

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 631.527.8+631.524.84

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-187-195

***Triticum durum* Desf. – ценный источник генов для расширения генетического разнообразия яровой мягкой пшеницы**А. Е. Дружин¹, С. Н. Сибикеев¹, Е. И. Гультяева², Л. В. Андреева¹¹ Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия² Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Евгеньевич Дружин, alex_druzhin@mail.ru

Актуальность. Расширение генетического разнообразия генофонда вида *Triticum aestivum* L. за счет использования чужеродного хроматина, в том числе и от вида *Triticum durum* Desf., является важным элементом создания сортов мягкой пшеницы, отвечающих современным требованиям.

Материалы и методы. В изучение были включены интрогрессивные линии яровой мягкой пшеницы Л153, Л154 и Л155, созданные с участием сортов яровой мягкой пшеницы 'Л503' и 'Л505' и яровой твердой пшеницы мексиканской селекции 'Yazi10' и 'Tarro'. Оценка линий включала фитопатологические, фенологические, генетические и технологические исследования, которые проводили по общепринятым методикам как в полевых, так и в лабораторных условиях. Для идентификации *Lr*-генов устойчивости к *Puccinia triticina* Erikss. sp. *tritici* у исследуемых линий использовали 17 ДНК-маркеров. Все полученные данные подвергали статистическому анализу, используя пакет селекционно-генетических программ Agros-2.10.

Результаты. Исследования интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы Л153, Л154 и Л155, созданных с участием сортов твердой пшеницы 'Yazi10' и 'Tarro', показали, что устойчивость этих линий к возбудителю листовой ржавчины обусловлена *Lr*-генами от сортов твердой пшеницы. Установлено влияние донора генов, а также сортов-реципиентов на ряд хозяйственно полезных признаков. Отмечен сорт-реципиент 'Л505', имеющий хорошие комбинационные способности.

Заключение. Интрогрессия хроматина от твердой пшеницы в генофонд яровой мягкой пшеницы позволила создать линии, устойчивые к местной популяции возбудителя листовой ржавчины, а также к некоторым тест-клонам этого патогена. Эти линии могут быть использованы как доноры неидентифицированных *Lr*-генов. Кроме этого, линия Л154 сочетает в себе хорошую продуктивность зерна и качество получаемой продукции.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., твердая пшеница, интрогрессия генов, листовая ржавчина, хозяйственно полезные признаки

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 123011900038-8 «Создание и совершенствование системы видов и сортов (гибридов) сельскохозяйственных культур, адаптивных к абиострессорам и устойчивых к основным патогенам, сочетающих высокую потенциальную продуктивность с качеством урожая, с целью снижения экономических рисков в растениеводстве и повышения биоразнообразия в регионе».

Статья подготовлена к конференции, посвященной 50-летию лаборатории генетики и цитологии ФАНЦ Юго-Востока. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Дружин А.Е., Сибикеев С.Н., Гультяева Е.И., Андреева Л.В. *Triticum durum* Desf. – ценный источник генов для расширения генетического разнообразия яровой мягкой пшеницы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(3):187-195. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-187-195

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-187-195

***Triticum durum* Desf. is a valuable source for spring bread wheat genetic diversity enhancement**Alexander E. Druzhin¹, Sergey N. Sibikeev¹, Elena I. Gulyaeva², Lubov B. Andreeva¹¹ Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia² All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Alexander E. Druzhin, alex_druzhin@mail.ru

Background. Enhancement of the *Triticum aestivum* L. genetic diversity by means of alien chromatin, including that from *Triticum durum* Desf., is an important element in the breeding of bread wheat cultivars that meet modern requirements.

Materials and methods. The study included the L153, L154 and L155 introgressive spring bread wheat lines produced from crosses between the spring bread wheat cultivars 'L503' and 'L505' and spring durum wheat cultivars 'Yazi10' and 'Tarro' developed in Mexico. Evaluation of these introgressive lines included phytopathological, phenological, genetic, and breadmaking analyses carried out with conventional methods both under open-air and laboratory conditions. Seventeen DNA markers were used to identify genes for resistance to *Puccinia triticina* Erikss. f. sp. *tritici* in the lines. The obtained data were statistically analyzed using the Agros-2.10 package of breeding and genetic programs.

Results. Studying introgressive spring bread wheat lines L153, L154 and L155, developed with the participation of durum wheat cvs. 'Yazi10' and 'Tarro', showed that leaf rust resistance of these lines was induced by the *Lr* genes from durum wheat cultivars. The effect of the gene donor and the recipient cultivars on a number of useful agronomic traits was identified. The recipient cv. 'L505' was noted for its good combining abilities.

Conclusion. Introgression of chromatin from durum wheat cultivars into the spring bread wheat gene pool made it possible to produce lines resistant to the local *P. triticina* population, as well as to some test clones of this pathogen. Such lines can be used as donors of the *Lr* genes. In addition, the L154 introgressive line combined good grain productivity and baking quality.

Keywords: *Triticum aestivum* L., durum wheat, gene introgression, leaf rust, useful agronomic traits

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task, Project No. 123011900038-8 "Development and improvement of the system of crop species and cultivars (hybrids) adaptive to abiotic stressors and resistant to major pathogens, combining high potential productivity with harvest quality, in order to reduce economic risks in crop production and increase biodiversity in the region".

The article was prepared for the conference dedicated to the 50th anniversary of the Genetics and Cytology Laboratory, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Druzhin A.E., Sibikeev S.N., Gulyaeva E.I., Andreeva L.B. *Triticum durum* Desf. is a valuable source for spring bread wheat genetic diversity enhancement. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(3):187-195. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-187-195

Введение

Твердая пшеница *Triticum durum* Desf. (геном AⁿAⁿBB, 2n = 28) довольно давно используется в селекции для расширения генетического разнообразия мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. (геном AⁿAⁿBBDD, 2n = 42). Этот вид является источником генов устойчивости к болезням и вредителям, а также генов, отвечающих за качество зерна. Первые упоминания о скрещивании мягкой и твердой пшеницы относятся к концу XIX века, но практического выхода от полученных гибридов не было; целью данных скрещиваний было улучшение мягкой пшеницы за счет твердой и наоборот. Первым практически значимым результатом скрещивания двух видов пшениц можно назвать получение спонтанного гибрида, выявленного австралийским энтузиастом J. Correll, который в 1897 г. нашел в посеве твердой пшеницы безостую форму. Дальнейший отбор позволил создать сорт безостой твердой пшеницы 'Huguenot', который использовался в основном на зеленый корм (Grasby, 1912). Другой австралийский селекционер W. Farrer получил ряд гибридов между мягкой и твердой пшеницей, но большой практической значимости эти гибриды также не имели и выращивались в основном на сено (Vavilov, 1960). Перспективные гибриды между твердой и мягкой пшеницей были получены в Тунисе селекционером F. Voeuf, который, используя гибридные линии из Австралии, скрестил их с местными сортами твердой пшеницы, но, к сожалению, несмотря на положительные результаты, данные линии в производство не пошли (Voeuf, 1925).

