

А.А. Малышева^{1*}, А.М. Кохметова¹, М.Т. Кумарбаева¹, Ж.С. Кейшилов¹, С. Б Дубекова²

¹Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан,
malysheva_angelina@list.ru*, gen_kalma@mail.ru, madina_kumar90@mail.ru, jekasayko@mail.ru,

²Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства,
 Алмалыбак, Казахстан, funny.kind@mail.ru

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ СКРИНИНГ LR-ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ У ОБРАЗЦОВ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЮГОВОСТОКА КАЗАХСТАНА

Аннотация

Бурая ржавчина, вызываемая паразитическим базидиальным грибом *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*, одно из наиболее вредоносных заболеваний яровой мягкой пшеницы как в Казахстане, так и в мире. Развитие ржавчинных болезней может приводить к значительному снижению урожайности восприимчивых сортов пшеницы. Основной проблемой селекции пшеницы является потеря эффективности генов устойчивости, что обусловлено появлением новых вирулентных рас патогенов. В данной статье представлены результаты оценки устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы на стадии проростков и взрослого растения, а также результаты скрининга *Lr* генов устойчивости с помощью молекулярных маркеров. В результате проведенных опытов было отобрано 9 образцов, демонстрирующих высокий уровень устойчивости к обоим расам *P. recondita* – MKT/Q и TTT/R на стадии проростков. В полевых условиях за два года испытаний было отобрано 6 сортов, проявивших высокий уровень устойчивости к возбудителю. Использование молекулярных маркеров позволило идентифицировать носителей эффективных *Lr* генов устойчивости. По результатам молекулярного скрининга определено 4 носителя гена устойчивости *Lr9*; 5 носителей гена *Lr10*; 7 носителей *Lr26*; 7 носителей *Lr34* и 2 носителя гена *Lr46*. Полученные результаты могут быть использованы в селекционных программах Казахстана.

Ключевые слова: бурая ржавчина, *P. recondita*, яровая пшеница, *Lr* гены, вирулентность, молекулярные маркеры, маркер ассоциированная селекция.

Введение

Бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*) является наиболее распространенным заболеванием пшеницы, угрожающим мировой продовольственной безопасности [1]. Развитие бурой ржавчины на посевах пшеницы в период трубкования-колошения может приводить к 30-40% потерям урожая, в начале налива-молочной спелости зерна – 7-10% [2]. Устойчивость пшеницы к возбудителю обуславливается наличием *Lr* генов устойчивости. Существует два вида устойчивости растений: вертикальная (расоспецифическая) и горизонтальная (расонеспецифическая). Реакция сверхчувствительности является основной в механизме вертикальной устойчивости. Гены расоспецифичной устойчивости по отдельности не обеспечивают долговременную защиту растения и могут быть преодолены патогеном [3]. Неспецифичная устойчивость определяется как количественный признак и связана с уменьшением спорообразования и количества пустул на растении [4]. Вирулентность популяции *P. triticea* может меняться под влиянием генотипа растения-хозяина. Наличие у возделываемых сортов генов расоспецифической устойчивости способствует селективному давлению на популяцию патогена, что приводит к увеличению частоты накопления более агрессивных и вирулентных рас [5]. В настоящее время известно более 80 генов устойчивости, распределенных по всем 21 хромосоме пшеницы [6]. Около 50% уже известных генов происходят от чужеродных видов таких как *Ae. tauschii* (*Lr21*, *Lr22a*,

Lr39), *Thinopyrum ponticum* (*Lr24*), *Agropyron umbellulata* (*Lr9*) и др. [7]. Патогены пшеницы широко распространены на территории Казахстана. На посевах наблюдается поражение бурой [8-9], желтой [10-11] и стеблевой [12] ржавчинами пшеницы. В условиях юговосточного Казахстана за последние годы наблюдается умеренное развитие бурой ржавчины [13]. Скрининг устойчивости яровой пшеницы – один из главных этапов селекции и биологической защиты от бурой ржавчины. Методы современной селекции способствуют быстрому выявлению доноров устойчивости и созданию новых устойчивых сортов. Цель данного исследования – изучение генетических ресурсов мягкой яровой пшеницы и выявление источников устойчивости к бурой ржавчине в условиях юговосточного Казахстана.

