

УДК 633.111 : 631.527 : 575.22

ПЕРСПЕКТИВЫ СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К БУРОЙ РЖАВЧИНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ

© 2022 Д.О. Долженко, П.Н. Мальчиков, А.А. Зуева, А.И. Менибаев, Н.Э. Бугакова

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова,
п.г.т. Безенчук, Россия

Статья поступила в редакцию 15.06.2022

Буряя листовая ржавчина – вредоносное заболевание пшеницы, эпифитотии которого приводят к серьёзным потерям урожая зерна. В Поволжье сильные эпифитотии листовой ржавчины наблюдаются раз в 3–4 года. Несмотря на многочисленные достижения селекции, многие современные сорта пшеницы в Российской Федерации неустойчивы к листовой ржавчине. Исследования новейшего сортимента мягкой пшеницы, проведённые российскими исследователями, показывают, что генотип 93 % изученных сортов содержит Lr-гены по отдельности или в разных сочетаниях, при этом широко представлен ген Lr34 в комбинациях с малоэффективными ювенильными генами Lr3, Lr10 и Lr26, что обеспечивает приемлемый уровень полевой устойчивости к листовой ржавчине. Селекцию на иммунитет затрудняет постоянная смена расового состава патогена, протекающая сопряжённо с внедрением селекционерами в генотип пшеницы высокоэкспрессивных генов вертикальной устойчивости. Приоритетным направлением в селекции является использование «полевой» или длительной устойчивости. Имеются предположения о том, что такой тип устойчивости обусловлен аддитивными эффектами нескольких генов, обуславливающих эффекты возрастной устойчивости и «медленного ржавления». Создание сортов, обладающих «пирамидами» генов, позволит получить долговременный эффект устойчивости. Однако использование классических методов гибридологического анализа и фитопатологических тестов для пирамидирования генов требует больших затрат времени и труда и не всегда эффективно. Маркер-вспомогательная селекция позволяет легко идентифицировать нужные аллели как в исходном материале, так и в селекционных линиях, что делает её незаменимым инструментом в селекции на иммунитет. Использование молекулярных маркеров позволяет быстро и успешно создавать сорта с несколькими генами устойчивости, если имеются доноры генов устойчивости и специфичные молекулярные маркеры этих генов. В селекционной программе по озимой мягкой пшенице в Самарском НИИСХ используются доноры генов Lr3, Lr9, Lr10, Lr26, Lr34, Lr39(41) и других, а также замещённой хромосомы пырея промежуточного 6Ag12, непосредственным донором которой являются сорта яровой мягкой пшеницы Тулайковская 10 и Тулайковская золотистая. В результате гибридизации и последующего индивидуального отбора в Самарском НИИСХ создан перспективный селекционный материал озимой мягкой пшеницы для дальнейшей идентификации ценных генотипов, содержащих гены устойчивости к листовой ржавчине и хромосому 6Ag12, с использованием молекулярных маркеров.

Ключевые слова: пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.), листовая ржавчина (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici* Erikss.), молекулярные маркеры, маркер-вспомогательная селекция, Lr-гены, пирамиды генов

DOI: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-44-50

ВВЕДЕНИЕ

Среднее Поволжье относится к регионам Российской Федерации с высоким уровнем производства зерна мягкой пшеницы (озимой

Долженко Дмитрий Олегович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы.

E-mail: ddolzhenko75@yandex.ru

Мальчиков Пётр Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции твёрдой пшеницы. E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Зуева Анастасия Александровна, научный сотрудник лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы.

E-mail: a.zueva3004@yandex.ru

Менибаев Асхат Исмаилович, научный сотрудник лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы.

E-mail: ashat.men82@mail.ru

Бугакова Надежда Эдуардовна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы.

E-mail: bugakova1987@yandex.ru

и яровой) – валовый сбор составляет 7–9 млн. тонн в год. Значительный вклад в этот процесс вносят особенности возделываемых здесь сортов. Эффективность использования сорта зависит, как от способности окупать вложения в технологию возделывания, так и от его приспособленности к лимитирующим факторам среды [1]. Одним из основных лимитирующих продукционный процесс пшеницы факторов в Поволжье является грибное заболевание растений листовой ржавчиной (возбудитель *Puccinia triticina* f. sp. *tritici* Erikss.). Потери от этого заболевания в годы эпифитотий достаточно большие [2]. В Поволжье листовая ржавчина в той или иной степени поражает растения пшеницы ежегодно, сильные эпифитотии по данным ряда исследователей отмечаются каждые четыре года [3], или каждые три года [4]. Несмотря на значительное количество сортов озимой (53) и яровой пшеницы (47), включенных в реестр охраняемых се-

лекционных достижений по Средневолжскому региону [5], многие из них неустойчивы к листовой ржавчине [2, 6].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ УСТОЙЧИВОСТИ

