШТ-335; *13* - Новосибирская 15 × Лютесценс 111/09; *14* - Новосибирская 16 × Лютесценс 111/09; *15* - Новосибирская 18 × Лютесценс 111/09; *16* - Новосибирская 18 × Сигма; *17* - Новосибирская 75 × Лютесценс 111/09; *18* - Новосибирская 31 × Лютесценс 111/09; *19* - Загора Новосибирская × Лютесценс 111/09; *20* - Загора Новосибирская × Обская 2; *21* - Загора Новосибирская × КВС Торридон; $НСР_{0,05}$ (Число ПП/100П) =1,89; $НСР_{0,05}$ (Число Н/100П) = 4,02; $НСР_{0,05}$ (Число ЗР/100П) =0,75; $НСР_{0,05}$ (Число А/100П) = 1,07; $НСР_{0,05}$ (Число ВР/100П) =1,4.

По опыту среднее число ВР/100П составило 1,23, лучше регенерировали в проростки Новосибирская 15 и гибрид №3. Число ЗР/100П превышало среднее значение (0,62) для Новосибирской 15, гибридов №3 и №26. Причем доля зеленых проростков гибрида №26 составила 90%. Явление альбинизма является ограничивающим фактором в получении DH-растений при андрогенезе *in vitro*. В нашем опыте доля зеленых растений в общем числе проростков преобладала (≥50 %) у образцов: Обская 2, Лютесценс ШТ-335, гибриды №3, №2, №9, №23, № 26 и №25. Из результатов дисперсионного анализа следует, что явление альбинизма обуславливается генотипом примерно на 50 %.

В результате проведенного эксперимента были получена характеристика исходного селекционного материала по отзывчивости к андрогенезу *in vitro*, созданы ДГ-линии. Установлено что максимальными значениями изучаемых признаков характеризуются сорт Новосибирская 15 и гибрид №3 (Новосибирская 15 × Лютесценс ШТ-335). Полученные ДГ-линии будут включены в дальнейший селекционный процесс.

Благодарности: Работа поддержана бюджетными проектами ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0008 и № FWNR-2022-0018.

Список литературы

1. Уразалиев К.Р. Гаплоидные технологии в селекции растений // Биотехнология. Теория и практика. 2015. № 3. С. 33–44. DOI: 10.11134/btp.3.2015.4
2. Lantos C., Pauk J. Anther culture as an effective tool in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding // Russian Journal of Genetics. 2016. V. 52. No 8. P. 794–801. DOI: 10.1134/S102279541608007X
3. Lantos C., Pauk J. Factors influencing the efficiency of wheat anther culture // Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica. 2020. V. 62. No 2. DOI: 10.24425/abcsb.2020.131671
4. Nielsen N.H., Andersen S.U., Stougaard J., Jensen A., Backes G., Jahoor A. Chromosomal regions associated with the in vitro culture response of wheat (*Triticum aestivum* L.) microspores // Plant breeding. 2015. V. 134. No 3. P. 255–263. DOI: 10.1111/pbr.12257
5. Першина Л.А., Осадчая Т.С., Бадаева Е.Д., Белан И.А., Россеева Л.П. Изучение особенностей андрогенеза в культуре пыльников сортов и перспективной формы яровой мягкой пшеницы западносибирской селекции, различающихся наличием или отсутствием пшенично-чужеродной транслокации // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. № 1. С. 40–49.
6. Pauk J., Mihály R., Puolimatka M., Protocol of wheat (*Triticum aestivum* L.) anther culture // Maluszynski M., Kasha K.J., Forster B.P., Szarejko I. (eds) Doubled Haploid Production in Crop Plants. Springer, Dordrecht, 2003. P. 59–64. DOI: 10.1007/978-94-017-1293-4_10

Источники полезных признаков пшеницы мягкой яровой, выделившиеся при изучении коллекции в 2016-2018 гг.

Пискарев В.В.[1], к.с.-х.н., заведующий лабораториией, Зуев Е.В.[2] к.с.-х.н., ведущий научный сотрудник отдела ГР пшеницы, Бойко Н.И.[1], младший научный сотрудник*

[1]*Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, пос. Краснообск, Новосибирская обл, Российская Федерация.*
[2]*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР), Санкт Петербург, Российская Федерация.*
**e-mail: piskaryov_v@mail.ru*

Дана комплексная оценка 407 коллекционных образцов пшеницы мягкой яровой по урожайности, выраженности элементов продуктивности, устойчивости к полеганию и болезням. В результате изучения выделены источники ценных признаков – 6 образцов, характеризовались укороченными периодами «Всходы - Колошение» или «Колошение – Созревание»; 25 образцов, с высокой урожайностью; 27 с высокой массой 1000 зерен в годы изучения; 32 с высоким числом зерен в колосе; 86 устойчивых к мучнистой росе и бурой ржавчине пшеницы.

***Ключевые слова:** яровая пшеница, признаки продуктивности, сорт, устойчивость, инфекционный фон.*

Varieties, sources of agronomically valuable traits of soft spring wheat, distinguished from collection in 2016-2018.

Piskarev V.V.[1], Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory, Zuev E.V.[2] Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Wheat GR Department, Boyko N.I.[1], junior researcher.*
[1]*Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics SB RAS, pos. Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russian Federation.*
Federal State Budget Scientific Institution "Federal Research Center of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov (VIR), Sankt Peterburg Russian Federation.
**e-mail: piskaryov_v@mail.ru*

A comprehensive assessment of 407 collection samples of soft spring wheat in terms of yield, severity of productivity elements, resistance to lodging and diseases is given. As a result of the study, sources of agronomically valuable traits were identified – 6 varieties characterized by shortened periods of "Sprouting - Earing" or "Earing – Ripening"; 25 samples with high yields; 27 with a high 1000 grains weight; 32 with a high quantity of grains in the ear; 86 resistant to powdery mildew and leaf rust of wheat.

Keywords: *spring wheat, productivity traits, variety, resistance, infectious background.*

На территории Новосибирской области выращивают пшеницу мягкую (*Triticum aestivum* L.) и пшеницу твердую (*Triticum durum* Desf.) с яровым и озимым типом развития. Пшеница мягкая яровая занимает лидирующее место по посевным площадям, это связано с климатическими особенностями региона.

Рутц Р.И. [1] выделяет перспективную задачу селекции - создание сортов для специфических условий Западной Сибири, что позволит увеличить урожайность и повысить качество.

В работах ряда авторов [2, 3] отмечается значительная роль гибридизации в селекции, которую применяют для получения изменчивости и создания популяции для отбора. В связи с особенностями природных условий Сибири селекционерам необходимо создавать сорта с оптимальным вегетационным периодом, устойчивые к биотическим и абиотическим факторам, пластичные сорта [4].

Для создания новых сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) чаще всего используют метод внутривидовой гибридизации. При этом важно не только изучить исходные сорта, необходимо изучать, как наследуются и передаются количественные признаки от родителей к потомкам [5].

Таким образом, целью данного исследования было - поиск новых источников полезных признаков пшеницы мягкой яровой с последующим использованием в селекционном процессе.

Условия проведения исследований

Исследования проводили на опытном поле лаборатории генофонда растений. 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. Отмечается резкое колебание суточных температур в период вегетации, сумма активных температур составляет 1890°С (в среднем по годам). Новосибирская область относится к гидротермической зоне с недостаточным и неустойчивым увлажнением, поэтому лимитирующим фактором произрастания сельскохозяйственных культур в зоне является влага. ГТК по Г.Т. Селянинову = 1,20.

По влагообеспеченности вегетационный период 2016 года характеризовался оптимальным увлажнением ГТК = 1,1, 2017 год - повышенным увлажнением (ГТК=1,6), 2018 год - год с избыточным увлажнением (ГТК=1,9).

Материал и методика проведения исследования

Материалом для проведения исследования послужили 407 коллекционных образцов пшеницы мягкой яровой из питомников второго и третьего года изучения.

Закладка опытов по пару. Анализы и учёт при изучении коллекции проводили по методике ВИР [6]. Сорта стандарты: пшеница мягкая яровая – ранние Новосибирская 15, среднеранние – Новосибирская 31, среднеспелые – Обская 2, среднепоздние – Сибирская 17.

Посев питомников проводили во 2-3 декадах мая сеялкой ССФК – 7 на 1 м^2 или 2 м^2 в зависимости от количества семян образца. Полные всходы отмечали на 8-11 день в питомнике.

Результаты исследований

В результате изучения новых поступлений в коллекцию СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН в период с 2016-2018 гг. дана оценка 407 образцам в питомниках изучения коллекции 1-3 года. Для условий лесной зоны Западной Сибири актуально создание сортов с укороченным периодом вегетации (ранние). Несмотря на то, что среди изученных образцов не выявлено ни одного с общей продолжительностью вегетационного периода меньше раннего стандарта (Новосибирска 15 – 72,9 дн.) можно отметить 6 образцов, характеризующихся укороченными периодами «Всходы - Колошение (Shen 68-71 – 33,0, Фора – 32,5 и М83-1581 -35,5 дн.) или «Колошение - Созревание» (Канская – 34,5, Ke Zhuang – 34,0 и Yumai 34 – 34,5 дн.). Следует отметить, что все выделенные образцы характеризуются урожайностью на уровне среднего значения (Shen 68-71 – 289,9, Фора – 276,8, Канская - 393,7, Ke Zhuang - 273,1, и М83-1581 – 251, М77-1140 - 284,9, Yumai 34 - 266,5 г/м^2) и не ниже раннего стандарта (Новосибирская 15 – 382,6 г/м^2). Кроме того, образец из Китая Yumai 34 высоко устойчив к мучнистой росе (7 баллов) и бурой ржавчине (7 баллов), сорт Фора к мучнистой росе (7 баллов). Сорт Shen 68-71 включен в гибридизацию с сортами сибирской селекции.

Основным критерием в селекционной практике является высокая урожайность новых линий. Для расширения генетического разнообразия сортов с высокой урожайностью необходимо привлекать в скрещивания высокоурожайные образцы из других регионов и стран. За годы изучения нами выделены 25 образцов пшеницы мягкой яровой, характеризующихся высокой урожайностью (Тулайковская Надежда - 417,2, Самгау - 435,6, КВС Аквилон - 456,9, Лютесценс 1028 - 469,1, Степная нива – 470, Лютесценс 125/2003 - 470,7, Агата – 476, Лютесценс 120/2003 - 487,7, Новосибирская 41 - 498,7, Лютесценс 2149 - 500,7, Pasteur – 504, Алтайская 75 - 514,2, Эритроспермум

35 - 515,1, Родник - 518,5, Тобольская - 519,1, Лютесценс 1-13 г - 520,8, Новосибирская 47 - 527,9, Эритроспермум 85-08 - 531,9, Лютесценс1082 - 535,8, Шортандинская 2014 - 537,8, Радуга - 557,6, Хуторянка - 564,4, Экада 109 - 588,8, Сигма 2 - 589,9, Ульяновская 101 – 604 г/м^2), устойчивых к полеганию (7-9 баллов) с продолжительностью периода «Всходы – Колошение» не более среднепозднего стандарта (Сибирская 17 – 44,9 дн.). Образцы характеризуются различной продолжительностью вегетационного периода от среднеранних (Новосибирская 41 – 41, Лютесценс 2149 – 41 дн.) до среднепоздних (Тобольская – 45,5, Хуторянка – 44,5, Радуга – 44 дн. и др.). Среди выделившихся образцов вовлечены в дальнейшую селекционную работу такие сорта как Тулайковская Надежда (среднеспелый (42 дн.) сорт из Самарской области, устойчивый к мучнистой росе и бурой ржавчине пшеницы (7 б.)), Самгау (высокостебельный (91,7 см.), среднеспелый (42 дн.) сорт из Казахстана), КВС Аквилон (короткостебельный (64 см.), среднепоздний (43 дн.), иммунный (99 б.) к основным заболеваниям сорт из Германии), Радуга (среднепоздний (44 дн.) сорт из Курганской области, устойчивый к мучнистой росе (8 б.)), Хуторянка (среднепоздний (44,5 дн.), с высокой устойчивостью к основным заболеваниям (мучнистая роса – 8, бурая ржавчина – 99 б.) сорт сильной пшеницы из Тамбовской области) и Экада 109 (среднепоздний (42,5 дн.), с высокой устойчивостью к основным заболеваниям (мучнистая роса – 99, бурая ржавчина – 7 б.) сорт из Татарстана).

В условиях Западной Сибири ключевое значение в увеличении урожайности может иметь крупность зерна, что связано с особенностями распределения осадков в регионе. В результате изучения коллекции нами выделены 27 образцов, характеризующихся высокой массой 1000 зерен в годы изучения. Фактическое проявление признака у выделенных сортов варьировало от 40,0 г (Кайыр и Тулайковская Надежда) до 47,3 (Jiu Nong 10 и стандарт Обская 2). Особо следует отметить сорта Экада 109 – 46,9, Радуга – 47,2 и Ульяновская 101 – 46,2 г, которые также формировали высокую урожайность (Экада 109 – 588,8, Радуга – 557,6 и Ульяновская 101 – 604 г/м^2) и характеризуются устойчивостью к болезням (мучнистая роса – 99, 8, 9, бурая ржавчина – 7, 6, 9 б., соответственно).

На ряду с высокой массой 1000 зерен важным признаком от которого зависит урожайность пшеницы является число зерен, формируемое в колосе. По числу зерен в колосе нами выделены 32 образца различного географического происхождения, характеризующихся повышенной выраженностью признака в годы исследований. Следует отметить, что 5 образцов (Sparrow – 40,2, Corso – 40,7, Pasteur – 44,6, Long Fu 8 – 44,6 и Лютесценс 7/04-10 – 48,5 шт.) формировали достоверно большее число зерен в колосе в сравнении с лучшим по признаку стандартом – Сибирская 17 (33,4 шт.) и были устойчивыми к одному или двум заболеваниям (мучнистая роса – 99 б. (Sparrow, Pasteur, Long Fu 8, Лютесценс 7/04-10), бурая ржавчина – 9 б. (Sparrow), 7 б.

(Corso, Pasteur, Лютесценс 7/04-10).

Интегральным признаком, складывающимся из числа зерен в колосе и его крупности, является масса зерна колоса. Данный признак чаще других используют селекционеры при отборах отдельных колосьев при формировании селекционного питомника 1-го года. В целом за 3 года изучения коллекции выделялись 26 образцов с высокой массой зерна колоса в различные годы, которые были устойчивы к полеганию. Следует отметить, что, не смотря на значительное количество источников, достоверное превышение среднего значения лучшего стандарта (Обская 2 – 1,45 г) отмечено лишь по 1 образцу – Лютесценс 7/04-10 (2,18 г), который характеризовался затянутой вегетацией (49 дн.), высокой урожайностью (588,6 г/м^2) и устойчивостью к мучнистой росе (99 б.) и бурой ржавчине (7 б.) пшеницы.

Коэффициент продуктивного кущения у пшеницы сильно зависит от густоты стояния растений в поле, поэтому имеет второстепенное значение. В результате изучения коллекции выделены 5 образцов (Тобольская, Лютесценс 1003, Лютесценс 120/2003, Шортандинская 2014, Pasteur) с коэффициентами кущения 2,0-2,2, характеризующиеся при этом высокой урожайностью (487,7-537,8 г/м^2). Также, 9 образцов (Лютесценс 7/04-10, Лютесценс 96-12, Long Fu 8, Радуга, Лютесценс 186/04-61, Сибаковская Юбилейная, Торнадо 22, Зауралочка, Рима) характеризовались высоким числом колосков в колосе (19-21 шт.), что коррелировало у них с числом зерен (36,5-48,5 шт.), которые формировал главный колос. Среди выделившихся образцов лишь 1 (Лютесценс 7/04-10 – 21,0) характеризовался достоверным превышением числа колосков в колосе над лучшим стандартом (Обская 2 – 18,4 шт.).

В последние годы в условиях Сибири становятся особо актуальным защита посевов пшеницы от листовых заболеваний, которые имели широкое распространение во все годы изучения коллекции. Одним из наименее затратных способов борьбы с заболеваниями является создание устойчивых сортов. В результате изучения коллекции в течении 3-х лет выделены 86 новых источников устойчивости к мучнистой росе и бурой ржавчине пшеницы. Причем 36 из них обладали комплексной устойчивостью, а 7 (Greina, Воронежская 20, Artur Nick, Sparrow, Лютесценс 186/04-61, КВС Аквилон и ЛД 25) комплексным иммунитетом к обеим инфекциям. Иммунными лишь к мучнистой росе были 15 образцов, к бурой ржавчине пшеницы – 3.

Заключение

В результате изучения коллекционных образцов пшеницы мягкой яровой выделены источники высокой выраженности основных хозяйственно-ценных признаков:

- 6 образцов, характеризующихся укороченными периодами «Всходы - Колошение» (Shen 68-71 – 33,0, Фора – 32,5 и М83-1581 -35,5 дн.) или «Колошение – Созревание» (Канская – 34,5, Ke Zhuang – 34,0 и Yumai 34 – 34,5 дн.);

- 25 образцов, характеризующихся высокой урожайностью, устойчивых к полеганию с продолжительностью периода всходы – колошение не более среднепозднего стандарта (Сибирская 17 – 44,9 дн.);

- 27 образцов, характеризующихся высокой массой 1000 зерен в годы изучения (Кайыр - 40, Тулайковская Надежда - 40, Экада 109 – 46,9, Jiu Nong 10 – 47,3, Радуга – 47,2, Ульяновская 101 – 46,2 г и др);

- 32 образца с высоким числом зерен в колосе (Sparrow – 40,2, Corso – 40,7, Pasteur – 44,6, Long Fu 8 – 44,6 и Лютесценс 7/04-10 – 48,5 шт. и др.), которые формировали достоверно большее число зерен в колосе в сравнении с лучшим по признаку стандартом – Сибирская 17 (33,4 шт.) и были устойчивыми к одному или двум заболеваниям;

- 86 новых источников устойчивости к мучнистой росе и бурой ржавчине пшеницы, в том числе 36 характеризуются комплексной устойчивостью, в том числе 7 комплексным иммунитетом к обеим инфекциям (Greina, Воронежская 20, Artur Nick, Sparrow, Лютесценс 186/04-61, КВС Аквилон и ЛД 25).

Благодарности: Полевые работы выполнялись в рамках бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018, оформление результатов выполнено при поддержке гранта РФФИ №20-016-00093 А.

Список литературы

1. Рутц Р. И. Флагман сибирской селекции / Р. И. Рутц // Политика. Экономика. Социология. Национальные приоритеты России. 2015. № 2 (16). С. 101-104.
2. Баталова Г. А. Использование гибридизации и отбора в селекции голозерного овса / Г. А. Баталова // Зерновое хозяйство России. 2015. № 2. С. 25-28
3. Маркелова Т.С. Результаты селекции озимой и яровой пшеницы на устойчивость к болезням в условиях Нижнего Поволжья / Т.С. Маркелова // Аграрный научный журнал. 2015. № 4. С. 26-27.
4. Давыдова Н. В. Селекция яровой пшеницы на урожайность и качество зерна в условиях центра нечерноземной зоны российской федерации: автореф. дис. д. с.-х. наук. / Н. В. Давыдова; Немчиновка, 2011. 54 с.
5. Волкова Л.В. Изучение характера наследования признаков продуктивности у гибридов яровой мягкой пшеницы /Л.В. Волкова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2013. № 2 (33). С. 8-12.
6. 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.

Механизмы длительной устойчивости к стеблевой ржавчине ржи и сортов пшеницы с геном *Sr31*

Плотникова Л.Я., д.б.н., профессор, Кнауб В.В., аспирант, Пожерукова В.Е., к.б.н., ст. преподаватель*

ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Россия
**e-mail: lya.plotnikova@omgau.org*

Ген Sr31, интрогрессированный от ржи Secale cereale L. сорта Petkus, длительное время защищал пшеницу от стеблевой ржавчины в мире и сохраняет эффективность на территории России. Сорта ржи и пшеницы с геном Sr31 проявили высокую устойчивость к омской популяции Puccinia graminis f. sp. tritici (Pgt) на стадиях проростков и взрослых растений. С помощью цитологических наблюдений установлено, что рожь подавляют развитие Pgt на поверхности растений. Свойства сорта Petkus были частично переданы пшенице, но обеспечивают нарушение формирования поверхностных структур Pgt и предотвращают попытки внедрения в ткани.

Ключевые слова: *Triticum aestivum, Secale* cereale, *Sr31 ген, стеблевая ржавчина.*

Durable resistance mechanisms to stem rust of the rye and wheat varieties with *Sr31* gene

Plotnikova L.Ya., Knaub V.V., Pozherukova V.E.*
Omsk state agrarian university, Omsk, Russia
**e-mail: lya.plotnikova@omgau.org*

The Sr31 gene was introgressed from the rye Secale cereale L. cv. Petkus and durably protected wheat from stem rust in the world and retains its effect in Russia. Rye varieties and wheat with the Sr31 gene showed high resistance to the Omsk population of Puccinia graminis f. sp. tritici (Pgt) at the stages of seedlings and adult plants. Using the cytological methods it was shown that the rye supresses the Pgt development on the plant surface. The properties of cv. Petkus were partially transferred to wheat, but provide a violation of the Pgt surface structures formation and inhibite attempts to penetrate into tissues.

Keywords: *Triticum aestivum, Secale cereale, Sr31 gene, stem rust.*

Повышение сборов зерна мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. может быть достигнуто за счет увеличения потенциальной продуктивности растений, а также снижения потерь от ржавчинных болезней. Несколько десяти-

летий развитие стеблевой ржавчины, вызываемой биотрофным грибом *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Eriks. & Henn. (*Pgt*), было подавлено благодаря широкому распространению в мире сортов, защищенных геном *Sr31*, перенесенным от озимого сорта ржи Petkus в составе транслокации *1BL/1RS* (включает гены устойчивости *Lr26/Sr31*/Yr9). В 1998 г. в Уганде появилась раса Ug99 (TTKSK), преодолевшая ген *Sr31*, со временем эта раса и ее производные распространилась в странах Африки, Ближнего Востока и Западной Европы [1]. Однако, в других зерновых регионах, включая территорию России, ген *Sr31* длительное время сохраняет эффективность [2]. На территории Западной Сибири существует азиатская популяция *Pgt*, в ней выделяется агрессивная омская субпопуляция авирулентная к гену *Sr31* [3]. Целью исследований была оценка устойчивости набора сортов *Secale cereale*, а также *T. aestivum* с геном *Sr31* к омской популяции *Pgt*, а также изучение механизмов несовместимости патогена с растениями на клеточном уровне.

Объектами исследований были сорта озимой ржи (Petkus, Ирина, Вавиловская универсальная, Сибирь, Тюменька, Эврика), яровой мягкой пшеницы с геном *Sr31* (Seri 82, Bacanora) и почти изогенная линия сорта Тэтчер Тс*Lr26*/*Sr31*. Контролем служил восприимчивый к болезни сорт мягкой пшеницы Памяти Азиева. Полевые оценки развития стеблевой ржавчины проводили в южной лесостепи Западной Сибири (г. Омск) в 2017-2020 гг. по методике CIMMYT. В лабораторных условиях оценивали инфекционный тип растений (IT) на заражение 10-суточниых проростков по модифицированной шкале Stakman [2]. Цитологические исследования взаимодействия *Pgt* с растениями ржи и пшеницы изучали на фиксированных листьях окрашенных анилиновым синим [4].

В полевых условиях сорт Памяти Азиева был поражен стеблевой ржавчиной в сильной степени в 2018-2019 гг. (100S), в средней - в 2020 г. (50S) (табл.). Сорта ржи, высеянные на пшеничном поле, проявили иммунитет на стадии кущения и взрослых растений. Образцы пшеницы с геном *Sr31* показали слабое поражение (5-10MR) в 2018 г. и иммунитет в 2019-2020 гг. При заражении проростков в лабораторных условиях большинство сортов ржи и пшеницы были иммунны, лишь на некоторых отмечены мелкие некротические пятна (IT 0, 0;). При заражении сорта Bacanora одним из изолятов отмечена смешанная реакция (IT 0;, 2, 3) (таблица).

Для создания сортов с длительной устойчивостью к болезням признано перспективным использование защитных механизмов видов-нехозяев (nonhost resistance, NHR). Подавление развития ржавчинных грибов до внедрения в клетки растений (прегаусториальная устойчивость) считается наиболее эффективным выражением NHR. Значительную долю базовой NHR составляют физические и химические свойства растений, которые не индуцируют развитие инфекционных структур неспециализированных патогенов [5].

Таблица – Результаты изучения инфекционного типа (IT) и развития инфекционных структур *P. graminis* f. sp. *tritici* на растениях ржи и пшеницы

Образец[1, 2]	Инокулюм[3]	IT	Доля проросших спор, %	Доля ростковых трубок, образовавших аппрессории, %	Доля аппрессориев, %	
					на устьицах от их общего числа	проросших от числа на устьицах
Памяти Азиева[1]	1	4	93,0±3,9	85,0±2,7	88,0±3,2	83,0±1,0
контроль	2	3	88,9±3,5	83,1±2,9	82,5±3,5	89,1±2,3
Petkus[2]	популяция	0	62,7±1,3	17,8±1,2	43,8±2,1	29,1±2,1
Ирина[2]	«	0;	57,4±1,2	25,0±1,3	34,5±1,9	12,5±1,7
Вавиловская универсальная[2]	«	0	62,5±1,4	31,4±1,6	18,2±1,3	30,6±2,1
Seri 82[1]	1	0	86,4±1,0	41,5±1,2	76,2±0,9	10,3±1,3
	2	0	83,5±1,7	65,2±2,8	67,8±2,8	31,2±2,8
TcLr26/Sr31[1]	1	0	84,2±1,2	45,9±1,9	65,3±1,6	8,9±1,1
	2	0	88,3±1,6	56,9±1,4	61,8±1,4	12,1±1,5
Bacanora[1]	1	0	87,3±1,2	56,1±1,7	68,2±1,4	33,1±1,5
	2	0	88,8±1,2	60,3±1,6	85,0±0,9	7,6±0,9
	3	0;, 2, 3	84,0±1,5	82,4±2,1	91,7±1,2	35,4±1,3

Примечание: [1] – *T. aestivum*; [2] – *S. cereale*; [3] – популяция 2020 г. и № изолята.

Цитологические исследования показали, что на поверхности сорта Памяти Азиева 93 % спор прорастали и образовывали ростковые трубки, большая часть из них (85 %) образовывали аппрессории, преимущественно на устьицах (88 %) (табл., рис., а). Цитоплазма аппрессориев перемещалась в подустьичные везикулы (ПВ), от них отходили инфекционные гифы, образующие гаустории в клетках растений (рис., б). Позже формировались пустулы со следующим поколением урединиоспор.

Рожь - нехозяин для *Pgt*, на ее сортах было значительно подавлено прорастание спор, большая часть ростковых трубок не образовывала аппрессории, и меньшая доля аппрессориев располагалась на устьицах (табл., рис. в). На сортах Ирина и Petkus подавление формирования аппрессориев было выражено наиболее сильно (в 3,4-4,8 раза по сравнению с контролем), а на Ирине и Вавиловской универсальной наименьшая их часть сформировалась на устьицах. На ржи малая доля аппрессориев была способна обеспечить проникновение в устьица и формирование ПВ (рис. г).

На образцах пшеницы с геном *Sr31* прорастание спор не отличалось от восприимчивого сорта, формирование аппрессориев усилилось по сравнению с сортом Petkus, но значительно уступало контролю. При этом струк-

туры большинства изолятов гриба разрушались на устьицах, о чем свидетельствует темная окраска (рис. е). На сорте Bacanora изолят 3 успешнее проникал в устьица, но в 60 % случаев развитие прекращалось на стадии ПВ, в 22 % случаев – мелких колоний, погибавших с проявлением реакции сверхчувствительности или без нее (рис. ж, з), в редких случаях развивались пустулы среднего или большего размера. Такие результаты свидетельствуют о том, что изолят приобрел свойства, позволяющие успешнее развиваться на поверхности, но нестабильно взаимодействует с тканями.

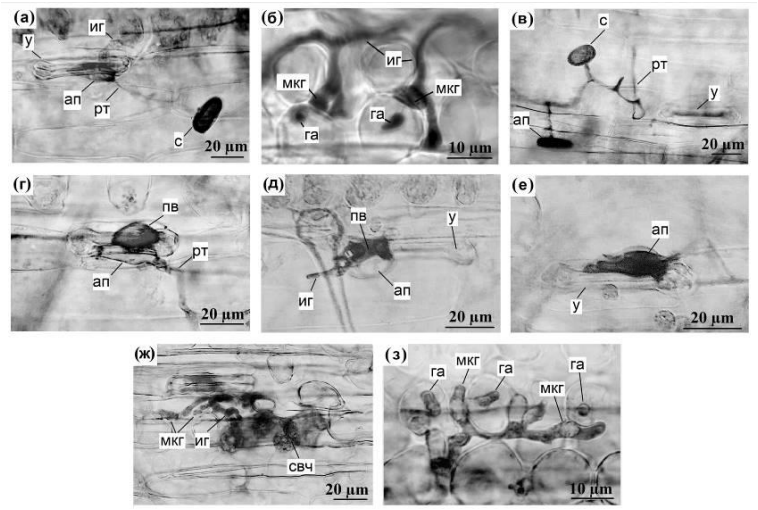


Рисунок. Результаты взаимодействия *Pgt* с восприимчивым сортом мягкой пшеницы (а, б), сортами ржи (в-д) и образцами пшеницы с геном *Sr31* (е-з). Обозначения: ап – аппрессорий, га – гаустория, иг – инфекционная гифа, мкг – материнская клетка гаустории, пв – подустьичная везикула, рт – ростковая трубка, с – спора, свч – реакция сверхчувствительности, у – устьице. Описание в тексте.

Таким образом, механизмы защиты вида-нехозяина *S. cereale* ингибировали развитие *Pgt* на поверхности растений. Сорт Petkus в наибольшей степени подавлял формирование аппрессориев, его свойства были частично переданы пшенице с транслокацией *1BL/1RS*, но определяют прегаусториальную устойчивость к большинству изолятов *Pgt*. Для преодоления действия гена необходима адаптация *Pgt* к свойствам поверхности и внутренних тканей, что, вероятно, является причиной длительного эффекта *Sr31*. Выявленные особенности действия гена *Sr31*, могут служить ориентиром для отбора перспективных форм при отдаленной гибридизации.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-24-20067.

Список литературы

1. Patpour M., Hovmøller M.S., Rodriguez-Algaba J. [et al.]. Wheat Stem Rust Back in Europe: Diversity, Prevalence and Impact on Host Resistance. Front. Plant Sci. 2022. V. 13. N. 882440. DOI: 10.3389/fpls.2022.882440.
2. Skolotneva E.S. Kelbin V.N., Shamanin, V.P. [et al.]. The gene *Sr38* for bread wheat breeding in Western Siberia. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021. V. 25 (7). P. 740-745. DOI: 10.18699/VJ21.084.
3. Kelbin V.N., Skolotneva E.S., Salina E.A. Challenges and prospects for developing genetic resistance in common wheat against stem rust in Western Siberia. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. V. 24 (8). P. 821-828. DOI: 10.18699/VJ20.679.
4. Plotnikova L.Ya., Pozherukova V.Ye., Mitrofanova O.P. [et al.]. The effect of oxidative burst suppression or induction on the interaction between brown rust fungus and Timopheevi Wheat. Applied Biochemistry and Microbiology. 2016. V. 52 (1). P. 61-70. DOI: 10.1134/S0003683816010099.
5. Niks R.E. How specific is non-hypersensitive host and nonhost resistance of barley to rust and mildew fungi? Journal of Integrative Agriculture. 2014. V. 13 (2). P.244-254. DOI: 10.1016/S2095-3119(13)60648-6.

Оценка функциональных нарушений при низкотемпературном стрессе у коммерческих сортов пшеницы мягкой озимой разных экотипов

Полевикова Н.А., н.с.; Грицай Т.И., к.с.-х.н.; Беспалова Л.А., д. с.-х.н., академик РАН, зав. отделом; Агаева Е.В., н.с., Команов Е.А., аспирант.*

ФГБНУ «Национальный Центр Зерна им. П.П. Лукьяненко», Краснодар, Россия.
*e-mail: rossiyankad@mail.ru

В 2011–2020 годах в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко было протестировано по морозоустойчивости 1813 коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой различного эколого-географического происхождения. Низкую морозоустойчивость, традиционно, показывают сорта восточно- и западно-европейского экотипа. Выделены высокоморозоустойчевые сорта из разных регионов РФ. Показано, что при потеплении климата отбор в естественных условиях среды, даже в северных регионах страны, не гарантирует получения высокоморозостойких генотипов.

Ключевые слова: *озимая пшеница, коллекция, селекция, сорт, закаливание, искусственное промораживание.*

Assessment of functional disorders under low-temperature stress in commercial varieties of soft winter wheat of different ecotypes

Polevikova N.A., Gritsay T.I., Bespalova L.A., Agaeva E.V., Komanov E.A.*
Federal State-Funded Institution of Science «National Grain Center named after P.P. Lukyanenko».
*e-mail: rossiyankad@mail.ru

In 2011–2020, 1813 collection samples of soft winter wheat of various ecological and geographical origin were tested for frost resistance at the P.P. Lukyanenko National Research Center. Low frost resistance is traditionally shown by varieties of the Eastern and Western European ecotype. High frost-resistant varieties from different regions of the Russian Federation have been identified. It is shown that under conditions of climate warming, selection in natural conditions of the environment, even in the northern regions of the country, does not guarantee the production of highly frost-resistant genotypes.

Keywords: *winter wheat, collection, selection, variety, hardening, artificial freezing.*

Климатические условия перезимовки озимых культур в России отличаются от года к году разнообразием и сложностью. Несмотря на успехи в селекции озимой пшеницы увеличения производства зерна этой культуры сдерживаются недостаточной устойчивостью сортов к неблагоприятным условиям произрастания. Наиболее важный фактор, который может негативно влиять на выживаемость озимой пшеницы – низкие температуры, что приводят к снижению урожая, а иногда и к полной гибели растений [1, 5].

В физиологических исследованиях, селекционной работе возникает необходимость оценки холодоустойчивости растений. Разработано не мало прямых и косвенных методов диагностики устойчивости растений к низким положительным температурам [4]. Понижение температур до низких положительных, а иногда и отрицательных значений в период активной вегетации является одним из важнейших факторов, оказывающих сильное отрицательное действие на рост, развитие и продуктивность растений [7]. В географических регионах, где средние зимние температуры чрезвычайно низки, а снежный покров скуден, растения могут погибнуть от низких температур. В районах, где происходят зимние дожди, повторное замораживание полностью увлажненных растений может привести к серьезным травмам [6].

К настоящему времени, по вопросу механизмов ответной реакции растений на холодовой стресс, накоплено значительное количество различных наблюдений и экспериментальных данных. Их анализ показывает, что под влиянием низких субповреждающих температур в клетках и тканях растений происходят многочисленные структурно-функциональные изменения, благодаря которым высокоморзостойкие сорта приобретают более высокую устойчивость в условиях холодового стресса [3].

Оценка функциональных нарушений при низкотемпературном стрессе важна для установления адаптивной способности и устойчивости растений к неблагоприятным условиям, а также для прогнозирования выносливости к низким температурам [1].

Материалы и методы исследований

Нами на базе НЦЗ им. П.П.Лукьяненко проводится изучение сортов различных эколого-географических зон на морозостойкость в посевных ящиках по методике Юрьева в модификации Ю.М. Пучкова.

Для поиска ценных по морозостойкости форм с 2011 по 2020 годы в холодильных камерах проморожено 1813 коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой, представленных из 24 стран мира. Наибольшее количество образцов из России (1017); Украины (144); Германии (151); Венгрии (114); Франции (74); Чехии (70); Канады (40); Швейцарии (26) и других стран (таблица).

