

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 633.11:632.938
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218



Разнообразие новых российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине

Е. И. Гультияева¹, Е. Л. Шайдаюк¹, В. В. Веселова¹, Р. Е. Смирнова¹, Е. В. Зуев², А. Г. Хакимова², О. П. Митрофанова²

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия*

² *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Елена Ивановна Гультияева, eigulytyaeva@gmail.com

Актуальность. Возделывание устойчивых сортов – эффективный метод защиты пшеницы от бурой ржавчины. Цель работы – охарактеризовать ювенильную устойчивость к бурой ржавчине сортов мягкой пшеницы, включенных в Государственный реестр селекционных достижений в 2021 г., идентифицировать у них *Lr*-гены с использованием молекулярных маркеров.

Материалы и методы. Материал включал 18 сортов озимой и 9 яровой мягкой пшеницы. Устойчивость в фазе проростков оценивали с использованием двух тест-клонов (*kLr9* и *kLr19*) и краснодарской популяции *Puccinia triticina* Eriks. Молекулярные маркеры использовали для идентификации 18 *Lr*-генов.

Результаты и обсуждение. Высокий уровень устойчивости (балл 0 или 0;) показали сорта ‘Хамдан’, ‘Шарм’ и ‘Омская 44’; умеренный (балл 2, 2+) ‘Альбидум 2030’. Реакция сортов ‘Полина’, ‘Россыпь’, ‘Статус’, ‘Балкыш’ и ‘Богема’ варьировала. У изученных сортов не обнаружено ювенильных генов *Lr9*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41*, *Lr47*, *Lr66* и генов устойчивости взрослых растений – *Lr21* и *Lr35*. У высокоустойчивого сорта ‘Шарм’ маркеры идентифицируемых генов не выявлены. У ‘Хамдан’ присутствует малоэффективный ген *Lr10* и ген частичной устойчивости *Lr34*, которые не обеспечивают защиту в фазе проростков. По-видимому, эти сорта имеют дополнительные гены устойчивости. Устойчивость к бурой ржавчине сорта ‘Омская 44’ обеспечивается сочетанием генов *Lr19*, *Lr26*, *Lr1* и *Lr3*. У сорта ‘Немчиновская 85’ определен частично эффективный ген устойчивости взрослых растений *Lr37*. У других изученных сортов широко представлены гены *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr26* и *Lr34*.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, *Puccinia triticina*, *Lr*-гены, молекулярные маркеры

Благодарности: все фитопатологические и молекулярно-генетические исследования выполнены в рамках государственного задания по тематическому плану ВИЗР, проект FGEU-2022-0003 «Таксономическое, генетическое и экологическое разнообразие важнейших групп фитопатогенных грибов» (ЕГИСУ НИОКТР: 122032900152-7);

в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»; коллекция мягкой пшеницы ВИР была пополнена образцами современных отечественных сортов и в ВИЗР передан семенной материал 9 яровых и 12 озимых сортов мягкой пшеницы.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Гультияева Е.И., Шайдаюк Е.Л., Веселова В.В., Смирнова Р.Е., Зуев Е.В., Хакимова А.Г., Митрофанова О.П. Разнообразие новых российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):208-218. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218

Diversity of new Russian bread wheat cultivars according to leaf rust resistance genes

Elena I. Gulyaeva¹, Ekaterina L. Shaydayuk¹, Viktoriya V. Veselova¹, Regina E. Smirnova¹, Evgeny V. Zuev², Anida G. Khakimova², Olga P. Mitrofanova²¹All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia²N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg Russia**Corresponding author:** Elena I. Gulyaeva, eigulyaeva@gmail.com

Background. Cultivation of resistant cultivars is an effective method of wheat protection against leaf rust. The purpose of this work was to characterize the juvenile leaf rust resistance of bread wheat cultivars listed in the State Register for Selection Achievements in 2021 and identify their *Lr* genes using molecular markers.

Materials and methods. The material included 18 cultivars of winter bread wheat and nine spring ones. Juvenile resistance in the seedling phase was assessed with two test clones (*kLr9* и *kLr19*) and the Krasnodar population of *Puccinia triticina* Erikss. Molecular markers were used to identify 18 *Lr* genes.

Results and discussion. A high level of resistance (score 0 or 0;) was shown by cvs. 'Khamdan', 'Sharm' and 'Omskaya 44'; moderate resistance (score 2, 2+) by 'Albidum 2030'. Reactions of 'Polina', 'Rossyp', 'Status', 'Balkysh' and 'Bogema' were variable. The studied cultivars did not contain juvenile genes *Lr9*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr39*, *Lr47* or *Lr66* and adult plant resistance genes *Lr21* and *Lr35*. Markers of identifiable genes were not detected in cv. 'Sharm', highly resistant to leaf rust. 'Khamdan' had an ineffective *Lr10* gene and a partial resistance gene *Lr34*, which offered no protection in the seedling stage. These cultivars seem to contain additional resistance genes. A high level of resistance to leaf rust in 'Omskaya 44' is provided by a combination of the *Lr19*, *Lr26*, *Lr1* and *Lr3* genes. In 'Nemchinovskaya 85', the partially effective adult plant resistance gene *Lr37* was identified. In other tested cultivars, *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr26* and *Lr34* were widely represented.

Keywords: *Triticum aestivum*, *Puccinia triticina*, *Lr* genes, molecular markers

Acknowledgements: all phytopathological and molecular-genetic research was carried out in the framework of the state task delegated to the All-Russian Research Institute of Plant Protection (VIZR), Project FGEU-2022-0003 "Taxonomic, genetic and ecological diversity of the most important groups of phytopathogenic fungi" (registration No. 122032900152-7); within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0001 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production"; the bread wheat collection of VIR was enriched with accessions of modern domestic cultivars, and VIZR received seed materials of 9 spring and 12 winter bread wheat cultivars.

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

For citation: Gulyaeva E I., Shaydayuk E.L., Veselova V.V., Smirnova R.E., Zuev E.V., Khakimova A.G., Mitrofanova O.P. Diversity of new Russian bread wheat cultivars according to leaf rust resistance genes. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):208-218. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218

Введение

На долю пшеницы, лидера среди зерновых культур в России, приходится 35,8% в структуре посевных площадей этих культур (Medvedeva, 2021). Озимая пшеница доминирует на Севером Кавказе, в Центрально-Черноземном и Центральном регионах, а яровая – в Поволжье, Западной Сибири и на Урале (Afonin et al., 2008). Зоны возделывания культуры характеризуются высоким почвенно-климатическим разнообразием, в связи с чем требования, предъявляемые к сортам пшеницы в каждой зоне, чрезвычайно специфичны.

