УДК 633.11:632.938 DOI: 10.31857/S2500208225010025, EDN: CUFGPZ

ЮВЕНИЛЬНАЯ И ВОЗРАСТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ОБРАЗЦОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР К МУЧНИСТОЙ РОСЕ И ЛИСТОВОЙ РЖАВЧИНЕ*

Лев Геннадьевич Тырышкин[1], *доктор биологических наук, профессор*
Валентина Алексеевна Лосева[2]
Татьяна Вениаминовна Лебедева[1], *кандидат биологических наук*
Сулухан Кудайбердиевна Темирбекова[3], *доктор биологических наук, профессор*
Алла Николаевна Брыкова[1]
Евгений Валерьевич Зуев[1], *кандидат сельскохозяйственных наук*
[1]ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Екатерининская опытная станция – филиал ВИР, с. Екатеринино, Никифоровский р-н, Тамбовская обл., Россия
[3]Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Большие Вяземы, Одинцовский р-н, Московская обл., Россия
E-mail: sul20@yandex.ru

Аннотация. *Мучнистая роса и листовая ржавчина – вредоносные болезни мягкой пшеницы в большинстве регионов возделывания культуры. Наиболее рациональный способ борьбы с заболеваниями – использование устойчивых сортов. Их создание требует наличия надежных доноров и источников резистентности. Имеющиеся устойчивые генотипы могут стать восприимчивыми в результате изменения генетической структуры популяций патогенов и фенотипического изменения вирулентности под действием факторов внешней среды. Вследствие этого поиск новых устойчивых генотипов – актуальная задача. Изучена ювенильная устойчивость 780 образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) к мучнистой росе и листовой ржавчине. Проростковую устойчивость образцов яровой мягкой пшеницы к двум болезням изучали в отделе генетики ВИР по стандартным методикам. Взрослую устойчивость к болезням на Екатерининской опытной станции – филиале ВИР (Тамбовская обл.) и опытных полях ВИР в г. Пушкине определяли согласно Методическим указаниям ВИР. Выделили 43 сорта и линии с высоким уровнем устойчивости к листовой ржавчине и 27 – к мучнистой росе. Три образца обладают групповой резистентностью к двум болезням. Показано, что устойчивостью к бурой ржавчине характеризуется только материал из России, к мучнистой росе – из Европы.*

Ключевые слова: *T.aestivum L., проростковая и взрослая устойчивость, листовая ржавчина, мучнистая роса, гены резистентности*

JUVENILE AND AGE RESISTANCE OF SOFT WHEAT SAMPLES FROM THE ALL-RUSSIAN INSTITUTE OF CROP PRODUCTION COLLECTION TO POWDERY MILDEW AND LEAF RUST

L.G. Tyryshkin[1], *Grand PhD in Biological Sciences, Professor*
V.A. Loseva[2]
T.V. Lebedeva[1], *PhD in Biological Sciences*
S.K. Temirbekova[3], *Grand PhD in Biological Sciences, Professor*
A.N. Brykova[1]
E.V. Zuev[1], *PhD in Agricultural Sciences*
[1]N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia
[2]Ekaterinino Experimental Station – VIR branch, village Yekaterinino, Nikiforovsky district, Tambov region, Russia
[3]All-Russian Research Institute of Phytopathology, Bolshye Vyazemye, Odintsovo district, Moscow region, Russia
E-mail: sul20@yandex.ru

Abstract. *Powdery mildew and leaf rust are harmful diseases of bread wheat in most regions of crop cultivation. The most rational way to combat the diseases is to cultivate resistant varieties. Their creation requires the presence of reliable donors and sources of resistance. The existing resistant genotypes can become susceptible as a result of changes in the genetic structure of pathogen populations and phenotypic changes in virulence under the influence of environmental factors. As a result, the search for new resistant genotypes is a pressing issue. Juvenile resistance of 780 spring bread wheat samples from the collection of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov (VIR) to powdery mildew and leaf rust was studied. Seedling resistance of spring common wheat samples to two diseases was studied in the Genetics Department of VIR using standard methods. Adult resistance to diseases at the Yekaterinino Experimental Station – a branch of VIR (Tambov Region) and on VIR experimental fields in the Pushkin (Leningrad region) was carried out according to the VIR Methodological Instructions. During the study, 43 varieties and accessions with a high level of resistance to leaf rust and 27 – to powdery mildew were identified. Cultivars Ekada 85, Tulaikovskaya 117 and line 71-73 have group resistance to 2 diseases. It was shown that only material from Russia is characterized by resistance to leaf rust, while resistance to powdery mildew from European countries.*

Keywords: *T. aestivum L., seedling and adult resistance, leaf rust, powdery mildew, resistance genes*

* Статья подготовлена в рамках реализации Программы развития Национального центра генетических ресурсов растений по соглашению с Минобрнауки России от 15 февраля 2024 г. № 075-02-2024-1090 / The article was prepared as part of the implementation of the Development Program of the National Center for Plant Genetic Resources under the agreement with the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated February 15, 2024 No. 075-02-2024-1090.

Яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – важнейшая продовольственная культура мирового и отечественного сельскохозяйственного производства. Повышение урожайности и улучшение качества зерновой продукции – основная задача во всех регионах ее возделывания. [2] Однако эти показатели находятся под серьезной угрозой со стороны болезней и вредителей. Мучнистая роса, вызываемая биотрофным грибом *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal., – одно из самых опасных заболеваний пшеницы, встречающихся в районах с прохладным, влажным климатом. Заселение вегетативных органов пшеницы мучнисторосяным грибом приводит к уменьшению ассимиляционной поверхности листьев, снижению фотосинтеза и отрицательно влияет на формирование компонентов урожая. Преобладание в производственных посевах восприимчивых к болезни сортов мягкой пшеницы увеличивает вредоносность мучнистой росы и помогает сохранить повышенный инфекционный фон. Относительная нетребовательность гриба к условиям существования, короткий цикл развития от момента заражения до возникновения спор и способность образовывать расы с новой вирулентностью затрудняют селекцию пшеницы на устойчивость к мучнистой росе.

Листовая или бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.) – вредоносная болезнь мягкой пшеницы, поражающая культуру во всех регионах ее возделывания. Несмотря на разработку эффективных методов борьбы с данным заболеванием (агротехнические, химические, биологические), наиболее целесообразно с экономической и экологической точки зрения возделывать устойчивые сорта. Вследствие микроэволюционных процессов в популяциях возбудителей болезней, а также изменчивости их вирулентности под действием факторов среды, сорта часто теряют свою резистентность, поэтому необходим постоянный поиск новых источников и доноров эффективных генов устойчивости. В настоящее время известно 77 локализованных в хромосомах мягкой пшеницы *Lr* (leaf rust) генов устойчивости к листовой ржавчине, однако большинство из них неэффективны против «современных» популяций патогена в России. [10, 16–18]

Во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) систематически комплексно оценивали новый материал яровой мягкой пшеницы в полевых и лабораторных условиях. Последние данные были опубликованы в 2020 году. [11]

Цель работы – изучить ювенильную и возрастную устойчивость к листовой ржавчине и мучнистой росе новейших поступлений (2019–2023 годы) яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР и выделить высокорезистентные образцы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С 2019 по 2023 год провели ювенильную оценку на устойчивость к бурой ржавчине и мучнистой росе у 780 образцов яровой мягкой пшеницы. Коллекция представлена из 52 стран мира, российские преобладают – 36% (табл. 1). По статусу образцы были в основном селекционными сортами – 436 (55,9%) (табл. 2).

Проростковую устойчивость образцов яровой мягкой пшеницы к двум болезням изучали в отделе генетики ВИР.

При оценке ювенильной устойчивости к листовой ржавчине 10...15 проростков каждого образца выращивали в кюветах на вате, смоченной водой, на светоустановке (постоянное освещение – 2000 люкс, температура 21...22°С). Для заражения использовали водную суспензию уредоспор сборной популяции возбудителя (смесь сборов с нескольких восприимчивых сортов пшеницы в Северо-Западном регионе России). Данная популяция патогена до заражения экспериментального материала была оценена по вирулентности на ювенильных растениях с *Lr* генами устойчивости. Она оказалась вирулентна к линиям и сортам с генами *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2c*, *Lr10*, *Lr11*, *Lr12*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr20*, *Lr21*, *Lr22a*, *Lr22b*, *Lr23*, *Lr25*, *Lr26*, *Lr27+ Lr31*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr32*, *Lr33*, *Lr34*, *Lr35*, *Lr36*, *Lr37*, *Lr38*, *Lr45*, *Lr46*, *Lr48*, *Lr52*, *Lr57*, *Lr60*, *Lr64* и авирулентна с *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr41* и *Lr47*. [22]

Интактные растения опрыскивали суспензией уредоспор (концентрация – 30000/мл), кюветы на сутки закрывали полиэтиленовой пленкой и помещали в темноту. Затем пленку снимали и кюветы с растениями переносили на светоустановку. Учет типов реакции проводили на 14-е сутки после заражения по шкале Е.Б. Майнса и Х.С. Джексона, к устойчивым относили образцы с типом реакции 0. [15] Предположительно резистентные образцы перепроверяли на реакцию на заражение возбудителем листовой ржавчины не менее чем в трех дополнительных экспериментах.