Селекция с привлечением различных генов устойчивости в регионе ведется на протяжении длительного периода [7, 4], но в связи с тем, что эпифитотии ржавчины сопровождаются сменой расового состава патогена, эффективные гены теряют устойчивость, и вредоносность ржавчины восстанавливается. По данным А. А. Вьюшкова и др. [8], за 40 лет наблюдений сменилось пять сортов-стандартов и произошло пять смен расового состава. Смена расового состава сопровождалась потерей устойчивости генами Lr3 (1964 г.) и Lr26 (транслокация 1BL/1RS – потеря устойчивости на Северном Кавказе в 1973 г. сортов озимой пшеницы Аврора и Кавказ), накоплением к 1983 году в популяции листовой ржавчины вирулентных аллелей Pp10 и Pp14a и потерей устойчивости генов Lr10 и Lr14a (сорта Саратовская 46 и Кутулукская), появлением и быстрым накоплением вирулентного клона Pp23, поражающего сорта с геном Lr23 (1990 г.), появление (2000 г.) и максимальным накоплением (2005 г.) аллеля Pp19, вирулентного к гену Lr19. Этот результат селекции пшеницы на устойчивость к листовой ржавчине является следствием реализации сценария создания устойчивых сортов с использованием высокоэкспрессивных генов вертикальной устойчивости [9, 10].

В связи с этим во многих селекционных центрах приоритетным направлением является использование «полевой» или длительной устойчивости, которую успешно используют в селекции озимой и яровой мягкой пшеницы [11, 12]. Тип полевой или горизонтальной устойчивости, называемой также расонеспецифической, *slow rusting* (медленное ржавление), *adult plant resistance* (возрастная устойчивость), *partial resistance* (частичная устойчивость) обеспечивает приемлемую устойчивость к патогену независимо от расового состава популяции возбудителя заболевания. В ряде публикаций высказано предположение о том, что горизонтальная устойчивость является замаскированной или скрытой вертикальной, или кумулятивной вертикальной устойчивостью. Это может быть связано с функционированием преодоленных генов вертикальной устойчивости [13]. На функционирование у сортов Экада 70 и Симбирцит преодоленных генов Lr34 и Lr48 указано в работе В.В. Сюкова [4].

Аналогичные данные по генетической основе расонеспецифической устойчивости получены зарубежными исследователями. В

частности южноамериканский сорт *Frontana* считается одним из лучших источников длительной (стойкой) устойчивости к листовой ржавчине [14]. Генетический анализ этого сорта и различных сортов пшеницы CIMMYT, обладающих превосходной частичной устойчивостью к листовой ржавчине во всем мире, показал, что такая устойчивость взрослого растения основана на аддитивном взаимодействии Lr34 и двух или трех дополнительных генов медленного ржавления [15]. В Мексике тяжесть поражения листовой ржавчиной большинства сортов может быть связана с количеством генов медленного ржавления. В условиях эпифитотий, когда универсально восприимчивые сорта поражаются полностью (100 % покрытие пустулами пластинки листа), сорта с одним геном Lr34 поражаются на 40 %, степень поражения сорта защищенного Lr34 и одним или двумя дополнительными второстепенными генами составляет 10–15 %, сорта с двумя или тремя дополнительными к Lr34 генами поражаются со степенью 1–5 % [16]. В CIMMYT разработана программа по селекции устойчивых сортов на основе аддитивных минорных генов, которая включает отбор родителей с эффектом медленного ржавления и создание гибридных популяций от гибридизации этих родителей с сортами имеющими разные наборы аддитивных генов, или если такой информации о генах нет, для скрещивания отбираются родители разного происхождения или разных родословных [17]. Отбор и изучение полученного селекционного материала в различных мегазонах мира позволяет идентифицировать комплексы аддитивных генов, проявляющих устойчивость к различным, сложным по генам вирулентности популяциям патогенов. Авторы полагают, что некоторые из этих комплексов аддитивных генов могут обеспечить долговременную устойчивость сортов при коммерческом использовании.

Таким образом наряду с поиском и использованием «сильных» генов расонеспецифической устойчивости, перспективным, для создания устойчивых к ржавчине сортов, следует считать использование эффекта нерасонеспецифической устойчивости на основе минорных генов и применения технологии пирамидирования, как преодоленных патогеном генов устойчивости, так и эффективных на момент начала селекционной работы. Создание таких сортов позволит получить долговременный эффект устойчивости, что стабилизирует фитосанитарную ситуацию в растениеводстве. Реализовать подобные программы на основе классических методов гибридологического анализа и фитопатологических тестов сложно и требует больших затрат времени и труда селекционеров, генетиков и фитопатологов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДНК МАРКЕРОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ УСТОЙЧИВЫХ К ЛИСТОВОЙ РЖАВЧИНЕ ГЕНОТИПОВ ПШЕНИЦЫ

Значительно повысить эффективность селекционной работы позволяет использование молекулярных маркеров тесно сцепленных с локусами, детерминирующими агрономически важные признаки у многих культур. [18, 19, 20]. По мягкой пшенице (*Triticum aestivum* L.) использование методов маркер-вспомогательной селекции успешно реализовано по ряду признаков, например, скороспелости [21], высоты растений [22, 23], повышения качества зерна [22, 24], устойчивости к листовстемельным заболеваниям [25, 26, 27]. Маркер-вспомогательная селекция позволяет легко идентифицировать нужные аллели как в исходном материале, так и в селекционных линиях, отобранных из расщепляющихся популяций, что делает её незаменимым инструментом в селекции мягкой пшеницы на иммунитет. Использование молекулярных маркеров позволяет быстро и успешно создавать сорта с несколькими генами устойчивости, если имеются доноры генов устойчивости и специфичные молекулярные маркеры этих генов [28].