Материалы и методы

Объектом исследования была панель из 29 сортов мягкой яровой пшеницы *Triticum aestivum*. В качестве восприимчивого контроля использован сорт Могоссо. Для оценки проростковой устойчивости образцов инокуляция проведена двумя расами бурой ржавчины известной вирулентности (МКТ/Q и ТТТ/Р). Полевые испытания проведены на базе Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР, п. Алмалыбак, Алматинская область). Степень поражения болезнью оценивали по модифицированной шкале Кобба [14]. Размножение изолятов *P. triticina* для проведения фитопатологического теста выполнено по методике лабораторного культивирования патогена [15]. Проростковую устойчивость коллекции пшеницы оценивали на 10-12 день после инокуляции по шкале Mains and Jackson [16]. ДНК выделено из 5-дневных ростков пшеницы СТАВ методом. Молекулярный скрининг проведен с использованием маркеров к генам *Lr9*, *Lr10*, *Lr24* [17], *Lr26* [18], *Lr34* [19], *Lr46* [20] по соответствующим протоколам. Статистическая обработка результатов проведена с помощью программного обеспечения R-studio (www.R-project.org)

Результаты и обсуждение исследований

Проростковая устойчивость образцов была оценена в лабораторных условиях на отрезках листьев с использованием раствора бензимидазола. Для инокуляции использованы две расы бурой ржавчины с известной вирулентностью. По результатам оценки ювенильной устойчивости к расе МКТ/Q было выявлено 13 генотипов с устойчивым типом реакции (IT 0-2). К расе ТТТ/Р устойчивой реакцией характеризовались 10 образцов (рис 1(А)). Одновременная устойчивостью к двум расам отмечена у сортов Акмола 40, Актобе 14, Астана шортанды, Ертыс, Казахстанская 9, Казахстанская 7, Карабалыкская 98, Омская 35 и Целинная 60.

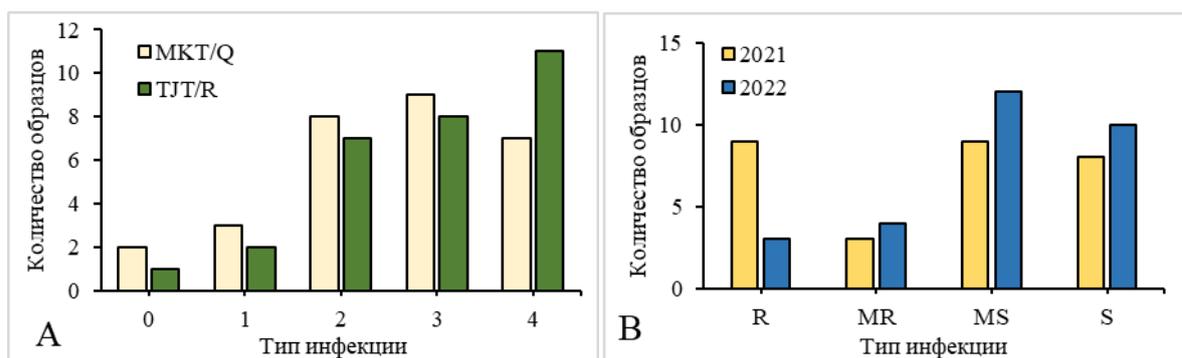


Рисунок 1 – Распределение образцов яровой пшеницы на группы устойчивости. А – оценка проростковой устойчивости к 2-м расам бурой ржавчины; В – оценка возрастной устойчивости в условиях искусственного инфекционного поля за 2021 и 2022 гг.

В условиях искусственного инфекционного фона наблюдалось варьирование устойчивости испытуемых сортов от 0 до 70S в 2021 году, и от 0 до 80S в 2022. Степень поражения восприимчивого контроля Могоссо была оценена как 90S и 100S в 2021 и 2022 году соответственно. В 2021 году восприимчивая реакция (IT – MS-S) к бурой ржавчине была

отмечена у 17 образцов. Устойчивая реакция (IT – MR-R) наблюдалась у 12 сортов, среди которых 9 проявили полную иммунность к патогену. К данным сортам относились Актюбинка, Астана Шортанды, Казахстанская 17, Казахстанская 25, Карагандинская 22, Казахстанская 20, Омская 35, Целинная 21, Шортандинская 2012. В 2022 году 22 сорта были восприимчивы к возбудителю бурой ржавчины. Иммунной реакцией характеризовался только сорт Казахстанская 25. Было отобрано 6 сортов проявивших устойчивую (IT-R) и/или умеренно устойчивую (IT-MR) реакцию к возбудителю на стадии взрослого растения за оба года испытаний, среди которых: Астана шортанды, Казахстанская 17, Казахстанская 25, Омская 35, Целинная 21, Шортандинская 21. Распределение на группы устойчивости представлено на рисунке 1 (В).