Для некоторых образцов, выделившихся как высокоустойчивые к сборной популяции патогена, провели

Таблица 1.

Происхождение образцов яровой мягкой пшеницы, проверенных на ювенильную устойчивость к грибным болезням

Страна	Число образцов	Страна	Число образцов	Страна	Число образцов	Страна	Число образцов
Россия	282	Мексика	12	Португалия	5	Ангола	1
Эритрея	45	Неизвестно	11	Ирак	4	Аргентина	1
Китай	43	Чехия	11	Кыргызстан	4	Бельгия	1
Германия	34	Алжир	10	Пакистан	4	Бразилия	1
Канада	34	Греция	10	Таджикистан	4	Бурунди	1
Казахстан	26	США	10	Австралия	3	Венгрия	1
Польша	21	Швеция	10	Кения	3	Израиль	1
Турция	20	Испания	9	Эстония	3	Кипр	1
Эфиопия	19	Сирия	9	Боливия	2	Малави	1
Афганистан	18	Франция	9	Иордания	2	Мали	1
Индия	16	Украина	7	Латвия	2	Нидерланды	1
Великобритания	15	Беларусь	5	Узбекистан	2	Норвегия	1
Швейцария	14	Монголия	5	Австрия	1	Румыния	1

Таблица 2.

Статус образцов яровой мягкой пшеницы

Статус	Число образцов
Неизвестен	5
Местный сорт	243
Селекционная линия	63
Генетическая линия	33
Селекционный сорт	206
Реализованный селекционный сорт	131
Селекционный сорт, включенный в реестр РФ	99

фитопатологический тест при заражении проростков монопустульными изолятами *P. triticina,* вирулентными к линиям с генами *Lr9* и *Lr19*. Высокий тип реакции указывает на то, что устойчивость образца контролируется этим конкретным геном. [9]

Устанавливали заболевание проростков пшеницы мучнистой росой при искусственном заражении популяцией гриба в лабораторных условиях. Популяцию гриба (*Bgt*), собранную с восприимчивых растений пшеницы на экспериментальном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ПЛ ВИР, г. Санкт-Петербург), анализировали с использованием изогенных и тест-линий мягкой пшеницы. Популяция возбудителя мучнистой росы, собранная на экспериментальном поле, поражала тест-линии и сорта-дифференциаторы: Axminster/8*Cc (*Pm1),* Ulka/8*Cc (*Pm2),* Asosan II/8*Cc (*Pm3a),* Sonora/8*Cc (*Pm3c),* Kolibri (*Pm3d),* Polkka (*Pm3f),* Khapli/8*Cc (*Pm4a),* Armada (*Pm4b),* Hope (*Pm5),* TP114/2*Starke (*Pm6),* Disponent (*Pm8),* Normandie (*Pm9),* Norin 26 (*Pm10),* Chinese Spring (*Pm11),* Amigo (*Pm17),* XX 186 (*Pm19)*; умеренно устойчивыми оказались образцы: Chul/8*Cc (*Pm3b),* Transec (*Pm7),* BRG3N (*Pm16),* Meri (*Pm28)*; тест-линия Wembley 14.31 (*Pm12)* была иммунна к данной популяции гриба. Таким образом, популяция имела гены вирулентности к генам устойчивости *Pm1*, *Pm2*, *Pm3a-f*, *Pm4a-b*, *Pm5a*, *Pm6*, *Pm7*, *Pm8*, *Pm9*, *Pm10*, *Pm11, Pm16, Pm19*, *Pm28* и авирулентности к *Pm12.*

В лабораторных условиях зерновки каждого сорта (по 15...20 шт.) раскладывали в кюветы на вату, смоченную водой. Выращивание растений и инкубирование на них гриба проводили при 12-часовом освещении и температуре 16°С; 12 ч без света и 13°С. Семидневные проростки заражали, стряхивая конидии с сильно пораженных мучнистой росой растений пшеницы. Через 7...10 дн. после инокуляции находили степень поражения первого листа, используя качественную шкалу Майнса и Дитца. [14] Показатели заболевания растений мучнистой росой – интенсивность спороношения и качественные реакции тканей растений в ответ на внедрение патогена (хлорозы, некрозы).