В современной селекции пшеницы особое внимание, наряду с улучшением основных хозяйственно ценных признаков, уделяют повышению устойчивости к вредным организмам. Разнообразию выращиваемых сортов по типам устойчивости и контролирующим ее генам лежит в основе их эффективной генетической защиты. Для поддержания генетического разнообразия сортов необходима координация в распределении источников и доноров устойчивости по региональным селекционным учреждениям, чтобы не допустить использования в гибридизации многими селекционерами сортов с идентичными генами устойчивости.

Примером такой ситуации является широкая распространенность на Южном Урале и в Западной Сибири перенесенного в яровую мягкую пшеницу от *Aegilops umbellulata* Zhuk. гена устойчивости к бурой ржавчине *Lr9*. В 1970–1980 гг. этот ген считали одним из эффективных для защиты пшеницы в России от бурой ржавчины. В середине 1990 г. в Западной Сибири был создан первый сорт 'Терция', а на Южном Урале – 'Квинта' и 'Дуэт'. Эти сорта активно использовали в селекции.

Сначала полагали, что сорт 'Терция' и созданные с его участием сорта защищены геном *Lrtr*, отличным от известных эффективных *Lr*-генов. Однако гибридологическим анализом и с помощью молекулярных маркеров было показано, что ген *Lrtr* идентичен гену *Lr9* (Турышкин et al., 2006). Это было подтверждено фитопатологическим тестом, когда в Западной Сибири появились изоляты гриба, вирулентные к образцам с геном *Lr9* (Meshkova et al., 2012). Во всех западноазиатских регионах России и в Казахстане эффективность этого гена в настоящее время утрачена (Meshkova et al., 2012; Agabayeva, Rsaliyev, 2013). В отдельные годы вирулентность к *Lr9* отмечают и в центральноевропейских регионах (Zhemchuzhina et al., 2019; Gulyaeva et al., 2021).

Известно, что бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.) – одно из распространенных и экономически значимых заболеваний пшеницы во всех сельскохозяйственных регионах России. Изменения в расовом составе популяций *P. triticina* тесно связаны с возделываемыми сортами. Информация о генетическом контроле устойчивости сортов, их распределении по регионам, позволяет оценить возможные изменения в популяционном составе патогена и скорректировать защитные мероприятия. Эти исследования традиционно проводятся во Всероссийском институте защиты растений (ВИЗР) (Novozhilov et al., 1998; Gulyaeva et al., 2014; Gulyaeva, Shaydayuk, 2021; Gulyaeva et al., 2021).

Селекция на устойчивость к бурой ржавчине имеет длительную историю. Актуальность ее проведения была обозначена еще А. А. Jaszewsky в 1910 г., который в монографии «Болезни растений» писал: «У нас, к сожалению, и теперь еще полагают, что вся наука о больных растениях заключается лишь в опрыскиваниях бордоской жид-

костью, или каким либо другим составом, после чего можно сложа руки ожидать результат: поэтому нам показалось уместным подробнее остановиться на вопросе о предрасположении растений к заболеваниям, так как мы вполне убеждены, что центр тяжести всей практической фитопатологии лежит именно в устойчивости, а всякие лечебные свойства являющиеся лишь паллиативы и вспомогательные способы борьбы» (Jaszewsky, 1910, p. 170–171). Широкое общественное обсуждение данная проблема получила на 1-ом съезде по селекции сельскохозяйственных растений, семеноводству и распространению семенного материала в Харькове в 1911 г. Именно на эти материалы ссылался Н. И. Вавилов (Vavilov, 1913) в своей монографии «К вопросу об устойчивости хлебных злаков», где выведение устойчивых сортов он выделил первостепенной задачей в защите пшеницы от ржавчины.

К настоящему времени достигнуты определенные успехи в селекции ржавчиноустойчивых сортов. В середине прошлого столетия во многих селекцентрах России в качестве источников устойчивости широко использовали 'Selkirk' (*Lr10, Lr14a, Lr16*), 'Lee' (*Lr10, Lr23*), 'Timstein' (*Lr10, Lr23*), 'Gabo' (*Lr10, Lr23*), 'Rieti' (*Lr34/Yr18/Sr57*), 'Klein 33' (*Lr13, Sr8b*), 'Neuzucht' (*Lr26, Sr31*), 'Norman' (*Lr13*), 'Sonora 64' (*Lr1*), 'Lerma Rojo' (*Lr10, Lr17*), 'Mentana' (*Lr3, Sr8a*), 'Maria Escobar' (*Lr14b, Lr17*), 'Supremo 211' (*Lr34/Yr18/Sr57*), 'Klein H-75' (*Lr13*), 'Klein Lucero' (*Lr17*), 'H-44' (*Lr14a*), 'Gabo' (*Lr10, Lr23*), 'Hope' (*Lr14a*), 'Selkirk' (*Lr14a*), 'Inia 66' (*Lr14a*), 'Kanred' (*Sr5*), 'Saunders', 'Ruby', 'Kitchener', 'Kärn II', 'Svenno' и другие образцы из коллекции ВИР. От них в российские сорта были переданы гены *Lr1, Lr3, Lr10, Lr14b, Lr17, Lr16, Lr23* и другие (Zhemchuzhina et al., 1992; McIntosh et al., 1995). В 1960–1970 гг. в гибридизацию стали активно привлекать сорта 'Аврора' и 'Кавказ' с пшенично-ржаной транслокацией, несущей гены *Lr26, Sr31, Yr9, Pm8*, и 'Безостая 1' с кластером генов частичной устойчивости (partial resistant genes) *Lr34, Sr57, Yr18, Pm38*. В 1980-х гг. в производство были внедрены первые сорта с геном *Lr23* ('Саратовская 56', 'Ершовская 32', 'Куйбышевская 1' и др.), который был передан в мягкую пшеницу от *Triticum durum* Desf. По данным I. G. Odintsova и Н. О. Peusha (1984), ген *Lr23* обеспечивает высокий уровень горизонтальной устойчивости. В этот же период в ряде селекционных учреждений России стали широко использовать доноры генов *Lr9* и *Lr19*. В 1993 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (далее – Госреестр), был включен первый сорт 'Л503' с геном *Lr19*. В середине 1990-х гг., с увеличением числа созданных сортов с этим геном и посевных площадей под ними (более 100 тыс. га), защитный эффект гена был преодолен (Markelova, 2007; Sibikeev, Krupnov, 2007).