Эти технологии широко применяются в ведущих селекционно-исследовательских центрах мира. Стратегия формирования пирамиды генов устойчивости к ржавчине в СИММУТ предусматривает широкое использование молекулярных маркеров. В связи с этим разработана программа улучшения мягкой пшеницы целенаправленного формирования устойчивой к ржавчине зародышевой плазмы с помощью MAS (маркер-вспомогательная селекция) или МАВС (использование молекулярных маркеров при беккроссировании), начиная с исходного материала ранних гибридных популяций. Предполагается, что новые элитные линии, которые будут нести определенное множество генов устойчивости, могут быть эффективно использованы в качестве родителей-источников длительной резистентности в будущем. Для генной интрогрессии и образования пирамиды существует несколько расоспецифичных генов-кандидатов, которые эффективны против большинства трех рас ржавчины, включая Ug99, которые уже доступны в зародышевой плазме СИММУТ. В частности комплекс генов Lr67/Yr46/Sr55, Sr33 и Sr35, планируется ввести в зародышевую плазму СИММУТ с использованием диагностических и/или генных маркеров. При этом ожидается такой же эффект, который был получен при пирамидировании неспецифически генов медленного ржавления (APR и др.), такие как Lr34/Yr18/Sr57/Pm38, Lr46/Yr29/Sr58/Pm39, Lr67/Yr46/Sr55/Pm46 и Lr27/Yr30/Sr2 с эффектом длительной устойчивости в зародышевой плаз-

ме СИММУТ. Эти выдающиеся гены APR медленного ржавления можно эффективно использовать для комбинирования друг с другом, а также с расоспецифичными генами с помощью подходов MAS. Предполагается, что повышение и укрепление разнообразия устойчивости в гермоплазме пшеницы СИММУТ с помощью множественной пирамиды генов обеспечит лучшую основу для будущих инструментов и подходов к селекции, включая технологии геномной селекцию [29].

В настоящее время из 79 каталогизированных на данный момент Lr-генов [30] в селекционном процессе по улучшению мягкой пшеницей используются около 20.

По данным Е.И. Гуляевой и Е.Л. Шайдаюк [31], исследовавших наличие 18 Lr-генов в генотипе 68 отечественных сортов мягкой пшеницы, у 93% изученного сортимента содержались Lr-гены по отдельности или в разных сочетаниях: высоко и частично эффективные Lr24, Lr9 и Lr19; гены устойчивости взрослых растений Lr34 и Lr37; малоэффективные Lr1, Lr3, Lr10, Lr20 и Lr26.

Исследование новейшего сортимента озимой мягкой пшеницы показывает, что в их генотипе нет высоко- и частично эффективных Lr-генов, однако широко представлен ген Lr34 в комбинациях с малоэффективными ювенильными генами Lr3, Lr10 и Lr26, что обеспечивает приемлемый уровень полевой устойчивости к заболеванию [32].

В сортах Самарского НИИСХ доказано присутствие гена возрастной устойчивости Lr34 в сортах Базис и Альтернатива и Lr1, Lr3 и Lr34 в генотипе сорта Вьюга [31]. Ген Lr34 утратил свою эффективность в России в 1980-х годах, но способен обеспечивать аддитивный эффект в сочетании с другими Lr-генами. В Самарском НИИСХ в гибридизацию привлекали сорта-источники генов устойчивости к листовой ржавчине: Воета, Базис (Lr34), k-62399 Century (Lr10, Lr24, Lr27), KS 91 WGRC-11 (Lr21, Lr24, Lr41, Lr42), KS 92 WGRC-16 (Lr9, Lr41, Lr37, Lr39), k-62371 Siouxlанд 89 (Lr3a, Lr10, Lr24, Lr26), T136//T812*2/Karl (Lr9, Lr41), Виктория одесская (Lr10, Lr18, Lr34), Фантазия одесская (Lr30, Lr34) и другие [33]. Присутствие данных генов следует ожидать в селекционном материале, полученном с их участием и проявляющем частичную или полную устойчивость к листовой ржавчине в полевых условиях.

Кроме того, в последние годы проводится работа по созданию селекционного материала озимой мягкой пшеницы с интрогрессированной 6-й хромосомой от пырея промежуточного, включающей в том числе высокоэффективные гены устойчивости к листовой ржавчине, мучнистой росе, а также обеспечивающей повышенное накопление белка в зерне и высокое хлебопекарное качество [34, 8]. Подобные ис-

следования, проведённые в Самарском НИИСХ с яровой пшеницей, привели к созданию сортов сильной пшеницы, устойчивой к комплексу листовых заболеваний: Тулайковская 5, Тулайковская 10, Тулайковская 108, Тулайковская золотистая [8, 35, 36, 37].