Анализ ANOVA позволил выявить достоверные различия между реакцией генотипов в полевых условиях ($p < 0,001$), и реакциями на 2 различные расы ($p < 0,001$). Среди образцов выявлен высокий уровень наследуемости (h_b^2) устойчивости как на стадии взрослого растения, так и на стадии проростков (Таблица 1).

Таблица 1 – Дисперсионный анализ устойчивости проростков к 2-м расам бурой ржавчины и устойчивости взрослых растений.

Фактор	Источник	df	SS	MS	F	h_b^2 , %
Раса	Генотип	28	62,59	2,24	5,55	0,83
	Раса	1	1,72	1,72	4,28	
	Остаточное	28	11,28	0,40		
Год	Генотип	28	28848	1030,3	20,06	0,88
	Год	1	2425	2424,6	47,21	
	Остаточное	28	1438	51,4		

Для подтверждения взаимосвязи между изученными признаками проведен анализ главных компонент (Рисунок 2). Первые два основных компонента объясняли 90,9% вариации. На первый основной компонент (PC1) приходилось 52,6% вариаций, на второй (PC2) – 38,3%. PC1 группировал реакции взрослых растений в полевых условиях, PC2 – реакции проростков на две расы возбудителя. Отмечена сильная положительная корреляция между устойчивостью проростков к расе МКТ/Q и ТТТ/R ($r = 0,71$), так же между реакцией взрослых растений в 2021 и 2022 годах ($r = 0,92$). Значимой корреляции между устойчивостью проростков и взрослых растений не обнаружено. Наиболее устойчивые образцы группировались на противоположной стороне от направления векторов (Астана Шортанды, Омская 35, Целинная 60, Акмола 40, Актобе 14).

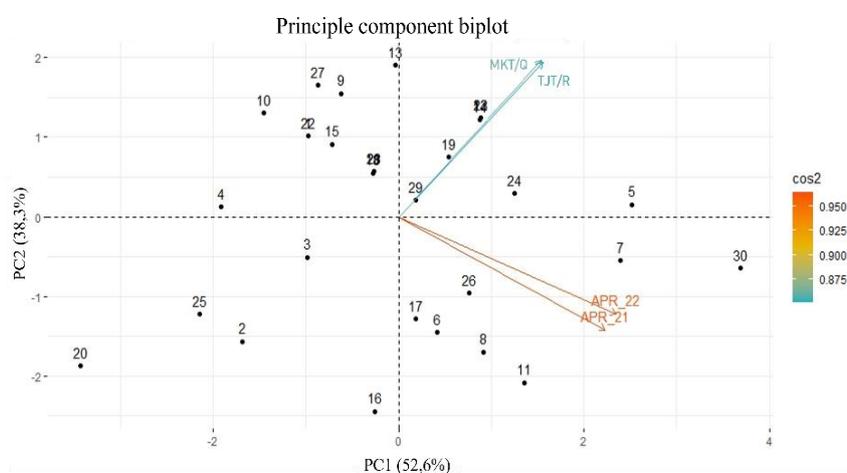


Рисунок 2 – Биplot- анализ 30 образцов яровой пшеницы, основанный на выраженности реакции к бурой ржавчины в полевых условиях за 2 года испытаний (2021 и 2022 гг.) и 2-м расам бурой ржавчины (МКТ/Q и ТТТ/R); 30 – восприимчивый контроль.

По результатам молекулярного скрининга установлено, что 4 сорта являлись носителями гена устойчивости *Lr 9* (Акмола 40, Актобе 14, Астана шортанды, Целинная 60); 5 сортов носителями гена *Lr10* (Актюбинка, Ертыс, Казахстанская 17, Новосибирская, Целинная 60); 7 сортов носителей *Lr26* (Акмола 40, Актобе 14, Астана шортанды, Казахстанская 25, Карабалыкская 98, Целинная 21, Целинная 60); 7 носителей *Lr34* (Актобе 14, Карабалыкская остистая, Карагандинская 22, Новосибирская, Удача, Целинная 21, Ырым); и 2 носителя гена *Lr46* (Казахстан 7 и Целинная 21). У 12 образцов не выявлено ни одного искомого гена. Результаты молекулярного скрининга генов *Lr9*, *Lr10*, *Lr26*, *Lr34* представлены на рисунке 3.