Работа селекционеров из США по скрещиванию сортов мягкой и твердой пшеницы была не только результативной, но и практически значимой (Hayes et al., 1920). В 1920 г. в результате скрещивания сортов 'Marquis' (*T. aestivum*) и 'Tumillo' (*T. durum*) была выделена 42-хромосомная линия, в дальнейшем ставшая сортом яровой мягкой пшеницы 'Marquillo', который обладал устойчивостью к комплексу заболеваний. В 1939 г. посевные площади под этим сортом составляли около 60 тыс. га. Не менее результативным оказалось скрещивание сортов 'Marquis' и 'Pentad'. От этой комбинации были получены такие сорта, как 'Coronation', 'Coronation-1', 'CT-120', 'CT-401', 'CT-402' и другие, но практическое значение имел только сорт 'Coronation', и даже он высевался на незначительной площади. Дальнейшая работа по гибридизации мягкой и твердой пшеницы позволила получить ряд сортов яровой мягкой пшеницы, но коммерчески значимыми оказались только 'Spinkcota' с максимальной площадью возделывания 42,6 тыс. га в 1959 г. и 'Lathrop', у которого в 1969 г. посевные площади достигли 1,2 тыс. га (<https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/gopher/cwc/CommWheatCult/cwc4.html>).

Большой интерес и практическое значение имеют работы по скрещиванию яровой мягкой и твердой пшеницы, выполненные на Саратовской сельскохозяйственной опытной станции (ныне ФАНЦ Юго-Востока). В 1912 г. в результате скрещивания местных сортов 'Белотурка' (*T. durum*) и 'Полтавка' (*T. aestivum*) были получены гибриды, из которых выделены такие сорта яровой мягкой пшеницы, как 'Альбосар', 'Блансар', 'Сарроза' и 'Саррубра'. Особо следует выделить сорт 'Саррубра', который в 1938 г. высевался на максимальной площади более 1,3 млн га. Другой сорт 'Эритроспермум 82/2', полученный в этом же учреждении от скрещивания 'Горденформе 5783' (*T. durum*) и 'Лютесценс 1247' (*T. aestivum*), зани-

мал на пике своего распространения 83 тыс. га (Shekhurdin, 1961).

Анализ литературы показал, что многие сорта, полученные от межвидовых скрещиваний, в том числе и от *T. durum* с *T. aestivum*, являются источниками ценных генов и успешно используются в селекционных программах.

Несмотря на то что *T. durum* обладает устойчивостью к листовой и желтой ржавчине, мучнистой росе, твердой и пыльной головне, гессенской мухе (Vavilov, 1964) и интенсивно используется в процессе улучшения мягкой пшеницы, довольно мало генов устойчивости было идентифицировано у этого вида. На сегодняшний день установлены гены устойчивости к мучнистой росе *Pm68*, *Pm3h* (Lebedeva, Zuev, 2021), к листовой ржавчине *Lr23*, *Lr61*, *Lr79*, стеблевой ржавчине *Sr12*, а также ряд генов, отвечающих за качество и некоторые другие признаки (McIntosh et al., 2013, 2018). В селекционной работе довольно широко используется только ген *Lr23*, перенесенный в мягкую пшеницу от сорта твердой пшеницы 'Gaza' (McIntosh et al., 1995). В нашей стране первыми сортами с геном *Lr23* стали сорта мягкой пшеницы 'Куйбышевская 1', 'Олимп', 'Ершовская 32', 'Саратовская 56' и другие (Markelova, 2007).

С целью увеличения генетического разнообразия генотипов мягкой пшеницы, в том числе и по *Lr*-генам, за счет привлечения генетического материала от сортов твердой пшеницы, в лаборатории генетики и цитологии ФАНЦ Юго-Востока ведется работа по скрещиванию этих двух видов. Ранее проведенные исследования по использованию саратовских сортов твердой пшеницы, в том числе сорта 'Золотая волна', показали хорошие результаты, в частности у интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы не выявлено негативного влияния на хозяйственно полезные признаки хроматина от твердой пшеницы, при этом *Lr*-гены от этого вида были эффективны против популяции листовой ржавчины (Sibikeev et al., 2020). Для дальнейшего расширения этой работы нами были включены в селекционный процесс сорта яровой твердой пшеницы иностранной селекции 'Tarro' и 'Yazi10' (CIMMYT). Результаты изучения линий яровой мягкой пшеницы, содержащих хроматин от этих сортов твердой пшеницы, представлены в данной статье.

Материалы и методы

В изучение были включены следующие генотипы: сорта яровой мягкой пшеницы 'Л505' и 'Л503' (ФАНЦ Юго-Востока), содержащие 7DS-7DL-7Ae#1L-транслокацию с геном *Lr19* от *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv. (McIntosh et al., 2013); сорт 'Фаворит' (ФАНЦ Юго-Востока) – замещение 6D(6Ag) от *Agropyron intermedium* (Host) P. Beauv. (Sibikeev, 2017), который являлся стандартом для Саратовской области до 2020 г.; сорта яровой твердой пшеницы селекции CIMMYT (Мексика) 'Tarro' (Харьковская 5/Aix) и 'Yazi10' (Calidris/Chuanmai-18//Altar-84) (<http://www.wheatpedigree.net/>) были отобраны нами как устойчивые к местной популяции листовой ржавчины (*Puccinia tritici* Erikss. f. sp. *tritici*). В результате скрещивания вышеуказанных сортов мягкой пшеницы с сортами твердой пшеницы были получены интрогрессивные линии Л153 (Л505/Yazi10//Л505/3/Л505), Л155 (Л503/Tarro//Л503) и Л154 (Л505/Tarro//Л505/3/Л505).