В качестве донора хромосомы пырея промежуточного 6Agi2 для переноса её в геном озимой мягкой пшеницы в Самарском НИИСХ использовали яровые сорта Тулайковская 10 и Тулайковская золотистая. В настоящее время получены гибридные популяции и селекционные линии с их участием.

Проведены также скрещивания озимых сортов с разными Lr-генами для их пирамидирования. Данная работа оказалась эффективна на яровой мягкой пшенице, в Самарском НИИСХ созданы селекционные линии яровой мягкой пшеницы, соержащие в генотипе идентифицированные пирамиды 6Agi2+Lr9, 6Agi2+Lr19, 6Agi2+Lr26, 6Agi2+Lr19+Lr26. В 2022 г. начата аналогичная работа с озимой мягкой пшеницей. Отобраны селекционные линии, с предположительным наличием хромосомы пырея промежуточного 6Agi2, генов Lr9, Lr26, Lr34. Подобраны молекулярные маркеры для идентификации целевых генов.

ВЫВОДЫ

Использование молекулярных маркеров в селекции озимой мягкой пшеницы на устойчивость к бурой листовой ржавчине позволит ускорить селекционный процесс, создавать новые генотипы с желательными целевыми генами устойчивости.

Наиболее перспективными направлениями селекции создание сортов с замещённой 6-й хромосомой от пырея промежуточного, что позволит улучшить как устойчивость к комплексу листовых болезней, так и качество зерна, а также объединение в одном генотипе хромосомы 6Agi2 и одного или нескольких Lr-генов.

В Самарском НИИСХ создан перспективный селекционный материал озимой мягкой пшеницы для дальнейшей идентификации ценных генотипов с использованием молекулярных маркеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романенко, А.А. Новая сортовая политика и сортовая агротехника озимой пшеницы / А.А. Романенко, Л.А. Беспалова, И.Н. Кудряшов, И.Б. Аблова. – Краснодар, 2005. – 224 с.
2. Gultyaeva, E.I. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations. / E.I. Gultyaeva, E.L. Shaydayuk, P.B. Gannibal // Agriculture. – 2021. Vol. 11. – No 4. – 319.
3. Gultyaeva, E.I. Enlargement of genetic diversity of spring bread wheat resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Erics.) in Lower Volga region / E.I. Gultyaeva, S.N. Sibikeev, A.E. Druzhin, E.L. Shaydayuk // Selskokhozyaystvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. – 2020. – Vol. 55. – No. 1. – Pp. 27-44.
4. Сюков, В.В. Листовая бурая ржавчина: фитопатологические и селекционно-генетические аспекты. / В.В. Сюков. – Казань: Изд-во «Бук», 2016. – 128 с.
5. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 646 с.
6. Sibikeev, S.N. The effect of the 7DL-7Ae#1L-7Ae#1S translocation on the productivity and quality of spring bread wheat grain / S.N. Sibikeev, E.I. Gultyaeva, A.E. Druzhin, L.V. Andreeva // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. – 2022. Vol. 26. – No. 6. – Pp. 537-543.
7. Вьюшков, А.А. Селекция яровой пшеницы в Среднем Поволжье / А.А. Вьюшков. – Самара, 2004. – 223 с.
8. Вьюшков, А.А. Селекционно-генетическое улучшение пшеницы / А.А. Вьюшков, П.Н. Мальчиков, В.В. Сюков, С.Н. Шевченко. – Самара: СамНЦ РАН. – 2012. – 266 с.
9. Крупнов, В.А. Чужеродные гены в защите растений от паразитов / В.А. Крупнов // Генетика в XXI веке: современное состояние и перспективы развития: Материалы 3 съезда ВОГиС. – М., 2004. – С. 427.
10. Тырышкин, Л.Г. Сравнительная характеристика вирулентности *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici* Erikss. в Среднем Поволжье / Л.Г. Тырышкин, В.Г. Захаров, В.В. Сюков // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т.18. – №2. – С. 202-206.
11. Беспалова, Л.А. Развитие наследия академика П.П. Лукьяненко по генетической борьбе с ржавчинными болезнями пшеницы / Л.А. Беспалова, И.Б. Аблова, Ф.А. Колесников и др. // Земледелие. – 2011. – № 3. – С. 16-19.
12. Захаров, В.Г. Методологические аспекты селекции яровой мягкой пшеницы в Среднем Поволжье: автореф. дисс...докт. с.-х. наук / Захаров Владимир Григорьевич. – Пенза, 2014. – 48с.
13. Тырышкин, Л.Г. Идентификация гена возрастной устойчивости к листовой ржавчине *Lr48* у сортов и линий пшеницы Российской селекции / Л.Г. Тырышкин, В.Г. Захаров, В.В. Сюков, А.В. Сидоров // Вестник студенческого научного общества. – СПб: СПГАУ, 2013. – С. 47-49.
14. Roelfs, A.P. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management / A.P. Roelfs, R.P. Singh, E.E. Saari. – Mexico: DF.CIMMYT, 1992. – 81 pp.
15. Singh, R.P. Genetics of adult-plant resistance to leaf rust in 'Frontana' and three CIMMYT wheats / R.P. Singh, S. Rajaram // Genome. – 1992. – Vol. 35. – Pp. 24-31.