Растения с поражением 0 и 1 баллов относили к классу устойчивых, реакции проверяли трехкратно.

Взрослую устойчивость к болезням на Екатерининской опытной станции – филиале ВИР (Тамбовская обл., сел. Екатеринино) и опытных полях ВИР в г. Пушкине определяли согласно Методическим указанием ВИР. [5] Образцы изучали три года. Оценивали устойчивость к мучнистой росе в фазе выход в трубку-колошение, к листовой ржавчине – в фазе колошения.

На Екатерининской опытной станции – филиале ВИР погодные условия 2020, 2022, 2023 годов способствовали сильному поражению образцов листовой ржавчиной. В 2019 году поражение болезнью было слабым, в 2021 – средним. Мучнистая роса в 2019–2023 годах проявлялась слабо.

На опытном поле ВИР в г. Пушкине, наоборот, практически во все годы изучения, мучнистая роса проявлялась сильно, бурая ржавчина замечена на единичных растениях. На полях ВИР в основном доминировала желтая ржавчина.

В связи с этим ювенильную оценку к листовой ржавчине сравнивали со взрослой устойчивостью в условиях Тамбовской области, а проростковую к мучнистой росе с устойчивостью в полевых условиях в г. Пушкине.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Были выделены высокоустойчивые образцы в ювенильной стадии к мучнистой росе и листовой ржавчине. По результатам трех и более независимых экспериментов к листовой ржавчине в стадии проростков в данной работе были устойчивы 43 сорта и линии яровой мягкой пшеницы – 5,5% количества изученных образцов. Все они проявили высокий уровень устойчивости и в стадии взрослого растения в условиях Тамбовской области (табл. 3).

Заражение некоторых выделенных образцов тест-клонами показало, что сорта *Александрит* (к-66877), *Хазинэ* (к-66881) защищены геном *Lr19*, так же как и линии к-68141, кк-68141-68147. По результатам фитопатологического теста образцы: *St.10/10* (к-67974), *St.18/10-68/4* (к-67975), *RL 7917* (к-67976), *RL 8494* (к-67977) из Тамбовской обл.; новосибирская линия 71-73 (к-67904), сорта *Алтайская 85* (к-68337) и *Степная 62* (к-67557) защищены геном устойчивости *Lr9. Челяба 80* (к-66871) и *Памяти Одинцовой* (к-66872), согласно литературным данным, защищены эффективным геном *LrSp.* [12]

Линия ЛТ 9 (к-67123) имеет одновременно два гена устойчивости *Lr9* и *Lr24.* Гены устойчивости образцов *ЛТ 11* (к-67124) и *ЛТ 12* (к-67125) не могут быть идентичны известным эффективным (все они имеют интрогрессивный характер), поскольку созданы на основе индукции сомаклональной изменчивости.

По результатам оценки ювенильной устойчивости к мучнистой росе выделено 27 образцов (высокоустойчивые и устойчивые) – 3,5% количества изученных (табл. 4). Все они также были устойчивы в полевых условиях Ленинградской обл. По ювенильной и полевой устойчивости к мучнистой росе отмечены европейские сорта яровой мягкой пшеницы. Из российских устойчивыми были только *Зауральская Волна* (Курганская обл.), *Беляна* (Московская обл.), *Тулайковская 117* (Самарская обл.), две новосибирские линии, созданные Е.А. Салиной (к-67904 и к-67905) и *Сигма 5* (Омская обл.).

Начиная с 2000 года ежегодно устанавливается небольшой процент устойчивых образцов – 2,5...3,9. Так и за последние пять лет распределение сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости не изменилось (см. рисунок).