Изучение устойчивости к комплексу заболеваний (листовая и стеблевая ржавчина, мучнистая роса) прово-

дили как на естественном инфекционном фоне в селекционном посеве ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов, 2017–2022 гг.), так и в лабораторных условиях во Всероссийском научно-исследовательском институте защиты растений (ВИЗР, г. Санкт-Петербург). На экспериментальных посевах ФАНЦ Юго-Востока в 2017 г. степень развития болезней (листовая ржавчина и мучнистая роса) оценивалась как сильная, в 2022 г. – как средняя, а в 2020 г. отмечена стеблевая ржавчина, которая достигала средней степени развития. В ВИЗР проводили оценку интрогрессивных линий и контрольных образцов в лабораторных условиях при искусственном заражении растений возбудителем листовой ржавчины в стадии проростков (фаза трех листьев). Инокуляцию проводили с использованием саратовской (Поп_Сар) и омской (Поп_Омск) популяций *P. tritricina*, а также трех тест-клонов, выделенных из популяций разного географического происхождения и различающихся формой вирулентности/авирулентности: тест-клон ТК1 (Челябинская обл., 2019 г.) – 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 9, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 20, 30 / 19, 23, 24, 26, 28, 29, 44; тест-клон ТК2 (Тамбовская обл., 2016 г.) – 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 14a, 14b, 15, 17, 18, 19, 20, 30, 44 / 9, 11, 16, 23, 24, 26, 28, 29; тест-клон ТК3 (Краснодарский край, 2017 г.) – 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20, 23, 26, 30, 44 / 9, 16, 19, 24, 28, 29; Поп_Сар (Саратовская обл., 2020 г.) – 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 30 / 9, 24, 28, 29, 44; Поп_Омск (Омская обл., 2019 г.) – 1, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 16, 17, 18, 23, 26, 30, 44 / 9, 2a, 15, 19, 20, 24, 28, 29.

Для оценки устойчивости к возбудителю листовой ржавчины использовали шкалу Е. В. Mains и Н. S. Jackson (1926). Растения с типом реакции 0, 0₁, 1, 2 считали устойчивыми, а 3, 4 и X – восприимчивыми. Тип реакции растений на заражение возбудителем мучнистой росы определяли по шкале Е. В. Mains, S. M. Dietz (1930). Оценка устойчивости к местной популяции возбудителя стеблевой ржавчины проводили по модифицированной шкале Кобба и реакции хозяина на внедрение патогена: R = устойчивый – 1 балл; TR = единичные пустулы, некротичные пятна, устойчивый – 1 балл; MR = умеренно устойчивый – 2 балла; MS = умеренно восприимчивый – 2-3 балла; M = промежуточный между устойчивым и восприимчивым – 2-3 балла; MSS = от умеренно восприимчивого до восприимчивого – 4 балла; TS = единичные пустулы, восприимчивый – 3-4 балла; S = восприимчивый – 4 балла (Roelfs et al., 1992).

Для идентификации *Lr*-генов устойчивости к листовой ржавчине у линий Л153, Л154 и Л155 использовали ДНК-маркеры: WR003 F/R гена *Lr1*; SCS5 гена *Lr9*; F1.2245/*Lr10*-6/r2 гена *Lr10*; Gb SCS265 гена *Lr19*; STS638 гена *Lr20*; Sr24*50, Sr24*12 гена *Lr24*; iag 95 гена *Lr26*; SCS421 гена *Lr28*; Lr29F24 гена *Lr29*, SCM9, cslV34, L34D-INT9F: L34MINUSL34PLUS гена *Lr34*, Sr39#22r гена *Lr35*; Ventriup/LN2 гена *Lr37*, GDM35 гена *Lr41* (=39), PS10 гена *Lr47*, S13-R16 гена *Lr66*. ПЦР-анализ выполнен по ранее опубликованной методике (Gulyaeva, 2012).

Оценку линий по хозяйственно полезным свойствам проводили в 2017–2022 гг. В изучение входила оценка линий Л153, Л154, Л155 по морфологическим признакам, признакам продуктивности зерна, физическим свойствам теста и хлебопекарным показателям в сравнении с реципиентами 'Л503', 'Л505' и сортом-стандартом 'Фаворит'.

Вегетационные периоды в годы исследований различались по температурным и водным режимам. Наиболее

благоприятными по количеству осадков и температурному режиму были 2017 и 2022 г., умеренно засушливыми были 2020 и 2021 г., 2018 и 2019 г. характеризовались сильной засухой.

Материал высевали в оптимальные сроки в семярядковые деланки площадью 7 м², рендомизировано в 4-кратной повторности. Норма высева – 400 семян/м², посев проводили на глубину 5 см. Площадь питания растений 20 × 5 см. Уборку осуществляли комбайном Неже 125 В.

Качество зерна и теста оценивали по содержанию белка в зерне на приборе Infratec ТМ 1241 (Дания), качество и количество сырой клейковины – по показателям прибора ИДК-3 (Россия), реологические свойства теста – на альвеографе Chopin (Франция) с выпечкой опытных образцов хлебцев. Все полученные данные подвергали дисперсионному анализу и множественному сравнению по критерию Дункана, используя пакет селекционно-генетических программ Agros-2.10.

Результаты и обсуждение

Оценка интрогрессивных линий по устойчивости к заболеваниям

Предварительный анализ устойчивости мексиканских сортов твердой пшеницы 'Yazi10' и 'Tarro' к местным популяциям ряда патогенов и в первую очередь к возбудителю листовой ржавчины в условиях естественного инфекционного фона показал, что они имеют тип реакции (IT) на *P. tritricina* – 0, слабо поражаются мучнистой росой, как и сорт-стандарт 'Фаворит'. При этом для реципиентов яровой мягкой пшеницы 'Л503' и 'Л505' характерен тип реакции 3 при поражении листовой поверхности до 30%.