Таблица – Количество, изученных сортов пшеницы мягкой озимой, по странам и годам. Питомник – коллекция

Страна	Годы изучения									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Россия	99	110	96	113	117	98	95	129	98	62
Украина	38	22	13	18	32	8	4	-	-	9
Беларусь	-	-	3	3	-	1	-	-	-	-
Германия	16	11	6	12	13	16	10	26	30	11
Австрия	2	-	-	1	6	5	6	6	-	-
Венгрия	7	28	18	14	4	13	12	8	6	4
Сербия	5	10	5	1	-	-	-	-	-	-
Словакия	4	4	3	-	-	-	-	-	-	-
Польша	3	11	8	3	1	3	-	-	2	-
Франция	4	3	11	17	8	6	7	8	7	3
Швейцария	20	-	-	-	-	-	-	-	-	6
Румыния	4	4	1	1	1	1	-	-	-	-
Чехия	12	6	1	2	3	2	8	13	22	1
Англия	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
США	2	-	14	3	-	-	-	-	-	-
Китай	2	-	6	3	-	-	-	-	-	-
Турция	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Болгария	-	5	8	1	-	-	-	2	2	-
Хорватия	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Канада	-	-	18	17	5	-	-	-	-	-
Швеция	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Австралия	-	-	4	4	-	-	-	-	-	-
Люксенбург	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
Киргизия	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Итого: 1813	222	216	216	214	190	156	144	192	167	96

В качестве стандартов, для сортов пшеницы мягкой озимой, использованы сорта с различным уровнем морозостойкости. С 2011 по 2015 годы использовались стандартные сорта Краснодарская 99 (повышенный уровень морозостойкости) и сорт Москвич (высокий уровень морозостойкости). С 2016 года сорт Краснодарская 99 заменен на сорт Гром, который является стандартом для полукарликовых сортов в Госкомиссии.

У стандартного сорта Краснодарская 99 при промораживании на слабом режиме, по годам, в зависимости от условий закалки, сохранялось от 20 до 88 % живых растений, у сорта Гром на этом же режиме от 52 до 95 %, у сорта Москвич от 71 до 96 %.

При промораживании на жестком режиме 0–59 %, 10–93 % и 5–82 % соответственно.

Температуры слабого режима в зависимости от закалки по годам варьировали от –14°С (2015 год) до –18°С (2014 год); среднего режима от –16°С (2019 год) до –19,5°С (2014 год); жесткого режима от –17,5°С (2019 год) до –21°С (2014 год).

За годы изучения выделены образцы как с повышенным и высоким уровнем морозостойкости, так и очень низкой морозостойкостью, когда при промораживании даже на самом слабом.

К сортам с повышенной и высокой морозостойкостью относятся: Дмитрий, Бригада, Гром, Морозко, Этнос, Веха, Сварог, Жива, Баграт, Алексеич, Маркиз, Граф, Дуплет, Собербаш – селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко; Ермак, Лучезар, Вольный Дон, Жаворонок (АНЦ «Донской»); Славица, Донмира, Октава 15, Акапелла, Богема (Федеральный Ростовский АНЦ); Нива Ставрополья, Ставка, Паритет, Статус, Царица, Щит, Тайфун 7, Морец, Батя; (Северо-Кавказский ФНАЦ); Московская 40, Немчиновская 17, Московская 82, Немчиновская 85, (ФИЦ «Немчиновка»); Эльвира, Анастасия, Подруга (НИИСХ Юго-Востока); Алексия (Воронежский ГАУ); Черноземка 188, Базальт 2 (Воронежский НИИСХ); Студенческая Нива, Волжский Рубин (Ульяновский ГАУ); Султан, Универсиада (Татарский НИИСХ); Зауральская озимая, Изаура (Курганский НИИСХ); Рифей (Оренбургский ГАУ); Удачная, Свирская (Белгородский НИИСХ); Рубежная, Инея (ГБС РАН); Зимушка (Алтайский НИИСХ); Альтернатива, Вьюга (Самарский НИИСХ); Полевик, Куяльник, Снегурка, Клад, Козир, Соч (Украина).

Очень низкая морозостойкость отмечена у сортов: Kiara, Kalina, Бет Б 8/14 (Болгария); GK CONCOL, MV NADOR, MV KRAJCAR (Венгрия); Вики, Пенелопа, Батерфляй, Аня, Сецесе (Чехия); Турния, Комета (Польша); Гордиан, Калди, Кальмар, Тоннаж (Германия); Андалу, Алтиго,

Игл, НЕ 9710, НИК 11-11637Д (Франция); SOI-360-1, ДН 99-55-324-4 (Канада); SZD 9547H, Tacitus (Австралия); ACB 141, ACB 142 (Люксембург); Tiha, Sonata, Voevodina, Mina (Сербия); Valentina, Liberta (Хорватия); Baretta, Montalto, Rasica, Albula, Molinera, Campanile, (Швейцария).

Выводы

Сорта озимых культур, предназначенные для возделывания в Российской Федерации, должны быть достаточно морозоустойчивыми (не ниже сортов стандартов: Новосибирская 32, Мироновская 808, Дон 95, Безостая-1, принятых в ГСИ), чтобы реализовать генетический потенциал урожайности.

Изучение коллекционного материала путем промораживания в холодильных камерах на различных режимах позволяет выделить высокоморозостойкие формы и в дальнейшем использовать их в селекции и производстве.

Низкую морозоустойчивость, традиционно, показывают сорта восточно- и западно- европейского экотипа.

Список литературы

1. Иванисов М.М., Ионова Е.В. Морозостойкость сортов и линий озимой мягкой пшеницы // Международный Научно-исследовательский журнал. 2016. №9 (51). С. 110–113.
2. Иванов А.И. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России // Земледелие. 2009. № 1. С. 3–5.
3. Казнин Н.М., Батова Ю.В., Лайдикен Г.Ф., Шерудило Е.Г., Титов А.Ф. Способность проростков озимой пшеницы к низкотемпературной адаптации в условиях избыточного содержания цинка в корнеобитаемой среде // Генофонд и селекция растений. 2020. том 66 (5). С. 375–383.
4. Мельникова Е.Е., Букреева Г.И., Беспалова Л.А., Жук О.А., Бортникова Н.Ю. Динамика генетического разнообразия сортов и линиц пшеницы краснодарской селекции по аллелям глиадинокодирующих локусов // Достижения науки и техники АПК. 2016. том 30, № 3. С. 51–53.
5. Паничкин Л.А., Прудников Г.А., Красавина М.С. Усовершенствование метода электрофизиологтческой диагностики холодоустойчивости растений // Известия ТСХА. 2009. № 4. С. 133–137.
6. Ji-Yin Gao, Chris J., Andrews C.J., M. Keith, Pomeroyi, Interactions among flooding freezing and ice encasement in winter wheat // Plant physiol. 1983. Vol. 72. P. 303–307.
7. Pomeroyi M.K., Andrews C.J., Fedak' G. Cold hardening and dehardening responses in winter wheat and winter barley // Canadian journal of plant science. 1974. Vol. 55. P. 529–535.

Создание исходного материала и сортов суданской травы в условиях Сибири и Казахстана

Полюдина Р.И., д.с.-х.н., зав. селекционного центра; Гришин В.М.**, к.с.-х.н., ведущий научный сотрудник*

ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, п. Краснообск, Россия.
**e-mail: polyudina@ngs.ru; **e-mail: vasily.grisch@yandex.ru*

За годы исследований (2019–2021 гг.) отобрано 362 перспективных образца для включения в селекционный процесс. Созданы перспективные сложногибридные и синтетические популяции (СГП 12–15), сочетающие высокую урожайность зеленой массы (260–280 ц/га) и семян (19–20 ц/га) с устойчивостью к основным болезням суданской травы. Созданы два сорта – Карагандинская (2020) и Ника (2021). Уточнены оптимальные параметры модели сортов суданской травы для возделывания условиях Сибири и Казахстана.

Ключевые слова: *суданская трава, селекционный материал, сложногибридные популяции, синтетические популяции, сорта.*

Creation of the source material and varieties of Sudanese grass in Siberia and Kazakhstan

R.I. Polyudina R.I., Grishin V.M.***
Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.
**e-mail: polyudina@ngs.ru; **e-mail: vasily.grisch@yandex.ru*

Over the years of research (2019-2021), 362 promising samples of sudangrass were selected for inclusion in the breeding process. We have created complex hybrid and synthetic populations (SGP 12-15), combining high yields of green mass (260–280 c/ha) and seeds (19-20 c/ha) with resistance to diseases. Two varieties were also created – Karagandinskaya (2020) and Nika (2021). The optimal parameters of the model of varieties of sudangrass for cultivation in Siberia and Kazakhstan have been clarified.

Keywords: *sudangrass, breeding material, complex-hybrid populations, synthetic populations, varieties.*

Суданская трава [*Sorghum xdrummondii* (Steud.) Millsp. & Chase] – кормовая культура, отличающаяся засухоустойчивостью, низкой требовательностью к почвам, многогранностью использования, а также высокой отзывчивостью на дополнительное увлажнение и внесение удобрений [1].

Цель исследований состояла в создании и изучении исходного материала суданской травы в условиях Сибири и Казахстана. Исследования проводились в 2019–2021 гг. на ЦЭБ СФНЦА РАН. Объекты исследований – сорта, линии, отборы, синтетические и сложногибридные популяции. Одной из главных задач в селекции суданской травы является поиск исходных форм, сочетающих в себе скороспелость, высокую продуктивность, устойчивость к абиотическим факторам внешней среды. Кроме индивидуального отбора в сочетании с самоопылением наиболее эффективным методом создания нового исходного материала в селекции является гибридизация, поликросс [1]. За годы исследований (2019–2021 гг.) выделено: по продуктивной интенсивности начального роста – 47; продуктивной кустистости – 28; длине метелки – 55; скороспелости – 34; диаметру стебля у основания – 97; крупности листьев – 58 образцов (табл. 1).

Таблица 1 – Морфологические признаки, биологические свойств и особенности роста суданской травы (2019–2021 гг.)

№ п/п	Показатель	Описание	Количество выделенных образцов, шт.
1	Интенсивность начального роста, см	очень высокая (>75)	47
2	Продуктивная кустистость, шт.	сильная (3,6–5,0)	28
3	Длина метелки, см	очень длинное (>40)	55
4	Масса 1000 семян, г.	большая (>18)	43
5	Скороспелость. дн.	Раннеспелые (до 90)	34
6	Диаметр стебля у основания, мм	тонкий (<10) толстый (>20)	62 35
7	Крупность листьев: длина / ширина, см	длина (до 75) ширина (до 10)	58

На основе лучших поликроссных потомств созданы перспективные сложногибридные популяции (СГП 12, СПГ 13). На основе сортообрацов с высокой ОКС сформированы синтетические популяции (СГП 14, СГП 15), сочетающие высокую урожайность зеленой массы (260–280 ц/га) и семян (19–20 ц/га) с устойчивостью к бактериальным пятнистостям суданской травы. Для дальнейшего использования в селекционном процессе можно рекомендовать 15 образцов с высокой урожайностью, в частности – 09v178 и 09v228 как источники высокой урожайности зеленой массы (более 400 ц/га) и сухого вещества (более 70 ц/га) и 19 образцов с высокой урожайностью семян (более 22 ц/га). В таблице 2 представлены параметры сортов суданской травы при возделывании в Сибири и Казахстане.

При этом, генотипы суданской травы должны состоять из растений, имеющих одинаковый вегетационный период, интенсивность начального

роста, толщину стеблей, а также обладать способностью интенсивно отрастать после укосов и иметь высокую устойчивость к болезням.

Таблица 2 – Параметры сортов суданской травы при возделывании в Сибири и Казахстане

Признаки	Модель сорта (Сибирь)	Модель сорта (Казахстан)
Морфологические признаки		
Высота растений, см	200–240	170–190
Число листьев, шт.	8–10	6–8
Продуктивная кустистость, шт.	3,0–3,5	2,0–2,4
Масса 1000 семян, г.	12–17	10–13
Биологические свойства		
Вегетационный период, дн.	100–110	90–95
Выравненность растений по высоте	выровнены	выровнены
Выравненность зерна по спелости	высокая	высокая
Особенности роста		
Интенсивность начального роста, см	высокая (61–75)	средняя (46–60)
Отрастаемость после скашивания, см	высокая (61–75)	средняя (46–60)
Хозяйственная характеристика		
Урожайность зеленой массы, ц/га	260–280	70–180
Урожайность сухого вещества, ц/га	40–60	30–40
Урожайность семян, ц/га	18–20	10–14
Устойчивость к неблагоприятным условиям		
Холодостойкость	высокая	высокая
Засухоустойчивость	высокая	высокая
Поражение болезнями и повреждение вредителями		
Устойчивость к болезням, балл	высокая	высокая

За время селекционной работы с селекционном центре были сформированы сложногибридные и синтетические популяции суданской травы, которые в последствии стали сортами – СГП 1 (Новосибирская 84), СГП 4 (Достык 15), СГП 5 (Карагандинская), СГП 6 (Лира), СГП 8 – (Ника).

В государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории Российской Федерации включены сорта – Новосибирская 84 (1996) и Лира (2002). Это высокоурожайные сорта с вегетационным периодом 100–110 дней, урожайностью зеленой массы в сумме за два укоса до 400 ц/га, семян – до 23 ц/га, хорошей облиственностью – более 40%, массой 1000 семян – 14–16 г., устойчивые к засухе и возврату весенних заморозков [2].

В государственный реестр селекционных достижений, рекомендуемых к использованию в Республике Казахстан включены сорта – Достык 15 (2018), Карагандинская (2019) и Ника (2020). У вышеперечисленных скороспелых и высокоурожайных сортов в аридных условиях Казахстана вегетационный период от всходов до спелости составляет 90–95 дней. Средняя

урожайность зеленой массы до 180 ц/га, семян 10–14 ц/га [3].

Таким образом, за годы исследований (2019–2021 гг.) отобраны 362 перспективных образца для включения в селекционный процесс. Уточнены оптимальные параметры модели сортов суданской травы для возделывания условиях Сибири и Казахстана. Созданы перспективные сложногибридные и синтетические популяции (СГП 12–15) с высокой урожайностью зеленой массы и семян. Созданы два сорта – Карагандинская (2020) и Ника (2021). Готовиться сорт для передачи на государственное сортоиспытание – СГП 15.

Список литературы

1. Кашеваров Н.И., Полюдина Р.И., Балыкина Н.В. и др. Суданка в кормопроизводстве Сибири. Новосибирск, 2004. 224 с.
2. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 719 с.
3. Қазақстан Республикасында пайдалануға ұсынылған селекциялық жетістіктердің мемлекеттік тізбесі / Государственный реестр селекционных достижений, рекомендуемых к использованию в Республике Казахстан. Нур-Султан, 2021. 125 с.

Подбор стерилизации эксплантов роз, пригодных для срезки при введении в культуру *in vitro*

Потешкина А.А., м.н.с., Апарина В.А., лаборант-исследователь, Колошина К.А. зав. сектором селекции, семеноводства и технологии возделывания картофеля, 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.
e-mail:alina.lisa-91@yandex.ru

Одним из важных и сложных этапов микроклонального размножения является этап введения в культуру. Цель исследования заключалась в подборе стерилизующего агента и времени стерилизации. Стерилизацию эксплантов проводили двумя способами. В одном из вариантов в качестве стерилизующего агента использовали $AgNO_3$ 0,01% 10мин в сочетании с белизной 12% 5 мин. Во втором варианте была использована перекись водорода 37% 10 мин, в сочетании с белизной 12% 5 мин. В результате данного исследования выход здоровых эксплантов и в том и другом варианте составил около 43%.

Ключевые слова: *розы, метод in vitro, стерилизация.*

Choosing the sterilization of explants of roses suitable for cutting when introduced into culture in vitro

Poteshkina A.A., Aparina V.A, Koloshina K.A, Piskarev V.V.*
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.
**e-mail:alina.lisa-91@yandex.ru*

An important and difficult stage of microclonal reproduction is introduction into culture. The purpose of this study is to select the sterilizing agent and the time of sterilization. The explants were sterilized in two ways. In one of the variants, AgNO3 0.1% 10min was used in combination with a sodium hypochlorite of 12% 5 min. In another variant, hydrogen peroxide was used 37% 10min, in combination with a sodium hypochlorite of 12% 5 min. As a result of the study of healthy explants, there were about 43% in both variants.

Keywords: *roses, in vitro method, sterilization.*

Розы очень часто используются в декоративном садоводстве, а также, в последнее время, стало развиваться направление тепличного производства этого растения на срез. В производстве требуется качественный посадочный материал, который, в том числе, можно получать методом *in vitro,* который позволяет оздоровить вегетативно размножаемые виды растений. В качестве эксплантов рекомендуется, у представителей семейства Rose использовать почки, как одревесневших, так и зеленых побегов. Микроклональное размножение состоит из нескольких этапов. Первый – это введение тканей растения на питательную среду. Уже на данном этапе могут возникать некоторые трудности, так как необходимо подобрать не только подходящую среду для культивирования, но и правильную стерилизацию [1, 2].

Суть этапа стерилизации заключается в том, чтобы полностью исключить присутствие микроорганизмов, так как в процессе их жизнедеятельности погибает эксплант введенный в культуру *in vitro*. Для стерилизации эксплантов обычно применяют холодную стерилизацию. При помощи различных химических соединений останавливают жизнедеятельность микроорганизмов. Устойчивость к химическим веществам может зависеть от различных факторов, например, от температуры и концентрации вещества, времени воздействия. В качестве агентов стерилизации могут применять следующие группы веществ: щелочи, кислоты, тяжелые металлы, перекиси, фенольные соединения, спирты, озон, антибиотики и многие другие [3].

Помимо того, что химические вещества действуют на микроорганизмы, они также могут повлиять на жизнеспособность самого экспланта. Эффективным стерилизующим агентом является $AgNO_3$, но он может оказать токсичное влияние на ткани экспланта, поэтому подбор концентрации

и времени использования является актуальным. Также можно использовать перекись водорода, она менее агрессивна, необходимость серьезной отмывки после обработки отпадает, так как она достаточно быстро разрушается. При достижении хороших результатов используют комбинированные схемы стерилизации, с применением нескольких химических соединений. [4].

Цель исследования заключалась в подборе стерилизующего агента и времени стерилизации.

В июле 2022 года нами были отобраны полуодревесневшие и зеленые побеги донорских растений и выделены 139 эксплантов четырех сортов роз: Sofia, Shangri-la, Maroon, Delphin. В качестве эксплантов использовали вегетативные почки с частью стебля.

Для стерилизации эксплантов использовали два варианта:

1.Промывка водой 30 мин., белизна 12% 5 мин., $AgNO_3$ 0,01% 10 мин., двукратная промывка автоклавированной водой.

2.Промывка водой 30 мин., белизна 12% 5 мин., H_2O_2 37% 10 мин., двукратная промывка автоклавированной водой.

После стерилизации экспланты были высажены на среду Мурасиге и Скуга (MS).

Подсчет стерильных эксплантов проводили на седьмой день исследования (таблица).

Таблица – Сравнение стерилизации эксплантов розы

Стерилизация	Общее количество эксплантов	Количество стерильных эксплантов	Количество эксплантов с заражением микроорганизмов
Первый вариант	69 шт.	30 шт. (43,4%)	39 шт.
Второй вариант	70 шт.	30 шт. (42,8%)	40 шт.

После проведенной стерилизации все экспланты были жизнеспособны, а процент чистых в первом варианте составил 43,4 %, а при втором варианте 42,8 %. Таким образом оба варианта стерилизации оказались недостаточно эффективными. Для увеличения выхода стерильных эксплантов требуется увеличить время отмывки эксплантов при первом этапе с 30 минут до нескольких часов, а также увеличить концентрацию $AgNO_3$ в первом варианте и время стерилизации во втором.

Таким образом, варианты стерилизации позволили получить по 42,8 (стерилизация H_2O_2 37% 10 минут) и 43,4% (стерилизация $AgNO_3$ 0,01% 10 минут) стерильных эксплантов. Для увеличения выхода стерильных эксплантов необходимо продолжить исследование.

Благодарности: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0008.

Список литературы
1. Мовчан О.П., Митрофанова И.В., Клименко З.К., Работягов В.Д. Введение в культуру *in vitro* перспективных сортов роз различных садовых групп для создания растущих коллекций // Бюллетень ГНБС. 2006. №92. С.9-12.
2. Акшикова Н.А., Особенности в технологии выращивания роз (rose) в культуре ткани // Наука и мир 2013. № 1(1) С.71-72.
3. Лысак В.В, Желдакова Р.А. Методические рекомендации к лабораторным занятиям, контроль самостоятельной работы студентов // Мн.: БГУ. 2002 С 97.
4. Калинин Ф.Л., Кушнир Г.П., Сарнацкая В.В. Технология микроклонального размножения растений // К.: Наук. Думка. 1992 С 228.

Увеличение размера корневой системы яровой мягкой пшеницы с использованием линии, несущей интрогрессию от *Aegilops tauschii*

Пшеничникова Т.А., к.б.н., зав сектором, Смирнова О.Г., к.б.н., старший научный сотрудник, Симонов А.В., к.б.н., научный сотрудник, Булатов И.О., студент 3-го курса НГАУ

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН»
e-mail: wheatpsh@bionet.nsc.ru

Корни обеспечивают получение питательных веществ и воды из почвы, а также физически удерживают в ней растение в течение всей жизни. В данной работе была исследована возможность увеличения веса и длины корней у яровой пшеницы Саратовская 29 (С29) с помощью интрогрессии от Aegilops tauschii в хромосому 5D от озимого образца. В результате отбора на раннеспелость и размеры корневой системы были получены яровые генотипы с вариабельностью по числу дней до цветения от 42 до 48 дней и весом корней от 0,68 до 1,65 г, что значительно превышает вес корней исходного ярового сорта С29.

Ключевые слова: *яровая пшеница, интрогрессия, длина и вес корней, локус Vrn-1.*

Increasing the size of the root system of spring bread wheat using the line carrying an introgression from *Aegilops tauschii*

Pshenichnikova T.A., Smirnova O.G., Simonov A.V., Bulatov I.O.
Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
e-mail: wheatpsh@bionet.nsc.ru

Roots provide the absorption of nutrients and water from the soil, and physically hold the plant in it throughout its life. In this work, we studied the possibility of increasing the weight and length of the roots in Saratovskaya 29 (S29) spring wheat using introgression from Aegilops tauschii into chromosome 5D from a winter genotype. As a result of selection for early maturity and size of the root system, spring genotypes were obtained with variability in the number of days before flowering from 42 to 48 days and root weight from 0.68 to 1.65 g, which significantly exceeds the weight of the roots of the original spring cultivar S29.

Keywords: *Triticum aestivum, introgression, root weight and length, monosomic analysis, Vrn-1 locus.*

Современная селекция добивается повышения урожайности пшеницы, сосредоточившись в первую очередь на оптимизации надземных органов. Однако скрытая часть растения, корни, пока остаётся недоступной для целенаправленного улучшения. Корни не только являются основным инструментом получения питательных веществ и воды из почвы, но они также физически удерживают в ней растение в течение всей жизни, в том числе при повышенных нагрузках при созревании зерна. Архитектура корневой системы в определенные периоды онтогенеза оказывает прямое влияние на агротехнические показатели сельскохозяйственных культур как в оптимальных, так и в стрессовых условиях [1]. Ряд исследований показали, что источником повышения вариабельности корневой системы у мягкой пшеницы могут служить виды-сородичи [2,3].

В недавнем исследовании [4] мы показали, что интрогрессия от вида *Aegilops tauschii* в район локуса *Vrn-D1* значительно увеличивает длину и вес корней яровой пшеницы. С другой стороны, мы обнаружили, что присутствие локуса *Vrn-A1* приводит к уменьшению размеров корневой системы у яровых сортов, в частности, сорта Саратовская 29 (С29) [5]. В настоящей работе была поставлена цель увеличить размеры корневой системы яровых генотипов, полученных на основе этого сорта. Для этого были использованы гибриды F_2 от скрещивания между моносомными линиями сорта С29 по хромосомам 5B и 5D и озимой линией IL 5D-5 сорта Чайниз Спринг, которая несёт интрогрессию в хромосоме 5D от *Ae. tauschii*. Яровость растений в этой популяции обеспечивалась генами *Vrn-A1* и *Vrn-B1*. В поколениях F_2, F_3, и F_4 проводился отбор раннецветущих растений с длинными корнями большого веса. Растения выращивали в гидропонной теплице с искусственным грунтом, который позволяет извлекать корневую систему после окончания вегетации и оценивать её размеры. Также учитывался урожайный потенциал и фертильность отбираемых растений. В поколении F_5 было отобрано 15 семей с яровым образом жизни, которые были изучены в разреженном посеве. Как видно из рисунка, распределение растений по числу дней до цветения, длине и весу корней значительно различается между поколениями F_2 и F_5.

Таблица 1 – Характеристика семей F_5, полученных от скрещиваний моно 5B C29 × IL 5D-5 и моно 5D C29 × IL 5D-5 по числу дней до цветения, весу и длине корней

Семьи F_5	Признаки		
	Число дней до цветения	Длина корней, см	Вес корней, г
1	45.9	31.6	0.74
2	44.5	33.4	0.97
3	46.0	34.0	1.04
4	46.4	35.7	1.32
5	43.9	35.5	1.17
6	46.9	31.7	0.79
7	46.6	32.4	0.68
8	42.2	27.3	0.87
9	46.9	34.0	0.92
10	46.2	34.5	1.65
11	46.3	33.2	1.12
12	45.8	33.4	0.89
13	44.3	31.7	0.79
14	48.5	35.1	1.02
15	48.4	31.8	0.89
F_{05}	1.73		
F	3.04	3.38	2.65
НСР	3.0	3.7	0.53
Лимиты	42.2-48.5	27.3-35.7	0.68-1.65

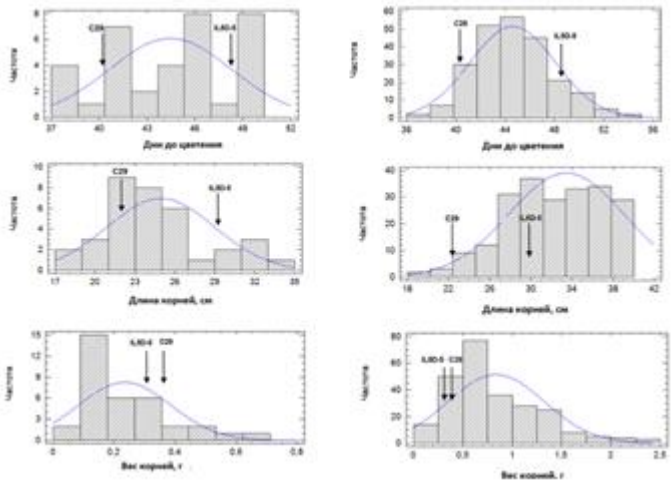


Рисунок. Суммарное распределение растений по числу дней до цветения, длине и весу корней в F2 (слева) и F5 (справа), полученных от скрещиваний моно 5B C29 × IL 5D-5 и моно 5D C29 × IL 5D-5

Большинство растений F_2 и F_5 зацветало в пределах 43-47 дней, что позже, чем цветение С29, но раньше, чем цветение яровизированной линии IL 5D-5. При этом длина и вес корней большинства растений F_5 превышал значения обоих родителей. Если в F_2 большинство растений имели вес корней менее 0,4 грамма, то в F_5 большая часть популяции имела вес от 0,5 до 1,0 грамма, что более чем в два раза больше, чем у исходных родительских форм. Корреляционный анализ зависимости между тремя изученными признаками показал достоверную корреляцию между весом и длиной корней (табл.2). При этом не было обнаружено связи между числом дней до цветения и размерами корней. Таким образом, в процессе отбора была разорвана обнаруженная нами ранее сильная зависимость между этими признаками [4] у линий с интрогрессиями от *Ae. tauschii*. Яровость в полученных семьях обусловлена действием генов *Vrn-A1* и *Vrn-B1*, а размер корневой системы, как мы предполагаем, определяется участком интрогрессии в хромосоме 5D, содержащим рецессивный аллель гена *Vrn-D1*, унаследованный от линии IL 5D-5. Это говорит о возможности эффективного использования интрогрессий для создания фенотипического разнообразия по размерам корневой системы. Семьи также были оценены по компонентам продуктивности и технологическим свойствам зерна и муки. Они формировали от 7 до 11 продуктивных побегов, тогда как С29, в среднем, 4,8. Число зёрен с растения составляло от 250 до 380, их вес – от 7,5 до 14,4 г. У С29 эти показатели составляют, в среднем, 106 зёрен и 4,3 г, соответственно. Было создано большое разнообразие между семьями по содержанию белка и клейковины в зерне, а также по выделены семьи с высокой твердозёрностью, что позволяет прогнозировать их пригодность для хлебопекарных целей.

Таблица 2 – Корреляционная зависимость между числом дней до цветения, весу и длиной корней среди семей F_5

Признаки	Число дней до цветения	Длина корней	Вес корней
Длина корней	0,44	1	---
Вес корней	0,04	0,58*	1

Критическое значение коэффициента корреляции (при $P<0.05$) равно 0,51

Благодарности: Работа поддержана бюджетным проектом № FWNR-2022-0017 ИЦиГ СО РАН. Растения выращивались в ЦКП ЛИВР.

Список литературы

1. Voss-Fels K.P., Snowdon R.D., Hickey L.T. Designer roots for future crops // Trends in Plant Science, 2018. Vol.23. P.957–960.
2. Placido D.F., Campbell M.T., Folsom J.J., Cui X.., Kruger GR., Baenziger P.S., Walia H. Introgression of novel traits from a wild wheat relative improves drought adaptation in wheat // Plant Physiol., 2013. V.161. P.1806–1819.

3. Feng K., Cui L., Lv S., Bian J., Wang M., Song W., Nie X. Comprehensive evaluating of wild and cultivated emmer wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes response to salt stress // Plant Growth Regul., 2018. V.84. P.261–273.
4. Pshenichnikova T.A., Smirnova O.G, Simonov A.V., Shchukina L.V., Morozova E.V., Lohwasser U., Börner A. The relationship between root system development and vernalization under contrasting irrigation in bread wheat lines with the introgressions from a synthetic hexaploid // Plant Growth Regul., 2020. V.92. P.583–595.
5. Смирнова О.Г., Пшеничникова Т.А. Взаимосвязь между генетическим статусом локуса *Vrn-1* и размерами корневой системы у мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2021. V.25. P.805–811.

Содержание антиоксидантов в клубнях сортов картофеля из коллекции ВИР

Рогозина Е.В., д.б.н., в.н.с.; Соловьева А.Е., к.б.н., с.н.с.; Горлова Л.М., магистр СПбГУ.*

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт- Петербург, Россия.
**e-mail: erogozina@vir.nw.ru*

Оценены18 отечественных сортов картофеля, по содержанию витамина С, каротиноидов и антоцианов в клубнях урожая 2019 и 2020 гг. и после хранения (в марте 2020 г.). Показано, что содержание антиоксидантов в клубнях определяется генотипом и условиями выращивания картофеля, изменяется после длительного хранения.

Ключевые слова: *селекция на качество урожая, диетическое питание, витамин С, каротиноиды, антоцианы.*

Content of antioxidants in tubers of potato varieties from VIR collection

Rogozina E.V., Solovyeva A.E., Gorlova L.M.*
Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St-Petersburg, Russia.
**e-mail: erogozina@vir.nw.ru*

Studies of the content of vitamin C, carotenoids and anthocyanins in tubers of 18 Russian potato varieties were conducted. Genetic diversity of potato varieties and agro climatic conditions of cultivation of the potato crop resulted the antioxidant compounds in tubers. Vitamin C content decreased in all potato during storage. Effect of storage for carotinoid content differed in potato varieties.

Keywords: *breeding for quality, diet food, vitamin C, carotenoids, anthocyanin.*

В рационе здорового питания населения значительную часть должны обеспечивать растительные продукты, в том числе богатые антиоксидантами – веществами, которые способны связывать свободные радикалы, тем самым замедляя окислительные процессы в организме. В России, по данным Росстат, потребление картофеля на душу населения в год составляет 56,5 кг (https://rosstat.gov.ru/storage/_mediabank/Potreb_prod_pitan-2021.pdf). Столовый картофель, как доступный продукт повседневного потребления, имеет большой потенциал в качестве диетического и функционального продукта питания. Основные антиоксиданты в клубнях картофеля – это полифенолы, аскорбиновая кислота (витамин С), каротиноиды, альфа-токоферол (витамин Е). Картофель с пигментированной (красной или фиолетовой) кожурой и мякотью отличается более высоким содержанием антиоксидантов, чем бело клубневые сорта, за счет антоцианов – флавоноидных соединений, входящих в группу полифенолов [1].

В коллекцию ВИР в 2017–2019 гг. поступили новые отечественные сорта картофеля, в том числе с красной или фиолетовой окраской клубней. Цель работы – исследование содержания антоцианов в клубнях сортов картофеля в зависимости от условий выращивания и после хранения.

Материал и методы

Клубни 18 сортов картофеля оценены на содержание витамина С, каротиноидов и антоцианов. Картофель выращивали на опытном поле НПБ Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР. Вегетационный период 2019 г. отличался избытком влаги в мае-июне, малой тепло обеспеченностью и недостатком влаги в июле-августе. Вегетационный период 2020 г. отличался прохладной температурой и избыточным количеством осадков в июле–августе.

Содержание антоцианов определяли в объединенной выборке клубней, собранных с 20 растений каждого сорта картофеля, в трехкратной повторности. Биохимический анализ проведен на клубнях после сбора урожая в 2019 и в 2020 гг. в сентябре-октябре и в 2019 г. в марте (клубни после хранения по общепринятой технологии в хранилище при температуре 2–4 ºС.

Количество аскорбиновой кислоты было определено методом прямого извлечения из растений 1 % соляной кислотой, с последующим титрованием с помощью 2,6-дихлориндофинола. Каротиноиды и хлорофиллы были выделены с помощью ацетона, и их абсорбция была измерена на спектрофотометре при различных длинах волн [2]. Антоцианы – экстракцией антоцианового комплекса раствором 1 % соляной кислоты, с последующим спектрофотометрированием при длине волны 510 нм, в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид (453). Для внесения поправки на содержание зеленых пигментов одновременно определяли оптическую плотность полученных экстрактов при 657 нм [3].

Результаты

Содержание антиоксидантов в клубнях зависит от генотипа картофеля и метеоусловий вегетационного периода. Содержание витамина С у

всех сортов, кроме Эликсред и Русский сувенир, в урожае 2019 г. было в два раза выше, чем в урожае 2020 г.; составляло 9,6–19,4 мг/100 г и 6,29–8,46 мг/100 г соответственно. Наименьшее снижение содержания витамина С при хранении (на 13 %) отмечено у сорта Эликсред, у остальных сортов потери более значительны – 29–63 % (рис. 1).

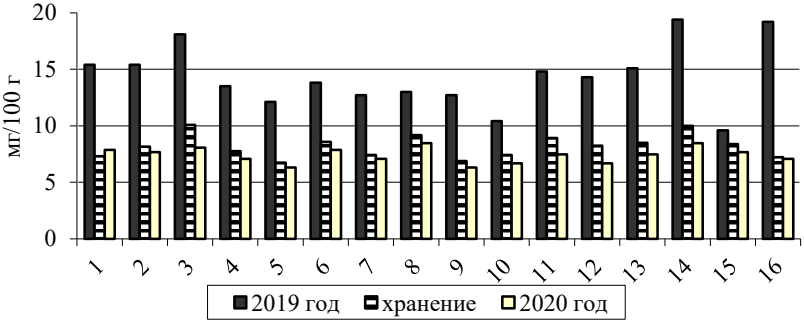


Рис. 1. Характеристика сортов картофеля по содержанию витамина С в клубнях. 1 – Барин; 2 – Гранд; 3 – Дачный; 4 – Калибр; 5 – Краса Мещеры; 6 – Красавчик; 7 – Кумач; 8 – Нарымская ночка; 9 – Пламя; 10 – Русский сувенир; 11 – Сиверский; 12 – Сокур; 13 – Сударыня; 14 – Фиолетовый; 15 – Эликсред; 16 – Наяда.