В 2005–2010 гг. отмечался существенный прогресс в создании и внедрении в производство новых сортов озимой пшеницы. Если в 1995–2000 гг. ежегодно в Госреестр включали по 5–8 сортов озимой пшеницы, то в 2015 г. их число достигло 42 (State Register..., 2022). Обусловлено это было внедрением в ряде регионов новой сортовой политики, основанной на переходе от монопольного использования отдельных сортов к расширению их сортимента и своевременной сортосмене (Bespalova et al., 2014; Shamanin, 2012). С увеличением общего числа новых сортов росло и число сортов, устойчивых к бурой ржавчине. Так, в середине 1990-х гг. доля резистентных сортов, рекомендуемых для возделывания, была менее 4%. В 2005 г. она составила 15%. В 2006–

2011 гг. устойчивостью к бурой ржавчине характеризовались свыше 3% озимых и 25% яровых реестровых сортов, и эта динамика сохраняется по настоящее время (Gulyaeva et al., 2021; Gulyaeva, Shaydayuk, 2021).

В 2021 г. Госреестр пополнился 20 новыми сортами озимой и 13 яровой мягкой пшеницы (<https://reestr.gosortrf.ru>). Согласно представленной в нем информации, они обладают разным уровнем устойчивости к бурой ржавчине. Цель данной работы – охарактеризовать ювенильную устойчивость к бурой ржавчине сортов мягкой пшеницы, впервые включенных в Госреестр в 2021 г., и с использованием молекулярных маркеров идентифицировать у них *Lr*-гены.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили 18 сортов озимой и 9 сортов яровой мягкой пшеницы. Семенной материал данных образцов был любезно предоставлен региональными селекционными учреждениями РФ и Всероссийским институтом генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР).

Использованные два тест-клона и краснодарская популяция *P. triticina*, собранная с пораженных сортов озимой пшеницы в 2021 г., были авирулентны к линиям Thatcher (TcLr) с генами *Lr24*, *Lr23*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr39*(=41), *Lr45*, *Lr47*, *Lr51*, *Lr53* и вирулентными к *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr3a*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr10*, *Lr14a*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr20*, *Lr30*. Между собой популяция и тест-клоны различались по вирулентности к линиям TcLr9, TcLr19 и TcLr26. Тест-клон *kLr9* характеризовался вирулентностью к TcLr9, а клон *kLr19* – к TcLr19, и оба эти изолята были авирулентны к линии TcLr26. Краснодарская популяция была вирулентна к линии TcLr26 и авирулентна к TcLr9 и TcLr19.

Инокуляцию сортов пшеницы проводили по стандартной международной методике (Kolmer, 2003), адаптированной к условиям ВИЗР (Gulyaeva, Shaydayuk, 2021). Растения выращивали в сосудах с почвой. В фазе первого листа их опрыскивали суспензией спор каждого изолята и популяции в иммерсионной жидкости 3M™ Noves™ 7100. После заражения растения помещали на светоустановку с контролируемыми условиями (температура: 20°C, фотопериод: 16 ч день/8 ч ночь). Тип реакции пшеницы определяли по шкале E. V. Mains, H. S. Jackson (McIntosh et al., 1995), где: 0 – отсутствие симптомов; 0; – некрозы без пустул; 1 – очень мелкие пустулы, окруженные некрозом; 2 – пустулы среднего размера, окруженные некрозом или хлорозом; 3 – пустулы среднего размера без некроза, 4 – крупные пустулы без некроза, X – пустулы на одном и том же листе разных типов, присутствуют хлорозы и некрозы. Растения, поражение которых составляло 0–2 балла, относили к устойчивым (R), с баллами 3, 4 – к восприимчивым (S), со смешанным типом X – к умеренно восприимчивым (MS).

ДНК из листьев 5–7-дневных растений пшеницы экстрагировали по методике (Dorokhov, Cloquet, 1997). Концентрация ДНК в рабочем растворе составляла 50–100 нг/мкл. С помощью молекулярных маркеров идентифицировали следующие гены:

– высокоэффективные *Lr24* (маркер Sr24#12, Mago et al., 2005), *Lr25* (Lr25F20/R19, Procunier et al., 1995), *Lr28* (SCS421, Cherukuri et al., 2005), *Lr29* (Lr29F24, Procunier et al., 1995), *Lr41* (=Lr39) (GDM35, Brown-Guedira, Singh, <http://maswheat.ucdavis.edu>), *Lr47* (PS10, Helguera et al., 2000), *Lr66* (S13-R16, Marais et al., 2010);

– частично эффективные *Lr9* (SCS5, Gupta et al., 2005) и *Lr19* (SCS265, Gupta et al., 2006);

– гены устойчивости взрослых растений – *Lr21* (Lr21F/R, Fritz, <http://maswheat.ucdavis.edu>), *Lr34* (csLV34, Lagudah et al., 2006), *Lr35* (Sr39#22r, Mago et al., 2009) и *Lr37* (Ventriup/LN2, Helguera et al., 2003);

– малоэффективные *Lr1* (WR003 F/R, Qiu et al., 2007), *Lr3* (Xmwg798, Herrera-Foessel et al., 2007), *Lr10* (F1.2245/Lr10-6/r2, Chelkowski et al., 2003), *Lr20* (STS638, Neu et al., 2002) и *Lr26* (SCM9, Weng et al., 2007).

Полимеразную цепную реакцию проводили в амплификаторе MyCycler Thermal Cycler (BioRad, США) по протоколам, предложенным разработчиками праймеров. Амплифицированные фрагменты разделяли электрофорезом в 1,5-процентном агарозном геле в 1×TBE-буфере, гели окрашивали бромистым этидием и фотографировали в ультрафиолетовом свете.

Результаты и обсуждение

Резистентность (R) к краснодарской популяции возбудителя бурой ржавчины и тест-клонам в фазе проростков (балл 0 или 0;) показали озимые сорта 'Хамдан', 'Шарм' и яровой сорт 'Омская 44' (таблица). 'Альбидум 2030' характеризовался умеренной устойчивостью (MR, балл 2). Устойчивость к тест-клонам, но восприимчивость к краснодарской популяции проявили озимые сорта 'Полина', 'Россыпь', 'Статус' и яровой сорт 'Балкыш'. По результатам фитопатологического теста у них можно предположить наличие гена *Lr26*. Озимый сорт 'Богема' был умеренно устойчив (MR) при инокуляции тест-клоном *kLr9* и краснодарской популяцией, но восприимчив к клону *kLr19*. Все другие изученные сорта в фазе проростков характеризовались восприимчивой реакцией к тест-клонам и краснодарской популяции, что указывает на отсутствие у них высокоэффективных ювенильных генов.