Информация о генах устойчивости сортов, выявленных в наших опытах, практически отсутствует. Ювенильная устойчивость сортов *Batalj* и *Stilett* контролируется моногенно, ген доминантный и отличается от

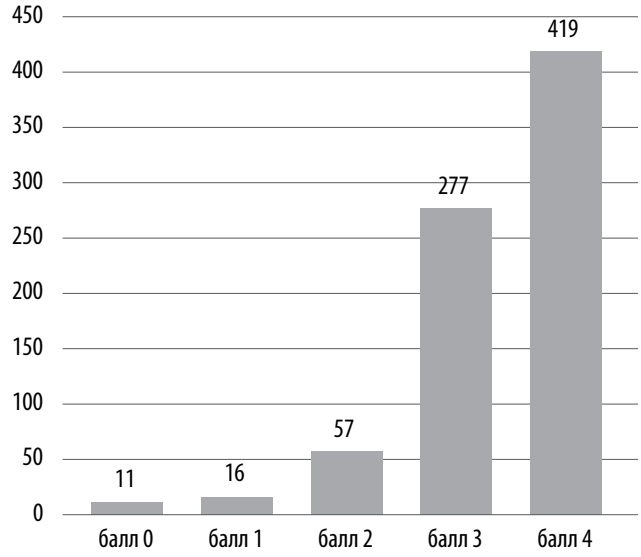
Таблица 3.
Ювенильная и полевая оценка устойчивости образцов яровой мягкой пшеницы к листовой ржавчине в 2019–2023 годах

Образец	Устойчивость, балл	
	ювенильная	полевая
RL-3 (к-66733, Тамбовская обл.)	0	7
RL-6-8 (к-66734, Тамбовская обл.)	0	7
СФР 135-17-16-15 (к-66738, Тамбовская обл.)	0	7
Челяба 80 (к-66871, Челябинская обл.)	0	9
Памяти Одинцовой (к-66872, Челябинская обл.)	0	9
Александрит (к-66877, Саратовская обл.)	0	7
Хазинэ (к-66881, Татарстан)	0	9
ЛТ-9 (к-67123, Ленинградская обл.)	0	7
ЛТ-11 (к-67124, Ленинградская обл.)	0	7
ЛТ-12 (к-67125, Ленинградская обл.)	0	7
Кинельская Заря (к-67244, Самарская обл.)	0	7
Ирвита (к-67319, Пензенская обл.)	0	7
Одинцовская (к-67330, Челябинская обл.)	0	9
Силач (к-67348, Челябинская обл.)	0	7
Pavon (Lr47) (к-67420, США)	0	7*
Тулайковская 117 (к-67425, Самарская обл.)	0	9
Фурор (к-67445, Волгоградская обл.)	0	9
Кинельская 2020 (к-67459, Самарская обл.)	0	7
Челябинка (к-67462, Челябинская обл.)	0	7
Степная 62 (к-67557, Казахстан)	0	–
Кинельская звезда (к-67761, Самарская обл.)	0	9
Зауральский простор (к-67764, Курганская обл.)	0	7
Квартет (к-67750, Саратовская обл.)	0	9
Уралосибирская 3 (к-67756, Омская обл.)	0	9
St.10/10 (к-67974, Тамбовская обл.)	0	–
St.18/10-68/4 (к-67975, Тамбовская обл.)	0	–
RL 7917 (к-67976, Тамбовская обл.)	0	–
RL 8494 (к-67977, Тамбовская обл.)	0	–
Линия 71-73 (к-67904, Новосибирская обл.)	0	9
Лютесценс 220-03-32 (к-68141, Омская обл.)	0	–
Лютесценс 242-97-2-26 (к-68143, Омская обл.)	0	–
Лютесценс 242-97-2-30 (к-68144, Омская обл.)	0	–
Лютесценс 242-97-2-32 (к-68145, Омская обл.)	0	–
Лютесценс 242-97-2-40 (к-68146, Омская обл.)	0	–
Лютесценс 242-97-2-45 (к-68147, Омская обл.)	0	–
Лютесценс 310-00-2 (к-68149, Омская обл.)	0	–
Эритроспермум 22889 (к-68150, Омская обл.)	0	–
Эритроспермум 22912 (к-68151, Омская обл.)	0	–
Эритроспермум 22915 (к-68152, Омская обл.)	0	–
Л 656 (к-68153, Саратовская обл.)	0	–
Экада 85 (к-68154, Казахстан)	0	–
Памяти Тюнина (к-68177, Челябинская обл.)	0	–
Алтайская 85 (к-68337, Алтайский край)	0	–

Примечание. * – данные за два года (то же в табл. 4).