Изучение гибридов F₁ по устойчивости к *P. tritricina* показало, что комбинации Л505/Tarro, Л505/Yazi10 и Л503/Tarro проявили тип реакции IT = 0. Таким образом, гены устойчивости у сортов 'Yazi10' и 'Tarro' доминантные.

При дальнейшем беккроссировании реципиентами 'Л505' и 'Л503' у гибридов F₂ в комбинации Л505/Tarro//Л505/3/Л505, Л503/Tarro//Л503/3/Л503 расщепление по устойчивости к *P. tritricina* соответствовало 9R : 7S, при этом критерий соответствия теоретически ожидаемых результатов и фактических данных был в пределах $\chi^2 = 1,02$ –1,32, табличное значение χ^2 для df = 1 – 3,84. Эти данные свидетельствуют об аддитивном взаимодействии двух доминантных генов, а именно *Lr19* от сортов яровой мягкой пшеницы 'Л505' и 'Л503' и другой *Lr*-гена от сорта твердой пшеницы 'Tarro'. Расщепление по устойчивости к листовой ржавчине у гибридов F₂ комбинации Л505/Yazi10//Л505/3/Л505 соответствовало 3R : 1S ($\chi^2 = 1,01$). Полученные данные указывают на доминантное моногенное наследование, причем устойчивость обеспечивает ген от сорта твердой пшеницы 'Yazi10'.

Гены, перенесенные от сортов твердой пшеницы 'Yazi10' и 'Tarro' в сорта яровой мягкой пшеницы 'Л505' и 'Л503', либо идентичны генам *Lr23*, *Lr61*, *Lr79*, либо новые, еще неидентифицированные. Так, например, у сорта 'Yazi10' гены устойчивости не идентифицированы, однако в родословной этого сорта присутствуют сорта с идентифицированными генами устойчивости. На основании этого мы можем постулировать, что 'Yazi10' может иметь *Lr23*, *LrAt* (<http://www.wheatpedigree.net/>) от сорта 'Altar-84'; либо гены *Lr16*, *Lr26* от сорта 'Chuanmai-18' (<http://www.wheatpedigree.net/>). Информацией о генети-

ческом контроле устойчивости у сорта 'Tarro' мы, к сожалению, не обладаем.

Ген *Lr23* локализован в хромосоме 2BS, он хорошо изучен и используется в селекционной работе довольно давно. *Lr23* представляет собой сложный локус и, возможно, сцеплен с другими генами, отвечающими за долговременную устойчивость «*slow-rusting*» (Odintsova, Peusha, 1984). Кроме того, этот ген является температурочувствительным, оптимальная температура для экспрессии – выше 20°C (Peusha et al., 1982; Dyck, Johnson, 1983). Имеются также гены-модификаторы, которые отвечают за уровень экспрессии этого гена (McIntosh et al., 2013). Несмотря на наличие в популяциях патогена вирулентного патотипа *pp23*, сильное развитие заболевания не происходит. Влияние *Lr23* проявлялось в снижении числа и размера пустул, а также в подавлении спорогенной активности и жизнеспособности гриба (Markelova, 2007; Plotnikova, Meshkova, 2013). Несмотря на то что ген *Lr23* преодолен патогеном, его эффективность в комбинации с другими генами довольно высокая (Sibikeev et al., 2002).

Ген *Lr61* идентифицирован относительно недавно. Он обеспечивает устойчивость сортов твердой пшеницы к ряду рас *P. triticina*, локализован в хромосоме 6BS и является частично доминантным (Herrera-Foessel et al., 2008). Ген быстро утратил свою эффективность и поэтому редко используется в селекции (Huerta-Espino et al., 2022).

Ген *Lr79*, идентифицированный у сорта твердой пшеницы 'Aus26582' и локализованный в хромосоме 3BL, пока слабо изучен и мало используется в селекционной работе, в том числе и в России (Qureshi et al., 2018).

Оценка линий и сортов по устойчивости к *P. triticina* в фазе проростков с использованием тест-клонов (TK1, TK2, TK3) и популяций патогена (Поп_Омск19, Поп_Сар20) показала отсутствие симптомов поражения (IT = 0) у линии Л153 при заражении тест-клонами TK2, TK3 и саратовской популяцией патогена 2020 г., а к омской популяции и к тест-клону TK1 эта линия имела смешанную реакцию IT = 0-1 и IT = 0,3 соответственно. Линия Л154 устойчива (IT = 0) к тест-клонам TK1, TK3, омской и саратовской популяциям, однако восприимчива (IT = 3) к тест-клону TK2 (табл. 1). Линию Л155 оценили по устойчивости лишь к саратовской популяции патогена, к которой данная линия высокоустойчива (IT = 0).

Сорта 'Л505' и 'Л503' проявили устойчивую реакцию (IT = 0) к омской популяции и ТК1, ТК3, а к саратовской популяции и клону ТК2 оказались восприимчивы (IT = 3). Сорт-стандарт 'Фаворит' устойчив ко всем популяциям и тест-клонам (IT = 0). Следует отметить, что саратовская популяция *P. triticina* считается одной из самых вирулентных. При этом, что касается наличия патотипа *pp19*, вирулентного к гену *Lr19* и патотипа *pp23*, вирулентного к гену *Lr23*, их присутствие в популяции отмечается ежегодно, за исключением ряда лет. Различия между патотипами заключаются в том, что частота *pp19* уже стабилизировалась и колеблется в популяции в пределах 10%, а патотип *pp23* находится в стадии стабилизации и его частота колеблется от 0 до 100% (Sibikeev et al., 2020).

Полученные данные позволили постулировать, что у линии Л153 устойчивость к листовой ржавчине контролируется одним доминантным геном. При этом, основываясь на данных фитопатологического анализа и родословной этой линии, этот ген не идентичен *Lr23*, *Lr16*, *Lr26* и, возможно, идентичен *Lr61* или *Lr79*, либо является новым, неидентифицированным геном.