16. Singh, R.P. Association between gene *Lr34* for leaf rust resistance and leaf tip necrosis in wheat. *Crop Science*. – 1992. – Vol. 32. – Pp. 874-878.
17. Singh, R.P. Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats / Singh R.P., Huerta-Espino J., Bhavani S., et all. // *Euphytica*. – 2011. – Vol. 179. – Pp. 175-186.
18. Чесноков, Ю.В. Молекулярные маркеры в популяционной генетике и селекции культурных растений: монография. / Ю.В. Чесноков, Н.В. Кочерина, В.М. Косолапов. – Москва: ООО «Угрешская типография», 2019. – 200 с.
19. Новоселова, Н.В. Молекулярные маркеры в селекции сортов ячменя, устойчивых к ионной токсичности (обзор) / Н.В. Новоселова, А.В. Бакулина // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2020. – Т. 21. – № 1. – С. 7-17.
20. Бирюкова, В.А. Молекулярные маркеры как инструмент в селекции на устойчивость к Y-вирусу картофеля / В.А. Бирюкова, В.А. Жарова, Н.А. Чалая и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2022. – Т. 23. – № 6. – С. 777-787.
21. Мухордова, М.Е. Идентификация доноров скороспелости у озимой пшеницы с помощью ДНК-маркеров и диаллельного анализа / М.Е. Мухордова // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2022. № 1 (207). С. 5-12.
22. Фомина, Е.А. Использование молекулярных маркеров в селекционном процессе озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) для выделения образцов, перспективных по аллельному составу генов, оказывающих влияние на хлебопекарное качество зерна и высоту растения / Е.А. Фомина, Т.М. Дмитриева, О.Ю. Урбанович // *Молекулярная и прикладная генетика*. – 2019. – Т. 26. – С. 19-33.
23. Поротников, И.В. Система молекулярных маркеров для идентификации аллелей генов короткостебельности *Rht-B1* и *Rht-D1* у мягкой пшеницы / И.В. Поротников, О.П. Митрофанова, О.Ю. Антонова // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2022. – Т. 26. – № 2. – С. 128-138.
24. Чебатарева, М.В. Роль аллельного состояния высокомолекулярных глютеинов мягкой пшеницы в улучшении качественных показателей её зерна / М.В. Чебатарева, С.Б. Лепехов // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 5 (211). – С. 10-15.
25. Шаманин, В.П. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у линий яровой мягкой пшеницы с помощью молекулярных маркеров / Шаманин В.П., Гультияева Е.И., Потоцкая И.В., Петуховский С.Л. // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2013. – № 2 (27). – С. 43-48.
26. Давоян, Э.Р. Использование молекулярных маркеров в селекции пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко / Э.Р. Давоян, Л.А. Беспалова, Р.О. Давоян, и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2014. – Т. 18. – № 4-1. – С. 732-738.
27. Вожжова, Н.Н. Идентификация гена устойчивости к бурой ржавчине *Lr34* в сортах и коллекционных образцах озимой мягкой пшеницы аграрного научного центра «Донской» / Н.Н. Вожжова // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2018. – Т. 22. – № 3. – С. 329-332.
28. Лапочкина, И.Ф. Создание линий озимой пшеницы с несколькими генами устойчивости к *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* для использования в селекционных программах России / Лапочкина И.Ф., Баранова О.А., Гайнуллин Н.Р. и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2018. – Т. 22. – № 6. – С. 676-684.
29. Dreisigacker, S. CIMMYT Wheat Molecular Genetics: Laboratory Protocols and Applications to Wheat Breeding / S. Dreisigacker, D. Sehgal, A.E. Reyes Jaimez, et all. – Mexico, D.F.: CIMMYT, 2016. – 142 pp.
30. Liu, Y. Identification of leaf rust resistance genes in common wheat varieties from China and foreign countries / Yuan Liu, Takele Weldu Gebrewahid, Peipei Zhang, et all. // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2021. – Vol. 20. – Iss. 5. – Pp. 1302-1313.
31. Гультияева, Е.И. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы / Е. И. Гультияева, Е. Л. Шайдаюк // *Биотехнология и селекция растений*. – 2021. – Т. 4. – № 2. – С. 15-27.
32. Гультияева, Е.И. Разнообразие новых российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине / . И. Гультияева, Е. Л. Шайдаюк, В.В. Веселова и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. – 2022. – Т. 183. – № 4. – С. 208-218.
33. Сухоруков, А.А. Исходный материал для селекции пшеницы мягкой озимой на устойчивость к бурой ржавчине *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici* / А. А. Сухоруков, А. Ф. Сухоруков // *Достижения науки и техники АПК*. – 2018. – Т. 32. – № 11. – С. 30-32.
34. Филатова, Е.В. Влияние пырейной транслокации Т-5 на фракционный состав белка яровой мягкой пшеницы / Е.В. Филатова, В.В. Сюков, Н.В. Анисимкина // *Аграрный вестник Юго-Востока*. – 2010. – №1.(4). – С. 15-17.
35. Сюков, В.В. Яровая пшеница Тулайковская 10 / В.В. Сюков, А.А. Вьюшков, С.Н. Шевченко и др. // *Селекция и семеноводство*. – 2006. – №3-4. – С. 23-26.
36. Сюков, В.В. Тулайковская золотистая – новый сорт яровой мягкой пшеницы / В.В. Сюков, А.А. Вьюшков, С.Н. Шевченко и др. // *Зерновое хозяйство России*. – 2009. – №5. – С. 6-8.
37. Сюков, В.В. Сорт яровой мягкой пшеницы Тулайковская 108 / В.В. Сюков, А.А. Вьюшков, С.Е. Поротькин // *Зерновое хозяйство*. – 2017. – № 4(52). – С. 1-7.