Таблица 4.
Ювенильная и полевая оценка устойчивости образцов яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе в 2019–2023 годах

Образец	Устойчивость, балл	
	ювенильная	полевая
Sonett (к-66799, Швеция)	0	9
Alicia (к-66865, Чехия)	1	9
Toccata (к-66866, Чехия)	1	9
Зауральская Волна (к-66874, Курганская обл.)	0	7
KWS Alderon (к-67074, Великобритания)	1	7
KWS Willow (к-67076, Великобритания)	1	7
Vanek (к-67080, Германия)	1	7
KWS Collada (к-67087, Германия)	0	7
Arabeska (к-67093, Польша)	1	9
Stilett (к-67119, Швеция)	1	7
Granus (к-67153, Германия)	0	9
Arabella (к-67159, Польша)	0	7
Mooni (к-67357, Эстония)	1	7
Batalj (к-67116, Швеция)	0	7
Happy (к-67247, Швеция)	0	7
Mandaryna (к-67096, Польша)	1	7
CSP44 (Lr48) (к-67421, Австралия)	1	7
Беляна (к-67423, Московская обл.)	1	9
Тулайковская 117 (к-67425, Самарская обл.)	1	7
Sharki (к-67471, Германия)	1	7
Cancian (к-67558, Германия)	0	9
Lascada (к-67565, Германия)	0	7
Patricia (к-67568, Франция)	1	7
Линия 35-37 (к-67903, Новосибирская обл.)	1	–
Линия 71-73 (к-67904, Новосибирская обл.)	1	–
Сигма 5 (к-67755, Омская обл.)	0	9*
Экада 85 (к-68154, Казахстан).	0	–



Количество образцов яровой мягкой пшеницы с типами реакций на заражение проростков мучнистой росой (2019–2023 годы).

эффективного *Pm12,* который передан в геном мягкой пшеницы путем скрещивания яровой с *Ae. speltoides* Tausch. [3, 17] Также имеется информация о взрослой устойчивости сорта KWS Willow. [21]

У растений несколько механизмов защиты от патогенов. Существует устойчивость к болезни, проявляющаяся на всех стадиях развития растения – ASR (all-stage resistance) и устойчивость взрослого растения – APR (adult plant resistance). [19] ASR обычно проявляется как реакция сверхчувствительности на внедрение патогена, APR – расонеспецифичная и контролируется многими генами, обеспечивая частичную устойчивость на постпроростковой стадии. Сорта, обладающие APR, сохраняют взрослую устойчивость многие годы. В нашем эксперименте два сорта, восприимчивые в проростках, не поражались *Bgt* в поздние периоды развития в условиях Ленинградской области. Они характеризуются устойчивостью взрослых растений (APR) – сорта *Taifun* (к-67963, Германия) и *Togano* (к-67111, Швейцария).

По эффективной ювенильной устойчивости к листовой ржавчине в настоящей работе выявлено 43 образца. Их вовлечение в селекцию целесообразно после идентификации генов резистентности. Из известных *Lr* генов в настоящее время в Российской Федерации в стадии проростков эффективны только *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr41* и *Lr47*, причем они потеряли свою эффективность в ряде регионов. [1, 4, 6–8, 10, 13, 20] Образцы, защищенные этими единичными генами, вряд ли могут быть рекомендованы для селекции на резистентность. У линии ЛТ 9 присутствуют одновременно два гена устойчивости *Lr9* и *Lr24*. Гены устойчивости образцов ЛТ 11 и ЛТ 12 не могут быть идентичны известным эффективным (все они имеют интрогрессивный характер), поскольку созданы на основе индукции сомаклональной изменчивости. Для 16-и образцов из изученных доказано присутствие генов *Lr9* и *Lr19*. Все образцы, устойчивые в стадии проростков, были резистентны и в стадии взрослых растений.

Наибольший интерес для селекции представляют образцы с групповой устойчивостью к двум болезням – *Экада 85* (к-68154, Казахстан), *Тулайковская 117* (к-67425, Самарская обл.), Линия 71-73 (к-67904, Новосибирская обл.).