Молекулярными маркерами у изученных сортов высоко- и частично эффективные ювенильные гены *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41*, *Lr47*, *Lr66*, а также гены устойчивости взрослых растений *Lr21* и *Lr35*, не обнаружены. В фазе проростков у озимых сортов 'Хамдан' и 'Шарм' известные эффективные *Lr*-гены не выявлены. У 'Хамдан' идентифицирован малоэффективный ген *Lr10* и ген частичной устойчивости *Lr34*. В полевых условиях защитный эффект этого гена проявляется по типу замедленного развития болезни. Сорт 'Хамдан' получен индивидуальным отбором из гибридной популяции от скрещивания краснодарских линий двуручек Л. 1120я16-28 и Л. 1120я16-31 с сортом 'Безенчукская 380', который характеризуется восприимчивостью к бурой ржавчине. Можно предположить, что устойчивость 'Хамдан' обусловлена какими-то другими генами (геном), переданными от линий двуручек, поскольку сочетание *Lr10* и *Lr34* не обеспечивает устойчивую реакцию в фазе проростков. Согласно характеристике, представленной в Госреестре (<https://reestr.gosortrf.ru>), сорт 'Хамдан' в полевых условиях обладает групповой устойчивостью к бурой и желтой ржавчинам, мучнистой росе, фузариозу колоса и умеренной восприимчивостью к септориозу.

У высокоустойчивого сорта 'Шарм' идентифицируемые эффективные гены не выявлены. Этот сорт, как и 'Хамдан', получен в Национальном центре зерна имени П.П. Лукьяненко с использованием оригинальных линий. Наряду с устойчивостью к бурой ржавчине, 'Шарм' харак-

Таблица 1. Характеристика сортов озимой и яровой мягкой пшеницы, впервые включенных в Государственный реестр селекционных достижений в 2021 г. по устойчивости к бурой ржавчине

Table 1. Description of winter and spring bread wheat cultivars, for the first time included in the State Register for Selection Achievements in 2021, in the context of their leaf rust resistance

Сорт	Родословная	Регионы допуска	Идентифицированные Lr-гены	Устойчивость в фазе проростков к тест-клонам*			Устойчивость в полевых условиях**
				kLr9	kLr19	пКр	
Озимая мягкая пшеница							
Альбирео	Эритроспермум (Эр.) 1010 × Эр. 118	Ц	Lr34	S	S	S	СУ
Богема	Спалах × Донская лира	СК	Lr3	MR	S	MR	СУ
Бумба	Нота × Лют. 2173 h 69	СК	Lr1, Lr3	S	S	S	СУ
Галагея	(Мироновская 29 × Инна) × Инна	Ц	Lr3	S	S	MS	СУ
Классика	Отбор из гибридной популяции от свободного опыления стерильного аналога сорта Бизон	Ц, СК, НВ	Lr10	S	S	S	СУ
Краснообская озимая	Новосибирская 3 × Омская 6	ЗС	Lr3	S	S	S	СВ
Московская 82	Soldier × Инна	ВВ, ЦЧР	Lr3	S	S	S	СВ
Немчиновская 85	Агарік × Памяти Федина	Ц, ВВ, ЦЧР	Lr3, Lr37	S	S	S	СВ
Партнер	Ермак × Сила	СК	Lr3, Lr34	MS	S	S	У
Полина	Ермак × Восторг	СК	Lr3, Lr26	MR	MR	MS	СУ
Рифей	Тарасовская остистая × Пионерская 32	У	Lr3, Lr34	S	S	S	СУ
Россыпь	Нота × Лют. 2173 h 69	СК, НВ	Lr3, Lr26	R	R	S	У
Статус	(Зерноградка 10 × Подарок Дону) × Тристан	СК, НВ	Lr10, Lr26, Lr34	R	R	S	СУ
Стиль 18	74-93к5-5 × Лавина	ЦЧР, СК, НВ	Lr3	S	MS	S	У
Тайгета	Эр. 904 × Эр. 1789	ЦЧР, СВ	Lr3, Lr34	S	S	S	СУ
Хамдан	Отбор из гибридных популяций, полученных от скрещивания краснодарских линий двуручек Л. 1120я16-28 и Л. 1120я16-31 с сортом Безенчукская 380	СК, НВ	Lr10, Lr34	R	R	R	У
Шарм	446-99к3-6 × 172-96к11-1	СК		R	R	R	У
Юбилей Дона	1638/05 × Ростовская 3	СК, НВ	Lr1, Lr3	S	S	S	СУ

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Сорт	Родословная	Регионы допуска	Идентифицированные Lr-гены	Устойчивость в фазе проростков к тест-клонам*			Устойчивость в полевых условиях**
				kLr9	kLr19	пКр	
Яровая мягкая пшеница							
Альбидум 2030	(Л-503 × Прохоровка) × Учитель	У	Lr1, Lr3	MR	MR	MR	B
Анфя	Лири 98 × Линия 58/3-01	ДВ		S	S	S	B
Балкыш	Линия 22/95 × Эпос	СВ	Lr26	R	R	S	У
Гречанка	Грекум 2131 × (Альбидум 3203 × Альбидум 3132)	НВ	Lr10	MR-MS	MR-MS	MS-S	У
КВС Джетстрим	Vapek × KWS Scirocco	ЗС	Lr1, Lr20	S	S	S	B
Маэстро	Омская 33 × Эстер	Ц	Lr3	S	S	S	-
Омская 44	Лютесценс 248/97-11 × Омская 38	ЗС, ВС	Lr1, Lr3, Lr19, Lr26	R	R	R	СУ
Саратовская 76	(Саратовская 71 × Саратовская 64) × Саратовская 68	НВ, У	Lr3, Lr10	S	S	S	СУ
Юбилейная 60	Люба × Приокская	СЗ	Lr3	S	S	S	-

Примечание: регионы Российской Федерации: СЗ – Северо-Западный, Ц – Центральный, ЦЧР – Центрально-Черноземный, ВВ – Волго-Вятский, СВ – Средневожжский, НВ – Нижневолжский, СК – Северокавказский, У – Уральский, ЗС – Западно-Сибирский, ВС – Восточно-Сибирский, ДВ – Дальневосточный;

* реакция: R – устойчивость (тип реакции 0), MR – умеренная устойчивость (баллы 1, 2 балла), MS – умеренная восприимчивость (баллы 3, X), S – восприимчивость (балл 4).