**PROSPECTS FOR BREEDING WINTER COMMON WHEAT
FOR RESISTANCE TO LEAF RUST USING MOLECULAR MARKERS**

© 2022 D.O. Dolzhenko, P. N. Malchikov, A.A. Zueva, A.I. Menibaev, N.E. Bugakova

Samara Federal Research Scientific Center RAS,
Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N.M. Tulaykov, Bezenchuk, Russia

Wheat leaf rust is a harmful disease whose epiphytotics lead to serious grain yield losses. Severe epiphytotics of leaf rust are observed once every 3-4 years in the Volga Region. Despite numerous breeding achievements, many modern wheat varieties in the Russian Federation are not resistant to leaf rust. Studies of the newest assortment of soft wheat, carried out by Russian researchers, show that the genotypes of 93% of the studied varieties contained Lr genes individually or in various combinations; the Lr34 gene is widely represented in combinations with the ineffective juvenile genes Lr3, Lr10 and Lr26, which provides an acceptable level of field resistance to leaf rust. Selection for resistance is hampered by the constant change in the race composition of the pathogen, which goes hand in hand with the introduction of highly expressed genes of vertical resistance into the wheat genotype by breeders. The priority in breeding is the use of «field» or long-term resistance. There are suggestions that this type of resistance is due to the additive effects of several genes that cause the effects of age resistance and «slow rusting». Development of cultivars possessing «pyramids» of genes will produce a long-term effect of resistance. However, the use of classical methods of hybridological analysis and phytopathological tests for gene pyramiding is time-consuming and labor-intensive and not always effective. Marker-assisted selection makes it easy to identify the right alleles in both starting material and breeding lines, making it an indispensable tool in immunity breeding. The use of molecular markers makes it possible to quickly and successfully create varieties with multiple resistance genes if donors of resistance genes and specific molecular markers of these genes are available. The breeding program for winter soft wheat at the Samara Research Institute of Agriculture uses donors of genes Lr3, Lr9, Lr10, Lr26, Lr34, Lr39(41) and others, as well as a replaced chromosome 6Agi2 of wheatgrass intermediate, whose direct donors are spring soft wheat varieties 'Tulaikovskaya 10' and 'Tulaikovskaya Zolotistaya'. As a result of hybridization and subsequent individual selection, promising breeding material of winter soft wheat was created in Samara Research Institute of Agriculture for further identification of valuable genotypes that contain genes of resistance to leaf rust and chromosome 6Agi2, using molecular markers.

Keywords: Common wheat (*Triticum aestivum* L.), leaf rust (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici* Erikss.), molecular markers, marker-assisted selection, Lr genes, gene pyramids