У линий Л154 и Л155 устойчивость контролируется дигенно, при этом линия Л154 проявила устойчивость к большинству тест-клонов и популяциям патогена, кроме тест-клона ТК2. Устойчивость обусловлена аддитивным взаимодействием двух *Lr*-генов, возможно *Lr19* и геном от сорта 'Tarro'. Фитопатологический анализ показал, что *Lr*-гены у линий Л153, Л154, Л155 эффективны против патогена как в стадии проростков, так и взрослых растений, то есть они ювенильные.

Помимо устойчивости к листовой ржавчине (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici*), линии изучали и по устойчивости к другим заболеваниям. Было установлено, что все изучаемые линии слабо поражаются мучнистой росой (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal), в отличие от реципиентов 'Л505' и 'Л503', но восприимчивы к стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* Rers. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn.) (см. табл. 1).

Идентификация генов устойчивости

Для идентификации *Lr*-генов у полученных линий был проведен ПЦР-анализ с использованием 17 ДНК-маркеров *Lr*-генов, который позволил идентифицировать в линии Л154 ген *Lr19* от сорта 'Л505'. Наличие этого

Таблица 1. Характеристика линий и сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к заболеваниям

Table 1. Disease resistance characteristics of spring bread wheat lines and cultivars

Сорт, линия	<i>Puccinia triticina</i>					<i>Blumeria graminis</i>	<i>Puccinia graminis</i>
	Омская популяция	ТК1	ТК3	ТК2	Саратовская популяция		
	(тип реакции, балл)						
	лабораторные условия, стадия трех листьев 2019 г.					поле, стадия молочной спелости 2020 г.	
‘Фаворит’	0	0	0	0	0	1	3
Л503’	0	0	0	3	3	2	2-3 ед.
Л505’	0	0	0	3	3	2	2-3 ед.
Л153	0-1	0,3	0	0	0	1	3
Л155	–	–	–	–	0	1	2-3 ед.
Л154	0	0	0	3	0	1	2-3 ед.

гена также подтверждается желтой окраской муки (гены, контролирующие этот признак, и *Lr19* тесно сцеплены) (Prins et al., 1996). Ген *Lr19* с 1994 г. неэффективен против *P. triticea* f. sp. *tritici* в Саратовской области. Однако в последнее десятилетие в саратовской популяции патогена частота патотипа *pp19* колеблется в пределах от 0 до 20% (Sibikeev et al., 1996; Gulyaeva et al., 2020). Второй ген устойчивости к листовой ржавчине, полученный от сорта 'Taggo', к сожалению, идентифицировать не удалось. Так как в наших исследованиях не использовались ДНК-маркеры генов *Lr23*, *Lr61* и *Lr79*, возможно, второй *Lr*-ген у Л154 может быть одним из них либо еще неидентифицированным геном.

У Л153 ДНК-маркер гена *Lr19* не выявлен, был идентифицирован лишь ген *Lr10*. Так как один *Lr10* у Л153 не может контролировать высокий уровень устойчивости к патогену этой линии, мы имеем основания предполагать, что Л153 несет эффективный ген от сорта твердой пшеницы 'Yazi10', обозначенный нами как *LrYazi10*.

У линии Л155 идентификацию не проводили, но, учитывая устойчивость данной линии к листовой ржавчине и желтую окраску муки, можно предположить, что устойчивость этой линии и Л154 контролируется тождественными генами.

Влияние интрогрессий от твердой пшеницы на хозяйственно полезные признаки у линий яровой мягкой пшеницы

Изучение линий Л153, Л154, Л155 по морфологическим признакам выявило, что продолжительность периода «всходы – колошение» в среднем за годы изучения у линии Л153 составила 40 суток, Л154 и Л155 – 43, у сортов 'Л503' и 'Л505' – 43 и у сорта-стандарта 'Фаворит' – 45.

Отмечено, что только у линии Л153 этот период был на 3 дня короче, чем у реципиента 'Л505', а остальные линии по этому показателю не отличаются от реципиентов. Анализ данных по высоте растений показал, что в среднем за 2017–2022 гг. максимальная высота была у линии Л153 – 83 см, что значимо выше, чем у реципиента 'Л505' (77 см). У линий, полученных с участием сорта 'Taggo', отмечено влияние реципиентов на высоту растений. Так, линия Л154 имела высоту 78 см и практически не отличалась от реципиента 'Л505', а линия Л155 была значимо ниже реципиента 'Л503': высота растений – 75 см и 82 см соответственно; у сорта-стандарта 'Фаворит' высота растений составила 82 см.

Устойчивость к полеганию изучаемых линий за годы испытания была на уровне реципиентов и составила у Л153 4,3 балла, Л154 – 4,4, Л155 – 4,3 балла, а у сортов 'Л505' и 'Л503' этот показатель составил 4,4 балла, у сорта 'Фаворит' – 4,3 балла. Следовательно, интрогрессии от сортов твердой пшеницы значимо не изменили этот показатель у линий по сравнению с реципиентами.

Анализ продуктивности показал, что в среднем за шесть вегетационных сезонов линия Л155, несущая интрогрессивный материал от сорта твердой пшеницы 'Taggo', по продуктивности зерна была на уровне реципиента 'Л503', а линия Л153, созданная с участием сорта твердой пшеницы 'Yazi10', имела продуктивность зерна значимо ниже, чем у реципиента 'Л505'. Особо следует выделить линию Л154, которая несет генный материал от сорта твердой пшеницы 'Taggo'. Эта линия по продуктивности зерна оказалась значимо выше всех изученных линий и сорта-стандарта 'Фаворит', а также превышала, хотя и незначимо, по этому показателю реципиент 'Л505' (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика линий и сортов яровой мягкой пшеницы по продуктивности зерна (2017–2022 гг.)