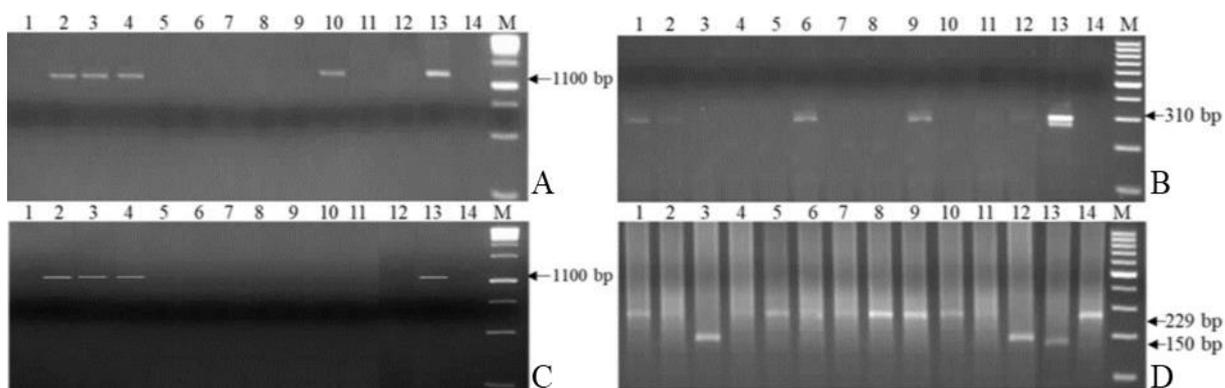


Рисунок 3 – Профиль амплификации ДНК для сортов яровой мягкой пшеницы, полученных с маркерами J 13/1-J 13/2(A); F1.2245-Lr10-6/r2(B); Iag95(C); csLV34 (D).

1- Актюбинка; 2 - Акмола 40; 3 - Актобе 14; 4 - Астана Шортанды; 5 - Асыл-сапа; 6 – Ертыс; 7 - Ертыс 97; 8 - Иртышанка 10; 9 - Казахстанская 17; 10 - Казахстанская 25; 11 - Казахстанская 9; 12 - Карабалыкская остистая; 13 - Transfer/6*TC (A), TC*6/Exchange (B), TC*6/ST-1-25 (C), TC*6/PI58548 (D); 14 – Могоссо; М – маркер молекулярного веса ДНК.

Бурая ржавчина является одной из основных причин снижения урожая яровой и озимой пшеницы в Центральной Азии, включая Казахстан [2, 9, 13]. Исследования представленные в данной статье позволили оценить коллекцию яровой пшеницы к возбудителю бурой ржавчины *P.triticina* как на стадии взрослых растений, так и на стадии проростков. Сопоставление данных устойчивости растений и молекулярного скрининга подтверждает ранее выявленную эффективность генов *Lr9*, *Lr10*, *Lr26*, *Lr34* на территории юговостока Казахстана [8]. В результате молекулярного исследования были выявлены образцы, являющиеся носителями нескольких эффективных генов *Lr*. Образцы Акмола 40 и Астана Шортанды являлись носителями генов *Lr9* и *Lr26*, которые обеспечивали им высокий уровень устойчивости на стадии проростков. Также два гена устойчивости выявлены у умеренно-восприимчивого сорта Новосибирская – *Lr10*, *Lr34*. Три гена устойчивости выявлены у сортов Актобе 14 (*Lr9*, *Lr26*, *Lr34*) и Целинная 21 (*Lr26*, *Lr34*, *Lr46*). Данные сорта были умеренно устойчивые к патогену на стадии взрослого растения. У сорта Целинная 60 выявлено 4 гена устойчивости – *Lr9*, *Lr10*, *Lr24*, *Lr26*. Наличие нескольких эффективных генов обеспечивало высокий уровень устойчивости на стадии проростков и взрослого растения. Таким образом наблюдалась сопоставимость результатов молекулярных тестов и фитопатологической оценки. Такие сорта ценны с точки зрения потенциальных источников устойчивости взрослых растений.

Выводы

Данное исследование выявило генотипы пшеницы, обладающие высокой устойчивостью к бурой ржавчине пшеницы. Развитие и применение технологии молекулярных маркеров в значительной мере ускоряет скрининг и позволяет провести идентификацию отдельных эффективных *Lr*-генов. Выращивание новых сортов, устойчивых к листовой ржавчине, могло бы помочь уменьшить риск возникновения эпифитотий в Казахстане. Выведение устойчивых сортов является более экономически и экологически целесообразным методом защиты в

сравнении с применением дорогостоящих фунгицидов. Отобранные генотипы могут быть использованы в качестве источников устойчивости или улучшенных родителей в программах скрещивания для создания новых сортов.

Благодарность: Данная статья выполнена при поддержке Комитета наук Министерства науки и высшего образования в рамках проекта BR18574149 (1) «Создание устойчивых к бурой ржавчине перспективных линий пшеницы на основе внедрения в селекционный процесс технологии Marker Assisted Gene Pyramiding».