DOI: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-44-50

REFERENCE

1. Romanenko, A.A. Novaya sortovaya politika i sortovaya agrotehnika ozimoi pshenitsy / A.A. Romanenko, L.A. Bepalova, I.N. Kudryashov, I.B. Ablova. – Krasnodar, 2005. – 224 s.
2. Gulyaeva, E.I. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations. / E.I. Gulyaeva, E.L. Shaydayuk, P.B. Gannibal // Agriculture. – 2021. Vol. 11. – No 4. – 319.
3. Gulyaeva, E.I. Enlargement of genetic diversity of spring bread wheat resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Erics.) in Lower Volga region / E.I. Gulyaeva, S.N. Sibikeev, A.E. Druzhin, E.L. Shaydayuk // Selskokhozyaystvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. – 2020. – Vol. 55. – No. 1. – Pp. 27-44.
4. Syukov, V.V. Listovaya buraya rzhavchina: fitopatologicheskie i selektsionno-geneticheskie aspekty. / V.V. Syukov. – Kazan': Izdatel'stvo «Buk», 2016. – 128 s.
5. Gosudarstvennyi reestr selektsionnykh dostizhenii, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. T.1. «Sorta rastenii» (ofitsial'noe izdanie). – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2022. – 646 s.
6. Sibikeev, S.N. The effect of the 7DL-7Ae#1L-7Ae#1S translocation on the productivity and quality of spring bread wheat grain / S.N. Sibikeev, E.I. Gulyaeva, A.E. Druzhin, L.V. Andreeva // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. – 2022. Vol. 26. – No. 6. – Pp. 537-543.
7. V'yushkov, A.A. Seleksiya yarovoi pshenitsy v Srednem Povolzh'e / A.A. V'yushkov. – Samara, 2004. – 223 s.
8. V'yushkov, A.A. Seleksionno-geneticheskoe uluchshenie pshenitsy / A.A. V'yushkov, P.N. Mal'chikov, V.V. Syukov, S.N. Shevchenko. – Samara: SamNTs RAN. – 2012. – 266 s.
9. Krupnov, V.A. Chuzherodnye geny v zashchite rastenii ot parazitov / V.A. Krupnov // Genetika v XXI veke: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya: Materialy 3 s'ezda VOGiS. – M., 2004. – S.427.
10. Tyryshkin, L.G. Sravnitel'naya kharakteristika virulentnosti *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici* Erikss. v Srednem Povolzh'e / L.G. Tyryshkin, V.G. Zakharov, V.V. Syukov // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. – 2014. – T.18. – №2. – C. 202-206.
11. Bepalova, L.A. Razvitie naslediya akademika P.P. Luk'yanenko po geneticheskoi bor'be s rzhavchinnymi boleznymi pshenitsy / L.A. Bepalova, I.B. Ablova, F.A. Kolesnikov i dr. // Zemledelie. – 2011. – № 3. – S. 16-19.
12. Zakharov, V.G. Metodologicheskie aspekty seleksii yarovoi myagkoi pshenitsy v Srednem Povolzh'e: avtoref. diss...dokt. s.-kh. nauk / Zakharov Vladimir Grigor'evich. – Penza, 2014. – 48s.
13. Tyryshkin, L.G. Identifikatsiya gena vozrastnoi ustoiчивosti k listovoi rzhavchine Lr48 u sortov i linii pshenitsy Rossiiskoi seleksii / L.G. Tyryshkin, V.G. Zakharov, V.V. Syukov, A.V. Sidorov // Vestnik studencheskogo nauchnogo obshchestva. – SPb: SPGAU, 2013. – S. 47-49.
14. Roelfs, A.P. Rust diseases of wheat: concepts and