** по данным Госреестра, 2021 (<https://reestr.gossortrf.ru>): У – устойчивый, СУ – среднеустойчивый, СВ – средневосприимчивый, В – восприимчивый

Note: Regions of the Russian Federation: СЗ – Northwest, Ц – Central, ЦЧР – Central Black Earth, ВВ – Volga-Vyatka, СВ – North Caucasian, У – Ural, ЗС – West Siberian, НВ – East Siberian, ДВ – Far East;

* reaction R – resistance (score 1 or 2), MS – medium resistance (score 3 or X), S – susceptibility (score 4).

** according to the data presented in the State Register, 2021 (<https://reestr.gossortrf.ru>): У – resistant, СУ – moderately resistant, СВ – moderately susceptible, В – susceptible

теризуется устойчивостью к желтой ржавчине и мучнистой росе, а также умеренной восприимчивостью к септориозу

У сорта 'Омская 44' выявлено четыре гена: *Lr1*, *Lr3*, *Lr19* и *Lr26*. Показано, что в защите от бурой и стеблевой ржавчин эффективно сочетание генов *Lr19* и *Lr26*. По отдельности эти гены утратили эффективность, однако их пирамидирование способствует повышению уровня устойчивости к бурой ржавчине. Обусловлено это тем, что в российских популяциях *P. triticina* отсутствуют изоляты, вирулентные к обоим генам. Сочетание названных генов обнаружено также у 'Омская 37', 'Омская 38', 'Омская 41', полученных в ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». Все сорта рекомендованы для возделывания в Западной Сибири. Высокая и стабильная урожайность, толерантность к болезням и отличное качество зерна – главные составляющие их коммерческой ценности.

Для умеренно устойчивого сорта 'Альбидум 2020' выявлены малоэффективные гены *Lr1* и *Lr3*. Данный сорт получен с участием Л-503, 'Прохоровка' и 'Учитель'. Сорт 'Прохоровка' имеет гены *Lr10* и *Lr26*, Л-503 – *Lr10* и *Lr19* (Gulyaeva et al., 2021), а у 'Альбидум 2020' эти гены не выявлены. Данные молекулярного скрининга согласуются с фитопатологическим тестированием, в результате которого этот сорт показал реакцию умеренной устойчивости.

С использованием маркера SCM9 у 'Россыпь', 'Статус', 'Полина', 'Балкыш' подтверждено наличие гена *Lr26*, идентифицированного при фитопатологическом тестировании. У 'Полина' и 'Россыпь' определен также ген *Lr3*, а у 'Статус' – *Lr10* и *Lr34*. Все три сорта рекомендованы для возделывания в Северо-Кавказском регионе, поскольку они устойчивы к бурой ржавчине в полевых условиях (<https://reestr.gossortrf.ru>). Сорт 'Полина' получен с участием 'Ермак' и 'Восторг'. В проведенных ранее исследованиях у сорта 'Ермак' выявлен ген *Lr3*, а у сорта 'Восторг' – *Lr26* (Gulyaeva et al., 2021). Таким образом, сорт 'Полина' унаследовал от родительских сортов оба гена. Сорт 'Россыпь' получен с участием 'Нота' и линии Лют. 2173h69. У 'Нота' идентифицированы *Lr1* и *Lr10*, которые не унаследованы сортом 'Россыпь'. Линию Лют. 2173h69 не изучали. Сорт 'Статус' получен с участием 'Зерноградка 10', 'Подарок Дону' и 'Тристан'. Все эти сорта несут ген *Lr34*, но не имеют гена *Lr26*.

Ген *Lr34* выявлен у 'Альбирео' и, в сочетании с *Lr3*, – у 'Партнер', 'Рифей' и 'Тайгета'. Эти сорта устойчивы к бурой ржавчине в полевых условиях. Следует отметить, что ген *Lr34* находится в одном кластере с генами устойчивости к мучнистой росе (*Pm38*), стеблевой (*Sr57*) и желтой (*Yr18*) ржавчинам. Он также относится к группе генов, обеспечивающих устойчивость как качественного, так и количественного проявления; другими словами, он контролирует частичную устойчивость, или устойчивость по типу медленного развития (*slow rusting*) (McIntosh et al., 1995). Этот тип устойчивости отличается более длительным латентным периодом, уменьшенным числом пустул на единицу поверхности листа, меньшим количеством спор в пустуле и меньшим их размером. В России еще в 1980-х гг. ген утратил свою эффективность из-за широкого возделывания сортов с *Lr34*, в частности сорта 'Безостая 1'. Последующая гибридизация с 'Безостая 1' предопределила его широкое распространение в современных сортах. При этом показано, что сочетание гена *Lr34* с двумя

и более малоэффективными генами (*Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr26* и др.) способствует повышению уровня полевой устойчивости сортов – их носителей (Dakouri et al., 2013). В литературе имеются также сведения об эффективном взаимодействии *Lr34* с другими возрастными генами, например *Lr12*, *Lr13* и *Lr37*.

А. Serfling et al. (2011) показали повышенный уровень экспрессии устойчивости у немецкого сорта 'Madrid' с генами *Lr1*, *Lr13* и *Lr14*; у 'Travix' – с *Lr1*, *Lr10*, *Lr26* и *Lr37*; у 'Limes' – с *Lr1*, *Lr10*, *Lr13* и *Lr26*. Отсутствие надежных молекулярных маркеров для *Lr12*, *Lr13*, *Lr14* и других известных генов, используемых в российской селекции, не позволило провести их идентификацию у изучаемых сортов.

Среди отечественных районированных сортов сохраняется тенденция роста числа сортов с геном устойчивости взрослых растений *Lr37* (adult plant resistance gene). Он выявлен у сорта 'Немчиновская 85' в комбинации с малоэффективным геном *Lr3*. Первый сорт озимой пшеницы 'Морозко' с *Lr37* получен в Федеральном научном центре зерна имени П.П. Лукьяненко и допущен к возделыванию в Северо-Кавказском регионе в 2015 г. (<https://reestr.gossortrf.ru>). В 2017, 2019 и 2020 гг. для возделывания в этом регионе предложены новые сорта с *Lr37* – 'Сварог', 'Маркиз' и 'Гомер'. Озимый сорт 'Немчиновская 85' рекомендован для Центрального, Центрально-Черноземного и Волго-Вятского регионов, где также выращиваются яровые сорта 'Гаренда', 'Токката' и 'Одега' с этим геном. Полученная информация указывает на увеличение в районировании сортов с геном *Lr37* и на расширение территории их возделывания.