Содержание каротиноидов у всех сортов в урожае 2019 г. было значительно выше, чем в урожае 2020 г.; составляло 0,357–1,061 мг/100 г и 0,03–0,51 мг/100 г соответственно. В клубнях сортов Барин, Пламя и Наяда содержание каротиноидов после хранения увеличилось более, чем в два раза. Понизилось после хранения содержание каротиноидов в клубнях сортов Гранд, Краса Мещеры, Нарымская ночка и Сокур (рис. 2).

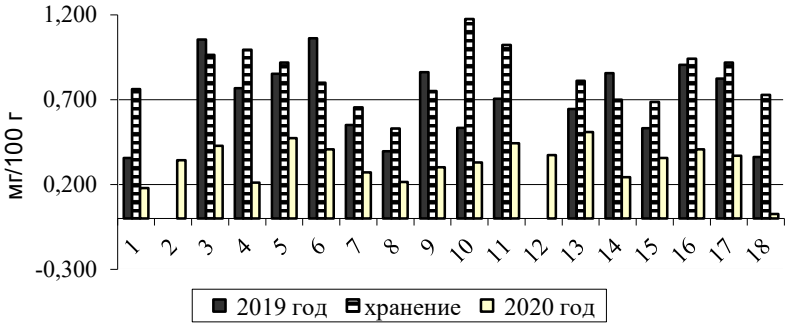


Рис. 2. Характеристика сортов картофеля по содержанию каротиноидов в клубнях. 1 – Барин; 2 – Брусничка; 3 – Гранд; 4 – Дачный; 5 – Калибр; 6 – Краса Мещеры; 7 – Красавчик; 8 – Кумач; 9 – Нарымская ночка; 10 – Пламя; 11 – Русский сувенир; 12 – Северное сияние; 13 – Сиверский; 14 – Сокур; 15 – Сударыня; 16 – Фиолетовый; 17 – Эликсред; 18 – Наяда.

Содержание антоцианов в клубнях шести сортов с желтой кожурой: Барин, Дачный, Краса Мещеры, Русский сувенир, Сиверский, Сударыня и Наяда составляло 1,47–4,54 мг/100 г и мало зависело от условий вегетационного периода. У единственного сорта с желтыми клубнями – Калибр содержание антоцианов в урожае 2020 г. было в два раза выше, чем в урожае 2019 г., составило 13,35 и 6,05 мг/100 г соответственно.

Содержание антоцианов в клубнях сортов с красной кожурой и белой или желтой мякотью: Гранд, Красавчик, Кумач, Пламя, Сокур повысилось в 2,5–8 раз в урожае 2020 г. по сравнению с 2019 г.; составляло 4,25–10,05 мг/100 г и 17,70–36,11 мг/100 г соответственно.

У сортов с красной или фиолетовой кожурой и окрашенной мякотью: Эликсред, Брусничка, Фиолетовый, Нарымская ночка и Северное сияние содержание антоцианов изменялось от 15,56 мг/100 г у сорта Эликсред в урожае 2019 г. до 493,3 мг/100 г у сорта Северное сияние в 2020 г. Не установлено связи между интенсивностью проявления окраски в мякоти клубней и содержанием антоцианов. Так в клубнях сорта Фиолетовый (интенсивно фиолетовой окраски) содержание антоцианов в 2,7 раза меньше, чем в клубнях сорта Северное сияние (белая мякоть и фиолетовое сосудистое кольцо).

Наши результаты хорошо согласуются с известными сведениями о значительных потерях (до 45 %) витамина С в процессе хранения [1]. Сведений о содержании каротиноидов в клубнях картофеля после холодного хранения в литературе нет. Содержание антоцианов у картофеля, по-видимому, является наиболее вариабельным признаком. В клубнях сортов и гибридных популяций (селекции США) с красной мякотью содержание антоцианов составило 6,9–35 мг/100 г, и было выше, чем у сортов с фиолетовой мякотью – 5,5–17,1 мг/100 г; у сорта Urenika (Новая Зеландия) с фиолетовой мякотью содержание антоцианов достигает 368 мг/100 г [4]. По мнению российских селекционеров, содержание белка, витамина С и антиоксидантов в клубнях картофеля определяется генетическими особенностями сорта, и в меньшей степени зависит от внешних факторов [5]. Анализ зарубежной литературы свидетельствует об изменении химического состава клубней, в том числе накопления антиоксидантов, в зависимости от температуры выращивания и условий хранения [6].

Наши результаты подтверждают заметную дифференциацию отечественного сортимента картофеля по содержанию антиоксидантов и значимое влияние условий выращивания на биохимические показатели клубней. Так, сорта Гранд и Фиолетовый в условиях Санкт-Петербурга (г. Пушкин), как и в Московской обл., отличались повышенным содержанием витамина С в сравнении с другими сортами, но абсолютное значение показателей снизилось. Содержание антоцианов в клубнях сорта Фиолетовый в наших опытах было ниже, чем опубликованные данные [5]. Сорт Фиолетовый относится к среднепоздней группе спелости, и укороченный период вегетации в

условиях Санкт-Петербурга мог стать причиной изменений биохимических показателей. Немаловажным фактором при сопоставлении результатов биохимических анализов является согласованность методических подходов. Известно, что концентрация флавоноидов выше в кожуре, чем в мякоти клубней картофеля, поэтому сравнение биохимических показателей справедливо при тождественности методик пробоподготовки и проведения анализов.

Генофонд картофеля в коллекции ВИР включает аборигенные культурные формы картофеля, издревле возделываемые коренным населением Южной Америки. Среди представителей *Solanum andigenum* Juz. et Buk., *S. phureja* Juz. et Buk. и других культурных видов нередки образцы с разнообразной окраской мякоти и кожуры клубней. Разнообразие родичей сортового картофеля станет предметом дальнейших углубленных биохимических исследований.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Министерства образования и науки России «Национальная сетевая коллекция генетических ресурсов растений для эффективного научно-технологического развития РФ в сфере генетических технологий» по соглашению №075-15-2021-1050 от 28.09.2021 г.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement № 075-15-2021-1050 at 28.09.2021

Список литературы

1.Lachman J., Hamouz K. Red and purple coloured potatoes as a significant antioxidant source in human nutrition – a review //Plant soil environ. 2005. 51 (11):477–482.
2. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Иконникова М.И., Ярош Н.П., Луковникова Г.А. Методы биохимического исследования растений. Л. 1987. 430 с.
3. Муравьева Д.А., Бубенчикова В.Н., Беликов В.В. Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветках василька синего // Фармакология. 1987. Т. 36. С. 28–29.
4. Brown C.R. Antioxidants in Potato // Amer. J. of Potato Res. 2005.82:163–172.
5. Е.А. Симаков, Б.В. Анисимов, С.В. Жевора, А.В. Митюшкин, А.А. Журавлев, А.В. Митюшкин, А.С. Гайзатулин. Актуальные направления развития селекции и семеноводства картофеля в России // Картофель и овощи. 2020. №12. С. 22–26. https://doi.org/10.25630/PAV.2020.49.70.005
6. Поливанова О.Б., Гинс Е.М. Антиоксидантная активность пигментированного картофеля (*Solanum tuberosum* L.), содержание антоцианов, их биосинтез и физиологическая роль. Овощи России. 2019;(6):84-90. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-84-90.

Межвидовая гибридизация в увеличении биоразнообразия луковых культур

Романов В.С., к. с.-х. н., с.н.с., Тимин Н.И., д. с.-х. н., г.н.с.*

*ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО), Россия, Московская область, Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14, e-mail: *romanov_valera@mail.ru*

Межвидовая гибридизация в роде Allium L. – лучший способ увеличения биоразнообразия за счет интрогрессии желаемых признаков внутри рода. Это ценно для таких признаков, как устойчивость к болезням и вредителям, накопление важных метаболитов, получения новых источников цитоплазматической мужской стерильности. Создание на основе межвидовой гибридизации принципиально новых форм растений с уникальным генетическим материалом позволяет расширить отбор ценных в практическом отношении генотипов. Для характеристики селекционного материала проводилась оценка растений межвидовых гибридов лука методами морфологического и фитопатологического анализов. Проведен анализ растений межвидовых гибридов рода Allium L. из различных инбредных потомств от ВС1-2 по селекционным признакам. Описаны схемы получения форм межвидовых гибридов лука. Разработан способ получения семян лука за один год на основе технологии культуры цветочных бутонов in vitro.

Ключевые слова: *межвидовая гибридизация, биоразнообразие, луки, селекционный признак, устойчивость к ложной мучнистой росе.*

Interspecific hybridization in increasing the biodiversity of allium crops

Romanov V.S., Timin N.I.
FSBSI «Federal Scientific Vegetable Center» (FSBSI FSVC) Selectionnaya str., 14, p. VNIISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia
E-mail: romanov_valera@mail.ru

Interspecific hybridization in the genus Allium L. is the best way to increase biodiversity by introgression of desired traits within the genus. This is valuable for signs such as resistance to diseases and pests, accumulation of important metabolites, obtaining new sources of cytoplasmic male sterility. The creation based on interspecific hybridization of fundamentally new plant forms with unique genetic material makes it possible to expand the selection of genotypes that are valuable in practical terms. To characterize the breeding material, the plants of interspecific allium hybrids were evaluated using morphological and phytopathological analyses. The analysis of plants of interspecific hybrids of the genus Allium

L. from various inbred offspring from BC1-2 by breeding characteristics was carried out. Schemes for obtaining forms of interspecific allium hybrids are described. A method for obtaining allium seeds in one year based on the technology of flower bud culture in vitro has been developed.

Keywords: *interspecific hybridization, biodiversity, alliums, breeding trait, resistance to downy mildew.*

Род *Allium* L. самый большой из семейства Луковых (Alliaceae J.K. Agardh.) класса Однодольных растений (Monocotyledineae) с огромным разнообразием морфологических признаков, адаптированных к различным климатическим условиям. Он включает около 1000 видов [1]. Окультуривание луковых культур улучшило его хозяйственные признаки, но при этом снизило его биоразнообразие, а также адаптацию к изменяющимся биотическим и абиотическим факторам среды. Гибридизация между дикорастущими и культурными видами рода *Allium* L. является лучшим способом увеличения биоразнообразия за счет интрогрессии желаемых признаков внутри рода. Это ценно для таких признаков, как устойчивость к болезням и вредителям, накопление важных метаболитов, а также получения новых источников цитоплазматической мужской стерильности у селекционных линий. Благодаря этому увеличивается возможность отбора ценных в практическом отношении генотипов.

При межвидовой гибридизации лука создание новых форм возможно в двух основных направлениях. С одной стороны можно получать гаплоидные растения из-за элиминации хромосом, затем методом полиплоидизации удвоенные гаплоидные растения и далее селекционные линии и сорта. С другой стороны межвидовые гибриды могут быть рекомбинантами, амфидиплоидами, миксополоидами, анеуплоидами и др. Эти растения в зависимости от их генетической природы подвергаются инбридингу, кроссбридингу, беккроссированию [2], полиплоидизации, скрещиванию с промежуточным видом [3].

Цель данной работы – изучить роль межвидовой гибридизации для увеличения биоразнообразия у луковых культур.

Во ВНИИССОК (ныне ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства») в скрещивании с луком репчатым участвовали многолетние луки рода *Allium* L.: – диплоидные (2n=2x=16): лук батун (*A. fistulosum* L.), лук алтайский (*A. altaicum* Pall.), лук Вавилова (*A. vavilovii* M.Pop. et Vved.); – тетраплоидные (2n=4x=32): лук шнитт (*A. schoenoprasum* L.), лук слизун (*A. nutans* L.).

Созданные популяции $F_{1\text{-}5}$ от скрещивания лука репчатого с изучаемыми многолетними луками по морфологическим признакам занимали промежуточное положение между родительскими видами [4]. Были получены интрогрессивные многолетние формы межвидовых гибридов 5 комбинаций скрещивания: *A. cepa* × *A. fistulosum, A. cepa* × *A. vavilovii, A. cepa* × *A. altaicum, A. cepa* × *A. schoenoprasum, A. cepa* × *A. nutans*.

Последовательное использование преодоления несовместимости в

культуре *in vitro*, беккроссирование, инбридинг, кроссбридинг и индивидуального отбора позволило получить многолетние и луковичные формы лука [5]. У этих форм оказалось высокое биоразнообразие форм и потенциал при отборе для создания сортов с благоприятными селекционно ценными признаками (окраска, форма луковицы, содержание высоко растворимых и сухих веществ, устойчивость к грибным болезням) [6].

Получение межвидовых гибридов, повышение фертильности у диплоидных форм и преодоления стерильности триплоидных гибридов F_1, ВС от скрещиваний видов одинаковой и разной плоидности нескольких комбинаций скрещивания возможно только с использованием методов биотехнологии – методов эмбриокультуры *in vitro* и полиплоидии. На основе исследований по межвидовой гибридизации разработали схему технологических процессов создания и оценки исходных форм межвидовых гибридов лука, а также схемы получения исходного материала для селекции лука репчатого (рис. 1).

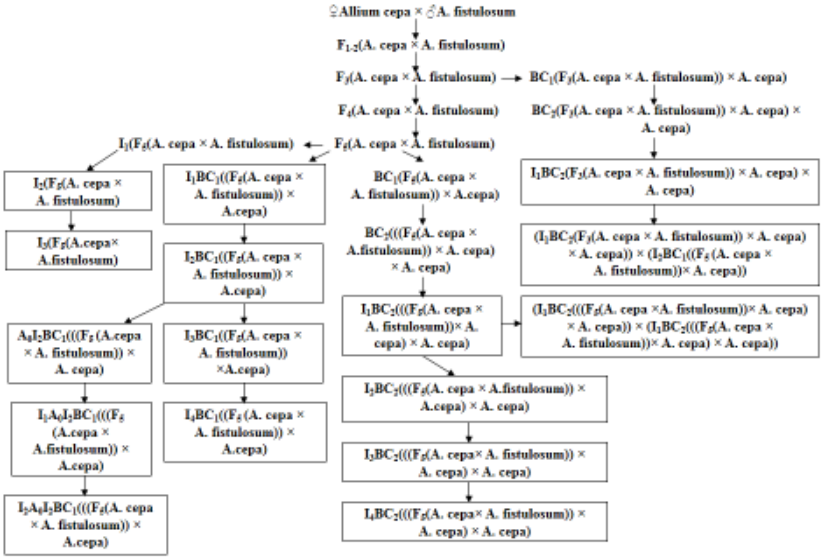


Рис. 1. Схема получения форм межвидовых гибридов лука комбинации скрещивания *Allium cepa* × *A. fistulosum* (1977-2020 гг.).

У популяций межвидовых гибридов лука высокое генетическое разнообразие и потенциал при отборе форм для создания сортов с благоприятными селекционно ценными признаками (окраска сухих чешуй, форма луковицы) (табл. 1).

Таблица 1 – Оценка инбредных потомств межвидовых гибридов лука первого года вегетации по биометрическим показателям (2021 год)

Форма, комбинация скрещивания	Окраска сухих покровных чешуй луковицы	Форма луковицы	Масса луковицы, г	Cv, %
$I_6BC_1F_5$(*A.cepa* × *A.vavilovii*)	жёлтая	округлая	44,1	6,1
$I_6BC_1F_5$(*A.cepa* × *A.vavilovii*)	жёлтая	округло-плоская	51,6	6,8
$I_5BC_2F_5$(*A.cepa* × *A.fistulosum*)	жёлтая	округло-плоская	77,3	7,4
$I_6BC_2F_5$(*A.cepa* × *A.fistulosum*)	жёлтая	округая	50,1	4,5
Одинцовец (*A.cepa* L.) (st.)	жёлтая	округло-плоская/плоская	69,4	50,0
$НСР_{05}$			11,3	

Из-за особенностей биологии развития (дву-, трехлетний, многолетний цикл) луковых культур необходимо ускорять селекционный процесс. Ускорение создания селекционных форм возможно за счет получения гаплоидов и удвоенных гаплоидов, получением одного поколения за счет использования регулируемых условий фитотрона (климатических камер) совместно с защищенным грунтом, а также получением одного поколения лука за 1 год на основе технологии культуры цветочных бутонов *in vitro* (рис. 2).

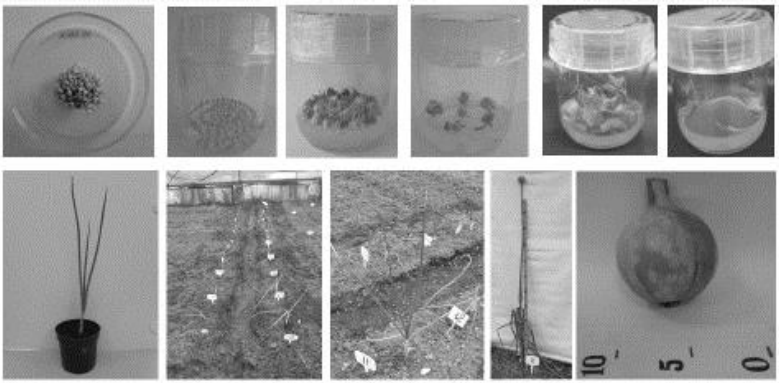


Рис. 2. Получение семян лука за 1 год на основе технологии культуры цветочных бутонов *in vitro* (2019-2020 гг.).

Проведенные исследования продемонстрировали влияние межвидовой гибридизации на увеличение биоразнообразия у растений лука, а также применение методов биотехнологии, насыщающих скрещиваний, кроссбридинга и инбридинга на создание исходного материала для селекции лука репчатого.

Список литературы

1. Govaerts R, Kington S, Friesen N, Fritsch R, Snijman DA, Marcucci R, Silverstone-Sopkin PA, Brullo S (2005–2019) World checklist of Amaryllidaceae Available from: https://apps.kew.org/wcsp/ accessed on 25th April 2019.
2. Романов В.С., Романова О.В., Тареева М.М. Луковичные формы межвидовых гибридов лука, их создание и оценка // Овощи России. 2019. №1. С. 42-45. DOI:10.18619/2072-9146-2019-1-42-45
3. 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.
4. Титова И.В., Тимин Н.И., Юрьева Н.А. Межвидовая гибридизация луков с целью получения форм, устойчивых к ложной мучнистой росе // Докл. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1983. № 8. С. 190.
5. Титова И.В., Тимин Н.И., Юрьева Н.А. Межвидовая гибридизация лука: Науч. тр. По селекции и семеноводству. М., 1995. С. 91–101.
6. Романов В.С., Кан Л.Ю., Тимин Н.И., Домблидес А.С., Молчанова А.В., Тареева М.М. Характеристика гибридов между *Allium cepa* L. и *Allium nutans* L. по биохимическому составу. // Овощи России. 2017. №5. С. 33-36. DOI:10.18619/2072-9146-2017-5-33-36

Аллоплазматические интрогрессивные ДГ линии (*H. vulgare*)-*T. aestivum* для получения перспективных генотипов и ускорения селекционного процесса

Россеева Л.П.[1], к.с.-х.н., в.н.с.; Белан И.А.[1], к.с.-х.н., зав. лабораторией; Блохина Н.П.[1], с.н.с.; Трубачеева Н.В.[2], к.б.н., н.с.; Першина Л.А.[2], д.б.н., г.н.с.*

[1]ФГБНУ «Омский АНЦ», Омск, Россия.
[2]ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
**e-mail: pershina@bionet.nsc.ru*

Полученные в результате культивирования пыльников аллоплазматические ДГ линий (H. vulgare)-T. aestivum изучены в разных экологических зонах на устойчивость к грибным патогенам и проявление хозяйственно-ценных признаков. Выделены перспективные ДГ линии с комплексной устойчивостью к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине, которые были использованы в скрещиваниях для получения нового селекционного материала, а также в качестве исходных генотипов в селекции. Одна из ДГ-линий после шести лет испытаний в 2021 г. была передана на ГСИ как сорт яровой мягкой пшеницы Сигма 5.

Ключевые слова: *мягкая пшеница, аллоплазматические ДГ линии, грибные патогены, устойчивость, ускорение селекции, сорт.*

Alloplasmic introgressive DH lines (*H. vulgare*)-*T. aestivum* to obtain promising genotypes and speed up the breeding process

*Rosseeva L.P.[1], Belan I.A.[1], Blokhina N.P., Trubacheeva N.V.[2], Pershina L.A.[2]**
[1]Omsk Agricultural Scientific Center, 644012 Omsk, Russia.
[2]Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
**e-mail: pershina@bionet.nsc.ru*

Alloplasmic DH lines (H. vulgare)-T. aestivum obtained as a result of anther culture have been studied in different ecological zones for resistance to fungal pathogens and the manifestation of agronomically valuable traits. Promising DH lines with complex resistance to powdery mildew, leaf rust and stem rust were identified. They were used in crosses to obtain new breeding material, as well as initial genotypes in breeding. One of the DH lines after six years of trials in 2021 was transferred to the State Variety Trial as a spring common wheat variety Sigma 5.

Keywords: *bread wheat, alloplasmic DH lines, fungal pathogens, resistance, acceleration of breeding, variety.*

ДГ линии («двойные гаплоиды», то есть гаплоиды с удвоенным числом хромосом) являются гомозиготными генотипами, представляющими интерес для фундаментальных исследований и селекции. Ранее в наших работах на примере создания сортов яровой мягкой пшеницы Сигма и Уралосибирская 2 была показана эффективность использования ДГ линий в скрещиваниях при получении перспективных генотипов для селекции [1, 2].

В настоящей работе представлены результаты изучения ДГ линий и их использования как для получения нового селекционного материала, так и для ускорения отбора целевых генотипов в селекционном процессе. ДГ линии были сформированы на основе отдельных колосьев цитогенетически стабильных андрогенных растений, полученных в результате культивирования пыльников F_3 согласно методам [3], гибридной комбинации Л-311/00-22-4 × (Л.XI/2870 *T. diccocoides* 1325-1330). Линия Л-311/00-22-4 несет цитоплазму культурного ячменя и пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL (с комплексом генов *Lr26*/*Sr31*/*Yr9*/*Pm8*), и является источником сорта пшеницы Уралосибирская 2 [2]. Линия (Л.XI/2870 *T. diccocoides* 1325-1330) имеет гены устойчивости к патогенам мучнистой росы и бурой ржавчины, интрогрессированные в мягкую пшеницу от *T. diccocoides* [4].

От полностью фертильных андрогенных растений R1, у которых была выявлена пшенично-ржаная транслокация, было сформировано сорок шесть ДГ линий. Эти линии первоначально оценивали по устойчивости к листостебельным патогенам (согласно ниже указанным методам), а также фертильности при выращивании растений на поле ИЦиГ СО РАН, г. Новосибирск. Тридцать пять линий из числа изученных (76 %) были полностью фертиль-

ными и устойчивыми к мучнистой росе, бурой ржавчине и стеблевой ржавчине. На основании молекулярного анализа подтверждено, что у этих ДГ линий ядерно-цитоплазматическая совместимость не нарушена.

На первом этапе двенадцать выделенных ДГ линий были включены в селекционный процесс. Отборы проводили на основании тестирования по одному году испытаний в СП-1, СП-2, СП-3, КСИ-1, КСИ-2, КСИ-3. Начиная с испытаний в КСИ-1, ДГ линии параллельно выращивали в разных экологических условиях: южной лесостепи, северной лесостепи, степной зоне. Наблюдения и учёты проводились согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [5]. Поражаемость изучаемых линий мучнистой росой определяли по Saari E.E., Prescoott J.M., бурой и стеблевой ржавчиной проводили по международной шкале. Учеты выполняли в динамике 5–7 раз через 6–8 суток с начала проявления заболеваний до восковой спелости. Урожайность оценивали при двух сроках посева. Стандартами служили сорта яровой мягкой пшеницы Дуэт и Омская 33.

По итогам испытаний, выполненных в течение шести лет, была выделена среднеспелая ДГ линия 48-3, которая в 2021 году передана на ГСИ в 9, 10 и 11 регионах Российской Федерации под названием Сигма 5. Как следует из данных, представленных в таблице, этот сорт характеризуется комплексной устойчивостью к патогенам мучнистой росы, бурой и стеблевой ржавчины.

Таблица – Результаты изучения сорта Сигма 5 по урожайности и устойчивости к листостебельным патогенам, КСИ, 2019–2021 гг.

Сорт	Урожайность, т/га		Поражение мучнистой росой, %	Устойчивость к ржавчине	
	срок посева			бурой	стеблевой
	1-й	2-й			
St-Дуэт	2,83	2,03	25	0*	S
St-Омская 33	3,17	2,47	50	MS	S
Сигма 5	5,59	4,58	0	0	R
± к St Дуэт	2,76	2,55			
± к St-Омская 33	2,42	2,11			
НСР	0,1	0,27			

* 0 – иммунный; R – устойчивый; MS – слабовосприимчивый и S– восприимчивый

Анализ данных по урожайности в течение трех лет (2019–2021 гг.) показал, что сорт Сигма 5 существенно превышал стандарты независимо от срока посева. В первом сроке посева по пару урожайность этого сорта составила в среднем 5,59 т/га, что на 2,76 т/га выше стандарта Дуэт и на 2,42 т/га выше сорта Омская 33. Во втором сроке урожайность сорта Сигма 5 составила 4,58 т/га, что на 2,55 т/га выше, чем у стандарта Дуэт и на 2,11 т/га выше

по сравнению с сортом Омская 33. Максимальная урожайность 6,78 ц/га получена в конкурсном сортоиспытании ФГБНУ «Омский АНЦ» при посеве по пару. При изучении в стационаре отдела северного земледелия (г. Тара) сорт Сигма 5 в 2021 г. при урожайности 3,94 т/га превзошел стандарт Памяти Азиева на 2,19 т/га, а в стационаре отдела степного земледелия (пос. Новоуральское) при урожайности 2,48 т/га превзошел стандарт Дуэт на 0,68 т/га. При оценке по хлебопекарным показателям сорт характеризуется следующими показателями качества зерна: натура зерна достигала 749 г/л, масса 1000 зёрен – 38,7 г., содержание сырой клейковины – 32,6%, белка – 16,21 %, сила муки – 446 е.а., валориметр – 79 ед. вал., объём хлеба – 983 см^3, общая хлебопекарная оценка – 4,4 балла.

По длине вегетационного периода сорт Сигма 5 находится на уровне стандарта Дуэт (82 суток). Сорт формирует крупное зерно, не осыпается. Устойчивость к полеганию высокая (8 баллов против 7 баллов у стандарта Дуэт). Сочетание высокой урожайности с высокими хлебопекарными качествами зерна позволит этому сорту успешно конкурировать с сортами аналогичной группы спелости.

Сопоставление данных изучения ДГ линий в разных экологических зонах показало эффективность отбора ДГ линий одного происхождения для разных регионов. Параллельно селекционной работе ДГ линии были включены в скрещивания с перспективными селекционными линиями и сортами. В результате получено более 150 гибридных комбинаций, которые проходят испытание в селекционных питомниках. Начиная с 2022 года селекционная работа начата с 23 новыми ДГ линиями, которые отобраны из гибридной комбинации (Л-311/00-22-4 × (Л.XI/2870 *T. diccocoides* 1325-1330). Из них для дальнейшего изучения выделено двенадцать ДГ линий, которые в полевых условиях характеризуются устойчивостью к мучнистой росе, полеганию, а также различаются между собой разнообразным проявлением хозяйственно-важных признаков, включая продолжительность вегетационного периода и высоту растений. (В 2022 году условия для развития бурой и стеблевой ржавчины были неблагоприятными, поэтому оценка устойчивости изучаемых линий проведена только к патогену мучнистой росы и засухе).

Таким образом, по результатам проводимых работ показано, что ДГ линии сложной гибридной комбинации, в родословной которой участвует аллоплазматическая линия (*H. vulgare*)-*T. aestivum*, могут эффективно использоваться для создания нового селекционного материала, а также в качестве исходных форм, работа с которыми способствует ускорению селекционного процесса.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 20-016-00196) и частично бюджетного проекта FWNR-2022-0017.

Список литературы

1. Белан И.А., Россеева Л.П., Мешкова Л.В., Блохина Н.П., Першина Л.А., Трубачеева Н.В. Создание сортов мягкой пшеницы устойчивых к грибным заболеваниям для условий Западной Сибири и Урала // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (147). С. 5–14.
2. Першина Л.А., Белова Л.И., Трубачеева 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.
3. Pershina Lidiya, Trubacheeva Nataliya, Badaeva Ekaterina, BelanIgor, Rosseeva Ludmila. Study of androgenic plant families of alloplasmic introgression lines (*H. vulgare*)–*T. aestivum* and the use of sister DH lines in breeding // Plants (Basel). 2020.V. 9. № 6. P. 764–816.
4. Дружин А.Е., Сибикеев С.Н., Крупнов В.А. Увеличение генетического разнообразия саратовских пшениц методами интрогрессивной селекции как развитие идей Н.И. Вавилова // Вестник Саратовского госагроуниверситета. 2012. № 10. С. 33–38.
5. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып.1-й. Общая часть. М. 1985. 269 с.

Результат и перспективы применения различных методов в селекции яровой мягкой пшеницы на Карабалыкской СХОС

Савин Т.В.[1], Чудинов В.А.[2], к.б.н., Кулинич В.А.[2], Искакова С.В.[2], Шило Е.В.[2]*

[1]Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан
[2]Карабалыкская сельскохозяйственная опытная станция, Научное, Казахстан
**e-mail: ch.den@mail.ru*

Приведены результаты использования в создании новых сортов яровой мягкой пшеницы методов традиционной селекции, челночной селекции и перспективы использования в селекции синтетических линий.

Ключевые слова: *яровая пшеница, традиционная селекция, челночная селекция, синтетические линии, сорт, гибридизация, конкурсное сортоиспытание.*

Results and prospects for the use of various methods in the breeding of soft spring wheat at the Karabalyk Experimental Station

Savin T.V.[1], Chudinov V.A.[2], Kulinich V.A.[2], Iskakova S.V.[2], Shilo E.V.[2]*
[1]Kazakh Agrotechnical University named after Saken Seifullin, Nur-Sultan, Kazakhstan
[2]LLP "Karabalyk Agricultural Experimental Station", Scientific, Kazakhstan
**e-mail: ch.den@mail.ru*

The results of using methods of traditional breeding, shuttle breeding and prospects of using synthetic lines in the creation of new varieties of spring soft wheat are presented.

Keywords: *spring wheat, traditional breeding, shuttle breeding, synthetic lines, variety, hybridization, competitive variety testing.*

Основной задачей селекционеров Казахстана является создание сортов сельскохозяйственных культур, отвечающим требованиям современного сельскохозяйственного производства. Северный Казахстан является основным зерносеющим регионом Республики, где до 60% посевных площадей заняты под мягкой пшеницей. Пшеница – бренд Казахстана и составляет основу экспортного потенциала сельскохозяйственной продукции страны.

Резко-континентальные климатические условия региона требуют от возделываемых сортов высокой пластичности и адаптивности различным почвенно-климатическим условиям. Традиционно отечественная селекция была ориентирована на создание засухоустойчивых сортов с высокими качественными параметрами зерна. Это были как правило, среднеранние и среднеспелые сорта полуинтенсивного типа. Процессы глобального изменения климата, затронувшие и северные регионы Казахстана принесли с собой такие проблемы, как развитие грибных болезней пшеницы (бурая листовая и стеблевая ржавчина), устойчивость к полеганию, а последние годы и устойчивость к высоким температурам на фоне воздушной и почвенной засухи.

По мнению многих ученых и производственников роль сорта в получении продукции растениеводства варьирует от 30 до 50%. При этом единогласным считается мнение, что сортосмена, это наиболее эффективный и менее затратный способ повышения уровня продуктивности сельскохозяйственных культур.

В условиях современного рынка и сортового разнообразия создание конкурентоспособных сортов становится все более сложной задачей, требующей для своего решения применения различных методов селекционной работы. В своих исследованиях в области создания новых сортов яровой мягкой пшеницы, мы используем, как традиционную селекцию, основанную на простых парных, возвратных и насыщающих скрещиваниях, так и более современные методы с использованием потенциала «Челночной селекции» совместно с СИММИТ, а также использование синтетических линий пшеницы [1].

Использование разнообразных методов селекции способствует созданию разноплановых сортов яровой мягкой пшеницы. Созданию пластичных сортов способствуют и складывающиеся климатические условия (табл. 1), позволяющие проводить отбор на различных фонах влагообеспеченности, от благоприятных до острозасушливых.

Таблица 1 – Гидротермические условия вегетационного периода яровой мягкой пшеницы в условиях «Карабалыкской СХОС»

Год / месяц	2017		2018		2019		2020		2021	
	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм
Май	13,1	58,6	12,1	32,7	16,3	15,6	18,2	41,8	21,6	6,7
Июнь	19,5	53,5	17,0	46,5	18,8	28,3	19,2	22,4	22,3	8,4
Июль	21,0	71,5	22,8	78,7	23,5	62,5	25,2	12,7	22,1	52,4
Август	21,0	25,8	18,3	39,6	19,6	51,4	21,3	41,5	24,4	21,7

Представленные в таблице условия вегетации растений в различные по влагообеспеченности годы наглядно демонстрируют картину континентальности климата Северного Казахстана. Даже в небольшом по протяженности пятилетнем периоде присутствуют, как влагообеспеченные 2017 и 2018 годы, засушливые 2019 и 2020 годы, так и острозасушливый 2021 год. Складывающаяся в регионе климатическая обстановка вполне оправдывает применение комплексного подхода в создании новых сортов культуры.

Справедливость использования в селекции различных методов, подтверждается полученными результатами. Так за период с 2015 года в Государственный реестр селекционных достижений республики Казахстан внесено 4 сорта яровой мягкой пшеницы, созданных селекционерами станции с применением методов традиционной селекции. Сорта созданы методом гибридизации с последующим направленным отбором, с использованием коллекционного генетического материала и селекционных линий собственной селекции.

Сорт Карабалыкская 20, районированный с 2015 года по Акмолинской, Костанайской и Северо-Казахстанской областям, создан из гибридной популяции с участием отечественного сорта Казахстанская 15 и сорта собственной селекции Эритроспермум 35. Сорт «Фантазия», районированный так же по трем областям Северного Казахстана с 2016 года, создан от скрещивания селекционной линии Лютесценс 18 и сорта Омской селекции - Диас 2. Отбором из гибридной комбинации линий собственной селекции Лютесценс 52/84-77//Эритроспермум 59 создан сорт «Августина», внесенный в госреестр с 2017 года. С 2018 года в реестр внесен сорт мягкой пшеницы «Ламис», в происхождении которого присутствует селекционная линия Лютесценс 181 и сорт «Иртышанка». Все перечисленные сорта отличаются высокой устойчивостью к стрессовым факторам среды (жара, засуха). Направление селекции на засухоустойчивость остается одним из основных при применении традиционной схемы селекционного процесса. В конкурсном сортоиспытании насчитывается 60 сортов и линий, созданных методом традиционной селекции (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность конкурсного сортоиспытания лучших сортов и линий мягкой пшеницы, созданных традиционным методом селекции на Карабалыкской СХОС

Сорт, линия	Урожайность, ц/га				
	2017	2018	2019	2020	2021
Ламис	25,8	43,4	33,1	19,5	7,5
Фантазия	27,1	42,3	31,3	20,9	8,3
Августина	24,4	37,4	29,4	17,9	4,8
Л 7-94-4	25,0	43,7	33,8	22,4	6,6
Л 57 4/09	23,8	40,3	30,9	24,0	6,1
Л 32 12/09	27,4	42,5	31,4	23,5	6,4
Л 7 124/09	26,2	42,3	32,0	19,9	6,4
Карабалыкская 90 (St)	26,4	44,6	30,9	21,1	7,3
$НСР_{05}$	0,8	1,3	1,6	1,3	2,0

Представленные результаты свидетельствуют о том, что наиболее полно потенциал сортов, созданных традиционным методом, раскрылся в 2018 году, когда максимальное количество осадков выпало в июле в фазу «трубкования-начало колошения». При этом фитопатологическая нагрузка на растения была не высокая. В 2017 году, несмотря на достаточную влагообеспеченность, уровень урожайности значительно ниже, что связано с наблюдаемой в данном году патологической ситуацией по бурой листовой и стеблевой ржавчине пшеницы. Стоит отметить, что практически все сорта яровой мягкой пшеницы, созданные по традиционной схеме селекции, имели высокий (до 100) процент поражения данными патогенами. Достаточно высокий уровень зерновой продуктивности представленных сортов отмечается и в засушливые 2019 и 2020 годы, что соответствует статусу засухоустойчивых сортов. При этом, наблюдаемый нами в 2021 году комплекс стрессовых факторов (почвенная и воздушная засуха), отрицательно повлиял на урожайность.