Список литературы

1. Zhao, J. Role of Alternate Hosts in Epidemiology and Pathogen Variation of Cereal Rusts [Text] / J. Zhao, M. Wang, X. Chen, Z. Kang // Annual review of phytopathology. – 2016. – № 54. – С. 207–228.
2. Койшыбаев М. Болезни пшеницы [Текст] / М. Койшыбаев. – Анкара: ФАО, 2018. – 365 с.
3. Johnson R. A Critical Analysis of Durable Resistance [Text] / R. Jonson // Annual review of phytopathology. – 1984. – № 22. – P. 309–330.
4. Ellis J. G. The Past, Present and Future of Breeding Rust Resistant Wheat [Text] / J. G. Ellis, E. S. Lagudah, W. Spielmeyer, P. N. Dodds // Frontiers in Plant Science. – 2014. – № 5. – P. 641.
5. Ван дер Планк Я.Е. Устойчивость растений к болезням [Текст] / Я.Е. Ван дер Планк; пер. с англ. Н.А. Емельяновой; под ред. и с предисл. К. М. Степанова. – Москва: Колос, 1972. – 253 с.
6. Kumar K. An Update on Resistance Genes and Their Use in the Development of Leaf Rust Resistant Cultivars in Wheat [Text] / K. Kumar, I. Jan, G. Saripalli, P.K. Sharma, R.R. Mir, H.S. Balyan, P.K. Gupta // Frontiers in Genetics. – 2022. – № 13. – e. 816057.
7. Kumar A. Walk towards Wild Grasses to Unlock the Clandestine of Gene Pools for Wheat Improvement: A Review [Text] / A. Kumar, A. Choudhary, H. Kaur, S. Mehta // A Plant Stress. – 2022. – № 3. – e. 100048.
8. Kokhmetova A. Evaluation of Wheat Germplasm for Resistance to Leaf Rust (*Puccinia triticina*) and Identification of the Sources of Lr Resistance Genes Using Molecular Markers / A. Kokhmetova, S. Rsaliyev, M. Atishova, M. Kumarbayeva, A. Malysheva, Z. Keishilov, D. Zhanuzak, A. Bolatbekova [Text] // Plants. – 2021. – № 10. – e. 1484.
9. Gulyaeva E.I. Genetic variability of perspective breeding material of spring bread wheat for resistance to leaf rust in Russia and Kazakhstan [Text] / E.I. Gulyaeva, A.M. Kokhmetova, E.R. Shreyder, E.L. Shaydayuk, M.N. Atishova, A. Madenova, A. Malysheva, K. Galymbek // Bull NAS RK. – 2020. – № 3. – P. 60–68
10. Kokhmetova A. Identification of Stripe Rust Resistance Genes in Common Wheat Cultivars and Breeding Lines from Kazakhstan [Text] / A. Kokhmetova, A. Rsaliyev, A. Malysheva, M. Atishova, M. Kumarbayeva, Z. Keishilov // Plants. – 2021. – № 10. – e. 2303.
11. Malysheva A.A. Identification of Carriers of *Puccinia Striiformis* Resistance Genes in the Population of Recombinant Inbred Wheat Lines [Text] / A.A. Malysheva, A.M. Kokhmetova, M.K. Kumarbayeva, D.K. Zhanuzak, A.A. Bolatbekova, Zh.S. Keishilov, E.I. Gulyaeva, A.M. Kokhmetova, V. Tsygankov, Y.B. Dutbayev, S.B. Dubekova // International Journal of Biology and Chemistry. – 2022. – № 15 (1). – P. 4-10.
12. Kokhmetova A.A.; Morgounov, S.; Rsaliyev, A.; Rsaliyev, G.; Yessenbekova, M.; Typina, L. Wheat germplasm screening for stem rust resistance using conventional and Rust resistance in wheat molecular techniques [Text] / A.A.Kokhmetova, S. Morgounov, A. Rsaliyev, S. Rsaliyev, M. Yessenbekova, L. Typina // Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. – 2011. – № 47. – P. 146–154.
13. Кеишилов Ж.С., Кохметова А.М., Кумарбаева М.Т., Болатбекова А.А., Малышева А.А., Кохметова А.М. Жаздық бидайдың қоңыр тат (*puccinia recondita*) ауруына солтүстік Қазақстанда жүргізілген мониторингі 2019-2021 [Текст] / Ж.С. Кеишилов, А.М. Кохметова, М.Т. Кумарбаева, А.А. Болатбекова, А.А. Малышева, А.М. Кохметова // С.Сейфуллин

атындағы Қазақ Агротехникалық Университетінің Ғылым Жаршысы. – 2022. – 1(112). – С. 930.