Транслокация с геном *Lr37*, находящаяся в коротком плече хромосомы 2A, передана мягкой пшенице от *Triticum ventricosum* Ces. (= *Aegilops ventricosa* Tausch). В этой транслокации также присутствуют гены устойчивости к стеблевой (*Sr38*) и желтой (*Yr17*) ржавчинам (McIntosh et al., 1995). Источником этих генов для мягкой пшеницы был образец VPM1, созданный путем скрещивания сорта 'Marne Despez' с *Ae. ventricosa* и *T. persicum*. VPM1 массово использовали в селекции пшеницы в Западной Европе, поскольку, наряду с генами устойчивости к трем ржавчинам, он имеет в хромосоме 7D эффективный ген устойчивости к церкоспореллезной корневой гнили *Pch2* и в коротком плече хромосомы 2A – ген устойчивости к злаковой цистообразующей нематоде *Cte5*.

Ген *Lr37* до 2000-х гг. был одним из высокоэффективных возрастных генов во всем мире (McIntosh et al., 1995). Вирулентность к сортам, защищенным этим геном, впервые была описана в Австралии в 2002 г. Однако уже к 2010 г. ген утратил эффективность в Западной Европе в связи с широким выращиванием сортов – его носителей (Serfling et al., 2011). Было показано, что на экспрессию данного гена влияет генетическая среда сорта-хозяина. В России эффективность гена *Lr37* варьирует по регионам. По настоящее время он остается эффективным на Северо-Западе России и на Урале. Установлено, что эффект гена *Lr37* усиливается в сочетании с частично эффективными генами (Sibikeev, Druzhin, 2015).

У новых исследованных нами российских сортов широко представлены малоэффективные гены *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr20*, *Lr26*, которые идентифицированы у них как по отдельности, так и в разных сочетаниях. Ген *Lr3* идентифицирован у 63% сортов, *Lr10* и *Lr26* – у 18%, *Lr1* – у 15% и *Lr20* – у 4%.

Заключение

Изучена ювенильная устойчивость и встречаемость *Lr*-генов у новых российских сортов озимой и яровой мягкой пшеницы, пополнивших Госреестр РФ в 2021 г. Молекулярными маркерами у них не обнаружены высоко- и частично эффективные ювенильные гены *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41*, *Lr47*, *Lr66* и гены устойчивости взрослых растений *Lr21*, *Lr35*, однако в разной степени представлены малоэффективные гены *Lr1*, *Lr10*, *Lr20*, *Lr26* и гены устойчивости взрослых растений *Lr34* и *Lr37*. Эти гены встречались у сортов как по отдельности, так и в разных комбинациях. Данные о встречаемости *Lr*-генов у новых сортов согласуются с полученными нами ранее результатами (Gulyaeva et al., 2021).

Сохраняется тенденция увеличения в России числа сортов озимой мягкой пшеницы с полевой устойчивостью к бурой ржавчине. Молекулярный анализ показал отсутствие у них высоко- и частично эффективных *Lr*-генов устойчивости, при этом широко был представлен ген *Lr34* в разных комбинациях с малоэффективными ювенильными генами *Lr3*, *Lr10* и *Lr26*. Возделывание сортов с полевой устойчивостью позволит стабилизировать популяции патогена путем снижения его репродуктивной способности, но не полной элиминации. Кроме того, в центральных регионах России отмечается появление в районировании озимых сортов с геном устойчивости взрослых растений *Lr37*.

Что касается сортимента яровой мягкой пшеницы, то в нем увеличивается число сортов, для которых использована стратегия пирамидирования генов, утративших по отдельности свою эффективность. К числу таких сортов относится 'Омская 44' с генами *Lr1*, *Lr3*, *Lr19* и *Lr26*.

References / Литература

- Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. (eds). Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds [Online]. 2008. [in Russian] (Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения / под ред. А.Н. Афонина, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролова. [Интернет-версия 2.0]. 2008). URL: <http://www.agroatlas.ru> [дата обращения: 18.05.2022].
- Agabayeva A.Ch., Rsaliyev Sh.S. Pathogenic characteristics of wheat leaf rust pathogen (*Puccinia triticiana* Erikss.) in Kazakhstan. *News of Kazakhstan Science*. 2013;1. [in Russian] (Арабаева А.Ч., Рсалиев Ш.С. Патогенные свойства возбудителя листовой ржавчины пшеницы (*Puccinia triticiana* Erikss.) в Казахстане. *Новости науки Казахстана*. 2013;1). URL: <http://www.vestnik.nauka.kz/kz/selskoe-i-lesnoe-kozyajstvo/patogennye-svoystva-vozbuditelya-listovoj-rzhavchiny-pshenicy-puccinia-triticiana-eriks-v-kazahstane.php> [дата обращения: 20.05.2022].
- Bespalova L.A., Kudryashov I.N., Aulov A.N., Ponomarev D.A., Komanov E.A. Varietal structures – system factor of intensification of selection and production of wheat. *Zemledelie = Agriculture*. 2014;(5):41-43. [in Russian] (Беспалова Л.А., Кудряшов И.Н., Аулов А.Н., Пономарев Д.А., Команов Е.А. Сортвые структуры – системный фактор интенсификации селекции и производства зерна пшеницы. *Земледелие*. 2014;(5):41-43).
- Brown-Guedira G., Singh S. . Mas Wheat. Marker Assisted Selection in Wheat.Leaf rust resistance gene *Lr39*: [site]. Available from: <https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr39> [accessed on Mar. 22, 2022].
- Chelkowski J., Golka L., Stepien L. Application of STS markers for leaf rust resistance genes in near-isogenic lines of spring wheat cv. Thatcher. *Journal of Applied Genetics*. 2003;44(3):323-338.
- Cherukuri D.P., Gupta S.K., Charpe A., Koul S., Prabhu K.V., Singh R.B. et al. Molecular mapping of *Aegilops speltoides* derived leaf rust resistance gene *Lr28* in wheat. *Euphytica*. 2005;143(1):19-26. DOI: 10.1007/s10681-005-1680-6
- Dakouri A., McCallum B.D., Radovanovic N., Cloutier S. Molecular and phenotypic characterization of seedling and adult plant leaf rust resistance in a world wheat collection. *Molecular Breeding*. 2013;32(3):663-677. DOI: 10.1007/s11032-013-9899-8
- Dorokhov D.B., Klocke E. A rapid and economic technique for RAPD analysis of plant genomes. *Russian Journal of Genetics*. 1997;33(4):358-365. [in Russian] (Дорохов Д.Б., Клоке Э. Быстрая и экономичная технология RAPD анализа растительных геномов. *Генетика*. 1997;33(4):443-450).
- Fritz A. Mas Wheat. Marker Assisted Selection in Wheat. Leaf rust resistance gene *Lr21*: [site]. Available from: <http://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr21> [accessed on Mar. 22, 2022].
- Gulyaeva E.I., Sadovaya A.S., Shaydayuk E.L. Molecular-genetic screening of modern Russian common wheat varieties for leaf rust resistance. *Plant Protection News*. 2014;(1):26-29. [in Russian] (Гультяева Е.И., Садовая А.С., Шайдаюк Е.Л. Молекулярно-генетический скрининг новых российских сортов мягкой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине *Вестник защиты растений*. 2014;(1):26-29).
- Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L. Identification of leaf rust resistance genes in the new Russian varieties of common wheat. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(2):15-27. [in Russian] (Гультяева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(2):15-27). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-02
- Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Gannibal Ph.B. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations. *Agriculture*. 2021;11(4):319. DOI: 10.3390/agriculture11040319
- Gupta S.K., Charpe A., Koul S., Prabhu K.V., Haq Q.M.R. Development and validation of molecular markers linked to an *Aegilops umbellulata*-derived leaf-rust-resistance gene, *Lr9*, for marker-assisted selection in bread wheat. *Genome*. 2005;48(5):823-830. DOI: 10.1139/g05-051
- Gupta S.K., Charpe A., Prabhu K.W., Haque Q.M.R. Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene *Lr19* in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006;113(6):1027-1036. DOI: 10.1007/s00122-006-0362-7
- Helguera M., Khan I.A., Dubcovsky J. Development of PCR markers for wheat leaf rust resistance gene *Lr47*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2000;100:625-631. DOI: 10.1007/s001220051524
- Helguera M., Khan I.A., Kolmer J., Lijavetzky D., Zhong-qi L., Dubcovsky J. 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;43(5):1839-1847. DOI: 10.2135/cropsci2003.1839
- Herrera-Foessel S., Singh R.P., Huerta-Espino J., William M., Rosewarne G., Djurle A. et al. Identification and mapping