Следующим применяемым нами методом создания сортов яровой мягкой пшеницы, является челночная селекция. Данная программа была начата в начале 2000 годов совместно с международным центром улучшения кукурузы и пшеницы (СИММИТ), по инициативе А.И. Моргунова. Первоначальной целью программы было повышение уровня иммунитета к грибным болезням культуры, а в последствии и снижение влияния стрессовых факторов среды. Метод челночной селекции основывался на сложных скрещиваниях, проводимых на базе СИММИТ сначала в Мексике, затем в Турции с использованием адаптированного генетического материала и генофонда СИММИТ. За годы работы программы было изучено большое количество селекционного материала и получен практический результат в виде внесенного в государственный реестр селекционных достижений республики Казахстан сорта «Айна». Сорт создан сложным скрещиванием TSELINNAYA YUBILIENAYA /2*PASTOR/3/ BABAX/LR43//BABAX, основой которого является, как видно, сорт казахстанской селекции Целинная

Юбилейная. С созданием сорта «Айна» была решена задача по повышению устойчивости растений яровой мягкой пшеницы к таким экономически значимым болезням, как бурая листовая и стеблевая ржавчины. В таблице 3 представлены результаты конкурсного сортоиспытания сортов и линий, созданных методом челночной селекции.

Таблица 3 – Урожайность конкурсного сортоиспытания лучших сортов и линий мягкой пшеницы, созданных методом челночной селекции на Карабалыкской СХОС

Сорт, линия	Урожайность, ц/га				
	2017	2018	2019	2020	2021
Айна	34,9	42,9	40,3	10,7	15,1
Отар 2	47,3	35,0	29,8	10,1	11,2
Кудесница	40,3	41,3	43,5	14,7	16,8
Айгуль	46,8	37,7	35,9	14,5	14,0
Л 35-2-16	54,3	35,9	33,3	19,7	11,4
Л-54-2-16	49,1	37,7	33,1	17,8	11,0
Карабалыкская 90 (St)	15,3	35,2	35,7	19,5	12,8
$НСР_{05}$	2,6	1,9	2,4	2,1	1,5

Представленные в таблице сорта и линии имеют высокую степень устойчивости к бурой листовой и стеблевой ржавчине пшеницы, поэтому основное преимущество наблюдается в 2017 эпифитотийном году. При этом и в остальные годы испытаний представленные сорта и линии имели высокую степень адаптивности к условиям вегетации. Особого внимания на наш взгляд заслуживает переданный с 2022 года на государственное сортоиспытание сорт «Кудесница», имеющий в своем происхождении дикие сородичи пшеницы (LUTESCENS 30-94/3/ T.DICOCCON PI94625/ AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR). Данный сорт показал высокую жизнеспособность при экстремально-высоких температурах вегетационного периода 2021 года.

Использование в создании новых сортов генетического потенциала диких сородичей пшеницы, дает возможность создания нового селекционного материала, обладающего экологической пластичностью и иммунитетом [2]. С этой целью нами произведено изучение 20 линий синтетической пшеницы селекции Киотского университета (Япония), полученных скрещиванием сорта твердой пшеницы Longdon (США) с формами эгилопса различного генетического происхождения. На сегодняшний день в составе селекционного питомника 2-го года имеются перспективные селекционные линии, полученные при скрещиваниях с синтетическими линиями.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках научной программы №BR10765056 БП 267 МСХ РК.

Список литературы

1 Using wild relatives for creating disease-resistant spring wheat varieties/A.Abugalieva, V.Chudinov, A.Morunov, K.Kozhakhmetov/13tn International Wheat Genetics Symposium, April 23-28, 2017, Tulln-Austria.-P.217.

2 Resistance of spring and winter wheat with the introgression of genetic material (T.Timopheevi,T.Kiharae, T.Dicoccoides, AE.Triaristata, AE.Cylindrica) to abiotic and biotic stress factors of the environment/ K.Kozhakhmetov, A.Abugalieva, A.Rsaliyev, V.Chudinov/4tn International conference "Plant genetics, genomics, bioinformatics and biotechnology", May 29-June 02,2017, Almaty.-C.85.

Цитогенетические и молекулярно-генетические отличия у моносомных гибридов хлопчатника с замещением хромосом

Санамьян М.Ф.[1], д.б.н., г.н.с.; Бобохужаев Ш.У.[1], PhD, ст. преподователь; Абдукаримов Ш.С.[2]Базовый докторант, м.н.с.

[1.]Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан.
[2.]Центр геномики и биоинформатики Академии наук Республики, Ташкент, Узбекистан.
e-mail: sanam_marina@rambler.ru

Изучение коньюгации хромосом у гибридных моносомиков F_1, а также гибридов трех поколений беккроссов с замещением специфических хромосом обнаружило нормальную для моносомиков хлопчатника коньюгацию хромосом с формированием 25 бивалентов и одного унивалента разного размера у большинства гибридов. Двойной скрининг беккроссных растений с использованием цитогенетических и молекулярных маркеров обнаружил формирование в беккроссных потомствах моносомных гибридных растений двух типов: с присутствием замещения специфической хромосомы и с его отсутствием, что, вероятно, явилось следствием смены унивалента в предшествующих делениях мейоза.

Ключевые слова: *моносомик, замещение, хромосома, молекулярно-генетический анализ.*

Cytogenetic and molecular-genetic differences in monosomic cotton hybrids with chromosome substitutions

Sanamyan M.F.[1], Bobohujayev Sh.U.[1], Abdukarimov Sh. S[2].,*
[1.]National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan
[2.]Center for Genomics and Bioinformatics of the Academy of Sciences of the Republic of Tashkent, Uzbekistan.
**e-mail: sanam_marina@rambler.ru*

The study of chromosome pairing in F_1 hybrid monosomics, as well as hy-

brids of three generations of backcrosses with substitution of specific chromosomes, revealed chromosome pairing, normal for cotton monosomics, with the formation of 25 bivalents and one univalent of different sizes in most hybrids. Double screening of backcross plants using cytogenetic and molecular markers revealed the formation in backcross progeny of monosomic hybrid plants of two types: with the presence of a specific chromosome substitution and with its absence, which was probably the result of a change in the univalent in the previous divisions of meiosis.

Keywords: *monosomic, substitution, chromosome, molecular genetic analysis.*

Создание замещенных линий у растений позволяет осуществлять направленную интрогрессию специфических хромосом или сегментов хромосом. Комплексный подход в анализах интрогрессивных линий *T. aestivum* x *Ae. columnaris* выявил несколько типов замещений, дополненных хромосом или фрагментов отдельных хромосом у 15 линий, тогда как у пяти линий наличия чужеродного генетического материала обнаружено не было [2]. В исследовании интрогрессивных линий, полученных от беккроссов с сортами мягкой пшеницы синтетической формы RS7 (BBAAUS) были обнаружены линии с замещением хромосом пшеницы, с перестройками хромосом, однако две интрогрессивные линии характеризовались отсутствием чужеродных интрогрессий [1].

Первые 17 хромосом-замещенных линий хлопчатника, полученные от скрешиваний анеуплоидных линий вида *G. hirsutum* L. с линией Pima 3-79 вида *G.barbadense* L. характеризовались улучшенными характеристиками хлопкового волокна [6].

Изучение хромосом-замещенных линий позволило выяснить, что замещение специфических хромосом хлопчатника (CS-B02, CS-B04, CS-B16, CS-B17, CS-B22Lo, CS-B22sh, CS-B25) приводило к удлинению волокна, высокому выходу волокна, улучшению прочности волокна, микронейра и др. [3]. Однако, некоторые хромосом-замещенные линии не получили молекулярно-генетического подтверждения (CS-B05sh, CS-B06, CS-B07, CS-B15sh) [7].

С учетом этих особенностей нами была развита схема получения хромосом-замещенных линий хлопчатника, согласно которой все этапы беккроссирования должны были сопровождаться двойным скринингом замещений отдельных хромосом с помощью цитогенетических и молекулярно-генетических маркеров (SSR) на ранних стадиях развития проростков [5]. Ранее полученные моносомные линии хлопчатника вида *G.hirsutum* Цитогенетической коллекции Узбекистана, созданные в единой генотипической среде линии Л-458 [4], с идентифицированными нехватками хромосом 2, 4, 6, 7, 12 A_t-субгенома и 17, 18, 21, 22 D_t–субгенома, а также две линии с нехваткой плеч хромосом 6 и 11, были использованы в скрещиваниях с линией Pima 3-79 вида *G.barbadense* для создания хромосом-замещенных линий хлопчатника.

Сравнительный анализ коньюгации хромосом у гибридных моносо-

миков F_1, полученных от скрещиваний 23 моносомных линийс линией донором - Pima 3-79 вида *G.barbadense* L. обнаружил нормальную для моносомиков хлопчатника модальную коньюгацию хромосом с формированием 25 бивалентов и одного унивалента разного размера. У одного моносомного гибридного растения F_1 из семьи Mo95xPima 3-79 с нехваткой хромосомы 6 формировался один квадривалент (0,07±0,06 в среднем на клетку), тогда как анализ коньюгации хромосом у гибридных моносомиков F_1, полученных от скрещиваний двух монотелодисомных линийс линией донором выявил формирование 25 нормальных закрытых бивалентов и одного гетероморфного бивалента.

Изучение коньюгации хромосом, проведенное на стадии метафаза I мейоза у гибридных моносомиков F_1BC_1, полученных от скрещиваний 14 моносомных линий с межвидовыми моносомными гибридами F_1 (MoxPima 3-79) с замещением по хромосомам 2, 4, 6, 7, 12 A_t-субгенома 18, 21 и 22 D_t-субгенома также показало модальную коньюгацию хромосом с формированием 25 бивалентов и одного унивалента разного размера во всех изученных МКП.

Анализ коньюгации хромосом, у гибридных моносомиков F_1BC_2, полученных от скрещиваний девяти моносомных линий с межвидовыми моносомными гибридами F_1BC_1 с замещением по хромосомам 4, 6, 7, 12, 18 и 22 выявил модальную коньюгацию хромосом с формированием 25 бивалентов и одного унивалента разного размера

Исследование коньюгации хромосом, проведенное на стадии метафаза I мейоза у гибридных моносомиков F_1BC_3, полученных от скрещиваний семи моносомных линий (Mo58, Mo59, Mo60, Mo75, Mo34, Mo27, Mo48, Тело21) с межвидовыми моносомными гибридами F_1BC_2 с замещением по хромосомам 4, 6, 7, 18 обнаружило модальную коньюгацию хромосом с формированием 25 бивалентов и одного унивалента разного размера во всех изученных МКП, а коньюгация хромосом в варианте с монотелодисомной линией (Тело21) характеризовалась присутствием гетероморфных бивалентов, указавшими на нехватку отдельного плеча хромосомы 11, наряду с формированием квадривалента.

Нехватки хромосом и отдельных плеч хромосом у анеуплоидных гибридов F_1, полученных от скрещиваний моносомных и монотелодисомных линий хлопчатника *G.hirsutum* L. с линией Pima 3-79 вида *G.barbadense* идентифицировали с помощью хромосом-специфичных SSR-маркеров.

Для облегчения обнаружения моносомных цитотипов в беккроссном потомстве, ускорения процесса беккроссирования и подтверждения замещений специфических хромосом в четырех беккроссных гибридных семьях F_1BC_1 проводили молекулярно-генетический анализ гибридных растений на стадии проростков (4-5 настоящих листьев) до пересадки проростков в грунт теплицы и выявления моносомных форм с помощью цитогенетического анализа.

Молекулярно-генетический анализ беккроссных гибридных растений

в вариантах F_1BC_2 и F_1BC_3 на стадии проростков выявил появление в одних и тех же беккроссных потомствах моносомных растений разных типов. Так, среди гибридных потомств F_1BC_2в варианте BC_2F_1(Mo16x $BC_1F_1923_7$) с замещением хромосомы 2 было выявлено шесть моносомных гибридных растений с присутствием микросателлитных маркеров только от линии Л-458 вида *G. hirsutum*, тогда как полиморфные аллели вида *G. barbadense* отсутствовали, что указало на отсутствие замещения хромосомы.

Анализ гибридных проростков F_1BC_3 другого варианта скрещиваний (BC_3F_1(Mo60x$BC_2F_1494_3$)) с замещением хромосомы 4 выявило пять моносомных беккроссных растений, из которыечетыре характеризовались присутствием четырех полиморфных аллелей (BNL2572, Gh107, Gh117, TMB0809) только от вида *G.barbadense*, а один моносомик - присутствием аллелей линии Л-458 вида *G.hirsutum*, что указало на присутствие замещения специфической хромосомы 4 у первых четырехгибридных моносомиков и отсутствие замещения у одного моносомика.

Еще более интересной находкой было гибридное потомство в варианте BC_3F_1(Mo34x$BC_2F_1497_4$) с замещением хромосомы 6, в котором было обнаружено шесть моносомных проростков, из которых только один характеризовался присутствием 11 полиморфных аллелей (BNL1440, BNL3650, BNL2884, BNL1064, BNL3359, TMB1277, TMB0154, TMB0853, TMB1538, Gh039, Gh082) от вида *G.barbadense*, тогда как пять моносомиков – присутствием аллелей линии Л-458 вида *G.hirsutum*, что указало на присутствие замещения специфической хромосомы 6 у первого моносомика и отсутствие замещения – у остальных пяти моносомных гибридных проростков.

Таким образом, использование цитогенетических и молекулярно-генетических методов выявило в одних и тех же беккроссных потомствах моносомные гибридные растения двух типов: с присутствием микросателлитных маркеров только от вида *G. barbadense*, а значит с замещением специфических хромосом генома, а также наличием маркеров только от вида *G. hirsutum*, а следовательно - без замещений хромосом. Это могло служить демонстрацией смены унивалента в предшествующих делениях мейоза. В целом, двойной скрининг анеуплоидного беккроссного потомства, а также анализ беккроссных гибридов на проростковой стадии развития значительно ускорил процесс создания хромосом-замещенных форм.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства инновации Республики Узбекистан в рамках проекта Ф-ОТ-2021-155.

Список литературы

1. Давоян Р.О., Бебякина И.В., Давоян Э.Р., Миков Д.С., Зубанова Ю.С., Болдаков Д.М., Бадаева Е.Д., Адонина И.Г., Салина Е.А., Зинченко А.Н. Создание и изучение интрогрессивных линий мягкой пшеницы, полученных на основе синтетической формы RS7 //Вавил. журн. Генетики и селекции. 2019. Т.23. №7. С. 827-835.

2. Шишкина А.А., Драгович А.Ю., Рубан А.С., Сибикеев С.Н., Дружин А.Е., Бадаева Е.Д. Разработка генетической классификации хромосом *Aegilops columnaris* Zhuk. на

основании анализа интрогрессивных линий *Triticum aestivum* x *Ae. columnaris* // Вавил. журн. генетики и селекции. 2017. Т.21. №2. С. 241-249.
3. Saha S.,Jenkins J.N., Wu J.,McCarty J.C., Gutierrez O.A., Percy R.G., Cantrell R.G. Stelly D.M.. Effects of chromosome-specific introgression in upland cotton on fiber and agronomic traits //Genetics. 2006. V. 172. P. 1927-1938.
4. Sanamyan M.F., Petlyakova J., Rakhmatullina E.M., Sharipova E. World Cotton Germplasm Resources. Chapter 10. "Cytogenetic Collection of Uzbekistan". – Intech. – Croatia. – 2014. - P. - 247-287.
5. Sanamyan M.F., Bobokhujaev Sh.U., Abdukarimov Sh.S., Makamov Kh.A., Silkova O.G. Features of chromosome introgression from *Gossypium barbadense* L. into *G.hirsutum* L. during the development of alien substitution lines // *Plants.* 2022. V.11. №4. P.542.
6. Stelly D.M., Saha S., Raska D.A., Jenkins J.N., McCarty J.C., Jr., and Gutie´rrez O.A. Registration of 17 upland (*Gossypium hirsutum*) cotton germplasm lines disomic for different *G. barbadense* chromosome or arm substitutions //Crop Sci. 2005. V.45. P.2663–2665.
7. Ulloa M., Wang C., Saha S., Hutmacher R.B., Stelly D.M., Jenkins J.N. Burke J., Roberts P.A. Analysis of root-knot nematode and fusarium wilt disease resistance in cotton (*Gossypium* spp.) using chromosome substitution lines from two alien species // Genetica. 2016. V.144. P.167–179.

SSR генотипирование коллекции монопустульных изолятов *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

Сколотнева Е.С., к.б.н., с.н.с.; Кельбин В.Н., м.н.с.; Лаприна Ю.В., Салина Е.А. д.б.н., в.н.с.*

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
**e-mail: sk-ska@yandex.ru*

Анализ SSR-полиморфизма у 233 монопустульных изолятов P. graminis f. sp. tritici, представляющих географических выборки на территории Российской Федерации — из Центрального региона европейской части России (CR — 110 изолятов), из Западно-Сибирского региона: Омской области (Om — 55 изолятов), Новосибирской области (No — 56 изолятов) и Алтайского края (Al — 12 изолятов), собранных с восприимчивых сортов яровой мягкой пшеницы, обнаружил отсутствие контакта между популяциями, локализованными в Центральном и Западно-Сибирском регионах. Наибольшее разнообразие мультилокусных SSR генотипов выявлено в омской выборке, вероятно, как результат действующего полового процесса в субпопуляции. Показано присутствие в новосибирской выборке мультилокусных SSR генотипов из соседних областей. Полиморфизм четырёх SSR-маркеров Pgestssr318, PgtCAA93, PgtCAA98, Pgestssr318, PgtCAA93, PgtCAA98 позволяет проводить диагностику происхождения инфекции стеблевой ржавчины.

Ключевые слова: *яровая пшеница, стеблевая ржавчины, микросателлитные локусы, SSR-маркеры.*

SSR genotyping of single pustule isolates of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

Skolotneva E.S., Kelbin V.N., Laprina Yu. V, Salina E.A.*
Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
**e-mail: sk-ska@yandex.ru*

Analysis of SSR polymorphism in 233 single pustile P. graminis f. sp. tritici isolates representing geographical samples on the territory of the Russian Federation — from the Central Region of the European part of Russia (CR — 110 isolates), from the West Siberian region: Omsk region (Om — 55 isolates), Novosibirsk region (No — 56 isolates) and Altai Krai (Al — 12 isolates) collected from susceptible varieties of spring soft wheat, found no contact between populations localized in the Central and West Siberian regions. The greatest diversity of multilocus SSR genotypes was revealed in the Omsk sample, probably as a result of the active sexual process in the subpopulation. The presence of multilocus SSR genotypes from neighboring regions in the Novosibirsk sample is shown. Polymorphism of four SSR markers Pgestssr318, PgtCAA93, PgtCAA98, Pgestssr318, PgtCAA93, PgtCAA98 allows to identify the origin of stem rust infection.

Keywords: *spring wheat, stem rust, variety, microsatellite loci, SSR-markers.*

Для анализа генетического полиморфизма западносибирской популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы были подобраны SSR-маркеры с высокой разрешающей способностью, используемых в международных лабораториях по ржавчине для анализа изолятов *P. graminis* f. sp. *tritici* [1– 3]. Методом ПЦР изучен аллельный полиморфизм 16 SSR-локусов у 233 монопустульных изолятов, представляющих четыре географических выборки *P. graminis* f. sp. *tritici* на территории Российской Федерации — из Центрального региона европейской части России (CR — 110 изолятов), из Западно-Сибирского региона: Омской области (Om — 55 изолятов), Новосибирской области (No — 56 изолятов) и Алтайского края (Al — 12 изолятов), собранных с восприимчивых сортов яровой мягкой пшеницы 2019 года.

При генотипировании монопустульных изолятов было выявлено 62 SSR генотипа, из них 25 — в Омской области, 24 — в Новосибирской области, 6 — в Алтайском крае, 7 — в Центральном регионе России (табл. 1). На Западную Сибирь приходится 55 уникальных генотипов, включая генотипы из Омской и Новосибирской областей и Алтайского края. Оценка внутрипопуляционного разнообразия SSR-генотипов проводилась на основе индекса видового разнообразия Шеннона (I), где среднее генотипическое разнообразие было сходным у монопустульных изолятов из Западной Сибири (I =

0.989), в отличие от данных из Центрального региона (I = 0.419) (табл. 1).

Таблица – Показатели разнообразия популяции *P. graminis* f. sp. *tritici* по микросателлитным локусам

Показатель	Популяции				
	CR	Om	No	Al	SR
Число монопустульных изолятов	110	55	56	12	123
Число SSR генотипов	7	25	24	6	49
Среднее число аллелей на SSR локус (*Na*)	1.750	3.750	3.250	2.938	4.688
Число эффективных аллелей (*Ne*)	1.587	2.479	2.185	2.646	2.513
Индекс Шеннона (*I*)	0.419	0.962	0.792	0.926	0.989
Уровень наблюдаемой гетерозиготности (*Ho*)	0.538	0.530	0.576	0.656	0.563
Уровень ожидаемой гетерозиготности (*He*)	0.290	0.526	0.450	0.535	0.520
Индекс фиксации (*Fis*)	-0.789	0.003	-0.215	-0.236	-0.036

Примечание: CR — Центральный регион России, Om — Омская область, No —Новосибирская область, Al — Алтайский край, SR — Западно-Сибирский регион России.

Всего выявлена 81 аллель; большинство из них с разной представленностью встречалось во всех четырех географических выборках. Общее число аллелей для каждого локуса варьировало от 2 до 9 (два локуса Pgestssr109 и PgtCAA80 являются слабополиморфными), размер амплифицированного локуса — в пределах 129–293 пн. Проведен анализ изменчивости размеров аллелей для каждого локуса из всех географических выборок. Выборки из Западной Сибири статистически не различаются между собой по среднему значению разницы в размерах на локус (в Om — 16.687; No — 15.937; Al — 14.062), однако они существенно отличаются от выборки из Центрального региона (CR — 7.062).

Выявлено, что аллельное разнообразие по SSR локусам в выборке из Западной Сибири характеризуется как высокое, а в Центральном регионе — относительно небогатое (табл. 1). Три выборки из Западной Сибири характеризуются высоким аллельным разнообразием по SSR локусам. Среднее число аллелей на SSR локус (Na) в Омской области (Om) составило 3.750, в Новосибирской области (No) — 3.250, Алтайском крае (Al) — 2.938, в Центральном регионе (CR) — 1.750 (таблица). Таким образом, по показателям среднего генного разнообразия и числу аллелей на SSR-локус выборка из Западной Сибири отличалась большим генетическим разнообразием по сравнению с выборкой из Центрального региона. Это заключение подкрепляется максимальной разностью в размерах аллелей амплифицированных SSR-локусов среди западносибирских монопустульных изолятов.

Анализ полиморфизма локусов Pgestssr318, PgtCAA80, PgtCAA93,

PgtCAA98 выявил генотипы с различными аллельными комбинациями в выборках Западной Сибири, в то же время, у монопустульных изолятов гриба в Центральном регионе не обнаружено полиморфизма данных локусов, представленных одним аллелем. Среди всех выявленных аллелей 15 встречались с разными частотами во всех географических выборках; 28 аллелей были уникальными для той или иной выборки: Центральном регионе (CR) — 6, в Омской области (Om) — 10, в Новосибирской области (No) — 2 и в Алтайском крае (Al) — 10. Анализ частот этих аллелей показывает, что некоторые из них могут быть диагностическими, поскольку их выявление было специфическим для той или иной географической выборки. Например, аллели локусов Pgestssr024_265, Pgestssr173_206, Pgestssr227_175, Pgestssr227_219, PgtCAA80_189, PgtCAA93_278 были специфическими для популяции Центрального региона. Наибольший вклад в дифференциацию между тремя выборками из Западной Сибири вносят локусы Pgestssr173 и Pgestssr227.

Эффективное число аллелей (Ne) в выборках Центрального региона было ниже, чем в выборках Западной Сибири (1.587 и 2.513, соответственно) (табл. 1). В свою очередь, эффективное число аллелей в омской, новосибирской и алтайской выборках было в пределах одного значения (2.479, 2.185, 2.646, соответственно) (табл. 1). Уровень наблюдаемой гетерозиготности (Ho) был выше уровня ожидаемой (He) в Центральном регионе по сравнению с Западной Сибирью. Однако для выборки из Омской области разница между наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготностью стремилась к нулю. В выборке Центрального региона Ho и He статистически не отличалась только в случае локуса Pgestssr024, а для шести локусов гетерозиготность была равна нулю. В выборке из Омской области Ho и He статистически не отличаются для 10 локусов (Pgestssr021, Pgestssr024, Pgestssr059, Pgestssr109, Pgestssr173, Pgestssr293, Pgestssr325, Pgestssr353, PgtCAA93, PgtGAA8), а гетерозиготность была равна нулю в одном случае. В выборке из Новосибирской области Ho и He статистически не отличаются для шести локусов (Pgestssr059, Pgestssr142, Pgestssr293, Pgestssr325, Pgestssr353, PgtCAA53, PgtCAA93), а гетерозиготность была равна нулю в двух случаях. В выборке из Алтайского края Ho и He статистически не отличаются для пяти локусов (Pgestssr109, Pgestssr142, Pgestssr227, PgtCAA93, PgtGAA8), а гетерозиготность была равна нулю в двух случаях. Во всех остальных случаях Ho значительно выше, чем He, что указывает на избыток гетерозигот.

Индекс фиксации для выборок Западно-Сибирского региона был отрицательным (Fis = -0.215 и -0.236) за исключением омской выборки (Fis = 0.003). Согласно полученным данным, в омской выборке роль полового процесса в формировании изменчивости гриба преобладает над выборкой изолятов из Новосибирской области и Алтайского края.

Данные кластерного анализа степени родства мультилокусных SSR

генотипов демонстрируют отсутствие контакта между изолятами, локализованными в Центральном и Западно-Сибирском регионах. Кластеризация некоторых монопустульных изолятов из Алтайского края (Al_1, Al_2, Al_3, Al_4, Al_5) изолировано от остальной выборки, включая Центральный регион, разрешает предположить частичное экзогенное происхождение инфекции на данной территории. Важно отметить, что выборки из Алтайского края и Омской области продемонстрировали наибольшие межпопуляционные отличия на основании данных по SSR-генотипированию. Мы предполагаем, что в Западной Сибири существуют как собственные независимые источники инфекции, так и экзогенные, проникшие с помощью воздушного заноса спор в Западную Сибирь из Казахстана и/или Китая. На это указывает, в том числе, сходство профилей некоторых фенотипов вирулентности, выявленных на территории Западной Сибири, а также в Казахстане и Китае [4, 5].

Полиморфизм четырёх маркеров Pgestssr318, PgtCAA93, PgtCAA98, Pgestssr318, PgtCAA93, PgtCAA98 позволяет проводить диагностику происхождения инфекции стеблевой ржавчины, устанавливая принадлежность инокулюма к популяции Центрального региона России или к популяции, циркулирующей на территории крупных пшеничных регионов Западной Сибири.

Благодарности: Сбор образцов и фитопатологический анализ выполнены в рамках научного бюджетного проекта FWNR-2022-0007, SSR-генотипирование проведено при финансовой поддержке РНФ №21-76-30003

Список литературы

1. Zhong S., Leng Y., Friesen T.L., Faris J.D., Szabo, L.J. Development and characterization of expressed sequence tag-derived microsatellite markers for the wheat stem rust fungus Puccinia graminis f. sp. tritici // Phytopathology. 2009. Vol. 99. № 3. P. 282–289.
2. Berlin A., Djurle A., Samils B., Yuen J. Genetic variation in Puccinia graminis collected from oats, rye, and barberry // Phytopathology. 2012. Vol. 102. №. 10. P. 1006–1012.
3. Berlin A., Samils B., Andersson B. Multiple genotypes within aecial clusters in Puccinia graminis and Puccinia coronata: improved understanding of the biology of cereal rust fungi // Fungal biology and biotechnology. 2017. Vol. 4. №. 1. – P. 3.
4. Койшыбаев М. Болезни пшеницы. Анкара: Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО). 2018.
5. Li T.Y., Ma Y.C., Wu X.X., Chen S., Xu X.F., Wang H., Cao Y.Y., Xuan Y.H. Race and virulence characterization of Puccinia graminis f. sp. tritici in China // PLoS One. 2018. Vol. 13. № 5. P. 1–9.

Формирование урожайности овса в Приобской лесостепи Новосибирской области

Сотник А.Я., к.с-х.н., в.н..с.; Елгина И.Д., лаборант-исследователь*

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.
**e-mail: sotniks@bionet.nsc.ru*

Исследования проводили в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН в 2012–2021 гг. на 5 сортах овса селекции СибНИИРС: Белозерный, СИР-4, Новосибирский 88, Ровесник и Новосибирский 5. Рассмотрена реакция генотипов по их формированию урожайности в годы, контрастные по гидротермическим условиям. Продолжительность периода всходы – восковая спелость у всех сортов имела низкий размах варьирования, а показатель урожайности очень высокий – более 61 %, что обусловлено большой амплитудой колебания урожайности по годам. Анализ потенциальной урожайности в контрастных условиях показал, что в условиях пониженной влагообеспеченности между сортами нет достоверных различий, но в благоприятных условиях (с повышенной влагообеспеченностью) сорта СИР 4 и Новосибирский 5 превышали по урожайности другие сорта. Наиболее стабильную урожайность зерна показали сорта Новосибирский 88 и Белозерный.

Ключевые слова: *овёс, сорт, урожайность, стабильность.*

Formation of oat yields in the Priobskaya forest-steppe of the Novosibirsk region

Sotnik A.Ya., Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher; Elgina I.D., Research Laboratory Assistant
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.
**e-mail: sotniks@bionet.nsc.ru*

The research was carried out at SibRIPP&B – Branch of IC&G SB RAS in 2012–2021 using 5 varieties of oats of SibNIIRS selection: Belozerny, SIR-4, Novosibirskiy 88, Rovesnik and Novosibirskiy 5. The response of genotypes to their yield formation in years with contrasting hydrothermal conditions is considered. The duration of the period shoots – wax ripeness in all varieties had a low range of variation, and the yield rate is very high – more than 61%, due to the large

amplitude of yield fluctuations over the years. An analysis of the potential yield in contrasting conditions showed that under conditions of low moisture supply, there were no significant differences between varieties, but under favorable conditions (with increased moisture supply), varieties SIR 4 and Novosibirsky 5 exceeded other varieties in terms of yield. The most stable grain yields were shown by varieties Novosibirskiy 88 and Belozerny

Keywords: *oats, variety, yield, stability.*

Один из главных вопросов сельскохозяйственного производства – стабилизация производства зерна по годам вне зависимости от изменения погодных условий. Решение этой проблемы в значительной степени зависит от использования генотипов с высоким потенциалом продуктивности, устойчивых к действию абиотических и биотических стрессоров региона [1–3]. Потенциальная продуктивность сорта реализуется в благоприятных почвенно-климатических условиях.

Цель исследования – определить реакцию сортов овса, созданных в СибНИИРС, по урожайности в контрастные по агрометеорологическим условиям годы в Приобской лесостепи Новосибирской области.

Исследования проводили на опытном поле СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН, расположенном на расстоянии 5 км от р.п. Краснообск Новосибирского района Новосибирской области. Период изучения – с 2012 по 2021 гг. Агротехника при проведении опыта – общепринятая для зоны. Посев проводили сеялкой ССФК 7. Площадь делянки 1 м^2. Срок сева в первой – второй декадах мая. Норма высева – 550 всхожих семян на 1 м^2.

Материалом исследований явились 5 сортов овса селекции СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН: Белозерный, СИР 4, Ровесник, Новосибирский 88 и Новосибирский 5. Сорта включены в государственный реестр (районированы) за период с 1979 по 2012 гг. [4, 5].

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 0,59 до 3,17. Влагообеспеченность вегетационного периода: в 2012 г. – очень низкая (ГТК 0,59); 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); в 2013г. – избыточная (ГТК 3,17). Градация влагообеспеченности представлена по Зоидзе Е.К., Хомяковой Т.В. [6].

Высокую урожайность сорта формировали в условиях 2013 и 2018–2021 гг., а в 2012 и 2014–2017 гг. сорта формировали низкую урожайность. Средние значения урожайности рассматриваемых сортов не имели достоверных различий по критерию t (табл. 1), что обусловлено большой амплитудой

колебания урожайности по годам. Среднеранние сорта Новосибирский 5 и Новосибирский 88 созревали на 2–4 суток раньше, чем среднеспелые.

Таблица 1 – Вегетационный период и урожайность сортов овса 2012–2021 гг.

Сорт	Период всходы – восковая спелость, суток			Урожайность, г/м^2		
	$\overline{X} \pm s_x$	min	max	$\overline{X} \pm s_x$	min	max
Белозерный	74±2	64	80	748±64	410	1053
СИР 4	76±2	64	83	837±82	420	1246
Ровесник	74±2	63	82	798±80	372	1207
Новосибирский 88	72±2	62	78	758±60	425	1108
Новосибирский 5	72±2	62	78	815±82	390	1180

Анализ потенциальной урожайности в контрастных условиях (5 лет с низкой урожайностью и 5 лет с высокой) показал, что в условиях пониженной влагообеспеченности между сортами нет достоверных различий по критерию t (табл. 2). В благоприятных условиях (с повышенной влагообеспеченностью) сорта СИР 4 и Новосибирский 5 превышали по урожайности другие сорта. В группе лет, в которые сорта формировали высокие урожаи с единицы площади выделялся 2015г, а самые минимальные урожаи сорта показывали в 2012г.

Таблица 2 – Урожайность сортов овса в контрастных условиях, г/м^2

Сорт	2012, 2014–2017 гг.			2013, 2018–2021 гг.		
	$\overline{X} \pm s_x$	min	max	$\overline{X} \pm s_x$	min	max
Белозерный	587±40	410	650	909±52	725	1033
СИР 4	624±46	420	700	1050±61*	900	1246
Ровесник	617±60	372	750	984±76	767	1207
Новосибирский 88	619±44	425	691	896±57	712	1106
Новосибирский 5	605±56	390	750	1024±62**	800	1180

* − различие достоверно с сортами Белозерный, Ровесник и Новосибирский 88, на уровне значимости 5 %.