Выводы. Таким образом, при изучении 780 образцов яровой мягкой пшеницы новейших поступлений из коллекции ВИР выделили 43 сорта и линии с высоким уровнем устойчивости к листовой ржавчине и 27 – к мучнистой росе. Три обладают групповой резистентностью к двум болезням. Показано, что устойчивостью к бурой ржавчине характеризуется только материал из России, к мучнистой росе – из Европы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Агапова В.Д., Ваганова О.Ф., Волкова Г.В. Эффективность ювенильных генов устойчивости к возбудителю бурой ржавчины озимой пшеницы в фазу проростков в условиях юга России // МНИЖ. 2020. № 8-1 (98). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-yuvenilnyh-genov-ustoychivosti-k-vozbuditelyu-buroy-rzhavchiny-ozimoy-pshenitsy-v-fazu-prorostkov-v-usloviyah-yuga (дата обращения: 13.09.2024).
2. Ворончихина И.Н., Ворончихин В.В., Рубец В.С. и др. Оценка коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 13–18. https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp13-18
3. Лебедева Т.В., Зуев Е.В. Генетический контроль ювенильной устойчивости к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР // Vavilovia. 2021. Т. 4. № 1. С. 25–35. https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-1-1-11
4. Маркелова Т.С. Изучение структуры и изменчивости популяции бурой ржавчины пшеницы в Поволжье // Агро XXI. 2007. № 4–6. С. 37–39.
5. Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев Е.В. и др. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания. С.-Пб.: ВИР, 1999. 81 с.
6. Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Коренюк Е.А., Белан И.А. Динамика распространения патотипа возбудителя бурой ржавчины пшеницы вирулентного к сортам с геном *Lr9* в Омской области // Микология и фитопатология. 2012. Т. 46. Вып. 6. С. 397–400.
7. Плотникова Л.Я., Мешкова Л.В., Гультяева Е.И. и др. Тенденция преодоления устойчивости к бурой ржавчине интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом Aegilops speltoides Tausch. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 5. С. 560–567. https://doi.org/10.18699/VJ18.395
8. Сибикеев С.Н., Конькова Э.А., Салмова М.Ф. Характеристика вирулентности возбудителя бурой ржавчины мягкой пшеницы в условиях Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2020. № 9. С. 40–44. https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp40-44
9. Тырышкин Л.Г. Изучение генетического контроля устойчивости зерновых самоопыляющихся культур к болезням. С.-Пб.: ВИР, 2010. 34 с.
10. Тырышкин Л.Г., Волкова Г.В., Коломиец Т.М. и др. Эффективная устойчивость к листовой ржавчине образцов яровой мягкой пшеницы новейших поступлений из коллекции ВИР // Vavilovia. 2019. Т. 2. № 2. С. 35–43. https://doi.org/10.30901/2658-3860-2019-2-35-43
11. Тырышкин Л.Г., Лебедева Т.В., Ковалева М.М. и др. Яровая мягкая пшеница. Характеристика образцов новейших поступлений коллекции ВИР по устойчивости к листовой ржавчине, темно-бурой листовой пятнистости, мучнистой росе и пыльной головне // Каталог ВИР. 2020. Вып. 913. 23 с. https://doi.org/10.30901/978-5-607145-19-1
12. Тюнин В.А., Шрейдер Е.Р., Гультяева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Характеристика вирулентности популяций Puccinia triticina и перспективы использования генов Lr24, Lr25, LrSp в селекции яровой мягкой пшеницы на Южном Урале // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 5. С. 523–529. https://doi.org/10.18699/VJ17.269
13. Leonova I.N., Skolotneva E.S., Salina E.A. Genome-wide association study of leaf rust resistance in Russian spring wheat varieties // BMC Plant Biol. 2020. Oct. 14–20 (Suppl. 1). P. 135. https://doi.org/10.1186/s12870-020-02333-3
14. Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic form of barley mildew Erysiphe graminis DC. // Phytopathology. 1930. V. 20. № 3. P. 229–239.
15. Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat Puccinia triticina Erikss // Phytopathology. 1926. V. 16. № 1. P. 89–120.
16. McIntosh R.A., Hart G.E., Devos K.M. et al. Catalogue of gene symbols for wheat: 1998 Supplement. Available online: https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wgc/98/ (дата обращения 9 сентября 2024).
17. McIntosh R.A., Devos K.M., Dubcovsky J. et al. Catalogue of gene symbols for wheat: 2003 Supplement. Available online: https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wgc/2003upd.html (дата обращения 9 сентября 2024).
18. McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J. et al. Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2017 Supplement. Available online: https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2017.pdf (дата обращения 9 сентября 2024).
19. Nisha R., Panneer Sh., Sivasamy M. et al. Stacking effective ASR and APR rust genes for multiple disease resistance in bread wheat cultivars // Crop Breeding and Applied Biotechnology. 2023. 23 (1). e44082317. https://doi.org/10.1590/1984-70332023v23n1a7
20. Skolotneva E.S., Leonova I.N., Bukatich E.Y. et al. Effectiveness of leaf rust resistance genes against Puccinia triticina populations in Western Siberia during 2008–2017 // J. Plant Dis. Prot. 2018. New Series 125 (4). P. 549–555. https://doi.org/10.1007/s41348-018-0191-3
21. Wheat Pocketbook. HGCA Recommended List 2014/15. Available online: https://projectblue.blob.core.windows.