- of *Lr3* and a linked leaf rust resistance gene in durum wheat. *Crop Science*. 2007;47(4):1459-1466. DOI: 10.2135/cropsci2006.10.0663
- Jaczewsky A.A. Plant diseases (phytopathology) [Bolezni rasteniy [fitopatologiya]]. St. Petersburg: Author's edition; 1910. [in Russian] [Ячевский А.А. Болезни растений (фитопатология). Санкт-Петербург: Издание автора; 1910].
- Kolmer J.A. Postulation of leaf rust resistance genes in selected soft red winter wheats. *Crop Science*. 2003;43(4):1266-1274. DOI: 10.2135/cropsci2003.1266
- Lagudah E.S., McFadden H., Singh R.P., Huerta-Espino J., Bariana H.S., Spielmeier W. Molecular genetic characterization of the *Lr34/Yr18* slow rusting resistance gene region in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006;114(1):21-30. DOI: 10.1007/s00122-006-0406-z
- Mago R., Bariana H.S., Dundas I.S., Spielmeier W., Lawrence G.J., Pryor A.J., et al. Development of PCR markers for the selection of wheat stem rust resistance genes *Sr24* and *Sr26* in diverse wheat germplasm. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;111(3):496-504. DOI: 10.1007/s00122-005-2039-z
- Mago R., Zhang P., Bariana H.S., Verlin U.K., Ellis J.G., Dundas I.S. Development of wheat lines carrying stem rust resistance gene *Sr39* with reduced *Aegilops speltoides* chromatin and simple PCR markers for marker-assisted selection. *Theoretical and Applied Genetics*. 2009;119(8):1441-50. DOI: 10.1007/s00122-009-1146-7
- Marais G.F., Bekker T.A., Eksteen A., McCallum B., Fetch T., Marais A.S. Attempts to remove gametocidal genes co-transferred to common wheat with rust resistance from *Aegilops speltoides*. *Euphytica*. 2010;171(1):71-85. DOI: 10.1007/s10681-009-9996-2
- 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). No. 4-6. *AgroXXI*; 2007. [in Russian] [Маркелова Т.С. Изучение структуры и изменчивости популяции бурой ржавчины пшеницы в Поволжье. № 4-6. АгроXXI; 2007]. URL: <https://www.agroxxi.ru/journal/20070406/20070406018.pdf> [дата обращения: 27.05.2022].
- McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat rusts: an atlas of resistance genes. Dordrecht: Kluwer; 1995.
- Medvedeva A. Grain production in Russia 2020: Crop area structure and yields (Proizvodstvo zerna v Rossii 2020: struktura posevnykh ploshchadey i urozhaynost). *AgroXXI*; 2021. [in Russian] [Медведева А. Производство зерна в России 2020: структура посевных площадей и урожайность. АгроXXI; 2021]. URL: <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskohozaistvennyh-tovarov/proizvodstvo-zerna-v-rossii-2020-struktura-posevnyh-ploshchadei-i-urozhaynost.html> [дата обращения: 22.03.2022].
- Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Korenyuk E.A., Belan I.A. Dynamics of distribution of the wheat leaf rust pathotypes virulent to the cultivars with *Lr9* gene in Omsk region. *Mycology and Phytopathology*. 2012;46(6):397-400. [in Russian] [Мешкова Л.В., Росеева Л.П., Коренюк Е.А., Белан И.А. Динамика распространения патотипа возбудителя бурой ржавчины, вирулентного к сортам пшеницы с геном *Lr9* в Омской области. Микология и фитопатология. 2012;46(6):397-400].
- Neu C., Stein N., Keller B. Genetic mapping of the *Lr20-Pm1* resistance locus reveals suppressed recombination on chromosome arm 7AL in hexaploid wheat. *Genome*. 2002;45(4):737-744. DOI: 10.1139/g02-040
- Novozhilov K.V., Levitin M.M., Mikhailova L.A., Gulyaeva E.I. Principles of using source material in wheat breeding for resistance to leaf rust (Printsipy ispolzovaniya iskhodnogo materiala v selektsii pshenitsy na ustoychivost k buroy rzhavchine). *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 1998;(1):61-64. [in Russian] [Новожилов К.В., Левитин М.М., Михайлова Л.А., Гульятеева Е.И. Принципы использования исходного материала в селекции пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 1998;(1):61-64].
- 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. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1984;85:13-19. [in Russian] [Одинцова И.Г., Пеуша Х.О. О сложности локуса *Lr23*, контролирующего устойчивость пшеницы к бурой ржавчине. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1984;85:13-19].
- Procunier J.D., Townley-Smith T.F., Fox S., Prashar S., Gray M., Kim W.K. et al. PCR-based RAPD/DGGE markers linked to leaf rust resistance genes *Lr29* and *Lr25* in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Genetics and Breeding*. 1995;49(1):87-92.
- Qiu J.W., Schürch A.C., Yahiaoui N., Dong L.L., Fan H.J., Zhang Z.J. et al. Physical mapping and identification of a candidate for the leaf rust resistance gene *Lr1* of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2007;115(2):159-168. DOI: 10.1007/s00122-007-0551-z
- Serfling A., Krämer I., Lind V., Schliephake E., Ordon F. Diagnostic value of molecular markers for *Lr* genes and characterization of leaf rust resistance of German winter wheat cultivars with regard to the stability of vertical resistance. *European Journal of Plant Pathology*. 2011;130:559-575. DOI: 10.1007/s10658-011-9778-2
- Shamanin V.P., Pototskaya I.V., Trushchenko A.Yu., Chursin A.S., Kuzmina S.P., Krotova L.A. Expanding the genetic diversity of the spring wheat gene pool (Rasshireniye geneticheskogo raznoobraziya genofonda yarovoy pshenitsy). *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2012;5(91):13-16. [in Russian] [Шаманин В.П., Потоцкая И.В., Трущенко А.Ю., Чурсин А.С., Кузьмина С.П., Кротова Л.А. Расширение генетического разнообразия генофонда яровой пшеницы. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012;5(91):13-16].
- Sibikeev S.N., Druzhin A.E. Prebreeding research of near-isogenic lines of spring bread wheat with a combination of translocations from *Agropyron elongatum* (Host.) P.B. and *Aegilops ventricosa* Tausch. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(3):310-315. [in Russian] [Сибикеев С.Н., Дружин А.Е. Пребридинговые исследования почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы с комбинацией транслокаций от *Agropyron elongatum* (Host.) P.B. и *Aegilops ventricosa* Tausch. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015;19(3):310-315]. DOI: 10.18699/VJ15.040
- Sibikeev S.N., Krupnov V.A. Evolution of leaf rust and protection from it in the Volga region (Evolutsiya listovoy rzhavchiny i zashchita ot neye pshenitsy v Povolzh'ye). *The Bulletin of Saratov State Agrarian University in honor of N.I. Vavilov*. 2007;S(special edition):92-94. [in Russian] [Сибикеев С.Н., Крупнов В.А. Эволюция листовой ржавчины и защита от нее пшеницы в Поволжье. Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2007;S(специвыпуск):92-94].