** − различие достоверно с сортами Белозерный и Новосибирский 88, на уровне значимости 5 %.

Кроме потенциала продуктивности, важное значение имеет стабильность продуктивности по годам на основе повышенной устойчивости сортов к комплексу лимитирующих факторов внешней среды. Величину размаха варьирования урожайности, рассчитывали по отношению разницы между максимальной и минимальной урожайностью к ее максимальной величине [7]. Продолжительность периода всходы – восковая спелость у всех сортов имела низкий размах варьирования, а показатель урожайности по крайним значениям очень большой – более 61 % (табл. 3), что обусловлено большой амплитудой колебания урожайности по годам. Значительного различия

между сортами по размаху варьирования урожайности не наблюдали, так как он составил 61 – 69%. Самый наименьший показатель варьирования урожайности по годам показали сорта Новосибирский 88 и Белозерный. Эти сорта имели наиболее стабильную урожайность за 10 лет изучения.

Таблица 3 – Варьирование вегетационного периода и урожайности сортов овса, 2012–2021 гг.

Сорт	Размах варьирования, %	
	вегетационного периода	урожайности
Белозерный	20	61
СИР 4	23	66
Ровесник	23	69
Новосибирский 88	20	62
Новосибирский 5	20	67

Выводы:

1) Сорта СИР 4 и Новосибирский 5 формировали высокую урожайность в благоприятных условиях (в годы с повышенной влагообеспеченностью).

2) Стабильную урожайность зерна за 10 лет имели сорта Новосибирский 88 и Белозерный.

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

Список литературы

1. Баталова Г.А. Состояние и перспективы селекции и возделывания зернофуражных культур в России // Зерновое хозяйство России. 2011. № 3. С. 11–14.
2 Баталова Г.А., Шевченко С.Н., Лисицын Е.М., Тулякова М.В., Русакова И.И., Железникова В.А., Градобоева Т.П. Методология создания продуктивных, экологически устойчивых сортов овса пленчатого // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 6. С. 3–6.
3. Сотник А.Я. Продуктивность и адаптивность сортов овса в условиях Приобской лесостепи // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017. № 1. С. 38–44.
4. Каталог сортов сельскохозяйственных культур, созданных учеными Сибири и включенных в Госреестр РФ (районированных) в 1929-2008 гг. Вып. 4, в 2-х томах. Т. 1. 207 с.
5. Сортовое районирование сельскохозяйственных культур по Новосибирской области на 2019 год / Филиал ФГБУ «Госсорткомиссия» по Новосибирской области Минист. сельск. хоз. РФ. Новосибирск. 2019. 148 с.
6. Зоидзе 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.
7. Зыкин В.А., Шаманин В.П., Белан И.А. Экология пшеницы: монография. Омск, 2000. 124 с.

Генофонд источников устойчивости яровой и озимой мягкой пшеницы к грибным фитопатогенам

Сочалова Л.П., Мусинов К.К., Пискарев В.В.

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.
**e-mail: musinov29@gmail.com*

Иммунологическая оценка коллекции генетически разнообразных образцов яровой и озимой мягкой пшеницы российской и зарубежной селекции к новосибирским популяциям возбудителей мучнистой росы, бурой ржавчины и септориоза позволила выявить устойчивые сорта и линии к отдельным патогенам и с групповой устойчивостью.

***Ключевые слова**: пшеница, сорт, бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз, источники и гены устойчивости.*

Gene pool of sources of resistance of spring and winter bread wheat to fungal phytopathogens

Sochalova L.P., Musinov K.K., Piskarev V.V.
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.
**e-mail: musinov29@gmail.com*

Immunological evaluation of the collection of genetically diverse samples spring and winter bread wheat of Russian and foreign selection to Novosibirsk populations of pathogens of powdery mildew, leaf rust and Septoria made it possible to identify cultivars and lines that were resistant to individual pathogens and had group resistance.

***Keywords:** wheat, cultivar, brown rust, powdery mildew, septoria, sources and genes of resistance.*

В Новосибирской области одними из основных болезней для пшеницы продолжают оставаться мучнистая роса (*Blumeria graminis)*, бурая ржавчина (*Puccinia triticina*) и септориоз (*Septoria nodorum*, *Septoria tritici*). Распространению их инфекций в посевах способствовали сорта, как с одиночными генами (Lr1, Lr2a, Lr3 (=3a), Lr9, Lr10, Lr20/Pm1, Lr26/Pm8, Lr34/Pm38, Pm4b, Pm5), так и разными их сочетаниями, поражаемые комплексом патогенов, условия среды местности, произошедшие изменения в

составе генов вирулентности патогенов. В 2008 г. к вирулентности р-9 в местной популяции бурой ржавчины утратили устойчивость сорта (Удача, Терция, Челяба 2), несущие ген Lr9 (от *Aegilops umbellulata)* [1], в 2017 г. в популяции гриба выявлены вирулентности к линии Th и сорту Agent с геном Lr24 (от *Agropyron elongatum*) [2], с 2018 по 2021 гг. к грибу полностью утратили устойчивость сорта (Gaza, Гибрид 21, Lee), несущие ген Lr23 (от *Triticum turgidum*). С начала 2000-ых гг. от инфекций популяции мучнистой росы не защищает образцы пшеницы (CJ 12632, CJ 12633, Timgalen) ген Pm6 в сочетании с геном Pm2 (от *Triticum timopheevii*) [2–4], а с 2018 по 2020 гг. к патогену утрачена устойчивость образцов (Amigo, KS93U40, KS93U62) [3, 4], несущих транслокацию 1AL.1RS с геном Pm17 (от *Secale cereale*). Меняющийся генотип растения-хозяина пшеницы, несущий материал чужеродных *R*-генов устойчивости, и соответственно усложняющийся генотип вирулентности (рас, патотипов) патогенов, требуют ежегодного проведения скрининга образцов к болезням. Цель исследования – поиск новых источников устойчивости к основным заболеваниям пшеницы в связи с произошедшими изменениями в составе местных популяций патогенов.

Оценка устойчивости образцов к болезням осуществлялась в условиях изолированного искусственно созданного инфекционного питомника Сибирского НИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН в период 2005-2022 гг. (Новосибирская обл., пос. Мичуринский). Материалом для исследований к *Bl. graminis*, *P. triticina* и видам септориоза – *S. nodorum, S. tritici* (несовершенные пикнидиальные грибы) являлись коллекции генетически разнообразных образцов мягкой яровой и озимой пшеницы разных лет поступлений из мировой коллекции ГНУ ВНИИР имени Н.И. Вавилова (ВИР). Образцы KS89WGRC07, KS90WGRC10, KS91WGRC11, KS91WGRC16, KS96WGRC36, сорт Pavon и линия Th с геном Lr45 были переданы нам в 2014 г. Е.И. Гультяевой (ВНИИЗР), а линия Th с генами Lr25/Pm7 Е.А. Салиной (ИЦиГ СО РАН). Степень развития болезни определялась в процентах по общепринятым шкалам [5]. Гены устойчивости к болезням представлены по данным авторов работ [6–8].

Результаты исследования

Оценка показала (см. табл.), что устойчивых образцов пшеницы к отдельным болезням – мучнистой росе и бурой ржавчине в том числе с комплексной устойчивостью к ним было значительно больше среди яровых, чем среди озимых. Однако за годы исследования оценка не выявила образцы с полным иммунитетом (0 % поражения) к септориозу. Установлено, что реакция к болезни у образцов существенно изменялась по сезонам вегетации (например, от 20 до 70 % и др.). Становится очевидным, что на степень пораженности образцов пшеницы септориозом (слабая, средняя, сильная) в большей мере оказывали влияния сложившиеся условия среды в июне и июле

Таблица – Устойчивость генофонда образцов мягкой яровой и озимой пшеницы к болезням в условиях инфекционного питомника (Новосибирская обл., пос. Мичуринский, 2005–2022 гг.)

Наименование образца	Происхождение	Гены устойчивости	Степень поражения, %		
			МР	БР	С-з
Яровая пшеница					
Тулайковская 10	РФ Самара	Lr6Agi/Pm6Agi	**0**	**0**	**30**..70
Тулайковская 100	Самара	Lr6Agi/Pm6Agi	**0**	**0**	40..70
Тулайковская 108	Самара	Lr6Agi/Pm6AgiLr19	**0**	**0**	**20**..70
Лютесценс 540	Самара	Lr19+ Lr23	55	**0**	**30**..80
Лютесценс 13	Саратов	LrKu/PmKu	**0**	**0**	**30**
Воевода	Саратов	Lr6Agi/Pm6Agi	**0**	**0**	50..60
Добрыня	Саратов	Lr19, Pm U	**0...1**	**0**	**30**..50
Л 503	Саратов	Lr19+Lr10, Pm U	**0...10**	**0**	40..70
Юлия	Пенза	Lr19 , Pm U	**1...5**	**0**	**30**..70
Челяба 75	Челябинск	LrSp+Lr1, Lr10	60	**0**	40..80
Одинцовская	Челябинск	LrSp	45...65	**0**	60..80
Челяба 80	Челябинск	LrSp	60	**0**	40..60
Сигма 2	Омск	Lr26/Pm8 + Pm U	**0...1**	80-100	**30**..60
Омская 45	Омск	Lr19 + Lr26/Pm8	**1-5**	**0**	40..70
Силантий	Омск	Lr21	30...45	**0...1**	6080
Дарья	З.ст.Беларусь	Lr20/Pm1 + Pm U	**1...5**	80-100	**30**..50
Василиса	Беларусь	Lr20/Pm1 + Pm U	**0**	80-100	40..50
Triso	Германия	Lr20/Pm1+4b+5	**0..**30	80-100	50..80
Mc Kenzie	Канада	Lr21+	55	**0...1-5**	80..90
Cutless	США	Lr21	60...80	**0**	70..90
CS 2A/2M	Австралия	Lr28+ Pm U	**0**	**0**	**30**..80
Is. line Th RL6144	Канада	Lr45+Lr1	65	**0**	60
Pavon	Мексика	Lr47	15...35	**0**	80
Is. line Th RL6084	Канада	Lr25/Pm7	**0...10**	**0**	50..70
Khapli, CJ 4013	Индия	Pm4a	**0**	**0**...60	60.100
SW Vinjett	Швеция	Pm4,Pm6,U, Lr14a	**0**	100	**10..**50
Normandie	Франция	Lr20/Pm1,Pm2,Pm9	**1...20**	90-100	40-70
Wembley	Англия	Pm12	**0-01**	100	50..80
Озимая пшеница					
Поэма	РФ Владимир	Lr6Agi/Pm6Agi	**0**	**0**	**10..20**
Скипетр	Москва	Lr26/Pm8+ Lr10, U	**1...10**	**0...5**	70..90
Коллега	Краснодар	Lr26/Pm8+Lr10+ U	55...70	**0**	60..80
Айвина	Краснодар	Lr26/Pm8,Lr34/Pm38	45...55	**0**	60..80
Первица	Краснодар	Lr26/Pm8+ Lr1+ U	60	**0...1**	70..80
KS89WGRC07*	США	Lr40	90	**0**	70
KS90WGRC10	США	Lr41 (39)	**1...**20	**0**	50..70
KS91WGRC11*	США	Lr42+ Lr24	70	**0**	40..50
KS91WGRC16*	США	Lr43+ Lr24	65	**0**	**20**..40
KS96WGRC36*	США	Lr50	70	**0**	60..80
KS93U40	США	1AL.1RS+ Lr24	25	**0**	40..90
KS93U50	США	1AL.1RS+ Lr24	55	**0**	40..70

Примечание: МР – мучнистая роса; БР – бурая ржавчина; С-з – септориоз.

месяцах (температура и влажность), чем генотип растения. Наблюдения за развитием болезни показали, что наиболее опасен септориоз для очень низкорослых образцов (от 40 до 60–70 см) и большей мере для яровых, так как нарастание поражения (до 100 %) на растениях происходило за короткий период времени (например, Khapli (60 см) из Индии).

Установлено, что высокий иммунитет к новосибирской популяции *Bl. graminis* растениям генотипов пшеницы обеспечивали одиночные доминантные гены – Pm6Agi1, Pm6Agi2 (от *Agropyron intermedium*), PmKu (от *Triticum spelta*), Pm4a (от *Tritium dicoccum*), Pm12 (от *Aegilops speltoides*) и PmU; комплекс генов – Pm6Agi+/Pm38, Pm6+Pm4+PmU. Высокую устойчивость к патогену в поле показали образцы с одиночными генами: Pm7 (от *Secale cereale)*, а также Pm1 и Pm8, очевидно в сочетании с неустановленным PmU геном или один из их аллелей, у Pm1 (1a, 1b, 1e – принадлежат геному *T. aestivum*, 1c – от *T. monococcum*, 1d – от *T. spelta*), у Pm8 (8a или 8b) от *Secale cereale* [8] и комбинацией генов Pm1+Pm2+Pm9.

Непоражаемость к популяции *P. triticina* генотипам пшеницы обеспечивали чужеродные одиночные гены устойчивости – Lr6Agi1, Lr6Agi2 (от *Agropyron intermedium*), LrKu (от *Triticum spelta*), Lr19 (от *Agropyron elongatum*), Lr25 (от *Secale cereale*), Lr41(39) (от *Aelilops tauschii*), LrSp, Lr28, Lr47 (от *Aelilops speltoides)*, Lr50 (от *Triticum timopheevii*). Высокий уровень полевой устойчивости к бурой ржавчине был отмечен у образцов пшеницы с генами – Lr10+Lr19, Lr23+Lr19, Lr26+Lr10+LrU**,** Lr26+Lr19, Lr26+Lr34+LrU, Lr21, Lr34+Lr10+Lr6Agi1, Lr45+Lr1, 1AL.1RS+Lr24, Lr42+Lr24, Lr43+Lr24.

Комплексно устойчивые к мучнистой росе и бурой ржавчине были сорта с генами Lr6Agi1/Pm6Agi1, Lr6Agi1/Pm6Agi1+Lr19, LrKu/PmKu, Lr28/Pm U, в том числе к септориозу – сорт Поэма.

Заключение

Выявленные источники устойчивости яровой и озимой мягкой пшеницы к основным болезням можно рекомендовать для селекции новых болезнеустойчивых сортов в условиях Новосибирской области.

Благодарности: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018. Выражаем благодарность и признательность Е.И. Гультяевой (ВИЗР) и Е.А. Салиной (ИЦиГ СО РАН) за образцы пшеницы, предоставленные для исследования.

Список литературы

1. Сочалова Л.П., Христов Ю.А. Влияние генотипа сорта на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы *Puccinia recondita* / Сибирский вестник с.-х. науки, 2009. № 10. С. 61–67.
2. Сочалова Л.П., Лихенко И.Е., Пискарев В.В. Каталог образцов яровой пшеницы: устойчивость к листостеблевым заболеваниям в условиях фитопатологического участка (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН). Вып. 1. Новосибирск, 2018. 134 с.

3. Сочалова Л.П., Пискарев В.В. Устойчивость образцов мягкой пшеницы к *Blumeria graminis* и *Puccinia recondita* с известными генами устойчивости // Достижение науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 11. С. 34-42. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11108.
4. Сочалова Л.П., Зуев Е.В., Пискарев В.В. Оценка устойчивости генетически разнообразных образцов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum L.*) к поражению *Blumeria graminis* в условиях Новосибирской области // Достижение науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 10. С. 39–44. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_10_39.
5. Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. М. Россельхозакадемия, 2008. 416 с.
6. Гультяева Е.И. Разнообразие российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине // Тезисы докладов 4 Междунар. конф.: Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам. СПб.: ВНИИЗР РАСХН, 2016. С. 24.
7. Гультяева Е.И., Шайдаюк Е.Л., Рсалиев А.С. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у образцов яровой мягкой пшеницы Российской и Казахстанской селекции // Вестник защиты растений. 2019. № 3 (101). С. 41-49. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-3(101)-41-49.
8. Лебедева Т.В., Зуев Е.В., Стецюк С.Н. Устойчивость к мучнистой росе образцов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum L.)* коллекции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Т. 174. СПб. ВИР. 2013. С. 3–10.

Изучение форм тритикале после осеннего и весеннего сева

Стёпочкин П.И., д.с.-х.н., в.н.с., Ермошкина Н.Н., н.с.*

Сибирский НИИ растениеводства и селекции – филиал института цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
**e-mail: petstep@ngsl.ru*

В 2021 г. изучали высеянные осенью 2020 г. и весной 2021 г. 4 образца из мировой коллекции ВИР и 2 селекционные факультативные формы тритикале. Все формы осеннего сева по сравнению с весенним, увеличили длину соломины, массу 1000 зёрен (кроме сорта Укро), натуру зерна. Колос был короче (кроме сорта Укро). Число зёрен с колоса было меньшим. Продуктивность растений коллекционных образцов весеннего сева была выше, чем осеннего. Полностью перезимовали растения селекционных форм Цекад 90/5 и Сирс 57/2/4. Их зерновая продуктивность была выше, чем при весеннем севе.

Ключевые слова: *факультативные тритикале, перезимовка, количественный признак.*

Study of the same triticale forms sown in spring and in autumn

Stepochkin P.I., Ermoshkina N.N.*
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – branch of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
**e-mail: petstep@ngsl.ru*

In 2021 four accessions of the world collection of VIR and two breeding facultative triticale forms, sown in autumn 2020 and spring 2021 were studied. All forms of autumn sowing compared to spring one, increased the length of straw, the mass of 1000 grains (except for the Ukro variety), the nature of the grain. The ear was shorter (except for the Ukro variety). The number of grains per ear was smaller. The productivity of the plants of the collection accessions of spring sowing was higher than that of autumn. The plants of the breeding forms Tsekad 90 and Sirs 57 completely overwintered. Their grain productivity was higher than that after spring sowing.

Keywords: *facultative triticale, overwintering, quantitative trait.*

Факультативные растения тритикале могут проходить все фазы развития как при осеннем, так и при весеннем севе [1]. Такие растения тритикале, перешедшие к генеративному развитию, возникли при весеннем севе в 2007 г.в популяциях озимых сортов Цекад 90 и Сирс 57 с частотой 11/2145000 и 7/1744400 соответственно. Так были получены две факультативные формы Цекад 90/5 и Сирс 57/2/4, способные давать урожай зерна, как при весеннем, так и при осеннем севе. По некоторым источникам факультативные формы тритикале более продуктивные, чем озимые при тех же сроках сева [2]. Целесообразность выращивания факультативных форм тритикале при весеннем или осеннем севе решается экспериментально. Целью данной работы - выявить при каком способе сева факультативные тритикале лучше реализовывают положительные свойства и потенциал продуктивности.

Осенью 2018 высевали на площади делянок 2м^2 10 яровых форм пшенично-ржаных амфиплоидов из мировой коллекции ВИР, два озимых сорта - Цекад 90, Сирс 57 и две факультативные формы тритикале – Цекад 90/5, Сирс 57/2/4. Перезимовали только растения коллекционных форм Укро (к-3644), Квадро (к-4073), Ульяна (к-3887) и Лотас (к-3889), озимые и факультативные тритикале. В последующие 2 года средний балл их перезимовки был разным: озимые и факультативные формы – 100%, Лотас – 80%, Ульяна – 72%, Квадро – 67%, Укро – 37%. В 2021 г. проводили структурный анализ растений этих форм, высеянных осенью 2020 г. и весной 2021 г. на делянках 2м^2 с одинаковой нормой высева – 500 зёрен на 1м^2.

Все формы осеннего сева по сравнению с весенним, увеличили длину соломины и число колосков в колосе (табл.1). Длина колоса, наоборот, уменьшилась. Колос у форм тритикале после осеннего сева был плотнее. Число стеблей на растение было у перезимовавших форм Цекад 90/5,Сирс 57/2/4 и Квадро большим, чем у этих же форм, высеянных весной. У коллекционных форм Укро, Ульяна и Лотас, наоборот, при весеннем севе стеблей у растений было больше, чем при осеннем.

В основном, масса 1000 зёрен и натура зерна у перезимовавших форм

осеннего сева были с более высокими показателями, чем у этих же форм после весеннего сева, но число зёрен с колоса было меньшим (табл.2). Растения высокозимостойких селекционных форм Цекад 90/5 и Сирс 57/2/4 осеннего сева были более урожайными, чем те, которые были высеяны весной.

Таблица 1 – Основные морфологические признаки вызревших растений факультативных форм тритикале после перезимовки и весеннего сева в 2021

Название тритикале	Число стеблей, шт. / 0,1м^2	Длина соломины, см	Длина колоса, см	Число колосков / 1см колоса, шт.
Цекад 90/5 (В)	22,2 ± 1,5	81 ± 2	12,4 ± 0,4*	2,61 ± 0,07
Цекад 90/5 (О)	27,4 ± 0,7*	95 ± 2*	11,1 ± 0,4	2,77 ± 0,10
С 57/2/4 (В)	31,0 ± 1,3	76 ± 4	11,3 ± 0,6	2,71 ± 0,14
С 57/2/4 (О)	42,2 ± 0,9*	95 ± 3*	10,6 ± 0,3	2,73 ± 0,06
Квадро (В)	20,8 ± 2,6	86 ± 3	13,1 ± 0,7*	1,86 ± 0,10
Квадро (О)	31,2 ± 1,8*	110 ± 4*	9,4 ± 0,2	2,37 ± 0,10*
Ульяна (В)	22,4 ± 1,3	93 ± 5	12,0 ± 0,8	2,16 ± 0,07
Ульяна (О)	20,8 ± 0,9	115 ± 3*	10,1 ± 0,7	2,67 ± 0,10*
Укро (В)	26,4 ± 0,7*	105 ± 3	10,6 ± 0,3	2,31 ± 0,08
Укро (О)	11,6 ± 0,9	108 ± 3	11,4 ± 0,7	2,34 ± 0,12
Лотас (В)	28,6 ± 1,4*	85 ± 5	11,9 ± 0,4	2,19 ± 0,05
Лотас (О)	24,2 ± 0,8	113 ± 5*	11,0 ± 0,5	2,38 ± 0,08

Примечание: (О) – перезимовавшая форма после осеннего сева;
(В) – форма после весеннего сева;
* - достоверно при P <0,05

Полученные из яровых коллекционных образцов зимующие формы можно считать условно факультативными из-за невысокой зимостойкости в условиях сибирского региона. Слабая перезимовка растений сказалась на их невысокую урожайность. Самый слабозимостойкий из всех изученных тритикале Укро при осеннем севе показал самую низкую урожайность, но при яровом севе он по этому признаку превзошёл все остальные. Видимо, разные генетические системы определили альтернативный тип развития растений у изученных форм. Те факультативные формы, которые выделены из озимых популяций, оказались и самыми зимостойкими. После осеннего сева их урожайность выше, чем после весеннего. При весеннем севе у них более длительный вегетационный период, чем у коллекционных форм при тех же условиях выращивания. Возможно, это связано с активностью каких-то аллелей гена *Vrn-B1*. В научной литературе есть сообщения, что альтернативный тип развития растений может быть проявлением некоторых доминантных аллелей гена *Vrn-B1* [3], или доминантного аллеля *Vrn-D1b*, возникающего в результате единичной нуклеотидной мутации в промоторном участке гена *Vrn-D1a* [4].

Таблица 2 – Основные количественные признаки структуры урожая факультативных форм тритикале после перезимовки и весеннего сева в 2021 г.

Название тритикале	Число зёрен, шт.	Масса 1000 зёрен, г	Натура зерна, г/л	Урожайность, г/м^2
Цекад 90/5 (В)	113 ± 12*	27 ± 3	571 ± 31	688 ± 26
Цекад 90/5 (О)	60 ± 5	45 ± 3*	749 ± 6*	746 ± 21
С 57/2/4 (В)	84 ± 10*	25 ± 4	567 ± 27	662 ± 29
С 57/2/4 (О)	48 ± 5	39 ± 2*	697 ± 8*	782 ± 30*
Квадро (В)	89 ± 10*	49 ± 6	696 ± 33	898 ± 30*
Квадро (О)	48 ± 4	52 ± 2	797 ± 10*	774 ± 26
Ульяна (В)	76 ± 12	42 ± 6	698 ± 29	728 ± 31
Ульяна (О)	61 ± 8	53 ± 2	782 ± 8*	672 ± 45
Укро (В)	67 ± 5	53 ± 3	752 ± 11	922 ± 47**
Укро (О)	60 ± 7	51 ± 2	757 ± 75	356 ± 23
Лотас (В)	74 ± 9	39 ± 3	649 ± 19	808 ± 30
Лотас (О)	55 ± 5	57 ± 3*	754 ± 17*	766 ± 24

Примечание: (О) – перезимовавшая форма после осеннего сева;
(В) – форма после весеннего сева;
* - достоверно при P <0,05

По нашим наблюдениям факультативные формы тритикале, выделенные из озимых популяций не отличаются ни по морфологическим признакам, ни по перезимовке, ни по продуктивности от исходных озимых форм. По другим исследованиям имеются данные, что факультативные формы даже более урожайные, чем озимые при тех же условиях выращивания [2].

Обе формы факультативных тритикале Цекад 90/5 и Сирс 57/2/4 продемонстрировали нецелесообразность их возделывания по яровому направлению. Все четыре факультативные формы, полученные из коллекционных образцов показали нецелесообразность возделывания по озимому типу.

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

Список литературы

1. Зайцева О.И., Лемеш В.А. Аллельный состав генов *VRN-A1*, *VRN-B1*, и *VRN-B3* у линий удвоенных гаплоидов гексаплоидной тритикале // Генетика. 2015. №7. Т.51. С.766-774.
2. Mazurenko B., Kalenska S., Honchar L., Novytska N. // Grain yield response of facultative and winter triticale for late autumn sowing in different weather conditions // Agronomy Research. 2020. 18(1), 183–193, 2020. https://doi.org/10.15159/AR.20.008
3. Стельмах А.Ф. Генотип типичных двуручек мягкой пшеницы по локусам *Vrn1-3* и *Ppd1-3* // Науч. техн. бюлл. ВСГИ. 1985. Т. 2. № 56. С. 15–20.
4. Zhang J., Wang Y., Wu S., Yang J., Liu H., Zhou Y. A single nucleotide polymorphism at the *Vrn-D1* promoter region in common wheat is associated with vernalization response //Theoretical and Applied Genetics. 2012. V. 125. № 8. P. 1697–1704.

Сравнительный анализ признаков продуктивности у беспроантоцианидиновых мутантов ячменя и их родительских сортов

Тоцкий И.В., к.б.н., н.с., СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН, Краснообск, Новосибирская область, Россия
Шоева О.Ю., к.б.н., с.н.с., ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: totsky@bionet.nsc.ru

Важным направлением селекции пивоваренных ячменей является получение беспроаноцианидиновых сортов. Проводился анализ признаков продуктивности, у семи беспроаноцианидиновых мутантов ячменя и трёх родительских сортов. Обнаружен перспективный мутантный образец ant26.486, который превосходит родительский сорт Grit по всем изучаемым признакам. Остальные мутантные образцы уступали по всем признакам исходным сортам.

Ключевые слова: *пивоваренный ячмень, сорт, мутант, фенотипический анализ.*

Comparative analysis of the yield-related traits in proanthocyanidin-less mutants and their parental cultivars

Totsky I.V., Phd, researcher, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russian Federation
Shoeva O.Yu., Phd, senior researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

An important direction in breeding of malting barley is the production of proanthocyanidin-less varieties. A phenotypic analysis of seven proanthocyanidin-less mutants and three parental varieties was carried out. A promising mutant ant26.486, which surpasses parental variety Grit in all traits, was found. The remaining mutants were inferior in all traits to the original varieties.

Keywords: *malting barley, variety, mutant, phenotypic analysis.*

Одним из важных направлений селекции ячменя является создание пивоваренных сортов. К таким сортам предъявляются определённые требования, которые отличают их от сортов пищевой направленности.

Одной из главных проблем при производстве пива является помутнение, которое приводит к пониженной стойкости пива при хранении. Различают биологическое помутнение, образующееся в результате размножения дрожжей или других микроорганизмов, и небиологическое (коллоидное),

возникающее при нарушении коллоидного равновесия [1]. Коллоидное помутнение пива наступает с понижением температуры и исчезает при нагревании. При длительном хранении и воздействии кислорода воздуха, света, ионов металлов холодное помутнение превращается в необратимое, неисчезающее. Если проблема биологического помутнения на сегодняшний день успешно решена, то вопрос коллоидного помутнения является более сложным и до конца не решен. Сегодня известно, что основу коллоидного помутнения составляют белковая и полифенольная фракции, а также в незначительных количествах другие вещества [2].

Традиционная селекция пивоваренных сортов ячменя направлена на снижение содержания белковой фракции, однако, как показал мировой опыт, снижение полифенольной фракции также может быть эффективным способом повышения качества и продолжительности хранения готового пива [3].

Стоит отметить, что фенольные соединения являются важными компонентами пива, определяющими не только его коллоидную стабильность, но также вкус и цвет. Фенольные соединения ячменного происхождения составляют 70–80% всех фенольных соединений пива, вызывающих его коллоидное помутнение [4]. Димеры и полимеры проантоцианидинов показали наибольшую активность в формировании помутнения [5, 6]. Эффект помутнения вызывается тем, что во время охлаждения проантоцианидины связываются с белками.

Для решения проблемы коллоидного помутнения пива в 70-х гг. прошлого века было предложено снижение фракции проантоцианидинов в зерне пивоваренного назначения за счет введения в селекцию мутантных аллелей генов биосинтеза проантоцианидинов [3]. Это стало возможным благодаря созданной в Швеции коллекции индуцированных мутантов ячменя с нарушенным синтезом флавоноидных соединений – *Anthocyanin-less* (*Ant*), – которая насчитывает более 700 индивидуальных линий.

Однако, как было показано, мутантные аллели большинства генов синтеза флавоноидов не могут быть использованы в селекции таких сортов, поскольку приводят к снижению урожайности и качественных характеристик солода и готового пива. Наиболее удачным оказался опыт использования в селекции беспроаноцианидиновых сортов мутантов, у которых мутации произошли в генах, контролирующих заключительные этапы синтеза проантоцианидинов, и которые, таким образом, оказывают наименьшее влияние на физиологические процессы, протекающие в организме растений.

Для выявления перспективных доноров мутантных аллей генов, контролирующих синтез проантоцианидинов в зерне ячменя, было проведено сравнение хозяйственно-ценных признаков у мутантов по локусам *Ant25*, *Ant26*, *Ant27* и сортов Secobra 18193, Grit, Zenit, на основе которых они были получены. Растения выращивали в гидропонной теплице ИЦиГ СО РАН во время весенней вегетации 2021-2022 года. Были выращены 8-13 растений

каждого генотипа. Проводили измерение массы зёрен, массы корня, массы побегов, длину главного побега, количество боковых побегов (табл. 1). Различия между родительскими сортами и мутантными образцами, а также различия мутантов между собой оценивали с применением критерия Манна-Уитни.

Таблица 1 – Фенотипические показатели сортов и гибридов ячменя

Образцы	Масса корня	Масса побегов	Длина главного побега	Количество боковых побегов	Масса зёрен
Grit	0,15±0,11^{a}	9,69±6,00^{ab}	90±9,89^{ab}	11,18±6,34^{ab}	3,48±2,37^{ab}
ant26.483	0,20±0,20^{a}	10,78±5,48^{ab}	95,17±5,65^{ab}	11,92±7,74 ^{ab}	3,88±1,85^{ab}
ant26.485	0,16±0,06^{a}	8,39±3,24^{a}	92,58±2,11^{a}	13,33±5,53^{a}	3,29±1,38^{a}
ant26.486	0,24±0,10^{b}	12,60±5,12^{b}	96,08±6,24^{b}	14,92±9,40^{ab}	4,94±2,02^{b}
ant26.2002	0,18±0,11^{ab}	10,10±4,12^{ab}	96,46±9,47^{b}	11,62±5,25^{ab}	4,10±1,51^{b}
ant26.2004	0,14±0,06^{a}	9,31±3,06^{a}	96,15±3,08^{b}	9,46±4,27^{b}	3,77±1,12^{ab}
Zenit (2022)	0,42±0,13	31,15±10,86	103,67±3,65	26,75±7,46	13,57±4,45
ant27.488 (2022)	0,17±0,07*	10,78±5,43*	83,13±7,81*	12,63±6,16*	5,23±2,75*
Zenit (2021)	0,16±0,07	33,71±13,08	93,67±3,58	19,83±9,43	12,65±4,17
ant27.488 (2021)	0,06±0,03$^{\#}$	12,07±6,11$^{\#}$	72,09±4,11$^{\#}$	11,2±4,69$^{\#}$	4,02±2,69$^{\#}$
Secobra 18193	0,18±0,06	20,27±4,75	79,75±5,19	16,67±4,64	8,12±1,97
ant25.264	0,12±0,05$^{\&}$	14,54±6,57$^{\&}$	79,8±6,32	11,6±5,76$^{\&}$	4,78±3,26$^{\&}$

Примечание: разными надстрочными буквами отмечены различия между сортом Grit и мутантами *ant26.483*, *ant26.485*, *ant26.486*, *ant26.2002*, *ant26.2004* при $p<0,05$;
* – различия между сортом Zenit и мутантом *ant27.488* (2022 год) существенны при $p<0,05$;
$^{\#}$ – различия между сортом Zenit и мутантом *ant27.488* (2021 год) существенны при $p<0,05$;
$^{\&}$ – различия между сортом Secobra18193 и мутантом *ant25.264* существенны при $p<0,05$.

Сорт Zenit значимо превосходил мутант *ant27.488* по всем признакам.

Сорт Secobra18193 по массе корня, массе побега, количеству боковых побегов и массе зёрен значимо превосходил мутант *ant25.264*. По длине главного побега значимых различий не наблюдалось. Мутанты по локусам *Ant26* не отличались от исходного сорта Grit по основным показателям урожайности и лишь в случае массы корней мутант *ant26.486* превосходил исходный сорта. Также мутант *ant26.486* значимо превосходил мутант *ant26.485* по всем признакам, за исключением количества боковых побегов.

Таким образом, мутант *ant26.486* является наиболее перспективным образцом для использования в селекции, так как лишён проантоцианидинов и не отличается от родительского сорта Grit по всем показателям, а также превосходит другие мутанты по ряду показателей.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 21-76-10024.

Список литературы

1. Главачек Ф., Лхотский А. Пивоварение. Москва: Изд-во «Пищевая промышленность», 1977.
2. Steiner E., Becker T., Gastl M. Turbidity and haze formation in beer – insights and overview // J. Inst. Brew. 2010. V 116. № 4. P. 360-368. DOI 10.1002/j.2050-0416.2010.tb00787.x.
3. von Wettstein D. From analysis of mutants to genetic engineering // Annu. Rev. Plant Biol. 2007. V 58. P. 1-19. DOI 10.1146/annurev.arplant.58.032806.104003.
4. Wannenmacher J., Gastl M., Becker T. Phenolic substances in beer: structural diversity, reactive potential and relevance for brewing process and beer quality // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2018. V 17. P. 953-988. DOI 10.1111/1541-4337.12352.
5. Asano K., Ohtsu K., Shinagawa K., Hashimoto N. Affinity of proanthocyanidins and their oxidation products for haze-forming proteins of beer and the formation of chill haze // Agric. Biol. Chem. 1984. V 48. №5. P. 1139-1146. DOI 10.1080/00021369.1984.10866300.
6. Siebert K.J., Lynn P.Y. Comparison of polyphenol interactions with polyvinylpolypyrrolidone and haze-active protein // J. Am. Soc. Brew. Chem. 1998. V 56. № 1. P. 24-31. DOI 10.1094/ASBCJ-56-0024.