- methods of disease management / A.P. Roelfs, R.P. Singh, E.E. Saari. – Mexico: DF.CIMMYT, 1992. – 81 pp.
15. Singh, R.P. Genetics of adult-plant resistance to leaf rust in 'Frontana' and three CIMMYT wheats / R.P. Singh, S. Rajaram // Genome. – 1992. – Vol. 35. – Pp. 24-31.
 16. Singh, R.P. Association between gene *Lr34* for leaf rust resistance and leaf tip necrosis in wheat. *Crop Science*. – 1992. – Vol. 32. – Pp. 874-878.
 17. Singh, R.P. Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats / Singh R.P., Huerta-Espino J., Bhavani S., et al. // *Euphytica*. – 2011. – Vol. 179. Pp. 175-186.
 18. Chesnokov, Yu.V. Molekulyarnye markery v populyatsionnoi genetike i seleksii kul'turnykh rastenii: monografiya. / Yu.V. Chesnokov, N.V. Kocherina, V.M. Kosolapov. – Moskva: OOO «Ugreshskaya tipografiya», 2019. – 200 s.
 19. Novoselova, N.V. Molekulyarnye markery v seleksii sortov yachmenya, ustoichivyykh k ionnoi toksichnosti (obzor) / N.V. Novoselova, A.V. Bakulina // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. – 2020. – T. 21. – № 1. – S. 7-17.
 20. Biryukova, V.A. Molekulyarnye markery kak instrument v seleksii na ustoichivost' k Y-virusu kartofelya / V.A. Biryukova, V.A. Zharova, N.A. Chalaya i dr. // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. – 2022. – T. 23. – № 6. – S. 777-787.
 21. Mukhordova, M.E. Identifikatsiya donorov skorospelosti u ozimoi pshenitsy s pomoshch'yu DNK-markeroi i diallel'nogo analiza / M.E. Mukhordova // *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. № 1 (207). S. 5-12.
 22. Fomina, E.A. Ispol'zovanie molekulyarnykh markerov v selektsionnom protsesse ozimoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) dlya vydeleniya obraztsov, perspektivnykh po allel'nomu sostavu genov, okazyvayushchikh vliyanie na khlebopekarnoe kachestvo zerna i vysotu rasteniya / E.A. Fomina, T.M. Dmitrieva, O.Yu. Urbanovich // *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika*. – 2019. – T. 26. – S. 19-33.
 23. Porotnikov, I.V. Sistema molekulyarnykh markerov dlya identifikatsii allelei genov korotkostebel'nosti *Rht-B1* i *Rht-D1* u myagkoi pshenitsy / I.V. Porotnikov, O.P. Mitrofanova, O.Yu. Antonova // *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. – 2022. – T. 26. – № 2. – S. 128-138.
 24. Chebatareva, M.V. Rol' allel'nogo sostoyaniya vysokomolekulyarnykh glyuteninovykh myagkoi pshenitsy v uluchshenii kachestvennykh pokazatelei ee zerna / M.V. Chebatareva, S.B. Lepekhov // *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2022. – № 5 (211). – S. 10-15.
 25. Shamanin, V.P. Identifikatsiya genov ustoichivosti k buroi rzhavchine u linii yarovoi myagkoi pshenitsy s pomoshch'yu molekulyarnykh markerov / Shamanin V.P., Gul'tyaeva E.I., Pototskaya I.V., Petukhovskii S.L. // *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*. – 2013. – № 2 (27). – S. 43-48.
 26. Davoyan, E.R. Ispol'zovanie molekulyarnykh markerov v seleksii pshenitsy na ustoichivost' k buroi rzhavchine v Krasnodarskom NIISKh im. P.P. Luk'yanenko / E.R. Davoyan, L.A. Bespalova, R.O. Davoyan, i dr. // *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. – 2014. – T. 18. – № 4-1. – S. 732-738.
 27. Vozhzhova, N.N. Identifikatsiya gena ustoichivosti k buroi rzhavchine *Lr34* v sortakh i kolleksiionnykh obraztsakh ozimoi myagkoi pshenitsy agrarnogo nauchnogo tsentra "Donskoi" / N.N. Vozhzhova // *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. – 2018. – T. 22. – № 3. – S. 329-332.
 28. Lapochkina, I.F. Sozdanie linii ozimoi pshenitsy s neskol'kimi genami ustoichivosti k *Puccinia graminis* Pers. f. sp. tritici dlya ispol'zovaniya v selektsionnykh programmakh Rossii / Lapochkina I.F., Baranova O.A., Gainullin N.R. i dr. // *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. – 2018. – T. 22. – № 6. – S. 676-684.
 29. Dreisigacker, S. CIMMYT Wheat Molecular Genetics: Laboratory Protocols and Applications to Wheat Breeding / S. Dreisigacker, D. Sehgal, A.E. Reyes Jaimez, et al. – Mexico, D.F.: CIMMYT, 2016. – 142 pp.
 30. Liu, Y. Identification of leaf rust resistance genes in common wheat varieties from China and foreign countries / Yuan Liu, Takele Weldu Gebrewahid, Peipei Zhang, et al. // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2021. – Vol. 20. – Iss. 5. – Pp. 1302-1313.
 31. Gul'tyaeva, E.I. Identifikatsiya genov ustoichivosti k buroi rzhavchine u novykh rossiiskikh sortov myagkoi pshenitsy / E. I. Gul'tyaeva, E. L. Shaidayuk // *Biotekhnologiya i selektsiya rastenii*. – 2021. – T. 4. – № 2. – S. 15-27.
 32. Gul'tyaeva, E.I. Raznoobrazie novykh rossiiskikh sortov myagkoi pshenitsy po genam ustoichivosti k buroi rzhavchine / . I. Gul'tyaeva, E. L. Shaidayuk, V.V. Veselova i dr. // *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*. – 2022. – T. 183. – № 4. – S. 208-218.
 33. Sukhorukov, A.A. Iskhodnyi material dlya seleksii pshenitsy myagkoi ozimoi na ustoichivost' k buroi rzhavchine *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. tritici / A. A. Sukhorukov, A. F. Sukhorukov // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. – 2018. – T. 32. – № 11. – S. 30-32.
 34. Filatova, E.V. Vliyanie pyreinoi translokatsii T-5 na fraktsionnyi sostav belka yarovoi myagkoi pshenitsy / E.V. Filatova, V.V. Syukov, N.V. Anisimkina // *Agrarnyi vestnik Yugo-Vostoka*. – 2010. – №1.(4). – S. 15-17.
 35. Syukov, V.V. Yarovaya pshenitsa Tulaikovskaya 10 / V.V. Syukov, A.A. V'yushkov, S.N. Shevchenko i dr. // *Selektsiya i semenovodstvo*. – 2006. – №3-4. – S. 23-26.
 36. Syukov, V.V. Tulaikovskaya zolotistaya – novyi sort yarovoi myagkoi pshenitsy / V.V. Syukov, A.A. V'yushkov, S.N. Shevchenko i dr. // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. – 2009. – №5. – S. 6-8.
 37. Syukov, V.V. Sort yarovoi myagkoi pshenitsy Tulaikovskaya 108 / V.V. Syukov, A.A. V'yushkov, S.E. Porot'kin // *Zernovoe khozyaistvo*. – 2017. – № 4(52). – S. 1-7.

Dmitry Dolzhenko, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Common Wheat Breeding and Genetics Department. E-mail: ddolzhenko75@yandex.ru
 Petr Malchikov, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Spring Durum Wheat Breeding Department. E-mail: sagrs-mal@mail.ru
 Anastasiia Zueva, Researcher at the Common Wheat Breeding and Genetics Department. E-mail: a.zueva3004@yandex.ru
 Askhat Menibaev, Researcher at the Common Wheat Breeding and Genetics Department. E-mail: ashat.men82@mail.ru
 Nadezhda Bugakova, Junior Researcher at the Common Wheat Breeding and Genetics Department. E-mail: bugakova1987@yandex.ru