- State Register for Selection Achievements. State Variety Commission: [site]. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений. Госсортокмиссия: [site], URL: <https://reestr.gossortrf.ru> [дата обращения: 06.04.2022].
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2022. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2022). URL: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/06/Реестр%20на%20допуск%202022.pdf> [дата обращения: 06.04.2022].
- Tyryshkin L.G., Gulyaeva E.I., Alpat'eva N.V., Kramer I. Identification of effective leaf-rust resistance genes in wheat (*Triticum aestivum*) using STS markers. *Russian Journal of Genetics*. 2006;42(6):662-666. [in Russian] (Тырышкин Л.Г., Гультьева Е.И., Алпат'ева Н.В., Крамер И. Идентификация эффективных генов устойчивости пшеницы *Triticum aestivum* L. к бурой ржавчине с помощью STS-маркеров. *Генетика*. 2006;42(6):812-817). DOI: 10.1134/S1022795406060111
- Vavilov N.I. Materials on the issue of resistance of cereals against parasitic fungi (Materialy k voprosu ob ustoychivosti khlebnnykh zlakov protiv paraziticheskikh gribov). *Trudy selektsionnoy stantsii pri Moskovskom selskokho-*
- zyaystvennom institute = Proceedings of the Breeding Station at the Moscow Agricultural Institute*. 1913;(1):1-110. [in Russian] (Вавилов Н.И. Материалы к вопросу об устойчивости хлебных злаков против паразитических грибов. *Труды селекционной станции при Московском сельскохозяйственном институте*. 1913;(1):1-110).
- 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;126(5):482-486. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2007.01331.x
- Zhemchuzhina A.I., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina N.S., Belyakova S.V. Virulence of *Puccinia triticina* Erikss. population in non-chernozem area of Russia. *Agrarian Science*. 2019;1:137-141. [in Russian] (Жемчужина А.И., Киселева М.И., Жемчужина Н.С., Белякова С.В. Вирулентность популяций *Puccinia triticina* Erikss. в нечерноземной полосе России. *Аграрная наука*. 2019; 1:137-141). DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-137-141
- Zhemchuzhina A.I., Nazarova L.N., Dymchenko A.M. Leaf rust resistance in winter wheat varieties (Ustoychivost sortov ozimoy pshenitsy k buroy rzhavchine). *Selektsiya i semenovodstvo = Breeding and Seed Production*. 1992;(1):6-11. [in Russian] (Жемчужина А.И. Назарова Л.Н., Дымченко А.М. Устойчивость сортов озимой пшеницы к бурой ржавчине. *Селекция и семеноводство*. 1992;(1):6-11).

Информация об авторах

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

Екатерина Львовна Шайдаюк, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, eshaydayuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-6272>

Виктория Владимировна Веселова, бакалавр ЛГУ им. А.С. Пушкина, лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, vika-veselova-2015@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7961-4627>

Регина Евгеньевна Смирнова, бакалавр ЛГУ им. Пушкина, лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, regina.smirnova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3119-3453>

Евгений Валерьевич Зуев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

Анида Галиевна Хакимова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, a.hakimova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0481-8462>

Ольга Павловна Митрофанова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.mitrofanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9171-2964>

Information about the authors

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

Ekatерina L. Shaydayuk, Cand. Sci. (Biology) Associate Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, eshaydayuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-6272>

Viktoriya V. Veselova, Bachelor of the Pushkin Leningrad State University, Laboratory Research Assistant, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, vika-veselova-2015@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7961-4627>

Regina E. Smirnova, Bachelor of the Pushkin Leningrad State University, Laboratory Research Assistant, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, regina.smirnova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3119-3453>

Evgeny V. Zuev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

Anida G. Khakimova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, a.hakimova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0481-8462>

Olga P. Mitrofanova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.mitrofanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9171-2964>

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 07.07.2022; одобрена после рецензирования 29.08.2022; принята к публикации 01.12.2022.
The article was submitted on 07.07.2022; approved after reviewing on 29.08.2022; accepted for publication on 01.12.2022.