Изучение взаимного влияния цитоплазмы и хромосомы 7H^m на проявление признаков у алло-линий (*H. marinum* ssp. *gussoneanum*)-*T. aestivum*

Трубачеева Н.В.,[1,2], к.б.н., н.с.; Силютина Н.Ю.[1], ст. лаборант; Россеева Л.П.[3], к.б.н., в.н.с.; Белан И.А.[3], к.с.-х.н., зав. лабораторией; Першина Л.А.[1,2], д.б.н., г.н.с.*

[1]ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия
[2] Курчатовский геномный центр ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия
[3]ФГБНУ «Омский АНЦ», Омск, Россия
**e-mail: natas@bionet.nsc.ru*

При изучении взаимного влияния цитоплазмы и хромосомы 7H^m ячменя H.marinum ssp. gussoneanum (4x) на проявление признаков у пшенично-замещенных и дополненных алло-линий мягкой пшеницы выявлен их супрессирующий эффект, независимо от типа пшенично-ячменного замещения или дополнения. Такой же эффект обнаружен при сравнении реципрокных гибридов между пшенично-ячменной замещенной линией 7H^m(7B) и линией сорта пшеницы Омская 37 (с транслокацией 1RS.1BL). У алло-линий, носителей цитоплазмы дикого ячменя и 1RS.1BL, но с отсутствием хромосомы 7H^m, значения изученных показателей или на уровне контроля, или превышают их.

Ключевые слова: *мягкая пшеница, ячмень H. marinum ssp. gussoneanum, алло-линии.*

Study of the mutual influence of cytoplasm and chromosome 7H^m on the manifestation of signs in allo-*H. marinum* subsp. *gussoneanum*) - *T. aestivum*

Trubacheeva N.V.[1], Silyutina N.Y., Rosseeva L.P., Belan I.A., Pershina L.A.*
Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
**e-mail: natas@bionet.nsc.ru*

When studying the mutual influence of the cytoplasm and chromosome 7H^m of barley H.marinum ssp. gussoneanum (4x) on the manifestation of traits in wheat-substitution and addition allo-lines of bread wheat, their negative effect was revealed, regardless of the type of wheat-barley substitution or addition. The same effect was found when comparing reciprocal hybrids between the wheat-barley substitution line 7H^m(7B) and the line of the wheat variety Omskaya 37 (with translocation 1RS.1BL). In allo-lines carrying the wild barley cytoplasm and 1RS.1BL, but lacking the 7H^m chromosome, the values of the studied parameters are either at the control level or exceed them.

Keywords: *bread wheat, barley H. marinum ssp. gussoneanum, allo-lines.*

Замещение цитоплазмы на чужеродную приводит к изменчивости ядерно-цитоплазматических взаимодействий и является дополнительным источником увеличения биоразнообразия культурных растений [1]. В наших работах показано, что аллоплазматические линии (алло-линии) мягкой пшеницы (*H. vulgare*)-*T. aestivum* с завершенной ядерно-цитоплазматической совместимостью могут использоваться для получения дигаплоидных линий и включаться в гибридизацию при создании интрогрессивных селекционных форм, эффективно используемых в селекции [2]. Данное сообщение включает результаты изучения взаимного влияния цитоплазмы и хромосомы 7H^m ячменя *H.marinum* ssp *gussoneanum* (4x) на проявление признаков у пшенично-замещенных и дополненных алло-линий мягкой пшеницы, проводимое с целью выделения перспективных алло-линий для селекции.

В исследование включены ранее полученные и идентифицированные пшенично-ячменные замещенные алло-линии 7H^m(7D) и 7H^m(7B), а также дополненные линии +7H^{m}L и +7H^m [3]. Контролем была линия сорта яровой мягкой пшеницы Пиротрикс 28, использованная при создания этих алло-линий. Для получения реципрокных гибридов включены алло-линия 7H^m(7B) и линия сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, несущая пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL. Присутствие хромосомы ячменя 7H^m в геноме алло-линий и гибридов изучали на основании описанного метода [3], а транслокации 1RS.1BL на основании GISH-анализа и по наличию гена *Lr26*, локализованного в ржаном сегменте этой транслокации [4].

В таблице 1 представлены результаты структурного анализа, который показал, что алло-линии, независимо от типа замещения хромосом пшеницы

на хромосому дикого ячменя 7H^m и происхождения дополненных линий, по проявлению основного числа признаков отличаются от родительской линии сорта пшеницы Пиротрикс 28. Так, значения показателей длины колоса, числа колосков, числа зерен в главном колосе и в растении у алло-линий достоверно ниже, чем у контроля. Высота растений у замещенной алло-линии 7H^m(7B) и дополненной алло-линии +7H^m также достоверно ниже, чем у Пиротрикс 28. Только по числу колосьев в растении не выявлено различий между алло-линиями и контролем.

Таблица 1 – Характеристика пшенично-ячменных замещенных и дополненных аллоплазматических линий (*H. marinum* ssp. *gussoneanum*)-*T. aestivum*. Гидропонная теплица, осенне-зимняя вегетация 2021 г.

Генотипы	Высота	Число колосьев в растении	Длина колоса	Число колосков	Число зерен в главном колосе	Число зерен в растении
П28	98,52 a	4,60 a	9,86 a	18,48 a	47,38 a	182,19 a
7H^m(7D)	87,69 ab	3,45 a	7,37 b	14,08 b	29,65 b	84,98 b
7H^m(7B)	76,87 b	3,44 a	7,4 b	13,69 b	24,43 b	87,96 b
+7H^{m}L	84,84 ab	3,65 a	7,96 b	14,42 b	27,78 b	81,52 b
+7H^m	75,97 b	3,21 a	7,2 b	12,58 b	17,46 c	48,32 b
НСР5%=	9,68	0,77	0,55	1,16	3,29	14,0

Примечание. П28 – сорт яровой мягкой пшеницы Пиротрикс 28. Разными буквами в одной и той же колонке показаны статистически значимые различия ($p < 0.05$).

В таблице 2 приведены данные, полученные при изучении реципрокных гибридов комбинаций Ом37×7H^m(7B) и 7H^m(7B)×Ом37.

Таблица 2 – Характеристика реципрокных гибридов F_1 между аллоплазматической линией 7H^m(7B) и сортом яровой мягкой пшеницы Омская 37. Гидропонная теплица, зимне-весенняя вегетация

Гибридная комбинация	Высота	Число колосьев	Длина колоса	Число колосков	Число зерен в главном колосе	Число зерен в растении
Ом37×7H^m(7B)	120,1	5,4	9,9	18,1	38,8	144,8
7H^m(7B)×Ом37	106,3*	2,9*	7,3***	15,1***	22,6***	57,4***

Примечание. Разница по сравнению с реципрокной гибридной комбинацией Ом37×7H^m(7B) достоверно меньше при *p<0.05 и ***p<0.001.

Установлено, что значения показателей всех изученных признаков у гибрида с цитоплазмой дикого ячменя 7H^m(7B)×Ом37 достоверно ниже, чем у реципрокной комбинации. Таким образом, подтверждено, что цитоплазма дикого ячменя в присутствии хромосомы 7H^m отрицательно влияет на проявление изученных признаков.

На основе отдельных растений потомков F_3-поколения гибридной аллоплазматической комбинации 7H^m(7B)×Ом37 сформировано два основных

типа линий. Это линии, носители пшенично-ржаной транслокации 1RS.1BL и хромосомы дикого ячменя 7H^m, а также линии, у которых выявлялась только пшенично-ржаная транслокация (рис. 1 и рис. 2).

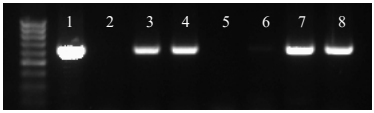


Рис.1. ПЦР-спектр, полученный при амплификации EST-маркера k4783, специфичного для хромосомы ячменя 7H^m. 1 - ячмень *H. marinum*; 2 – сорт мягкой пшеницы Пиротрикс 28; 3 – алло-линия 7H^m(7D); 4 – алло-линия 7H^m(7B), 5 – сорт мягкой пшеницы Омская 37; 6 – алло-линия Л-268; 7 – дополненная алло-линия +7H^{m}L; 8 – алло-линия Л-11.

Рис. 2. ПЦР-спектр, полученный при амплификации маркера iag95, сцепленного с геном *Lr26* на хромосоме ржи 1RS. 1 – сорт пшеницы Омская 37; 2 – сорт пшеницы Пиротрикс 28; 3 – алло-линия 7H^m(7D); 4 – алло-линия 7H^m(7B); 5 – гибрид 7H^m(7B)×Ом37; 6 – алло-линия Л-268.

В таблице 3 дана характеристика двух из серии сформированных алло-линий.

Таблица 3 – Характеристика аллоплазматических линий, выделенных из гибридной комбинации 7H^m(7B)×Ом37 в F_3

Генотип	Высота	Число колосьев	Длина колоса	Число колосков	Число зерен в главном колосе	Число зерен в растении
Ом37	121,1	5,0	10,5	18,6	41,5	183,2
Л-11	107,5$^{(***)}$	1,5$^{(***)}$	7,2$^{(***)}$	19,1	7,2$^{(***)}$	10,8$^{(***)}$
Л-268	136,1***	7,2***	14,2***	24,6***	49,8***	318,0***

Примечание. $^{\#}$ – варьирование значений. Разница по сравнению с сортом Омская 37 достоверно меньше при $^{(**)}$ $p<0.01$ и $^{(***)}$ $p<0.001$; достоверно больше при $^{**}p<0.01$ и *** $p<0.001$.

Линия Л-11, которая несет пшенично-ржаную транслокацию и хромосому дикого ячменя 7H^m в составе пшенично-ячменного замещения 7H^m(7B)×Ом37 (рис. 1, рис. 2), имеет значения всех показателей изученных признаков достоверно ниже, чем у сорта пшеницы Омская 37. У алло-линии Л-268, у которой выявлена только пшенично-ржаная транслокация, значения всех показателей значительно превышают эти значения у сорта Омская 37. Алло-линия Л-268 включена в селекционный процесс и используется в скрещиваниях с перспективными сортами и линиями для создания нового селекционного материала.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 20-016-00196) и в рамках бюджетного проекта FWNR-2022-0017.

Список литературы

1. Soltani A., Kumar A., Mergoum M., Pirseyedi S.M., Hegstad J.B., Mazaheri M., Kianian S.F. Novel nuclear-cytoplasmic interaction in wheat (*Triticum aestivum*) induces vigorous plants // Funct Integr Genomics. 2016. V.16(2). P. 171-182.
2. 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.
3. Trubacheeva N.V., Badaeva E.D., Osadchaya T.S., Pershina L.A. Use of *H. vulgare* EST markers, GISH and C-banding to study bread wheat- *H. marinum* subsp. *gussoneanum* (2n=28) introgression lines // Cereal Research Communications. 2019. V. 47(4). P. 593-603.
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.

Оценка полиморфизма коллекции озимой пшеницы по устойчивости к прорастанию зерна на корню

Федяева А.В.[1,2], к.б.н., н.с.; Салина Е.А.*[1,3], д.б.н., гл.н.с.*

[1] *ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.*
[2] *ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия.*
[3] *Курчатовский геномный центр ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия.*
**e-mail: fedyaeva.anna@mail.ru*

*Предуборочное прорастание зерна (прорастание зерна на корню) – одна из основных проблем приводящая к потере урожая зерновых. Для отбора устойчивых сортов используют разные морфологические, физиолого-биохимические и молекулярно-генетические методы оценки. В настоящей работе проведена оценка 165 сортов мягкой озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.*) различного происхождения по индексу прорастания зерна (ИП) и активности α-амилазы (метод Цералпха) на двух стадиях созревания зерна. Показано, что наиболее объективным критерием оценки прорастания зерна на корню является ИП на стадии молочной/восковой спелости. Тенденция к высокому прорастанию зерна на корню отмечена у 30 из 156 изученных краснозерных сортов пшеницы.*

Ключевые слова: *предуборочное прорастание зерна, озимая пшеница, индекс прорастания, α-амилаза.*

Evaluation of polymorphism of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) collection on pre-harvest sprouting tolerance

Fedyaeva A.V.[1, 2]*; Salina E.A.*[1, 3]

[1] *Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.*
[2] *Institute of plant physiology and biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia.*
[3] *Kurchatov genomics center, Institute of cytology and genetics SB RAS, Irkutsk, Russia.*
**e-mail: fedyaeva.anna@mail.ru*

Pre-harvest sprouting (PHS) is one of the main problems leading to the loss of crops. Different morphological, physiological, biochemical, and molecular genetic methods are used to select resistant varieties. In this work, 165 varieties of soft winter wheat (Triticum aestivum L.*) of various origins were evaluated on germination index (GI) and α-amylase activity (Ceralpha method) at two stages of grain ripening. It is shown that the most objective criterion for evaluating the pre-harvest sprouting is the GI at the stage of milk/wax ripeness. The trend towards increases the pre-harvest sprouting was registered in 30 out of 156 studied red grain wheat varieties.*

Keywords: *pre-harvest sprouting, winter wheat, germination index, α-amylase.*

При предуборочном прорастании зерна, или прорастании зерна на корню, происходит произрастание зерна в колосе родительского растения на поле перед сбором урожая, и случается за счет воздействия повышенной влажности воздуха и температуры ниже нормы на финальных стадиях созревания злаковых, а также неустойчивости сортов к данным факторам внешней среды. Прорастание зерна на корню является проблемой при выращивании зерновых, приводящее к ухудшению качества муки и к большим экономическим потерям [1]. Основным решением данной проблемы является отбор сортов пшеницы устойчивых к предуборочному прорастанию на корню. Для отбора устойчивых сортов используют разные морфологические, физиолого-биохимические и молекулярно-генетические методы оценки [2, 3]. Поэтому целью настоящей работы было оценить коллекцию озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на устойчивость к предуборочному прорастанию зерна.

Материал и методы исследования

В качестве объекта исследования была использована коллекция мягкой озимой пшеницы, предоставленная Всероссийским институтом генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Изучено 165 сортов мягкой озимой пшеницы различного происхождения, включающая 16 селекционных линий из 13 стран Европы и Америки, а также различные регионы России. Изученная коллекция была представлена следующими разновидностями: *albidum*, *lutescens*, *milturum*, *composituminumilturum*, *velutinum*, *graecum*, *ferrugineum*, *hostianum*, *erythrospermum*, *compositumferrugineum*. На

основании этих разновидностей по окраске зерна было выделено 2 группы: белозёрные и краснозёрные сорта. Для исследования колосья собирали на двух стадиях созревания зерна, полной спелости (ПС) и молочной/восковой спелости (М/ВС). Оценка устойчивости сортов к прорастанию на корню происходила с использованием двух методов, прямой провокации зерна в чашках Петри [4] и Цералпха метода [5]. Цералпха метод, позволяющий оценить активность α-амилазы, проводился с использованием коммерческого набора реагентов (Megazyme International), активность α-амилазы выражалась в Цералпха единицах на грамм муки (ЦЕ/г). Одна Цералпха единица определяется как количество фермента, необходимого для образования 1 микромоля п-нитрофенола из блокированного п-нитрофенилмальтогептаозида за одну минуту при условии наличия избытка термостабильной α-глюкозидазы [6]. Результатом физиологического метода является определение индекса прорастания (ИП), для подсчета которого используется формула, предложенная Валкером-Симмонсом [4].

$ИП=\frac{7n_1+6n_2+5n_3+4n_4+\ldots+1n_7}{DN}$, где n_1, n_2, … n_7 – число проросших зерен за первые, вторые и последующие сутки; N – общее число зерен проросших за 7 дней эксперимента; D – общее число дней испытания; 7, 6, …, 1 – веса, данные числам проросших зерен в первый, второй и последующие дни проведения эксперимента. Максимальный ИП=1,0.

Результаты и их обсуждение

Из литературных данных известно, что краснозерные сорта пшеницы являются более устойчивыми к прорастанию зерна на корню, чем сорта с белым цветом зерна [7]. Изучение ИП у сортов мягкой озимой пшеницы показало, что в группе белозёрных сортов высокий ИП наблюдался у большего числа сортов, чем в группе краснозёрных сортов (табл. 1).

Таблица 1 – Процент сортов, имеющих высокий индекс прорастания и повышенную активность α-амилазы

Белозерные сорта, %				Краснозерные сорта, %			
Высокий индекс прорастания		Повышенная активность альфа-амилазы		Высокий индекс прорастания		Повышенная активность альфа-амилазы	
ПС	М/ВС	ПС	М/ВС	ПС	М/ВС	ПС	М/ВС
88,89	71,43	11,11	28,57	58,90	21,43	30,07	23,74

Примечание: ПС – стадия полной спелости зерна; М/ВС – стадия молочной/восковой спелости зерна.

Также было отмечено, что на стадии созревания зерна – молочной/восковой спелости было меньшее количество сортов с высоким ИП, чем на более поздней стадии – полной спелости зерна. Это согласуется с данными из литературы, так известно, что ИП повышается по мере созревания зерна [8]. Как видно из таблицы 1 у белозёрной группы сортов высокий ИП имели 71,43% сортов на стадии молочной/восковой спелости зерна и 88,89%

сортов на стадии полной спелости зерна. В случае краснозёрных сортов высокий ИП имели 21,43% и 58,90%, соответственно на стадиях молочной/восковой спелости и полной спелости зерна.

Анализ α-амилазной активности показал, что положительной корреляции с ИП не наблюдалось (табл. 1), как у белозёрной группы, так и у краснозёрной группы сортов озимой пшеницы. Как видно из таблицы 1, процент сортов с повышенной активностью α-амилазы у двух групп, различающихся по окраске зерна на изучаемых стадиях, был в диапазоне от 11 до 30%. Это может быть связано с тем, что повышения активности α-амилазы не происходит из-за наличия в зерне 2-х разных основных групп изоферментов α-амилазы: α-амилазы позднего созревания (late maturity α-amylase) и α-амилазы продуцируемой при прорастании зерна [9]. Поскольку до сих пор до конца не ясна их взаимосвязь в созревающем зерне, поэтому планируются дальнейшие исследования в данной области.

Таким образом, на основании полученных данных, индекс прорастания можно считать критерием отбора сортов озимой пшеницы на устойчивость к прорастанию на корню. Поскольку это подтверждается данными полученными при изучении группы белозёрных сортов, а именно склонностью к прорастанию с использованием прямого провокационного метода.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 21-76-30003.

Список литературы

1. Gao X., Hu C.H., Li H.Z. et al. Factors affecting pre-harvest sprouting resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review // J. Anim. Plant Sci. 2013. V. 23. № 2. P. 556–565.
2. Ali A., Cao J., Jiang H. et al. Unraveling molecular and genetic studies of wheat (Triticum aestivum L.) resistance against factors causing pre-harvest sprouting // Agronomy. 2019. V. 9. № 3. P. 117.
3. Singh C., Kamble U.R., Gupta V. et al. Pre-harvest sprouting in wheat: current status and future prospects // Journal of Cereal Research. 2021. V. 13. P. 1–22.
4. Walker-Simmons M.K. ABA levels and sensitivity in developing wheat embryos of sprouting resistant and susceptible cultivars // Plant Physiology. 1987. V. 84. P. 61–66.
5. Newberry M., Zwart A.B., Whan A. et al. Does late maturity alpha-amylase impact wheat baking quality // Front Plant Sci. 2018. V. 9. 1356.
6. AACC I. The approved methods of analysis. In: Method 22–0201 measurement of alpha-amylase in plant and microbial materials using the Ceralpha method, 11th ed. St. Paul, MN: AACC International.
7. Warner R.L., Kudrna D.A., Spaeth S.C., Jones S.S. Dormancy in white-grain mutations of Chinese Spring wheat (*Triticum aestivum* L.) // Seed Science Research. 2000. V. 10. № 1. P. 51–60.
8. Mares D., Himi E. The role of TaMYB10-A1 of wheat (*Triticum aestivum* L.) in determining grain coat colour and dormancy phenotype // Euphytica. 2021. 217:89.
9. He Y., Lin Y.L., Chen C., Tsai M.H., Lin A.H.M. Impacts of starch and the interactions between starch and other macromolecules on wheat falling number // Compr Rev Food Sci Food Saf. 2019. V. 18. № 3. P. 641–654.

Влияние различных аллелей гена *Vrn-A1* на сроки колошения *T. monococcum*

Чепурнов Г.Ю. инж.; Блинов А.Г., к. б. н., в.н.с.*

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
**e-mail: grigory.tchepurnov@yandex.ru*

Проведено исследование аллельных вариантов гена Vrn-A1 у 22 яровых образцов T. monococcum и проанализировано влияние структурных изменений в определенных областях этого гена на сроки колошения растений.

Ключевые слова: *яровость, аллель, скороспелость, Vrn-A1, T. monococcum.*

Effect of different alleles of the *Vrn-A1* gene on the timing of heading in *T. monococcum*

Chepurnov G.Yu., Blinov A.G.*
Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
**e-mail: grigory.tchepurnov@yandex.ru*

A study of allelic variants of the Vrn-A1 gene was carried out in 22 spring T. monococcum accessions and the effect of structural changes in certain regions of this gene on the timing of plant heading was analyzed.

Keywords: *spring growth habit, allele, earliness, Vrn-A1, T. monococcum.*

Пшеница – одна из самых значимых сельскохозяйственных культур мира. В условиях глобального и локального изменения климата значительное влияние на приспособленность растений оказывают сроки цветения, которые у злаков сокращаются при воздействии низкими температурами (яровизацией). Тип развития (яровость/озимость) и реакция на яровизациию у пшеницы контролируется локусами VRN-1, VRN-2, VRN-3 [1,6,13,14,15].

Ген *Vrn-1* представляет собой MADS-box транскрипционный фактор, гомологичный гену *APETALA-1* у *Arabidopsis thaliana* [3,12]. Этот ген экспрессируется в клетках апикальной меристемы, обеспечивая переход растения из вегетативной фазы в генеративную [9,11], а в листьях белковый продукт гена *Vrn-1* действует как репрессор генов *ZCCT-1* и *ZCCT-2* (локус VRN-2) [2].

Как было показано, гены локуса VRN-2 кодируют белки, содержащие домены цинковых пальцев и CCT-домены, которые снижают уровень экспрессии гена *Vrn-3* (он же *FT-1*) [5,15], а ген *Vrn-3,* в свою очередь, играет важную роль в каскаде формирования соцветий, так как он кодирует полипептид, спо-

собный связывается с другими белками и образовывать комплекс, получивший название FAC (florigen activation complex). Эта совокупность белков транспортируется из листьев в клетки апикальной меристемы растений и там связывается с промоторной областью гена *Vrn-1* [9,13]. Предполагается, что формирование такого единого комплекса (ДНК-белок) в конусе нарастания и приводит к переходу растений к репродуктивной фазе развития [4].

Ввиду того, что в описываемом процессе главную роль играет ген *Vrn-1,* давая начало каскаду формирования генеративных органов благодаря экспрессии в листьях, в большинстве случаев изменения в структуре именно этого гена приводят к способности злаковых растений формировать колос без яровизации [6,10]. Среди гомологов гена *Vrn-1,* аллели из А генома пшениц обладают наибольшим влиянием на изменение сроков колошения [7]. Показано, что более ранняя экспрессия аллелей гена *Vrn-A1* может сократить вегетативный период растений [5]. Аллельные варианты гена *Vrn-A1* формируются благодаря различным делециям в промоторной области и в первом интроне этого гена [6,11,14]. Однако оценить конкретное влияние этих нарушений в гексаплоидной пшенице является сложной задачей из-за наличия взаимодействия между тремя геномами. Диплоидные формы пшеницы представляют собой более удобный объект исследования, поскольку исключают эпистатическое взаимодействие генов *Vrn* различных геномов. Наиболее удобным из всех диплоидных видов пшениц для такой цели является *T. monococcum* L., так как это некогда активно возделываемый диплоидный вид.

Целью настоящего исследования является выявление аллельных вариантов гена *Vrn-A1* у *T. monococcum* и их сопоставление со сроками колошения. Для достижения этой цели была поставлена задача установления и анализа нуклеотидных последовательностей области промотора и первого интрона гена *Vrn-A1* у *T. monococcum*.

Материалом для исследования послужили 22 образца этой культуры собранных в Великобритании, Македонии, Сербии, Бельгии, Турции, Ираке и Армении. Выделение суммарной ДНК, ПЦР амплификация, установление и анализ нуклеотидных последовательностей были выполнены согласно I. Konopatskaia [8].

В результате проведенного исследования были установлены нуклеотидные последовательности области промотора гена *Vrn-A1* у 22 яровых образцов *T. monococcum*, а также типы делеций первого интрона этого гена. Анализ полученных нуклеотидных последовательностей показал, что 17 из них содержали 7222-нуклеотидную делецию в первом интроне, что соответствует ранее выявленному аллелю *Vrn-A1c* сорта Langdon *T. turgidum* [6] 3 образца содержали делецию размером 1 п.н. в GArG-box промоторной области, что соответствующую аллелю *Vrn-A1f T. monococcum* [5] и 2 образца содержали делецию 37 п.н. захватывающую VRN-box и GArG-box промо-

торной области, что соответствовало аллелю *Vrn-A1g T. monococcum* [5] (рисунок). Таким образом, у всех исследованных яровых образцов *T. monococcum* были обнаружены ранее описанные нарушения нуклеотидных последовательностей области промотора или первого интрона гена *Vrn-A1*.

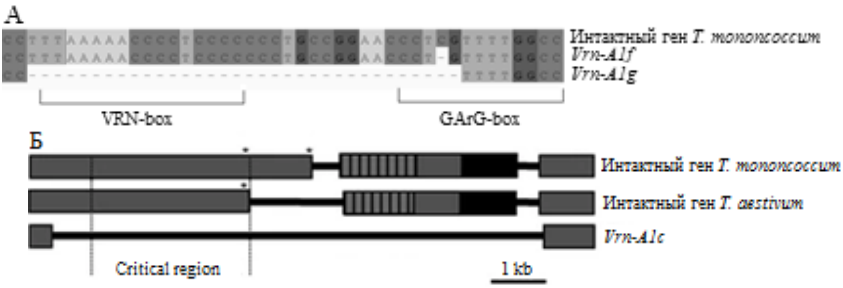


Рисунок. Схема строения различных аллельных вариантов промотора (А) и первого интрона (Б) гена *Vrn-A1*. А) Из всей промоторной области представлены только критически важные VRN-box и GArG-box. Б) Черные прямоугольники представляют собой часть ретроэлемента Sukkula, присутствующего только в А геноме. Серые прямоугольники с вертикальными полосами представляют собой область со значительным сходством с геном полипротеина *Solanum demissum* [6].

На следующем этапе работы были исследованы растения *T. monococcum* с разными аллельными вариантами гена *Vrn-A1*. Для каждого варианта было получено потомство семян из 15 растений, которые были высеяны на опытном участке ИЦиГ СО РАН, для оценки влияния различных структурных изменений гена *Vrn-A1* на сроки колошения при помощи t-критерия Стьюдента (таблица).

По результатам полевого испытания было установлено, что образцы с различными делециями в области промотора (аллели *Vrn-A1f* и *Vrn-A1g*) выколашивались в среднем за 59-60 дней и достоверно не отличались друг от друга по срокам колошения ($p = 0,842$). Далее эти образцы были объединены в общую выборку и использованы для оценки достоверности различий в продолжительности периода всходы-колошение относительно растений с делецией в первом интроне (аллель *Vrn-A1c*), которые выколашивались в среднем за 47 дней. Значение $p = 0,023$, что говорит о достоверности различий.

Таблица – Продолжительность периода всходы-колошение у образцов с различными аллелями

Аллель Vrn-A1	Продолжительность периода всходы-колошение (дн.)	t-test	P-value
Vrn-A1f	59	-	-
Vrn-A1g	60	0,20	0,842
Vrn-A1c	47	2,40	0,023

Исходя из полученных данных сделан вывод о том, что нарушения в интроне гена *Vrn-A1* оказывают основное влияние на скороспелость растений *T. monococcum*, укорачивая время до колашивания в среднем на 12 дней по сравнению с образцами *T. monococcum*, у которых обнаружены изменения в области промотора.

Благодарности: Исследование выполнено при подержке РНФ № 22-16-20026 и Правительства Новосибирской области.

Список литературы

1. Гончаров Н.П., Кондратенко Е.Я., Банникова С.В., Коновалов А.А., Головнина К.А. Сравнительно-генетический анализ голозерной диплоидной пшеницы *Triticum sinskajae* и её исходной формы *T. monococcum* // Генетика, 2007. Т.43, №11. С.1491-1500.
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 Genet. 2012. Vol. 8, DOI:https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003134
3. Danyluk J., Kane N., Breton G., et al. *TaVRT-1*, a Putative Transcription Factor Associated with Vegetative to Reproductive Transition in Cereals // Plant Physiology. 2003. Vol. 132, P. 1849–1860.
4. Distelfeld A., Li C., Dubcovsky J. Regulation of flowering in temperate cereals // Curr. Opin. Plant Biol. 2009. Vol. 12, P. 178–184.
5. Dubcovsky, J., Loukoianov, A., Fu, D. et al. Effect of Photoperiod on the Regulation of Wheat Vernalization Genes *VRN1* and *VRN2* // Plant Mol. Biol. 2006. Vol. 60, P. 469–480.
6. Fu D., Szucs P., Yan L., et al. Large deletions within the first intron in *VRN-1* are associated with spring growth habit in barley and wheat // Mol. Genet. Genomics. 2005. Vol. 273, P. 54–65.
7. Kippes, N., Zhu, J., Chen, A. et al. Fine mapping and epistatic interactions of the vernalization gene *VRN-D4* in hexaploid wheat // Mol. Genet. Genomics. 2014. Vol. 289, P. 47–62.
8. Konopatskaia, I., Vavilova, V., Kondratenko, E.Y. et al. *VRN1* genes variability in tetraploid wheat species with a spring growth habit // BMC Plant Biol. 2016. Vol. 16. DOI:https://doi.org/10.1186/s12870-016-0924-z
9. Li C., Dubcovsky J. Wheat FT protein regulates *VRN1* transcription through interactions with FDL2 // Plant J. 2008. Vol. 55, P. 543–554.
10. Loukoianov A., Yan L., Blechl A., et al. Regulation of *VRN-1* Vernalization Genes in Normal and Transgenic Polyploid Wheat // Plant Physiology. 2005. Vol. 138, P. 2364–2373.
11. Oliver S., Finnegan E., Dennis E., et al. Vernalization-induced flowering in cereals is associated with changes in histone methylation at the *VERNALIZATION1* gene // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2009. Vol. 106, P. 8386–8391.
12. Trevaskis B., Bagnall D., Ellis M., et al. MADS box genes control vernalization-induced flowering in cereals // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2003. Vol. 100, P. 13099–13104.
13. Yan L., Fu D., Li C., et al. The wheat and barley vernalization gene *VRN3* is an orthologue of FT // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2006. Vol.103, P. 19581–19586.
14. Yan L., Helguera M., Kato K.et al. Allelic variation at the *VRN-1* promoter region in polyploid wheat. // Theor. Appl. Genet. Vol. 109, P. 1677–1686.
15. Yan L., Loukoianov A., Blechl A., et al. The wheat *VRN2* gene is a flowering repressor down-regulated by vernalization // Science. 2004. Vol. 303, P. 1640–1644.

История и перспективы создания сортов ячменя пивоваренного направления на Карабалыкской СХОС

Чудинов В.А[*]*., Савин Т.В*[2]*, Шпигун В.И*[1]*, Подгаец Ж.А.*[1]*, Шило Е.В.*[1]

[1] *Карабалыкская сельскохозяйственная опытная станция, Казахстан.*
[2]*Казахский агро-технологический университет им. С. Сейфулина, Казахстан.*
[*]*e-mail: ch.den@mail.ru*

Показаны результаты селекции пивоваренного ячменя для условий Северного Казахстана. Из состава питомника конкурсного сортоиспытания выделены две селекционные линии, качественные параметры которых отвечают требованиям пивоваренного ячменя.

Ключевые слова: *ячмень пивоваренный, экстрактивность, содержание белка, крахмал, число Кольбаха, конкурсное сортоиспытание.*

History and prospects for the creation of brewing barley varieties at the Karabalyk Agricultural Experimental Station

Chudinov V.A[*1]*., Savin T.V*[2]*, Shpigun V.I*[1]*, Podgaets Zh.A.*[1]*, Shilo E.V.*[1]
[1] *Karabalyk Agricultural Experimental Station, Kazakhstan.*
[2]*Kazakh Agro-Technological University named after S. Seifulin, Kazakhstan.*
[*]*e-mail ch.den@mail.ru*

The results of selection of malting barley for the conditions of Northern Kazakhstan are shown. From the composition of the nursery for competitive variety testing, two breeding lines were selected, the quality parameters of which meet the requirements of malting barley.

Keywords: *malting barley, extractiveness, protein content, starch, Kolbach number, competitive variety testing.*

Получение зерна ячменя пивоваренного качества в условиях Северного Казахстана зависит от многих факторов, к которым относятся климатические особенности региона и практическое отсутствие сортов пивоваренного направления.

Как известно из литературных источников, для успешного выращивания ячменя пивоваренного направления годовой уровень выпадения осадков должен составлять 450-600 мм [1]. Таких природно- климатических зон в Казахстане ограниченное количество. Согласно принятому еще в советское время ГОСТу 5060-86 Ячмень пивоваренный, к зонам пригодным для возделывания пивоваренного ячменя в Казахстане, относились Алма-Атинская, Талды-Курганская и Джамбульская области [2]. На фоне глобального изменения климата, появилась возможность расширения ареала возделывания

пивоваренного ячменя, в сторону северных регионов республики. Так в последнее десятилетие уровень влагообеспеченности северных районов Северо-Казахстанской и Костанайской областей достигает показателей 450-500 мм в год, что может позволять получать зерно ячменя хороших пивоваренных качеств.

Что касается сортового состава пивоваренного ячменя для Северного Казахстана, то он довольно ограничен. В настоящее время в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию в республики Казахстан, зарегистрировано 25 сортов пивоваренного ячменя, из них по северному региону всего три. Это сорт отечественной селекции «Арна» 1997 года районирования, и два сорта Гетьман и Ворсинский 2010 и 2011 гг. зарубежной селекции [3]. Основные посевные площади занимает сорт «Арна», который при благоприятных условиях используется как пивоваренный, в остальных, как зернофуражный.

В связи с тем, что пивоваренная промышленность Казахстана использует в основном импортированное сырье, и выращиваемые в республике сорта, так же в большинстве иностранной селекции, задача создания собственных сортов пивоваренного ячменя становится все более актуальной.

Работы над созданием сортов ячменя пивоваренного направления на Карабалыкской СХОС ведутся довольно давно. Так в начале 90-х годов на ГСИ был передан как пивоваренный сорт «Тогузак» в последствии признанный перспективным для нужд пивоварения в Кустанайской и Павлодарской областях [4]. Следующим шагом в селекции пивоваренного ячменя было создание и передача на ГСИ сорта «Тобол». Сорт показывал хорошие пивоваренные качества, при равной со стандартным сортом «Арна» зерновой продуктивности. Стоит отметить что оба сорта не нашли широкого применения в с/х производстве.

Неудачи селекции прошлых лет, можно связать с отсутствием исходного материала пригодного для создания сортов ячменя пивоваренного типа использования. В беспрерывности селекционных исследований, изменении климатических условий и поиска новых исходных форм, селекция пивоваренного ячменя на Карабалыкской СХОС получила новый толчок к развитию. Это в большой степени связано с изучением коллекционного материала Американских сортообразцов ячменя, предоставленного в 2012 году Институтом биологии и биотехнологии растений (г. Алматы). В результате изучения 578 сортообразцов были выделены 96 с хорошими пивоваренными качествами [5]. Лучшие сортообразцы, сочетающие хорошие пивоваренные качества с высокой зерновой продуктивностью, были включены в программу скрещиваний, которая в настоящее время начинает давать практические результаты.

Основными требованиями к пивоваренному ячменю считается, содержание в зерне протеина, которое не должно превышать 12%, крахмала от 60%

и выше, экстрактивность не ниже 78% и число Кольбаха более 30%. По перечисленным параметрам проводился отбор селекционного материала в процессе исследований. В результате проделанной работы выделены линии ячменя, находящиеся на стадии конкурсного сортоиспытания и передачи в ГСИ.