14. Peterson R.F. A Diagrammatic Scale for Estimating Rust Intensity on Leaves and Stems of Cereals [Text] / R.F Peterson, A. B. Campbell, A.E. Hannah // Canadian Journal of Research. – 1948. – № 26. – P. 496–500.

15. Михайлова Л.А. Методы исследований структуры популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы: сборник методических рекомендаций по защите растений [Текст] / Л.А. Михайлова, Е.И. Гуляева, Н.В. Мироненко. – СПб: ВИЗР, 1998. – С. 105–126

16. Mains E.B. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat, *Puccinia triticina* [Text] / E.B. Mains, H.S. Jackson // Phytopathology. – 1926. – № 16. – P. 89–120

17. Chelkowski J. Application of STS markers for leaf rust resistance genes in near-isogenic lines of spring wheat cv. Thatcher [Text] / J. Chelkowski, L. Golka, L. Stepien // Journal of Applied Genetics. – 2003. – № 44. – P. 323–338.

18. Mago R. High-resolution mapping and mutation analysis separate the rust resistance genes Sr31, Lr26 and Yr9 on the short arm of rye chromosome 1 [Text] / R. Mago, H. Miah, G. J. Lawrence, C.R. Wellings, W. Spielmeyer, H.S. Bariana, J.G. Ellis // Theoretical and Applied Genetics. – 2005. – № 112(1). – P. 41–50.

19. Lagudah E.S. Molecular genetic characterization of the Lr34/Yr18 slow rusting resistance gene region in wheat [Text] / E.S. Lagudah, H. McFadden, R.P. Singh, J. Huerta-Espino, H.S. Bariana, W. Spielmeyer // Theoretical and Applied Genetics. – 2006. – №. 114. – P. 21–30.

20. William M. Molecular marker mapping of leaf rust resistance gene Lr46 and its association with stripe rust resistance gene Yr29 in wheat [Text] / M. William, R.P. Singh, J. Huerta-Espino, S.O. Islas, D. Hoisington // Phytopathology. – 2003. – № 93(2). – P. 153–159.

References

1. Zhao, J. Role of Alternate Hosts in Epidemiology and Pathogen Variation of Cereal Rusts [Text] / J. Zhao, M. Wang, X. Chen, Z. Kang // Annual review of phytopathology. – 2016. – № 54. – С. 207–228.

2. Kojshybaev M. Bolezni pshenitsy [Tekst] / M. Kojshybaev. – Ankara: FAO, 2018. – 365 s.

3. Johnson R. A Critical Analysis of Durable Resistance [Text] / R. Jonson // Annual review of phytopathology. – 1984. – № 22. – P. 309–330.

4. Ellis J. G. The Past, Present and Future of Breeding Rust Resistant Wheat [Text] / J. G. Ellis, E. S. Lagudah, W. Spielmeyer, P. N. Dodds // Frontiers in Plant Science. – 2014. – № 5. – P. 641.

5. Van der Plank Ya.E. Ustojchivost' rastenij k boleznjam [Tekst] / Ya.E. Van der Plank; per. s angl. N.A. Emel'yanovoj; pod red. i s predisl. K. M. Stepanova. – Moskva: Kolos, 1972. – 253 s.

6. Kumar K. An Update on Resistance Genes and Their Use in the Development of Leaf Rust Resistant Cultivars in Wheat [Text] / K. Kumar, I. Jan, G. Saripalli, P.K. Sharma, R.R. Mir, H.S. Balyan, P.K. Gupta // Frontiers in Genetics. – 2022. – № 13. – e. 816057.

7. Kumar A. Walk towards Wild Grasses to Unlock the Clandestine of Gene Pools for Wheat Improvement: A Review [Text] / A. Kumar, A. Choudhary, H. Kaur, S. Mehta // A Plant Stress. – 2022. – № 3. – e. 100048.

8. Kokhmetova A. Evaluation of Wheat Germplasm for Resistance to Leaf Rust (*Puccinia triticina*) and Identification of the Sources of Lr Resistance Genes Using Molecular Markers / A. Kokhmetova, S. Rsaliyev, M. Atishova, M. Kumarbayeva, A. Malysheva, Z. Keishilov, D. Zhanuzak, A. Bolatbekova [Text] // Plants. – 2021. – № 10. – e. 1484.