Table 2. Grain productivity characteristics of spring bread wheat lines and cultivars (2017–2022)

Сорт, линия	2017	2018	2019	2020	2021	2022	среднее
Продуктивность зерна, кг/га							
Л503'	4002a*	527a	1344a	2507a	493ns	3267b	2023,33a
Л505'	4693bc	768b	1624b	3276c	667ns	3493bc	2420,17bc
Л153	3642a	887b	1240a	2819b	741ns	2892a	2036,83a
Л154	4993c	1096c	1680b	3344c	691ns	3691c	2582,50c
Л155	4237ab	557a	1363a	2754a	483ns	3085a	2079,83a
'Фаворит'	3920a	931b	1528ab	2748a	639ns	3025a	2131,83a
Масса 1000 зерен, г							
Л503'	40,9	26,1	34,7	33,9	24,3	35,9	32,63 ns**
Л505'	35,1	19,1	31,8	32,3	25,3	36,7	30,03 ns
Л153	33,5	23,2	33,5	32,0	27,8	33,4	30,62 ns
Л154	35,8	24,6	33,5	34,3	27,1	34,1	31,56 ns
Л155	38,5	20,0	31,4	33,0	25,9	36,0	30,80 ns
'Фаворит'	38,2	19,6	31,2	31,8	27,1	31,3	29,87 ns

Примечание: * – числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, различаются при уровне значимости 0,05;

** – значимо не различаются (ns)

Note: * – the numbers in the columns accompanied by different letters differ at the significance level of 0.05;

** – no significant differences (ns)

Следует отметить засухоустойчивость линии Л154. Эта линия имела в засушливые годы (2018, 2019) урожай зерна на уровне или выше реципиента 'Л505' и стандарта 'Фаворит'. В то же время в благоприятные годы при сильном развитии листовой ржавчины (2017, 2020, 2022 гг.) Л154 значительно превосходила по продуктивности как реципиент, так и стандарт.

По показателю массы 1000 зерен в среднем за годы изучения линии и сорта значимо между собой не различались, но следует отметить, что в засушливые годы (2018, 2019) у линии Л153 и особенно у Л154 этот показатель снижался меньше, чем у реципиента 'Л505', а у линии Л155 – наоборот, отмечена тенденция к уменьшению этого показателя, особенно в засушливые годы.

Кроме устойчивости к болезням и продуктивности, в интрогрессивной селекции много внимания уделяется качеству получаемой продукции, так как нередко переносимый в *T. aestivum* чужеродный материал имеет отрицательные признаки, влияющие на качество муки и хлеба. В частности, такое явление отмечено при использовании транслокации 1BL-1RS (Sibikeev et al., 2021). Анализ изучаемых линий по содержанию белка в зерне, показал, что линия Л153 значительно превышает по этому показателю реципиент 'Л505', а линия Л154 от него не отличается. Также не отличается от реципиента 'Л503' линия Л155, но у всех изученных линий содержание белка в зерне было значимо выше по сравнению с сортом-стандартом 'Фаворит'. Однако необходимо отметить положительное свойство линии Л154, у которой при высокой продуктивности содержание белка в зерне не снижалось (табл. 3).

Количество клейковины у линии Л153 значимо выше, чем у реципиента 'Л505', а линия Л154 от него не отличалась. Также не выявлено значимых различий между сортами 'Л503', 'Фаворит' и линией Л155. Качество клейковины (по показаниям прибора ИДК-3) у линии Л153 было значимо хуже, чем у сорта 'Л505', а линия Л154 по этому показателю от этого сорта значимо не отличалась. Также не отмечено значимых различий между линией Л155 и сортом 'Л503'. Не отличались изучаемые линии по качеству клейковины и от сорта 'Фаворит'.

По упругости (Р) линии и сорта значимо между собой не различались, а по отношению упругости к растяжимости (Р/Л) линия Л154, в отличие от линии Л153, значимо

отличается от сортов 'Л505' и 'Фаворит'. Линия Л155 значимо не отличается по этому показателю от реципиента 'Л503' и стандарта 'Фаворит'. По силе муки значимых различий между линиями Л153, Л154 и реципиентами не выявлено. Однако интрогрессии от твердой пшеницы 'Tarro' у Л155 значимо улучшили силу муки по сравнению с сортом 'Л503'. По показателю объема хлеба линии и сорта между собой значимо не различались.

Заключение

Таким образом, в результате многолетних исследований по интрогрессии генного материала от сортов твердой пшеницы 'Yazi10' и 'Tarro' в сорта яровой мягкой пшеницы были получены образцы, устойчивые к возбудителю листовой ржавчины. Полученные линии несут *Lr*-гены от твердой пшеницы, идентифицировать которые пока не удалось. Установлена роль донора *Lr*-генов, влияющих на ряд хозяйственно полезных показателей. В частности, интрогрессии от сорта твердой пшеницы 'Tarro' в сорта 'Л503' и 'Л505' оказывали в ряде случаев положительный эффект на некоторые морфологические признаки и показатели продуктивности зерна, в частности линия Л154 по продуктивности зерна оказалась значимо выше сорта-стандарта 'Фаворит' и реципиента 'Л505', особенно в благоприятные годы при сильном развитии листовой ржавчины. Кроме того, у линии Л154 при высокой продуктивности содержание белка в зерне не снижается. В то же время переносы от сорта твердой пшеницы 'Yazi10' обусловили большую высоту растений и уменьшили продуктивность зерна у линии Л153 по сравнению с реципиентом 'Л505'. Интрогрессии от этого сорта твердой пшеницы значимо повысили содержание белка в зерне и количество клейковины. Большую роль в экспрессии генного материала от сортов твердой пшеницы играет и подбор реципиента мягкой пшеницы. Здесь следует выделить сорт яровой мягкой пшеницы 'Л505', который неоднократно подтверждал свои хорошие комбинационные способности, в частности для повышения качества конечной продукции (Sibikeev et al., 2021). Выделенные интрогрессивные линии представляют большой интерес для селекции как доноры *Lr*-генов и уже включены в селекционные программы.

Таблица 3. Характеристика линий и сортов яровой мягкой пшеницы по хлебопекарным качествам (в среднем за 2017–2022 гг.)