Испытания проводились в годы с различными климатическими условиями, является важным фактором при селекции пивоваренного ячменя (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика осадков и температур в условиях Карабалыкской СХОС за годы исследований

Год/ месяц	2017		2018		2019		2020		2021	
	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм
Май	13,1	58,6	12,1	32,7	16,3	15,6	18,2	41,8	21,6	6,7
Июнь	19,5	53,5	17,0	46,5	18,8	28,3	19,2	22,4	22,3	8,4
Июль	21,0	71,5	22,8	78,7	23,5	62,5	25,2	12,7	22,1	52,4
Август	21,0	25,8	18,3	39,6	19,6	51,4	21,3	41,5	24,4	21,7

Контрастность климатических условий в представленный период способствовала проведению оценки и выделению селекционного материала, соответствовавшего требованиям пивоваренного ячменя. Самым влагообеспеченным (207,6 мм) при умеренном температурном режиме отмечается 2017 год. Не менее благоприятными условиями отличился и последующий 2018 год (197,5 мм) за вегетацию растений. Год 2020 отмечается засушливыми условиями вегетации, выпало 118,4 мм осадков при среднемесячных температурах выше среднемноголетнего уровня. Острая засуха наблюдалась в 2021 году, за весь период вегетации выпало 89,2 мм осадков, причем основная масса из них пришлась на конец вегетации и влияния на урожайность культуры не оказала.

В соответствии с климатическими условиями вегетации формировались и параметры качества пивоваренного ячменя. Как отмечалось, содержание в зерне протеина относится к основным требованиям, предъявляемым к пивоваренному ячменю. В наших исследованиях содержание в зерне протеина варьировало, как в разрезе сортов, так и условий выращивания (табл. 2).

Содержание в зерне пивоваренного ячменя протеина, является основным показателем пригодности для производства пива. Высокое содержание белка приводит к снижению наличия крахмала и экстрактивности. Большое влияние на содержание белка в зерне оказывают условия вегетации растений, как известно, при наличии высоких температур и низком уровне осадков, содержание белка в зерне увеличивается. В наших исследованиях, из 5

лет в 4 выделялись селекционные линии, имеющие уровень содержания белка ниже 12%. Высокое содержания белка у всего набора питомника, наблюдалось в острозасушливом 2021 году. По результатам испытаний выделены линии 2014МР (2014 FEGI 48-4-B (USA)//Убаган), Л 2021-1 (2021 BARI 2B00-0089E (USA)//Убаган), Л 2-19-35 (2115 B02-1935 (USA)//2650), Л 2115-26-50 (2115//2650) которые на протяжении всего периода испытания (за исключением 2021г.) имели показатели содержания в зерне белка ниже 12%.

Таблица 2 – Содержание протеина и крахмала в зерне сортов и линий питомника конкурсного сортоиспытания пивоваренного ячменя в зависимости от условий года

Год испытания / количество линий	Протеин, %				Крахмал, %			
	min	max	ср.	≤ 12%	min	max	ср.	≥ 60%
2017 – 17	10,7	14,6	12,4	5	62,2	68,5	64,6	22
2018 – 25	10,0	14,7	12,2	12	61,6	68,9	64,2	22
2019 – 25	10,9	15,5	13,3	12	59,3	64,4	62,4	19
2020 – 34	9,5	15,1	12,4	14	57,3	62,3	59,9	16
2021 – 34	13,3	15,5	15,1	0	53,9	59,1	57,0	0

Не менее важным параметром для получения ячменя хорошего пивоваренного качества является содержание в зерне крахмала. Для хорошего пивоваренного ячменя считается нормальным содержание крахмала от 58 до 65% по сухому веществу [6].

В условиях Карабалыкской СХОС самое высокое содержание в зерне ячменя крахмала отмечено в 2017-2018 гг., которые характеризуются как влагообеспеченные. В 2019-2020 гг. также выделены линии, содержание крахмала в зерне которых превышало 60%. В острозасушливом 2021 году показатель в 60% содержания крахмала не был отмечен, максимальный показатель 59,1%, отмечался у селекционной линии 23-47-2 (к-29325 Кобзарь// Дружный).

Таблица 3 – Показатели экстрактивности и числа Кольбаха сортов и линий питомника конкурсного сортоиспытания пивоваренного ячменя в зависимости от условий года

Год испытания	Экстрактивность, %				Число Кольбаха, %			
	min	max	Ср.	≥ 79%	min	max	Ср.	≥ 30%
2017 – 17	78,4	80,3	79,1	9	24,2	33,6	27,7	3
2018 – 25	77,4	80,9	78,9	11	23,6	33,9	29,0	9
2019 – 25	78,2	80,5	78,9	10	25,4	35,4	29,0	13
2020 – 34	75,6	79,1	77,4	1	25,1	34,3	28,7	9
2021 – 34	76,6	79,3	77,8	2	23,1	29,8	26,4	0

Экстрактивность важный показатель качества пивоваренного ячменя, определяющий количество сухих веществ, которое может быть использовано при производстве пива. Интервал экстрактивности для пивоваренного ячменя находится в 78-82%. В наших исследования порог экстрактитвности более 79% в 2017 году преодолели 9 линий, в 2018 – 11; 2019 – 10; 2020 – 1 и в 2021 – 2 селекционные линии. Стабильный показатель экстрактивности превышающий 79% за годы исследований показала линия 18-63-68 (2129 (США)//Убаган).

Число Кольбаха является показателем степени расщепления белков. Значение этого числа для солода хорошего качества должно превышать 30% уровень. Значение числа Кольбаха, так же в большой степени зависит от условия вегетации. В процессе испытания выделились линии Л 2021-1 (2021 BARI 2B00-0089E (USA)//Убаган), Л 2021-2 (2021 BARI 2B00-0089E (USA)//Убаган) и Л 2-19-35 ((2115 B02-1935 (USA)//2650).

В результате по комплексной оценки, селекционного материала конкурсного сортоиспытания пивоваренного ячменя выделились линии, Л 2021-1 (2021 BARI 2B00-0089E (USA)//Убаган) и Л 2-19-35 ((2115 B02-1935 (USA)//2650). Представленные линии на протяжении всего периода испытаний имели стабильные показатели качества зерна ячменя пивоваренного направления.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках научной программы №BR10765056 БП 267 МСХ РК.

Список литературы

1. Пивоваренный ячмень /В. Складал [и др.]; пер. с чешского. Под общ. ред. Ф.Х. Бахтеева. М.: Сельхозгиз, 1961. 415 с
2. ГОСТ 5060-86 Ячмень пивоваренный, Технические условия.
3. Государственный реестр селекционных достижений, рекомендуемых к использованию в Республике Казахстан /Нур-Султан, 2022 128 С.
4. А.А. Грязнов Ячмень Карабалыкский (корм, крупа, пиво)/ Монография. Костанай. 1996. 448 с.
5. Генотипы ярового пивоваренного ячменя, созданные на базе генетических коллекций США и Казахстана/ Чудинов В.А., Абугалиева А.И../ В сборник вошли материалы, посвящённые 90-летию академика РАН П.Л. Гончарова «Оптимизация селекционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири ОСП-2019». С-160.
6. Неттевич Э.Д., Анимкова З.Ф. Романова Л.М. Выращивание пивоваренного ячменя. М.: Колос, 1984. 207 с.

Влияние доминантного аллеля *Vrn-A1L* на длительность фаз развития и продуктивность изогенной линии мягкой пшеницы

Чуманова Е.В., м.н.с.; Ефремова Т.Т., к.б.н., с.н.с.*

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
**e-mail: chumanova@bionet.nsc.ru*

Приведена характеристика изогенной линии мягкой пшеницы озимого сорта Безостая 1 (Без1) с доминантным аллелем Vrn-A1L, интрогрессированным от гексаплоидной пшеницы T. aestivum ssp. petropavlovskyi. Показано, что аллель Vrn-A1L, по сравнению с Vrn-A1a увеличивает сроки колошения, что связано с удлинением периода до формирования первого узла, а также характеризуется реакцией на яровизацию. Приведены результаты сравнительного изучения показателей продуктивности колоса и растения изогенных линий с доминантными аллелями Vrn-A1a и Vrn-A1L.

Ключевые слова: *мягкая пшеница, изогенные линии, Vrn-A1L, фазы развития, продуктивность.*

Influence of dominant allele *Vrn-A1L* on the duration of development phases and productivity in isogenic line of bread wheat

Chumanova E.V., Efremova T.T.*
Institute of cytology and genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
**e-mail: chumanova@bionet.nsc.ru*

This paper describes isogenic line of winter wheat soft cultivar Bezostaya 1 (Bez1) with dominant allele Vrn-A1L, introgressed from hexaploid wheat T. aestivum ssp. petropavlovskyi. It has been shown, that Vrn-A1L allele, in comparison with Vrn-A1a allele, increases heading period due to lengthening of period before the first node formation, and also characterizes the response to vernalization. The results of comparative study of spike and plant productivity of isogenic lines with dominant alleles Vrn-A1a and Vrn-A1L are presented.

Keywords: *bread wheat, near isogenic lines, Vrn-A1L, developmental phases, productivity.*

Для мягкой пшеницы время наступления и продолжительность отдельных этапов органогенеза является важным признаком, позволяющим растениям адаптироваться к биотическим и абиотическим факторам, обуславливая получение максимальной урожайности [1]. Переход пшеницы от вегетативной стадии развития к генеративной контролируется сложными

механизмами взаимодействия нескольких генетических систем, при этом основной вклад вносят гены *VRN* (*VRN-1, VRN-2, VRN-3* и *VRN-4*), которые, в свою очередь, представлены серией аллелей. Локус *VRN-1* представлен тремя гомеологичными генами: *VRN-A1*, *VRN-B1* и *VRN-D1*, локализованными в длинных плечах 5A, 5B и 5D хромосом соответственно, которые главным образом ассоциированы с необходимостью или отсутствием яровизации у мягкой пшеницы [2]. Описанное в настоящее время аллельное разнообразие в локусе *VRN-1* в основном определяется инсерциями мобильных элементов, делециями и дупликациями в двух регуляторных районах: промоторе и первом интроне [3].

Родственные виды широко используются для интрогрессии генов, не встречающихся в геноме мягкой пшеницы, в том числе, контролирующих продолжительность вегетационного периода. В данной работе с этой целью был использован образец гексаплоидной пшеницы *Triticum aestivum* ssp. *petropavlovskyi* (Udacz. et Migusch.) N.P. Gontsch. из коллекции ВИР, обозначенный KIZ. Важным вопросом помимо описания новых аллельных вариантов генов *VRN* является изучение влияния структурных изменений в регуляторных областях генов на сроки наступления колошения и цветения мягкой пшеницы.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужила изогенная линия с доминантным аллелем *VRN*, полученная от скрещивания образца *T. aestivum* ssp. *petropavlovskyi* KIZ с озимым сортом мягкой пшеницы Безостая 1 (Без1). В течении восьми бэккроссов гетерозиготные растения использовались в качестве отцовской формы. Гомозиготные растения были выделены в поколении BC_8F_2. В качестве контроля использовалась i:Без1*Vrn-A1a*.

Геномная ДНК выделена с использованием DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN). Структура праймеров для генов *VRN* и условия ПЦР соответствовали опубликованным [4, 5]. Секвенирование ПЦР-продуктов проведено с использованием ABI BigDye Terminator Kit на ABI 3130XL Genetic Analyser (Applied Biosystems) в ЦКП «Геномика».

Длительность фаз развития изучена в теплице ЦКП «ЛИВР» в условиях короткого (14 ч) и длинного дня (18 ч) и в поле. Изученные признаки продуктивности колоса перечислены в табл. 1. Расчет t-критерия и дисперсионный анализ проводился в Microsoft Excel 2007.

Результаты

С использованием известных праймеров, разработанных к последовательностям промотора и первого интрона *VRN-A1* [5, 6] и последующим секвенированием ПЦР-фрагментов у i:Без1*Vrn-A1*^{pet} обнаружено присутствие промотора *vrn-A1* и делеции сорта Langdon (7,2 т.п.н. в первом интроне) (*Vrn-A1L*) (рис. 1а, б). Остальные аллели локусов *VRN* были рецессивными (рис. 1в, г). Изогенная линия была обозначена нами как i:Без1*Vrn-A1L*. Важно отметить, что аллель *Vrn-A1L* описан лишь у образцов тетраплоидной

пшеницы, относящихся к секции *Dicoccoides*: *T. aethiopicum, T. carthlicum, T. dicoccoides, T. dicoccum*, *T. durum, T. polonicum* and *T. turgidum* [5-8] и не встречается в геноме гексаплоидной пшеницы.

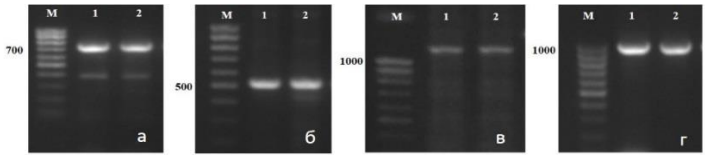


Рис. 1. Продукты амплификации с праймерами: VRN1AF, VRN1-INT1R (а), Ex1/C/F, Intr1/A/R3 (б), Intr1/B/F, Intr1/B/R4 (в), Intr1/D/F, Intr1/D/R4 (г) для областей промотора и первого интрона *VRN-A1, VRN-B1* и *VRN-D1* [6]: 1 – i:Без1*Vrn-A1L*, 2 – *T. aestivum* ssp. *petropavlovskyi* (KIZ). M – 100 bp Ladder.

Среди гибридов F_2 от скрещивания двух изогенных линий не выщепилось ни одного озимого растения, что свидетельствует об аллельности локусов *Vrn-A1a* и *Vrn-A1L*.

Продолжительность периода всходы – колошение у i:Без1*Vrn-A1a* в полевых условиях варьировала в пределах 42-44 дней. i:Без1*Vrn-A1L* выколашивались позже на 8-14 дней (за 50-58 дней) ($P<0.001$) (рис. 2а). В условиях 14 ч и 18 ч фотопериода разница между линиями составила около 19 дней ($P<0.001$) (рис. 2б).

При анализе продолжительности отдельных фаз развития (рис. 2а, б) можно сделать вывод, что увеличение продолжительности периода до колошения у i:Без1*Vrn-A1L* по сравнению с i:Без1*Vrn-A1a* связано с увеличением продолжительности периода до формирования первого узла, что установлено в ходе проведенных экспериментов как в полевых условиях, так и в условиях теплицы. При этом в полевых условиях для i:Без1*Vrn-A1L* характерно ускорение прохождения периода от колошения до созревания, в то время как в условиях теплицы эта тенденция не подтверждалась.

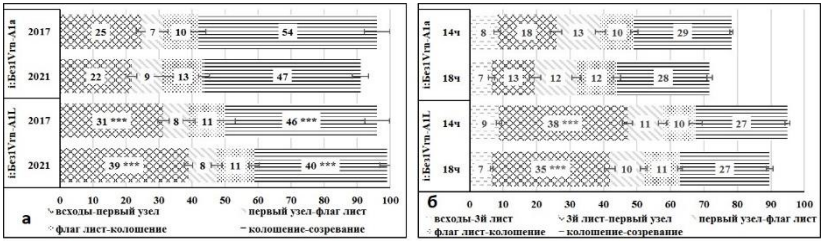


Рис. 2. Длительность фаз развития изогенных линий i:Без1*Vrn-A1a* и i:Без1*Vrn-A1L* в полевых условиях (а) и в теплице на коротком (14 ч) и длинном дне (18 ч). ***$P<0.001$.

Таким образом установлено, что аллель *Vrn-A1L* обуславливает более

позднее колошение относительно аллеля *Vrn-A1a*, что главным образом связано с удлинением периода до формирования первого узла.

Показано, что растения i:Без1*Vrn-A1L* реагировали на увеличение продолжительности яровизации (от 14 до 49 дней) ускорением колошения. Так, продолжительность периода до колошения при продолжительности яровизации 14 дней уменьшилась на 5 дней по сравнению с неяровизированными растениями, а после 49 дней яровизации растения выколашивались за 42 дня, что совпадает со сроками колошения неяровизированных растений i:Без1*Vrn-A1a*.

Не выявлено однозначного влияния разных аллелей *VRN-A1* на показатели продуктивности колоса и растения. Так, в 2017-2018 гг. (таблица). i:Без1*Vrn-A1L* оказалась более продуктивной по сравнению с i:Без1*Vrn-A1a*, а в 2019 и 2021 гг. наблюдалось обратное. Превышение показателей числа колосков в колосе у i:Без1*Vrn-A1L* отмечено во всех экспериментах.

Двухфакторный дисперсионный анализ выявил достоверное влияние аллелей *Vrn-A1a* и *Vrn-A1L* на число колосков в колосе и показатели продуктивности растения (число колосьев, зерен и масса зерен) и высоту растения. Влияние условий вегетации оказывало влияние на все изученные признаки. Взаимодействие генотип×среда оказывает влияние на изменчивость признаков длина колоса, масса зерен с колоса, масса 1000 зерен и показатели продуктивности растения.

Таблица – Показатели продуктивности колоса изогенных линий

Линия	Год	Длина колоса, см	Число колосков, шт.	Число зерен, шт.	Масса зерен, г	Масса 1000 зерен, г
1	2017	8.27±0.46	15.58±0.97	35.29±7.15	1.12±0.20	27.76±4.76
2		8.76±0.51**	18.92±1.32***	32.60±7.14	1.14±0.36	32.38±7.87*
1	2018	9.36±0.09	18.68±0.22	39.36±1.13	1.56±0.06	36.31±4.63
2		9.77±0.39**	19.96±1.17***	42.84±4.62*	2.02±0.32***	40.98±5.24**
1	2019	8.77±0.57	16.71±1.51	43.82±4.97	1.95±0.28	42.76±2.89
2		8.70±0.91	18.28±0.98***	38.92±7.05**	1.69±0.40**	42.96±3.40
1	2021	9.63±0.53	18.57±1.57	43.53±4.33	1.88±0.25	40.81±4.00
2		8.92±0.65***	19.40±1.40*	42.27±5.98	1.78±0.35	37.07±4.20***

1 – i:Без1*Vrn-A1a*, 2 – i:Без1*Vrn-A1L*. *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (№ 22-26-00085) и бюджетного проекта № FWNR-2022-0018.

Список литературы

1. Cockram J., Jones H., Leigh F.J. et al. Control of flowering time in temperate cereals: genes, domestication, and sustainable productivity // J. Exp. Bot. 2007. V. 58. P. 1231–1244. DOI: 10.1093/jxb/erm042
2. Kamran A., Iqbal M., Spaner D. Flowering time in wheat (*Triticum aestivum* L.): a key factor for global adaptability // Euphytica. 2014. V. 197. P. 1–26. DOI: 10.1007/s10681-

014-1075-7
3. Yan L., Loukoianov A., Tranquilli G. et al. Positional cloning of the wheat vernalization gene *VRN1* // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2003. V. 100. P. 6263–6268. DOI: 10.1073/pnas.0937399100
4. Distelfeld A., Li C., Dubcovsky J. Regulation of flowering in temperate cereals // Curr. Opin. Plant Biol. 2009. V. 12. P. 178–184. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.12.010
5. Yan L., Helguera M., Kato K. et al. Allelic variation at the *VRN-1* promoter region in polyploid wheat // Theor Appl Genet. 2004. V. 109. P. 1677–1686. DOI: 10.1007/s00122-004-1796-4
6. Fu D., Szucs P., Yan L. et al. Large deletions within the first intron in *VRN-1* are associated with spring growth habit in barley and wheat // Mol. Genet. Genomics. 2005. V. 273. P. 54–65. DOI: 10.1007/s00438-004-1095-4
7. Konopatskaia I., Vavilova V., Kondratenko E.Y. et al. *VRN1* genes variability in tetraploid wheat species with a spring growth habit // BMC Plant Biol. 2016. V. 16. №. 244. DOI: 10.1186/s12870-016-0924-z
8. Muterko A., Kalendar R., Salina E. Novel alleles of the *VERNALIZATION1* genes in wheat are associated with modulation of DNA curvature and flexibility in the promoter region // BMC Plant Biol. 2016. V. 16. № 9. DOI: 10.1186/s12870-015-0691-2
9. Shcherban A.B, Salina E.A. Evolution of *VRN-1* homoeologous loci in allopolyploids of *Triticum* and their diploid precursors // BMC Plant Biol. 2017. V. 17. № 7. 188. DOI: 10.1186/s12870-017-1129-9

Идентификация SNP-локусов у сортов яровой мягкой пшеницы международной программы КАСИБ

Шепелев С.С., к.с.-х.н., зав. лаб.; Потоцкая И.В., д.с.-х.н., проф.; Чурсин А.С., к.с.-х.н., зав. лаб.; Кошкин М.Н., аспирант; Ессе А.О., аспирант; Безукладов И.В., аспирант; Вернер А.О., аспирант; Шаманин В.П., д.с.-х.н., проф.*

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Омск, Россия.
**e-mail: iv.pototskaya@omgau.org*

На основе материала международной программы КАСИБ, изученного с 2000 по 2020 г., сформирован «основной набор» КАСИБ (ОН-КАСИБ) для оценки генетического разнообразия лучших сортов, созданных за этот период в селекционных учреждениях России и Казахстана, методом GWAS. С помощью ассоциативного картирования, выполненного на основании данных генотипирования SNP-маркерами и фенотипических данных двух полевых сезонов, было идентифицировано 24146 SNP-локусов, четыре из которых в хромосомах 2A, 4A, 5A и 7B имели значимые ассоциации с хозяйственно-ценными признаками в 2020–2021 гг. 41 SNP-локус переведен в платформу KASP-маркеров, что позволит использовать их в маркер-ориентированной селекции для создания генетически детерминированных сортов яровой пшеницы.

Ключевые слова: *пшеница, ассоциативное картирование, хозяйственно-ценные признаки.*

Identification of SNP-loci of spring bread wheat varieties of the international program KASIB

*Shepelev S.S., Pototskaya I.V. *, Chursin A.S., Koshkin M.N., Esse S.A., Bezukladov I.V., Verner A.O., Shamanin V.P.*
FSBEI P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia.
**e-mail: iv.pototskaya@omgau.org*

Based on the material of the international KASIB program, studied from 2000 to 2020, a "Core set" of KASIB (ON-KASIB) was formed to assess the genetic diversity of the best varieties created during this period in breeding institutions of Russia and Kazakhstan using the GWAS method. Using association mapping based on genotyping data with SNP-markers and phenotypic data from two field seasons, 24146 SNP loci were identified, four of which in chromosomes 2A, 4A, 5A, and 7B had significant associations with economically valuable traits in 2020–2021. 41 SNP loci were transferred to the platform of KASP-markers, which will allow using them in marker assisted selection for creation of genetically determined varieties of spring wheat.

Keywords: *wheat, association mapping, economically valuable traits.*

Северный Казахстан и Западная Сибирь – регион, в котором около 20 млн. га производственных площадей занято под сортами яровой пшеницы со средней урожайностью 1,0–1,5 т/га, в зависимости от условий года. Несмотря на то, что яровая пшеница культивируется здесь более 100 лет, регион приобрел значение для производства зерна пшеницы лишь при освоении целинных земель в 1950-х и 1960-х гг. [1]. В 1999 г. CIMMYT (Мексика) инициировал реализацию международной программы челночной селекции между CIMMYT, Казахстаном и Западной Сибирью с целью повысить устойчивость местных сортов пшеницы к бурой и стеблевой ржавчине, увеличить их урожайность и улучшить качество зерна. В 2000 г. была создана Казахстанско-Сибирская сеть по улучшению яровой пшеницы (КАСИБ) [2, 3]. В рамках реализации программы КАСИБ были созданы условия для ускоренного создания новых сортов пшеницы, эффективного и быстрого решения любых научно-технических и внедренческих задач в регионе, особенно проектов, требующих мобилизации большого числа исполнителей (таких как борьба с вредоносными болезнями, биофортификация и т.п.) [4].

Привлечение в селекцию инорайонного селекционного материала с широкой генетической основой позволило расширить генетическое разнообразие создаваемых сортов пшеницы, оценить селекционный прогресс каж-

дого учреждения-участника программы КАСИБ и провести мультилокационные экологические сортоиспытания для выявления адаптивного потенциала изучаемых сортов пшеницы [5, 6].

В настоящее время сортоиспытание сети КАСИБ включает в себя 21 научное и селекционное учреждение Казахстана и России. Начиная с 2000 г. в рамках региональной сети сотрудничества КАСИБ проведено 11 совместных сортоиспытаний и изучено более 600 сортов и линий мягкой пшеницы [7, 8]. На основе всего материала программы КАСИБ, изученного с 2000 по 2020 г., сформирован так называемый «основной набор» КАСИБ (ОН-КАСИБ) для оценки генетического разнообразия лучших сортов, созданных за этот период в селекционных учреждениях России и Казахстана, методом GWAS.

Цель исследований – идентификация SNP-локусов, ассоциированных с хозяйственно-ценными признаками, у сортов яровой мягкой пшеницы международной программы КАСИБ.

Материалом исследования служили 150 сортов яровой мягкой пшеницы «основного набора» КАСИБ из разных учреждений-оригинаторов России и Казахстана. Данная коллекция была генотипирована с помощью платформы Affymetrix 135K (Германия, www.traitgenetics.de). Для проведения ассоциированного маркирования геномную ДНК извлекали из молодых проростков (14 дней после посева). Идентификация SNP (single nucleotide polimorphism) проведена с использованием программы TASSEL v. 5.2.40 GBS v2 Pipeline и физической карты референсного генома пшеницы от International Wheat Genome Sequencing Consortium (IWGSC, RefSeq V1.0) 2017 года. Маркеры с частотой аллелей меньше 5% в анализ не включали, после фильтрации число SNP-локусов составило 24146. Математическая обработка и поиск ассоциаций маркер–признак проведен с использованием программы R-statistics методом анализа FARMCpu с использованием оператора mvp. В качестве фенотипических данных использованы оценки средних значений, рассчитанные BLUEs (Best linear unbiased estimates) по каждому признаку за каждый год. Для выявления достоверных ассоциаций маркер-признак использовали тест Bonferroni при 5%-ом уровне значимости, что соответствовало величине $p < 1.08 \times 10^{-6}$ (-log10p=5.97).

Для практической селекции наибольший интерес представляют гены, имеющие положительный эффект на экспрессию нескольких признаков одновременно и независимо от условий года (табл. 1).

В 2020–2021 гг. выявлена наиболее значимая ассоциация SNP-маркера RAC875_c13931_205 в хромосоме 5A с продолжительностью периода «всходы – колошение»; маркеров AX-94428309 (хромосома 4A) и AX-94810990 (хромосома 7B) – с числом колосков в колосе. В хромосоме 2A идентифицирован маркер Excalibur_c6808_541, имеющий в 2020 г. положительный эффект (3,88%) на продолжительность периода «всходы – колошение», а в 2021 г. маркер RAC875_c13931_205 оказывал положительный эф-

Таблица 1 – SNP-локусы, ассоциированные с хозяйственно-ценными признаками, 2020–2021 гг.

SNP-локус	Хромосома	Критерий Стьюдента (p)	Доля среди изученных сортов, %	Эффект, %	Признак
2020 г.					
Excalibur_c6808_541	2A	4.87E-10	7,1	3,88	Период «всходы – колошение»
AX-94428309	4A	3,55E-19	24,6	0,61	Число колосков в колосе
RAC875_c13931_205	5A	7.22E-32	21,1	2,27	Период «всходы – колошение»
AX-94810990	7B	6,91E-11	37,7	0,34	Число колосков в колосе
2021 г.					
Excalibur_c6808_541	2A	2.99E-06	7,1	0,66	Общая кустистость
AX-94428309	4A	6.47E-09	24,6	0,51	Число колосков в колосе
RAC875_c13931_205	5A	2.56E-11	21,1	1,19	Период «всходы – колошение»
RAC875_c13931_205	5A	2.93E-06	21,1	0,31	Число колосков в колосе
RAC875_c13931_205	5A	5.29E-06	21,1	3,89	Высота растения
AX-94810990	7B	1.78E-11	37,7	0,53	Число колосков в колосе
AX-94810990	7B	9.83E-06	37,7	0,41	Длина колоса

фект (3,89%) на высоту растения. SNP-локусы, имеющие значимые ассоциации с изученными хозяйственно-ценными признаками, были переведены в KASP-маркеры (табл. 2).

Таблица 2 – KASP-маркеры, показавшие значимые ассоциации в 2020–2021 гг.

SNP-локус	Хромосома	Последовательность	Код BS. BA
AX-94428309	4A	AAAAGGAAGAAAGCGCTATGACCGAACTTCTGTCC[C/T]GGTTCCCCACCCCGAGTCAATGCTGTTGCTGGAGT	BA00259528
AX-94810990	7B	CTAGGAAGGAAGGGCTAATGGCCGGTAGGGATAGG[C/G]ACCCGCTGGTGGTTGGCAGGGTTGTGGGGGACGTG	BA00202263
RAC875_c13931_205	5A	TAGCTTTCATAGCAGCGTCCCCATCTTGGGTCTCTACAAACCGCAATACA[T/C]GGAGCGAAGACATATGGAATCCCGGTAGCTCTAACTTCAAGAGCAGTTGC	BS00158336
Excalibur_c6808_541	2A	TTATCCCTCGTCTGGAAACCATTGTACTGTTAATCGCAGATGAGGCTCAG[T/C]ATGGTCGAGACACAAAGCTTCTGCGGCCCTTCATCTATGGAATCTATCAT	BS00133013

В 2020 г. также идентифицирован 21 SNP-локус, ассоциированный с массой 1000 зерен, содержанием белка и клейковины в зерне; в 2021 г. – 37 SNPs, ассоциированных с массой 1000 зерен, содержанием белка и клейковины в зерне, числом падения, индексом глютена, выходом муки, содержанием сырой клейковины и показателем седиментации.

В целом за годы исследований 41 SNP-локус переведен в платформу KASP-маркеров, что позволит использовать их в маркер-ориентированной селекции для создания генетически детерминированных сортов яровой пшеницы.

Благодарности: Работа выполнена в рамках гранта Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2021-534 от 28.05.2021 г.) и гранта Российского научного фонда (соглашение № 22-16-20008 от 23.03.2022 г.).

Список литературы

1. Morgounov A.I., Trethowan R. Avenues to increase yield potential of short season, high latitude wheat in Northern Kazakhstan and Siberia. In: «International Symposium on Wheat Yield Potential: Challenges to International Wheat Breeding». Mexico. D.F.: CIMMYT, 2008.
2. Шаманин В.П., Моргунов А.И., Манес Я., Зеленский Ю.И., Чурсин А.С., Левшунов М.А., Потоцкая И.В., Лихенко И.Е., Манько Т.А., Каракоз И.И., Табаченко А.В., Петуховский С.Л. Селекционно-генетическая оценка популяций яровой мягкой пшеницы сибирского питомника челночной селекции СИММИТ // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 1. С. 21–32.
3. Trethowan R., Morgounov A., Zhonghu H., De Pauw R., Crossa J., Warburton M., Baytasov A., Zhang C., Mergoum M., Alvarado G. The global adaptation of bread wheat at high latitudes // Euphytica. 2006. V. 152. No. 3. P. 303–316.
4. Шаманин В.П., Потоцкая И.В., Кузьмин О.Г. Скрининг сортов яровой мягкой пшеницы питомника КАСИБ к бурой и стеблевой ржавчине в условиях Западной Сибири // Вестник Казанского ГАУ. 2017. Т. 12. № 2 (44). С. 58–63.
5. Пахотина И.В., Игнатьева Е.Ю., Белан И.А., Россеева Л.П. Сравнительная оценка хлебопекарного качества сортов яровой мягкой пшеницы питомника КАСИБ // Вестник Алтайского ГАУ. 2019. № 7 (177). С. 16–22.
6. Потоцкая И.В., Моргунов А.И., Чурсин А.С., Кузьмин О.Г., Трущенко А.Ю. Шаманин В.П. Адаптивный потенциал сортов яровой мягкой пшеницы в рамках программы Казахстанско-Сибирской сети // Вестник Омского ГАУ. 2019. № 3 (35). С. 5–12.
7. Abugalieva A., Flis P., Shamanin V., Savin T., Morgounov A. Ionomic analysis of spring wheat grain produced in Kazakhstan and Russia // Communications in soil science and plant analysis. 2020. Available online at: https://www.tandfonline.com.
8. Шаманин В.П., Флис П., Савин Т.В., Шепелев С.С., Кузьмин О.Г., Чурсин А.С., Потоцкая И.В., Лихенко И.Е., Кушниренко И.Ю., Казак А.А., Чудинов В.А., Шелаева Т.В., Моргунов А.И. Генотипическая и экологическая изменчивость содержания цинка в зерне сортов яровой мягкой пшеницы международного питомника КАСИБ // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. № 5. С. 543–551.

Исследование генетических основ синтеза проантоцианидинов в зерне ячменя для направленной селекции сортов пивоваренного назначения

Шоева О.Ю.[1], к.б.н., с.н.с., зав. сектором; Тоцкий И.В.[1], к.б.н., м.н.с.; Муханова М.А.[1], лаб., студентка ФЕН НГУ; Захрабекова Ш.[2], с.н.с.; Стюарт Д.[2] с.н.с., асп.; Ханссон М.[2], проф., зав. лабораторией*

[1] ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск, Россия.
[2] Лундский университет, г. Лунд, Швеция.
*e-mail: olesya_ter@bionet.nsc.ru

Важным направлением селекции ячменя является создание беспроантоцианидиновых пивоваренных сортов, эффективность которой можно повысить, опираясь на данные о генах, контролирующих синтез этих соединений. В работе было проведено картирование локусов Ant25 и Ant27, контролирующих синтез проантоцианидинов в зерне ячменя, и установлены особенности функционирования генов полифенольного метаболизма у мутантов по этим локусам. Полученные данные являются основой для определения генов-кандидатов исследуемых локусов, а также для селекции беспроантоцианидиновых сортов ячменя.

Ключевые слова: *пивоваренный ячмень, сорт, мутант, картирование, экспрессия гена.*

Study of the genetic basis for synthesis of proanthocyanidins in barley grain for targeted breeding of malting varieties

Shoeva O.Yu.[1], Totsky I.V.[1], Mukhanova M.A.[1], Zakhrabekova S.[2], Stuart D.[2], Hansson M.[2]*
[1]Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia.
[2] Lund University, Lund, Sweden.
*e-mail: olesya_ter@bionet.nsc.ru

An important direction in barley breeding is the development of proanthocyanidin-less malting varieties, the efficiency of which can be increased by using the data on the genes that control synthesis of these compounds. In this study, mapping of the Ant25 and Ant27 loci controlling synthesis of proanthocyanidins in barley grain was carried out, and the features of the functioning of polyphenol metabolism genes in plants with mutations in these loci were studied. The data obtained are the basis for determining candidate genes for the loci under study, as well as for breeding proanthocyanidin-less barley varieties.

Keywords: *malt barley, cultivar, mutant, mapping, gene expression.*

Проантоцианидины представляют собой олигомерные флавоноидные соединения, относящиеся к классу растительных полифенолов. Накапливаясь в оболочках зерна ячменя, эти соединения помимо важной роли в поддержании состояния покоя семян, защите их от неблагоприятных условий окружающей среды, оказывают существенное влияние на качественные характеристики зерна, определяя его целевое использование. Так, проантоцианидины зерна ячменя, попадая в пиво, способны связывать пролин-богатые запасные белки, обуславливая необратимое коллоидное помутнение пива [1].

Для решения проблемы коллоидного помутнения пива в 70-х гг. прошлого века было предложена стратегия снижение фракции проантоцианидинов в зерне пивоваренных сортов за счет введения в селекцию мутантных аллелей генов биосинтеза проантоцианидинов [2]. Это стало возможным благодаря созданной в Швеции коллекции индуцированных мутантов ячменя с нарушенным синтезом флавоноидных соединений – *Anthocyanin-less* (*Ant*), – которая на сегодняшний день насчитывает более 700 индивидуальных мутантов, сгруппированных в 30 групп комплементации, или локусов [3], лишь для 10 из которых были определены молекулярные функции (таблица).