9. Gulyaeva E.I. Genetic variability of perspective breeding material of spring bread wheat for resistance to leaf rust in Russia and Kazakhstan [Text] / E.I. Gulyaeva, A.M. Kokhmetova, E.R. Shreyder, E.L. Shaydayuk, M.N. Atishova, A. Madenova, A. Malysheva, K. Galymbek // Bull NAS RK. – 2020. – № 3. – P. 60–68

10. Kokhmetova A. Identification of Stripe Rust Resistance Genes in Common Wheat Cultivars and Breeding Lines from Kazakhstan [Text] / A. Kokhmetova, A. Rsaliyev, A. Malysheva, M. Atishova, M. Kumarbayeva, Z. Keishilov // Plants. – 2021. – № 10. – e. 2303.

11. Malysheva A.A. Identification of Carriers of Puccinia Striiformis Resistance Genes in the Population of Recombinant Inbred Wheat Lines [Text] / A.A. Malysheva, A.M. Kokhmetova, M.K. Kumarbayeva, D.K. Zhanuzak, A.A. Bolatbekova, Zh.S. Keishilov, E.I. Gulyaeva, A.M. Kokhmetova, V. Tsygankov, Y.B. Dutbayev, S.B. Dubekova // International Journal of Biology and Chemistry. – 2022. – № 15 (1). – P. 4-10.

12. Kokhmetova A.A.; Morgounov, S.; Rsaliev, A.; Rsaliev, G.; Yessenbekova, M.; Typina, L. Wheat germplasm screening for stem rust resistance using conventional and Rust resistance in wheat molecular techniques [Text] / A.A.Kokhmetova, S. Morgounov, A. Rsaliev, S. Rsaliev, M. Yessenbekova, L. Typina // Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. – 2011. – № 47. – P. 146–154.

13. Keishilov ZH.S., Kokhmetova A.M., Kumarbaeva M.T., Bolatbekova A.A., Malysheva A.A., Kokhmetova A.M. Zhazdyk bidajdyn konyr tat (puccinia recondita) auruyna soltustik Kazakstanda zhyrgyzilgen monitoringi 2019-2021 [Текст] / Zh.S. Keishilov, A.M. Kokhmetova, M.T. Kumarbaeva, A.A. Bolatbekova, A.A. Malysheva, A.M. Kokhmetova // S.Sejfullin atyndagy Kazak Agrotekhnikalık Universitetinin Gylym Zharshysy. – 2022. – 1(112). – S. 930.

14. Peterson R.F. A Diagrammatic Scale for Estimating Rust Intensity on Leaves and Stems of Cereals [Text] / R.F Peterson, A. B. Campbell, A.E. Hannah // Canadian Journal of Research. – 1948. – № 26. – P. 496–500.

15. Mikhajlova L.A. Metody issledovaniy struktury populyatsii vozbuditelya buroj rzhavchiny pshenitsy: sbornik metodicheskikh rekomendatsij po zashhite rastenij [Текст] / L.A. Mikhajlova, E.I. Gul'tyaeva, N.V. Mironenko. – SPb: VIZR, 1998. – S. 105–126.

16. Mains E.B. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat, Puccinia triticina [Text] / E.B. Mains, H.S. Jackson // Phytophology. – 1926. – № 16. – P. 89–120

17. Chelkowski J. Application of STS markers for leaf rust resistance genes in near– isogenic lines of spring wheat cv. Thatcher [Text] / J. Chelkowski, L. Golka, L. Stepien // Journal of Applied Genetics. – 2003. – № 44. – P. 323–338.

18. Mago R. High-resolution mapping and mutation analysis separate the rust resistance genes Sr31, Lr26 and Yr9 on the short arm of rye chromosome 1 [Text] / R. Mago, H. Miah, G. J. Lawrence, C.R. Wellings, W. Spielmeyer, H.S. Bariana, J.G. Ellis // Theoretical and Applied Genetics. – 2005. – № 112(1). – P. 41–50.

19. Lagudah E.S. Molecular genetic characterization of the Lr34/Yr18 slow rusting resistance gene region in wheat [Text] / E.S. Lagudah, H. McFadden, R.P. Singh, J. Huerta-Espino, H.S. Bariana, W. Spielmeyer // Theoretical and Applied Genetics. – 2006. – №. 114. – P. 21–30.

20. William M. Molecular marker mapping of leaf rust resistance gene Lr46 and its association with stripe rust resistance gene Yr29 in wheat [Text] / M. William, R.P. Singh, J. Huerta-Espino, S.O. Islas, D. Hoisington // Phytopathology. – 2003. – № 93(2). – P. 153–159.