Table 3. Baking quality characteristics of spring bread wheat lines and cultivars (averaged for 2017–2022)

Сорт, линия	Клейковина		Белок, %	Р, мм	Р/Л	W, е. а.	V, см ³	Цвет мякиша
	%	ИДК-3						
'Л503'	39,8d*	88,10c	16,63bcd	89,14	1,69ab	144,0a	731	желтый
'Л505'	33,77a	76,58a	15,53a	102,82	2,20c	198,0b	750	желтый
Л153	38,63cd	85,20bc	17,47d	94,18	1,87bc	212,4b	761	белый
Л154	33,75a	79,98ab	15,40a	88,42	1,80b	195,2b	756	желтый
Л155	38,47bcd	85,07bc	16,77cd	100,26	1,50ab	192,2b	774	желтый
'Фаворит'	35,70abc	83,22bc	15,70a	79,66	1,40a	180,4ab	795	белый

Примечание: * – числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, различаются при уровне значимости 0,05; Р – упругость теста; Р/Л – отношение упругости теста к растяжимости; W – сила муки; V – объем хлеба

Note: * – the numbers in the columns accompanied by different letters differ at the significance level of 0.05; P – dough elasticity; P/L – the ratio of dough elasticity to its extensibility; W – flour strength; V – bread volume

References / Литература

- Boeuf F. Contribution à l'étude du blé dur, particulièrement des variétés cultivées en Tunisie. *Annales Service Botanique Tunisie*. 1925;3:291-387. [in French]
- Dyck P.L., Johnson R. Temperature sensitivity of genes for resistance in wheat to *Puccinia recondite*. *Canadian Journal Plant Pathology*. 1983;5(4):229-234. DOI: 10.1080/07060668309501601
- Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale: [website]. Available from: <http://www.wheatpedigree.net> [accessed May 17, 2023].
- GrainGenes. A Database for Triticeae and *Avena*: [website]. Available from: <https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/gopher/cwc/CommWheatCult/cwc4.html> [accessed May 17, 2023].
- Grasby C.W. A wheat enthusiast. Mr. Joseph Correll's work. The originator of La Huguenot. *The West Australian Saturday*. February 24, 1912. Available from: <https://trove.nla.gov.au/newspaper/article/23865373> [accessed May 17, 2023].
- Gulyaeva E.I. Methods for the identification of genes for resistance of wheat to leaf rust using DNA markers and characteristics of effective *Lr* genes (Metody identifikatsii genov ustoychivosti pshenitsy k buroy rzhavchine s ispol'zovaniyem DNK-markerov i kharakteristika effektivnosti *Lr*-genov). St. Petersburg: VIZR; 2012. [in Russian] (Гультяева Е.И. Методы идентификации генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине с использованием ДНК-маркеров и характеристика эффективности *Lr*-генов. Санкт-Петербург: ВИЗР; 2012).
- Gulyaeva E.I., Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Shaydayuk E.L. Enlargement of genetic diversity of spring bread wheat resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in Lower Volga region. *Agricultural Biology*. 2020;55(1):27-44. [in Russian] (Гультяева Е.И., Сибикеев С.Н., Дружин А.Е., Шайдаюк Е.Л. Расширение генетического разнообразия сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине (*Puccinia triticina* Eriks.) в Нижнем Поволжье. *Сельскохозяйственная биология*. 2020;55(1):27-44). DOI: 10.15389/agrobiology.2020.127eng
- Hayes H.K., Parker J.H., Kurtzweil C. Genetics of rust resistance in crosses of *T. vulgare* with varieties of *T. durum* and *T. dicoccum*. *Journal of Agricultural Research*. 1920;19:523-542.
- Herrera-Foessel S, Singh R.P., Huerta-Espino J., William H.M., Djurle A, Yuen J. Molecular mapping of a leaf rust resistance gene on the short arm of chromosome 6B of durum wheat. *Plant Disease*. 2008;92(12):1650-1654. DOI: 10.1094/PDIS-92-12-1650
- Huerta-Espino J, Singh R.P., Villaseñor-Mir H.E., Ammar K. Mining sources of resistance to durum leaf rust among tetraploid wheat accessions from CIMMYT's germplasm bank. *Plants*. 2023;12(1):49. DOI: 10.3390/plants12010049
- Lebedeva T.V., Zuev E.V. Genetic control of juvenile resistance to powdery mildew in spring bread wheat cultivars from the VIR collection. *Vavilovia*. 2021;4(1):25-35. [in Russian] (Лебедева Т.В., Зюев Е.В. Генетический контроль ювенильной устойчивости к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР. *Vavilovia*. 2021;4(1):25-35). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-1-25-35
- Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic forms of barley mildew *Erysiphe graminis hordei*. *Phytopathology*. 1930;20(3):229-239.
- Mains E.B., Jackson H.S. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*. 1926;16(2):89-120.
- Markelova T.S. Study of the structure and variability of wheat leaf rust population in the Volga region (Izucheniye struktury i izmenchivosti populyatsii buroy rzhavchiny pshenitsy v Povolzh'ye). *Agro XXI*. 2007;(4-6):37-39. [in Russian] (Маркелова Т.С. Изучение структуры и изменчивости популяции бурой ржавчины пшеницы в Поволжье. *Агро XXI*. 2007;(4-6):37-39). URL: <https://www.agroxxi.ru/journal/20070406/20070406018.pdf> [дата обращения: 17.05.2023].
- McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Xia X.C., Raupp W.J. Catalogue of gene symbols for wheat: 2018 supplement. *Annual Wheat Newsletter*. 2018;64:73-93.
- McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. (eds). Wheat rusts. An atlas of resistance genes. Dordrecht: Springer Netherlands; 1995.
- McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rogers J., Morris C., Appels R., Xia X.C. Catalogue of gene symbols for wheat. In: *Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium; 8-13 September 2013; Yokohama, Japan*. Springer Open; 2013. Available from: <https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/download.jsp> [accessed May 17, 2023].
- Odintsova I.G., Peusha H.O. Regarding composite of the locus *Lr23* controlling resistance to brown rust in wheat. On the complexity of the *Lr23* locus controlling wheat resistance to leaf rust. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1984;85:13-19. [in Russian] (Одинцова И.Г., Пешуша Х.О. О сложности локуса *Lr23*, контролирующего устойчивость пшеницы к бурой ржавчине. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1984;85:13-19).
- Peusha H.O., Odintsova I.G., Schneider T. The influence of temperature on the expressiveness of the *Lr23* gene controlling the resistance of some varieties of soft wheat to brown rust. *Izvestiya Academy of Sciences of the Estonian SSR. Biology*. 1982;31(3):208-210. [in Russian] (Пешуша Х.О., Одинцова И.Г., Шнайдер Т. Влияние температуры на экспрессивность гена *Lr23*, контролирующего устойчивость некоторых сортов мягкой пшеницы к бурой ржавчине. *Известия Академии наук Эстонской ССР Биология*. 1982;31(3):208-210).
- Plotnikova L.Ya., Meshkova L.V. Immunological features of action of the wheat resistance to leaf rust gene *Lr23*. I. Phenotypic appearance and components of partial resistance. *Mycology and Phytopathology*. 2013;47(1):56-59. [in Russian] (Плотникова Л.Я., Мешкова Л.В. Иммунологические особенности действия гена устойчивости пшеницы к бурой ржавчине *Lr23*. I. Фенотипическое проявление и компоненты частичной устойчивости. *Микология и фитопатология*. 2013;47(1):56-59).
- Prins R., Marais G.F., Marais A.S., Janse B.J., Pretorius Z.A. A physical map of the *Thinopyrum*-derived *Lr19* translocation. *Genome*. 1996;39(5):96-126. DOI: 10.1139/g96-126
- Qureshi N., Bariana H., Kumran V.V., Muruga S., Forrest K.L., Hayden M.J. et al. A new leaf rust resistance gene *Lr79* mapped in chromosome 3BL from the durum wheat landrace Aus26582. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131(5):1091-1098. DOI: 10.1007/s00122-018-3060-3
- Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico: CIMMYT; 1992. Available from: <http://hdl.handle.net/10883/1153> [accessed May 17, 2023].
- Shekhurdin A.P. Selected works (Izbrannye sochineniya) Moscow: Selkhozizdat; 1961. [in Russian] (Шехурдин А.П. Избранные сочинения. Москва: Сельхозиздат; 1961).
- Sibikeev S.N. Alien genes in spring bread wheat breeding for resistance to leaf rust (Chuzherodnye geny v selektsii yaro-