Таблица – Локусы, контролирующие синтез антоцианов / проантоцианидинов, для которых были определены молекулярные функции. Указана хромосомная локализация, присутствие антоцианов в вегетативных органах (Ант) и проантоцианидинов в зерне (ПА) по данным [1]

№	Локус	Локализация	Ант	ПА	Молекулярные функции
1	*Ant1*	7HS	-	+	R2R3-MYB
2	*Ant2*	2HL	-	+	bHLH
3	*Ant5*	5HL	-	+	антоцианидинсинтаза
4	*Ant13*	6HL	-	-	WD40
5	*Ant17*	3HS	-	-	флаванон-3-гидроксилаза
6	*Ant18*	3H	-	-	дигидрофлавонол-4-редуктаза
7	*Ant19*	?	+	-	?лейкоантоцианидинредуктаза
8	*Ant22*	2HL	-	-	флаванон-3-гидроксилаза
9	*Ant28*	3HL	+	-	R2R3-MYB
10	*Ant30*	5HL	-	-	халконфлаванонизомераза

Однако, как было показано, мутантные аллели по большинству из *Ant* локусов не могут быть использованы в селекции беспроантоцианидиновых сортов, поскольку приводят не только к отсутствию проантоцианидинов в зерне, но и к снижению урожайности и качественных характеристик солода и готового пива. Наиболее удачным оказался опыт использования мутантов, у которых мутации произошли в генах, контролирующих заключительные этапы синтеза проантоцианидинов, и которые, таким образом, оказывают наименьшее влияние на физиологические процессы, протекающие в орга-

низме растений [1]. Среди таких мутантов были выделены мутанты по локусам *Ant25* и *Ant27*. Они характеризовались пониженным синтезом антоцианов в вегетативных органах и отсутствием проантоцианидинов в зерне. Однако ни хромосомная локализация, ни молекулярные функции этих локусов определены не были.

Целью данной работы являлось установление хромосомной локализации локусов *Ant25* и *Ant27* и их функциональной роли в биосинтезе проантоцианидинов в зерне ячменя.

Хромосомная локализация была определена с помощью массового сегрегационного анализа. Для этого на первом этапе работы было проведено скрещивание мутантов *ant25.264* и *ant27.488* с сортом Quench, накапливающим проантоцианидины в зерне. Были получены гибридные зерна F_1, потомки которых высевались и собранные с них зерна F_3 анализировались с помощью качественного теста на наличие проантоцианидинов [4]. По четыре зерна от каждого гибридного растения F_2, не накапливающего проантоцианидины, проращивали на поролоновых матах, из листьев пятидневных проростков выделяли суммарную ДНК, объединенную в пулы POOL25 и POOL27. Также выделяли ДНК из проростков мутантов *ant25.264*, *ant27.488* и родительских сортов Secobra 18193, Zenit, Quench. ДНК пулов и контрольных образцов генотипировали с помощью SNP-чипа Illumina Infinium Barley 50K (TraitGenetics, Gatersleben, Германия). Данные генотипирования анализированы с помощью программы Flapjack v.1.21.02.04 [5]. Непрошедшие и мономорфные между родительским образцами маркеры, а также гетерозиготные маркеры, выявленные у родительских сортов, были исключены из анализа. Поскольку в пулированных образцах ДНК рецессивные аллели генов *Ant25* и *Ant27*, обуславливающие отсутствие проантоцианидинов в зерне, находятся в гомозиготном состоянии, установление локализации изучаемых локусов основано на поиске участков хромосом, где присутствуют маркеры, аллельные варианты которых унаследованы от мутантов *ant25.264* и *ant27.488*. Протяженные участки в 350 и 170 Mb с блоками маркеров, унаследованных от мутанта *ant25.264* и *ant27.488*, соответственно, были выявлены в пулах POOL25 и POOL27 на хромосомах 6H и 5H, соответственно (Рис.). Предположительно, эти участки содержат гены-кандидаты для локусов *Ant25* и *Ant27*.

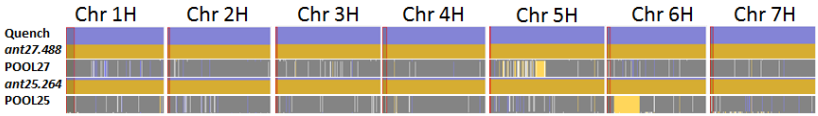


Рисунок. Картирование локусов *Ant25* и *Ant27* с помощью массового сегрегационного анализа. Синим цветом показаны аллельные варианты маркеров сорта Quench, горчичным – мутантов *ant25.264* и *ant27.488*, серым – маркеры в гетерозиготном состоянии, белым – маркеры, данные для которых отсутствуют.

Исследование функциональной роли локусов *Ant25* и *Ant27* в биосинтезе проантоцианидинов ячменя проводилось с помощью анализа транскрипционной активности генов общего фенилпропаноидного (*Pal*, *C4h*, *4Cl*) и флавоноидного (*Chs*, *Chi*, *F3h*, *Lcr*) путей биосинтеза в зерне мутантов *ant25.264*, *ant27.488* и их родительских сортов Secobra 18193, Zenit, соответственно. Для этого проводилось выделение РНК из развивающегося колоса и зерна на ранней молочной и восковой стадиях спелости в трех повторностях. С помощью реакции обратной транскрипции на основе выделенной РНК была получена кДНК, которая далее использовалась для проведения ПЦР в режиме реального времени для оценки количественного содержания транскриптов генов *Pal*, *C4h*, *4Cl*, *Chs*, *Chi*, *F3h*, *Lcr*. Было показано значимое снижение экспрессии этих генов у мутантов по сравнению с родительскими сортами, на основании чего можно сделать вывод о том, что локусы *Ant25* и *Ant27* выполняют регуляторные функции в синтезе проантоцианидинов в зерне ячменя.

Полученные результаты имеют важное фундаментальное значение, а также способствуют решению практических задач, связанных с ускоренным получением беспроантоцианидиновых сортов ячменя с использованием в качестве доноров рецессивных аллелей генов синтеза проантоцианидинов изучаемых в данной работе мутантов.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 21-76-10024.

Список литературы

1. Шоева О.Ю. Мировой опыт создания пивоваренных сортов ячменя на основе беспроантоцианидиновых мутантов // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 7. №1. Р. 23-33. DOI: 10.18699/LettersVJ2021-7-04
2. von Wettstein D. From analysis of mutants to genetic engineering // Annu. Rev. Plant Biol. 2007. V. 58. P. 1-19. DOI: 10.1146/annurev.arplant.58.032806.104003.
3. Lundqvist U. Scandinavian mutation research in barley – a historical review // Hereditas. 2014. V. 151. P. 123-131. DOI: 10.1111/hrd2.00077.
4. 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.
5. Milne I., Shaw P., Stephen G., Bayer M., et al. Flapjack – graphical genotype visualization // Bioinformatics. 2010. V. 26(24). P. 3133-3134. DOI: 10.1093/bioinformatics/btq580.

Технологические свойства зерна линий мягкой пшеницы с интрогрессиями от Aegilops speltoides

Щукина Л.В.[1], Лапочкина И.Ф.[2], Пшеничникова Т.А.[1]*

[1] ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия.
[2] Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Московская область», Россия
**e-mail: quality@bionet.nsc.ru*

Десять линий с интрогрессиями от Aegilops speltoides из коллекции «Арсенал» и родительский сорт Родина были изучены по технологическим свойствам зерна. Выявлена большая изменчивость между линиями с ю по различным признакам. Линии могут быть привлечены в качестве доноров новых аллелей генов технологических свойств зерна и муки.

Ключевые слова: *мягкая пшеница; Ae. speltoides; интрогрессированные линии; содержание белка и клейковины в зерне.*

Technological properties of grain of soft wheat lines with introgressions from Aegilops speltoides

Shchukina L.V.[1], Lapochkina I.F.[2], Pshenichnikova T.A.[1]*
[1] Institute of Cytology and Genetics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
[2] Federal Research Center "Nemchinovka", Moscow region, Russia
**e-mail: quality@bionet.nsc.ru*

Ten lines with introgressions from Aegilops speltoides from the Arsenal collection and the parental cultivar Rodina were studied by the technological properties of grain. A large variability was revealed among the lines for various traits. The lines may be used as donors of new gene alleles of genes for technological properties of grain and flour.

Key words: *bread wheat: Ae. speltoides; introgression lines; protein and gluten content in grain.*

В работу были взяты 10 интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы сорта Родина из коллекции «Арсенал»: 69/00^{i}, 73/00^{i}, 76/00^{i}, 77/00^{i}, 81/00^{i}, 82/00^{i},84/00^{i}, 99/00^{i}, 102/00^{i} и 103/00^{i}, созданные путем отбора индивидуальных растений с бивалентным характером мейоза из потомства F_2M_2–F_4M_4 асимметричных половых гибридов F_1M_1 (2n = 49). Они получены от скрещивания сорта Родина (2n = 42) с диплоидным видом *Aegilops speltoides*,

образцом к-389 из коллекции ВИР (Санкт-Петербург), пыльцу которого облучали гамма-лучами в дозе 10 кр [1]. С помощью анализа запасных белков глиадина из гетерогенного сорта Родина содержащего в генотипе перестройку T1BS/1RS была выделена линия, в генотипе которой перестройка отсутствует (далее – сорт Родина). Этот генотип был использован в качестве контроля во всех экспериментах. Линии были ранее охарактеризованы цитологическими и цитогенетическими методами, а также с помощью молекулярных маркеров на наличие замещений и перестроек хромосом [2–4]. Выделены линии с устойчивостью к грибным заболеваниям.

Контроль и линии выращивали при яровом посеве на экспериментальном поле Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (Академгородок, Новосибирская область) в 2003–2005, 2007 и 2013 гг. На экспериментальном поле Федерального исследовательского центра «Немчиновка» (Московская область) выращивание проводили с 2000 по 2011 гг. Технологические анализы были выполнены на зерне, полученном в Западной Сибири и Московской области. Технологический анализ зерна включал определение массы тысячи зерен, общей стекловидности, диаметра частиц муки после помола, содержание белка и клейковины в зерне. Содержание белка и клейковины в зерне определяли в ФИЦ «Немчиновка» на инфракрасном анализаторе SpectraStar 2400.

Масса тысячи зерен у всех линий была ниже контроля в двух географических зонах. Самое мелкое зерно было у линии $73/00^{i}$ (17,6 г) и у двух линий $77/00^{i}$ и $99/00^{i}$, которые достоверно, на 8,9 и 6,6 г, отличались от контроля. Те же три линии значительно снижали показатели и в Московской области.

Корреляция по признаку между двумя зонами была высокодостоверной ($r = 0.75$; $p < 0.001$). Стекловидность зерна и диаметр частиц муки были изучены только в условиях Новосибирска. Линии $102/00^{i}$ и $103/00^{i}$ превзошли контроль на 8 % и 11 % стекловидности, соответственно. Наибольшее снижение стекловидности зерна и диаметра частиц муки наблюдалось у линии $82/00^{i}$ - 63.3 % и 10.0 мкм. Линии, $69/00^{i}$, $84/00^{i}$ и $99/00^{i}$ снизили средний диаметр частиц муки примерно на 4 мкм по сравнению с сортом Родина. Озимая линия $84/00^{w}$ из коллекции «Арсенал» с мягкозерным эндоспермом несет интрогрессию от *Ae. speltoides* в виде хромосомного замещения 5S/5A, которое содержит локус *Ha-Sp*, гомеоаллельный локусу *Ha* [5]. На основе линии $84/00^{w}$ были созданы яровые супермягкозерные линии, в генотипе которых объединены гомеоаллельные локусы *Ha-Sp* линии $84/98^{w}$ и *Ha* мягкозерного сорта Chinese Spring [6]. Эти линии характеризуются супермягкозерным мучнистым эндоспермом зерновки, со стекловидностью менее 50 % и диаметром частиц муки 10–12 мкм. Поскольку линия $82/00^{i}$ яровая, можно предполагать, что интрогрессия затронула участок только короткого плеча какой-то одной из хромосом пятой гомеологической группы.

Сравнительные показатели содержания сырой клейковины в зерне,

выращенном в Немчиновке и в Сибири, представлены на рисунке. Здесь же приведено содержание белка в этом зерне. Содержание сырой клейковины в зерне линий 73/00^{i}, 82/00^{i} и 99/00^{i} увеличилось более чем на 10 % по сравнению с сортом Родина. Эти же линии превосходили родительский сорт в Немчиновке. Содержание клейковины за все годы исследований в Новосибирске было на 10 % выше, чем в Московской области. Из полученных данных следует, что соотношение сырой клейковины и белка составляло примерно 2:1. Такое соотношение характерно для зерна мягкой пшеницы, выращенного в нормальных условиях возделывания, и согласуется с данными, полученными другими исследователями [7]. Линия 73/00i превосходила все остальные линии по содержанию клейковины и показала самое высокое содержание белка в зерне (таблица, рисунок). Линии в результате интрогрессии унаследовали гены, расширяющие разнообразие пшеницы по содержанию белка и клейковины в зерне.

Таблица – Технологические параметры и содержание сырой клейковины в зерне линий и сорта Родина (ФИЦ «ИЦИГ СО РАН»)

Генотипы	Масса 1000 зерен, г	Средняя стекловидность зерна, %	Средний диаметр частиц муки, мкм	Содержание сырой клейковины в зерне, %
сорт Родина	29,2±4,5	80,1±3,1	20,4±3,5	36,0±3,5
69/00^{i}	25,7±3,6	83,7±6,7	15,7±2,4**	37,3±4,0
73/00^{i}	20,3±3,4***	81,2±9,2	19,6±3,0	46,1±6,9***
76/00^{i}	27,6±2,4	83,5±7,0	20,3±2,9	39,7±2,8*
77/00^{i}	17,6±1,6***	88,8±5,5	21,3±2,2	38,9±7,3
81/00^{i}	24,1±5,4	79,8±8,4	18,3±2,0	37,4±2,0
82/00^{i}	26,1±6,9	63,3±5,8***	10,0±0,5***	47,4±2,5***
84/00^{i}	23,1±4,9*	77,7±14,2	16,0±3,0*	41,0±4,6*
99/00^{i}	22,6±4,8*	80,6±4,7	15,9±2,7*	43,6±7,1*
102/00^{i}	24,6±5,9	88,5±5,0*	26,6±6,5	33,0±7,4
103/00^{i}	24,6±2,2*	91,2±1,0***	19,3±3,2	37,1±7,8

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$

Были обнаружены и различия в проявлении этих признаков. У линии 69/00i содержание белка и клейковины в Нечерноземной зоне выращивания составило 16.6 и 31.4 % соответственно, что превышало контроль. В Новосибирске эта линия не отличалась достоверно от сорта Родина. Значительные расхождения по зонам выращивания обнаружены для линии 84/00^{i}. Если в условиях Новосибирска она относилась к группе наиболее высококлейковинных линий, то в Нечерноземной зоне она не отличалась от родительского сорта по содержанию клейковины и белка (рисунок).

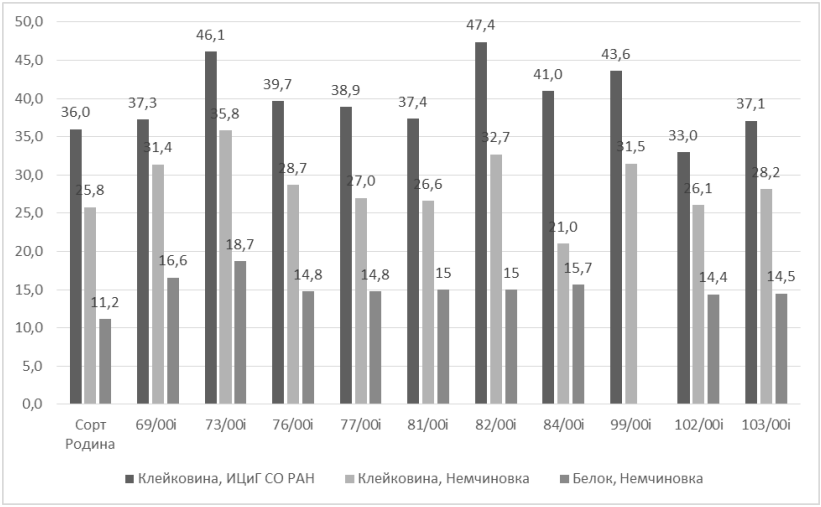


Рисунок. Содержание сырой клейковины и белка в зерне линий и сорта Родина, выращенных на полях НИИСХ «Немчиновка» и содержание сырой клейковины в зерне ФИЦ «ИЦИГ СО РАН»

Исследование показало, что интрогрессии от вида *Ae. speltoides* значительно расширяют генетическое разнообразие мягкой пшеницы по изученным свойствам и, как следствие, – возможности конечного использования зерна и муки. Эти линии в основном сохраняли свои особенности в различных условиях в разные годы выращивания. Они могут быть привлечены в качестве доноров комплекса агрономически ценных признаков в селекционные работы.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках научного бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0017.

Список литературы

1. Лапочкина И.Ф. Реконструкция генома мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при отдаленной гибридизации (с использованием *Aegilops* L. и других видов): Дис. … д-ра биол. наук. Немчиновка, 1999.
2. Salina E.A., Adonina I.G., Efremova T.T., Lapochkina I.F., Pshenichnikova T.A. The genome-specific subtelomeric repeats for study of introgressive lines *T. aestivum* × *Ae. speltoides*. In: Proc. 11th EWAC Conf. Novosibirsk, 24–28 July 2000. EWAC Newsletter. 2001. P. 161-164.
3. Адонина И.Г., Петраш Н.В., Тимонова Е.М., Христов Ю.А., Салина Е.А. Создание и изучение устойчивых к листовой ржавчине линий мягкой пшеницы с транслокациями от *Aegilops speltoides* Tausch // Генетика. 2012. Т. 48. № 4. С. 488–494.

4. Гайнуллин Н.Р., Лапочкина И.Ф., Жемчужина А.И., Киселева М.И., Коломиец Т.М., Коваленко Е.Д. Использование фитопатологического и молекулярно-генетических методов для идентификации генов устойчивости к бурой ржавчине у образцов мягкой пшеницы с чужеродным генетическим материалом коллекции «Арсенал» // Генетика. 2007. Т. 43. № 8. С. 1058–1064.
5. Pshenichnikova T.A., Simonov A.V., Ermakova M.F., Chistyakova A.K., Shchukina L.V., Morozova E.V. The effects on grain endosperm structure of an introgression from *Aegilops speltoides* Tausch. into chromosome 5A of bread wheat // Euphytica. 2010. V. 175. № 3. P. 315–322. DOI 10.1007/s10681-010-0168-1
6. Симонов А.В., Чистякова А.К., Морозова Е.В., Щукина Л.В., Бёрнер А., Пшеничникова Т.А. Создание нового для мягкой пшеницы генотипа – носителя двух локусов мягкозерности эндосперма // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21 № 3. С. 341–346. DOI 10.18699/VJ17.251
7. Козьмина Н.П. Зерно. М: Колос, 1969. 369 с.

Авторский указатель

Абдукаримов Ш.С. 174
Агаева Е.В. 141
Агеева Е.В. 3
Айтбаева Р.Н. 106
Акинина В.Н. 66
Антонов А.А. 7
Апарина В.А. 12, 149
Ариф М.А.Р. 27
Асбаганов С.В. 16
Асхадуллин Дамир Ф. 20, 24
Асхадуллин Данил Ф. 20, 24
Афонников Д.А. 27, 75

Балашова И.Т. 29
Баранова О.А. 35
Барнашова Е.К. 66
Батов А.С. 38
Безукладов И.В. 219
Белан И.А. 42, 102, 165, 198
Бережная А.А. 46
Бёрнер А. 27
Беспалова Л.А. 141
Беспалько Л.В. 29
Бехтольд Н.П. 50, 113
Блинов А.Г. 206
Блохина Н.П. 42, 165
Бобохужаев Ш.У. 174
Бойко Н.И. 131
Бондарева Л.Л. 29
Бровко Е.С. 54
Булатов И.О. 152
Бурмакина Н.В. 70
Бусов И.Д. 75
Бычкова О.В. 54

Василова Н.З. 20, 24
Вернер А.О. 219
Вихорев А. 85

Гайнуллин Н.Р. 87
Гайфуллина Г.Р. 20, 24
Генаев М.А. 27, 75
Герасимова С.В. 85
Гирке П.У. 27
Горлова Л.М. 156
Грицай Т.И. 141
Гришин В.М. 146
Груздев И.В. 87
Гуреева Ю.А. 38
Гуринович С. О. 122

Душкин В.А. 7
Дьячук Т.И. 66

Елгина И.Д. 183
Ермошкина Н.Н. 191
Ершова И.В. 57
Ессе А.О. 219
Ефимов В.М. 27
Ефремова Т.Т. 62, 215

Жилин С.В. 66
Жукова И.М. 62

Захрабекова Ш. 224
Зуев Е.В. 131

Игнатьева Е.Ю. 42
Искакова С.В. 169

Казак А.А. 68
Калашникова Э.В. 66
Капко Т.Н. 3, 126
Капустянчик С.Ю. 70
Карпова Е.В. 77
Кельбин В.Н. 178
Кирюхин С.В. 122
Киселёва А.А. 46
Клименко И.А. 7
Кнауб В.В. 137
Коваль В.С. 27, 75
Колосовская Е.В. 85
Колошина К.А. 149
Команов Е.А. 141
Комышев Е.Г. 27, 75
Кондратьева И.В. 62
Коновалов А.А. 77
Конькова Э.А. 35
Королев К.П. 81
Короткова А.М. 85
Кошкин М.Н. 219
Куликова В.П. 66
Кулинич В.А. 169

Лапочкина И.Ф. 87, 228
Лаприна Ю.В. 178
Локтева А.В. 94

Макаркин А.А. 29
Макарова И.Ю. 87
Максименко К.В. 122
Мащенко Н.Е. 29
Мироненко О.Н. 54
Молянов И.В. 98
Мусинов К.К. 187
Муханова М.А. 224
Мухордова М.Е. 42, 102

Нардит А.В. 87
Небылица А.В. 54
Нефедов А.А. 77
Новохатин В.В. 106

Орлова Е.А. 50, 77, 113

Панарина В.И. 122
Пашкевич А.М. 117
Перфильев Р.Н. 122
Першина Л.А. 165, 198
Петраш Н.В. 126
Пивоваров В.Ф. 29
Пискарев В.В. 12, 131, 149, 187
Плотникова Л.Я. 137
Подгаец Ж.А. 210
Пожерукова В.Е. 137
Полевикова Н.А. 141
Полюдина Р.И. 122, 146
Потапов Д.А. 122

Потешкина А.А 12, 149
Пугачева Н.С. 42
Пшеничникова Т.А. 152, 228

Рогозина Е.В. 156
Романов В.С. 161
Россеева Л.П. 42, 102, 165, 198
Рупасова Ж.А. 117

Савин Т.В. 169, 210
Сайфетдинов Е.А. 66
Салина Е.А. 46, 122, 178, 202
Санамьян М.Ф. 174
Сибикеев С.Н. 35
Силютина Н.Ю. 198
Симонов А.В. 152
Сирота С.М. 29
Сколотнева Е.С. 178
Скрипилева А.И. 85
Смирнова О.Г. 152
Советов В.В. 3
Соловьева А.Е. 156
Сотник А.Я. 183
Сочалова Л.П. 187
Стасюк А.И. 46
Стёпочкин П.И. 191
Стюарт Д. 224
Сухомлинов В.Ю. 12

Тазутдинова М.Р. 20, 24
Тимин Н.И. 161
Тоцкий И.В. 195, 224
Трофимов Ю.В. 117
Трубачеева Н.В. 165, 198

Федоренко Е.Н. 42
Федяева А.В. 202

Ханссон М. 224
Харченко В.А. 29
Хлебова Л.П. 54
Хлесткина Е.К. 85
Хомякова О.В. 66
Хусаинова И.И. 20, 24

Чайковский А.И. 117
Чепурнов Г.Ю. 206
Чудинов В.А. 169, 210
Чуманова Е.В. 62, 215

Шаманин В.П. 219
Шамустакимова А.О. 7
Шведчикова В.М. 68
Шеломенцева Т.В 106
Шепелев С.С. 219
Шило Е.В. 169, 210
Шмаков Н.А. 27
Шоева О.Ю. 195, 224
Шпигун В.И. 210
Шундрина И.К. 77

Щербань А.Б. 122
Щукина Л.В. 228

Яшина Н.А. 87
Ященко С.Н. 68

Содержание

Агеева Е.В., Капко Т.Н., Советов В.В. Оценка яровой мягкой пшеницы в питомнике КАСИБ на устойчивость к основным фитопатогенам 3

Антонов А.А., Душкин В.А., Шамустакимова А.О., Клименко И.А. Изучение генетического полиморфизма российских сортов вики с использованием SRAP-маркеров 7

Апарина В.А., Сухомлинов В.Ю., Потешкина А.А, Пискарев В.В. Высокоурожайные источники устойчивости яровой мягкой пшеницы среднеранней группы спелости в условиях Новосибирской области в 2019-2021 гг. . . 12

Асбаганов С.В. Генофонд *Sorbocotoneaster* для селекции рябины 16

Асхадуллин Дамир Ф., Асхадуллин Данил Ф., Василова Н.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Гайфуллина Г.Р. Сакара – новый сорт яровой шарозерной пшеницы (*Triticum sphaerococcum* Perciv.) 20

Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Данил Ф., Василова Н.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Гайфуллина Г.Р. Формирование качества зерна у сорта яровой мягкой пшеницы Ситара 24

Афонников Д.А., Комышев Е.Г., Ариф М.А.Р., Генаев М.А., Коваль В.С., Ефимов В.М., Шмаков Н.А., Гирке П.У., Бёрнер А. Анализ формы, размера и цвета зерен пшеницы на основе двумерных цифровых изображений: поиск QTL и оценка физиологических свойств зерен 27

Балашова И.Т., Сирота С.М., Харченко В.А., Беспалько Л.В., Бондарева Л.Л., Пивоваров В.Ф., Макаркин А.А., Мащенко Н.Е. Генетические ресурсы овощных растений для вертикального овощеводства 29

Баранова О.А., Сибикеев С.Н., Конькова Э.А. Идентификация генов устойчивости к стеблевой ржавчине в интрогрессивных линиях яровой мягкой пшеницы селекции ФАНЦ Юго-Востока с использованием молекулярных маркеров 35

Батов А.С., Гуреева Ю.А. Направления селекции картофеля в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН 38

Белан И.А., Мухордова М.Е., И, Инатьева Е.Ю., Федоренко Е.Н., Россеева Л.П., Блохина Н.П., Пугачева Н.С. Эффективность сотрудничества «Омский АНЦ» и «Северо-Казахстанская СХОС» при создании сортов яровой мягкой пшеницы 42

Бережная А.А., Киселёва А.А., Стасюк А.И., Салина Е.А. Картирование локусов, связанных с продолжительностью межфазных периодов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) 46

Бехтольд Н.П., Орлова Е.А. Изучение расового состава популяции покрытой головни овса посевного в условиях лесостепи Приобья 50

Бычкова О.В., Мироненко О.Н., Хлебова Л.П., Бровко Е.С., Небылица А.В. Эффективность оздоровления картофеля методом химиотерапии в культуре *in vitro* 54

Ершова И.В. Биологически активные фитонутриенты плодов жимолости синей (*Lonicera caerulea* L.) и условия их аккумуляции 57

Ефремова Т.Т., Жукова И.М., Чуманова Е.В., Кондратьева И.В. Влияние комбинации аллелей генов VRN пшеницы и ржи на время колошения и зимостойкость пшенично-ржаных 5R(5A) замещенных линий 62

Жилин С.В., Акинина В.Н., Дьячук Т.И., Хомякова О.В., Барнашова Е.К., Калашникова Э.В., Куликова В.П., Сайфетдинов Е.А. ДГ линии – исходный материал для селекции тритикале в Нижнем Поволжье 66

Казак А.А., Ященко С.Н., Шведчикова В.М. Скрининг сортов яровой мягкой пшеницы к болезням в подтаёжной зоне Тюменской области 68

Капустянчик С.Ю., Бурмакина Н.В. Оценка нового исходного материала для селекции *Miscanthus* 70

Комышев Е.Г., Генаев М.А., Бусов И.Д., Коваль В.С., Афонников Д.А. Определение пигментного состава зерен ячменя на основе двумерных цифровых изображений 75

Коновалов А.А., Орлова Е.А., Карпова Е.В., Шундрина И.К., Нефедов А.А. Влияние фенилпропаноидных и стериновых метаболитов на устойчивость яровой мягкой пшеницы к грибным инфекциям листьев 77

Королев К.П. Влияние генотип-средовых факторов на формирование количественных признаков *Linum ussitatissimum* L. 81

Короткова А.М., Скрипилева А.И., Вихорев А., Колосовская Е.В., Герасимова С.В., Хлесткина Е.К. Поиск дифференциально экспрессирующихся генов в мутантах по гену *nud* ячменя 85

Лапочкина И.Ф., Макарова И.Ю., Гайнуллин Н.Р., Яшина Н.А., Нардит А.В., Груздев И.В. Реализованный потенциал коллекции «Арсенал» в селекции мягкой пшеницы на устойчивость к болезням и перспективы ее использования по другим направлениям 87

Локтева А.В. Межвидовая гибридизация в интродукции черемухи 94

Молянов И.В. Оценка эффективности селекционного отбора жаро и засухоустойчивых генотипов среди гибридных популяций картофеля 98

Мухордова М.Е., Россеева Л.П., Белан И.А. Эффективность использования ДНК-маркеров при селекции мягкой яровой пшеницы в ФГБНУ «Омский АНЦ» 102

Новохатин В.В., Шеломенцева Т.В, Айтбаева Р.Н. Резервы повышения продуктивности колоса мягкой яровой пшеницы 106

Орлова Е.А., Бехтольд Н.П. Изменчивость вирулентности возбудителя пыльной головни яровой пшеницы 113

Пашкевич А.М., Чайковский А.И., Рупасова Ж.А., Трофимов Ю.В. Генотипический полиморфизм по урожайности в сортовом ряду микрозелени гороха овощного 117

Перфильев Р.Н., Щербань А.Б., Потапов Д.А., Максименко К.В., Кирюхин С.В., Гуринович С.О., Панарина В.И., Полюдина Р.И., Салина Е.А. Полиморфизм генов, регулирующих вегетационный период у сортообразцов сои адаптированных к условиям Новосибирской области 122

Петраш Н.В., Капко Т.Н. Оценка исходного селекционного материала пшеницы по отзывчивости к андрогенезу *in vitro* 126

Пискарев В.В., Зуев Е.В., Бойко Н.И. Источники полезных признаков пшеницы мягкой яровой, выделившиеся при изучении коллекции в 2016-2018 гг. 131

Плотникова Л.Я., Кнауб В.В., Пожерукова В.Е. Механизмы длительной устойчивости к стеблевой ржавчине ржи и сортов пшеницы с геном *Sr31* . 137

Полевикова Н.А., Грицай Т.И., Беспалова Л.А., Агаева Е.В., Команов Е.А. Оценка функциональных нарушений при низкотемпературном стрессе у коммерческих сортов пшеницы мягкой озимой разных экотипов 141

Полюдина Р.И., Гришин В.М. Создание исходного материала и сортов суданской травы в условиях Сибири и Казахстана 146

Потешкина А.А., Апарина В.А., Колошина К.А., Пискарев В.В. Подбор стерилизации эксплантов роз, пригодных для срезки при введении в культуру *in vitro* 149

Пшеничникова Т.А., Смирнова О.Г., Симонов А.В., Булатов И.О. Увеличение размера корневой системы яровой мягкой пшеницы с использованием линии, несущей интрогрессию от *Aegilops tauschii*. 152

Рогозина Е.В., Соловьева А.Е, Горлова Л.М. Содержание антиоксидантов в клубнях сортов картофеля из коллекции ВИР 156

Романов В.С., Тимин Н.И. Межвидовая гибридизация в увеличении биоразнообразия луковых культур. 161

Россеева Л.П., Белан И.А., Блохина Н.П., Трубачеева Н.В., Першина Л.А. Аллоплазматические интрогрессивные ДГ линии (*H. vulgare*)-T. *aestivum* для получения перспективных генотипов и ускорения селекционного процесса 165

Чудинов В.А., Савин Т.В., Кулинич В.А., Искакова С.В., Шило Е.В. Результат и перспективы применения различных методов в селекции яровой мягкой пшеницы на Карабалыкской СХОС 169

Санамьян М.Ф., Бобохужаев Ш.У., Абдукаримов Ш.С. Оценка цитогенетических и молекулярно-генетических отличий у моносомных гибридных растений хлопчатника разных поколений беккроссов. 174

Сколотнева Е.С., Кельбин В.Н., Лаприна Ю.В., Салина Е.А. SSR генотипирование коллекции монопустульных изолятов *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* 178

Сотник А.Я., Елгина И.Д. Формирование урожайности овса в Приобской лесостепи Новосибирской области 183

Сочалова Л.П., Мусинов К.К., Пискарев В.В. Генофонд источников устойчивости яровой и озимой мягкой пшеницы к грибным фитопатогенам 187

Стёпочкин П.И., Ермошкина Н.Н. Изучение форм тритикале после осеннего и весеннего сева 191

Тоцкий И.В., Шоева О.Ю. Сравнительный анализ признаков продуктивности у беспроантоцианидиновых мутантов ячменя и их родительских сортов 195

Трубачеева Н.В., Силютина Н.Ю., Россеева Л.П., Белан И.А., Першина Л.А. Изучение взаимного влияния цитоплазмы и хромосомы 7Hm на проявление признаков у алло-линий (*H. marinum* ssp. *gussoneanum*)-*T. aestivum* 198

Федяева А.В., Салина Е.А. Оценка полиморфизма коллекции озимой пшеницы по устойчивости к прорастанию зерна на корню 202

Чепурнов Г.Ю., Блинов А.Г. Влияние различных аллелей гена *Vrn-A1* на сроки колошения *T. monococcum* 206

Чудинов В.А., Савин Т.В., Шпигун В.И., Подгаец Ж.А., Шило Е.В. История и перспективы создания сортов ячменя пивоваренного направления на Карабалыкской СХОС 210

Чуманова Е.В., Ефремова Т.Т. Влияние доминантного аллеля *Vrn-A1L* на длительность фаз развития и продуктивность изогенной линии мягкой пшеницы 215

Шепелев С.С., Потоцкая И.В., Чурсин А.С., Кошкин М.Н., Ессе А.О., Безукладов И.В., Вернер А.О., Шаманин В.П. Идентификация SNP-локусов у сортов яровой мягкой пшеницы международной программы КАСИБ 219

Шоева О.Ю., Тоцкий И.В., Муханова М.А., Захрабекова Ш., Стюарт Д., Ханссон М. Исследование генетических основ синтеза проантоцианидинов в зерне ячменя для направленной селекции сортов пивоваренного назначения 224

Щукина Л.В., Лапочкина И.Ф., Пшеничникова Т.А. Технологические свойства зерна линий мягкой пшеницы с интрогрессиями от *Aegilops speltoides* 228

Авторский указатель 233

Научное издание

ГЕНОФОНД И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ

6-я Международная конференция

посвященная 135-летию Н. И. Вавилова

23–25 ноября 2022 г.

Доклады и сообщения

Публикуется в авторской редакции

СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН
630501, Новосибирская обл., р.п. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1

Подписано в печать 03.11.2022. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 12,61. Тираж 100 экз. Заказ № 658

Отпечатано в типографии «Исток», Новосибирская обл., р.п. Краснообск, СибИМЭ, оф. 270