A.A. Малышева^{1*}, A.M. Кохметова¹, M.T. Кумарбаева¹, Ж.С. Кейшилов¹, С. Б. Дубекова²

¹Өсімдіктердің биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан, malysheva_angelina@list.ru*, gen_kalma@mail.ru, madina_kumar90@mail.ru, jekasayko@mail.ru

²Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Алмалыбақ, Қазақстан, funny.kind@mail.ru

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫСЫНДАҒЫ ЖҰМСАҚ ЖАЗДЫҚ БИДАЙДЫҢ ҚОСЫЛУЫНДАҒЫ LR-РЕЗИСТЕНТТІЛІК ГЕНДЕРІНІҢ МОЛЕКУЛАЛЫҚ-ГЕНЕТИКАЛЫҚ СКРИНИНГІ

Аннотация

Паразиттік базидиомицеттер қоздырғышын тудыратын қоңыр тат ауруы *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*, Қазақстанда да, дүние жүзінде де жаздық жұмсақ бидайдың ең зиянды ауруларының бірі болып табылады. Бидайдың төзімсіз сорттарында тат ауруларының дамуы өнімнің шығымдылығын айтарлықтай төмендетуі мүмкін. Бидай селекциясының негізгі мәселесі – төзімді гендердің тиімділігін жоғалтуы, бұл ауру қоздырғыштардың жаңа

вирулентті нәсілдерінің пайда болуына байланысты. Бұл мақалада жаздық бидай сорттарының көшеттері мен ересек өсімдік кезеңіндегі төзімділігін бағалау нәтижелері, сондай-ақ молекулалық маркерлер көмегімен *Lr* гендерінің төзімділігіне скрининг нәтижелері берілген. Тәжірибелердің нәтижесінде *P. recondita*-ның екі нәсіліне – MKT/Q және TJT/R тұқымдарының көшеттер кезеңінде төзімділігінің жоғары деңгейін көрсететін 9 үлгі таңдалды. Егіс алқапында екі жылдық тәжірибелік сынақтан кейін қоздырғышқа төзімділігі жоғары 6 сорт таңдалды. Молекулалық маркерлерді қолдану арқылы *Lr* төзімді гендерін тасымалдаушыларын анықтауға мүмкіндік берді. Молекулалық скрининг нәтижелері бойынша *Lr9* төзімді генінің 4 тасымалдаушысы анықталды; *Lr10* генінің 5 тасымалдаушысы; *Lr26* генінің 7 тасымалдаушысы; *Lr34* генінің 7 тасымалдаушысы және *Lr46* генінің 2 тасымалдаушысы. Алынған нәтижелерді Қазақстанның селекциялық бағдарламаларында пайдалануға болады.

Кілт сөздер: қоңыр тат, *P. recondita*, жаздық бидай, *Lr*-гендер, вируленттілік, молекулалық маркерлер, маркермен байланысты селекция.

A.A. Malysheva^{1*}, A.M. Kokhmetova¹, M.T. Kumarbaeva¹, Zh.S. Keyshilov¹, C. B. Dубекова²

¹Institute of plant biology and biotechnology, Almaty, Kazakhstan,

malysheva_angelina@list.ru*, gen_kalma@mail.ru, madina_kumar90@mail.ru, jekasayko@mail.ru

²Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing, Almaty, Kazakhstan, funny.kind@mail.ru

MOLECULAR GENETIC SCREENING OF *LR*-RESISTANCE GENES IN ACCESSIONS OF SOFT SPRING WHEAT IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHEAST OF KAZAKHSTAN

Abstract

Leaf rust caused by the parasitic basidiomycete *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*, one of the most harmful diseases of spring soft wheat both in Kazakhstan and in the world. The development of rust diseases can lead to a significant reduction in the yield of susceptible wheat varieties. The main problem of wheat breeding is the loss of efficiency of resistance genes, which is associated with the emergence of new virulent races of pathogens. This article presents the results of assessing the resistance of spring wheat varieties at the stage of seedlings and adult plants, as well as the results of screening for *Lr* resistance genes using molecular markers. As a result of the experiments, 9 samples were selected, demonstrating a high level of resistance to both races of *P. recondita* - MKT/Q and TJT/R at the seedling stage. In the field for two years of testing, 6 varieties were selected that showed a high level of resistance to the pathogen. The use of molecular markers made it possible to identify carriers of effective *Lr* resistance genes. Based on the results of molecular screening, 4 carriers of the *Lr9* resistance gene were identified; 5 carriers of the *Lr10* gene; 7 carriers *Lr26*; 7 carriers of *Lr34* and 2 carriers of the *Lr46* gene. The results obtained can be used in the breeding programs of Kazakhstan.

Key words: leaf rust, *P. recondita*, spring wheat, *Lr*-genes, virulence, molecular markers, marker associated selection.