- voy myagkoy pshenitsy na ustoychivost k listovoy rzhavchine) [dissertation]. Saratov; 2002. [in Russian] (Сибикеев С.Н. Чужеродные гены в селекции яровой мягкой пшеницы на устойчивость к листовой ржавчине: дис. ... докт. биол. наук. Саратов; 2002).
- Sibikeev S.N., Baukenova E.A., Salmova M.F. Characteristic of the bread wheat leaf rust pathogen virulence in the Saratov region conditions. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;(9):40-44. [in Russian] (Сибикеев С.Н., Байкенова (Конькова) Э.А., Салмова М.Ф. Характеристика вирулентности возбудителя бурой ржавчины мягкой пшеницы в условиях Саратовской области. *Аграрный научный журнал*. 2020;(9):40-44). DOI: 10.28983/asj.y2020i9pp40-44
- Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Andreeva L.V. The study of the effects of reducing the negative influence of 1BL-1RS translocation on the bread making quality in spring bread wheat lines. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;(6):27-33. [in Russian] (Сибикеев С.Н., Дружин А.Е., Андреева Л.В. Изучение эффектов снижения отрицательного влияния 1BL-1RS транслокации на качество муки и хлеба у линий яровой мягкой пшеницы. *Аграрный научный журнал*. 2021;(6):27-33). DOI: 10.28983/asj.y2021i6pp27-33
- Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Badaeva E.D., Shishkina A.A., Dragovich A.Y., Gulyaeva E.I. et al. Comparative analysis of *Agropyron intermedium* (Host) Beauv. 6Ag¹ and 6Ag² chromosomes in bread wheat cultivars and lines with wheatgrass substitutions. *Russian Journal of Genetics*. 2017;53(3):314-324. DOI: 10.1134/S1022795417030115
- Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Gulyaeva E.I., Yankovskaya A.A. Use of durum wheat gene pool in breeding of spring bread wheat. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;(4):10-13. [in Russian] (Сибикеев С.Н., Дружин А.Е., Гуляева Е.И., Янковская А.А. Использование генпула твердой пшеницы в селекции яровой мягкой пшеницы. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020;(4):10-13). DOI: 10.31857/S250026272004002X
- Sibikeev S.N., Krupnov V.A., Voronina S.A., Elesin V.A. First report of leaf rust pathotypes virulent to highly effective *Lr*-genes transferred from *Agropyron* species to bread wheat. *Plant Breeding*. 1996;115(4):276-278. DOI:10.1111/j.1439-0523.1996.tb00917.x
- Vavilov N.I. Selected works in five volumes. Vol. 4. Problems of crop immunity (Izbrannye trudy v pyati tomakh. T. 4. Problemy immuniteta kulturnykh rasteniy). Moscow; Leningrad; 1964. [in Russian] (Вавилов Н.И. Избранные труды в пяти томах. Т. 4. Проблемы иммунитета культурных растений. Москва; Ленинград; 1964).
- Vavilov N.I. The value of interspecific and intergeneric hybridization in breeding and evolution (Znachenie mezhvidovoy i mezhdrovoy gibridizatsii v selektsii i evolyutsii). In: N.I. Vavilov. *Selected works in five volumes. Vol. 2 (N.I. Vavilov. Izbrannye trudy v pyati tomakh. T. 2)*. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1960. p.444-460. [in Russian] (Вавилов Н.И. Значение межвидовой и межродовой гибридизации в селекции и эволюции. В кн.: Н.И. Вавилов. *Избранные труды в пяти томах. Т. 2*. Москва; Ленинград: АН СССР; 1960. С.444-460).

Информация об авторах

Александр Евгеньевич Дружин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, alex_druzhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3968-2470>

Сергей Николаевич Сибикеев, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, sibikeev_sergey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8324-9765>

Елена Ивановна Гуляева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, gullena@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7948-0307>

Любовь Владимировна Андреева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, l.v.andreeva_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3631-1084>

Information about the authors

Alexander E. Druzhin, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, alex_druzhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3968-2470>

Sergey N. Sibikeev, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, sibikeev_sergey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8324-9765>

Elena I. Gulyaeva, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, gullena@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7948-0307>

Lubov B. Andreeva, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, l.v.andreeva_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3631-1084>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 09.03.2023; одобрена после рецензирования 30.05.2023; принята к публикации 04.09.2023. The article was submitted on 09.03.2023; approved after reviewing on 30.05.2023; accepted for publication on 04.09.2023.