net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/AHDB%20Cereals%20&%20Oilseeds/Varieties/RL2014-15/Recommended%20Lists%20for%20cereals%20and%20oilseeds%202014-5.pdf (дата обращения 9 сентября 2024).
22. Zuev E.V., Lebedeva T.V., Yakovleva O.V. et al. Genetic Diversity for Effective Resistance in Wheat Landraces from Ethiopia and Eritrea to Fungal Diseases and Toxic Aluminum Ions // Plants 2024. Issue 13. № 8. PP. 1166. https://doi.org/10.3390/plants13081166

REFERENCES

1. Agapova V.D., Vaganova O.F., Volkova G.V. Effektivnost' yuvenil'nyh genov ustojchivosti k vozbuditelyu buroj rzhavchiny ozimoj pshenicy v fazu prorostkov v usloviyah yuga Rossii // MNIZh. 2020. № 8-1 (98). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-yuvenilnyh-genov-ustoychivosti-k-vozbuditelyu-buroy-rzhavchiny-ozimoy-pshenitsy-v-fazu-prorostkov-v-usloviyah-yuga (data obrashcheniya: 13.09.2024).
2. Voronchihina I.N., Voronchihin V.V., Rubec V.S. i dr. Ocenka kollekcii yarovoj myagkoj pshenicy v usloviyah Central'nogo rajona Nechernozemnoj zony Rossii // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2021. № 8. S. 13–18. https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp13-18
3. Lebedeva T.V., Zuev E.V. Geneticheskij kontrol' yuvenil'noj ustojchivosti k muchnistoj rose obrazcov yarovoj myagkoj pshenicy kollekcii VIR // Vavilovia. 2021. T. 4. № 1. S. 25–35. https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-1-1-11
4. Markelova T.S. Izuchenie struktury i izmenchivosti populyacii buroj rzhavchiny pshenicy v Povolzh'e // Agro XXI. 2007. № 4–6. S. 37–39.
5. Merezhko A.F., Udachin R.A., Zuev E.V. i dr. Popolnenie, sohranenie v zhivom vide i izuchenie mirovoj kollekcii pshenicy, egilopsa i tritikale: metodicheskie ukazaniya. S.-Pb.: VIR, 1999. 81 s.
6. Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Korenyuk E.A., Belan I.A. Dinamika rasprostraneniya patotipa vozbuditelya buroj rzhavchiny pshenicy virulentnogo k sortam s genom Lr9 v Omskoj oblasti // Mikologiya i fitopatologiya. 2012. T. 46. Vyp. 6. S. 397–400.
7. Plotnikova L.Ya., Meshkova L.V., Gul'tyaeva E.I. i dr. Tendenciya preodoleniya ustojchivosti k buroj rzhavchine introgressivnyh linij myagkoj pshenicy s geneticheskim materialom Aegilops speltoides Tausch. // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2018. T. 22. № 5. S. 560–567. https://doi.org/10.18699/VJ18.395
8. Sibikeev S.N., Kon'kova E.A., Salmova M.F. Harakteristika virulentnosti vozbuditelya buroj rzhavchiny myagkoj pshenicy v usloviyah Saratovskoj oblasti // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2020. № 9. S. 40–44. https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp40-44
9. Tyryshkin L.G. Izuchenie geneticheskogo kontrolya ustojchivosti zernovyh samoopylyayushchihsya kul'tur k boleznyam. S.-Pb.: VIR, 2010. 34 s.
10. Tyryshkin L.G., Volkova G.V., Kolomiec T.M. i dr. Effektivnaya ustojchivost' k listovoj rzhavchine obrazcov yarovoj myagkoj pshenicy novejshih postuplenij iz kollekcii VIR // Vavilovia. 2019. T. 2. № 2. S. 35–43. https://doi.org/10.30901/2658 3860 2019 2 35–43
11. Tyryshkin L.G., Lebedeva T.V., Kovaleva M.M. i dr. Yarovaya myagkaya pshenica. Harakteristika obrazcov novejshih postuplenij kollekcii VIR po ustojchivosti k listovoj rzhavchine, temno-buroj listovoj pyatnistosti, muchnistoj rose i pyl'noj golovne // Katalog VIR. 2020. Vyp. 913. 23 s. https://doi.org/10.30901/978-5-607145-19-1
12. Tyunin V.A., Shrejder E.R., Gul'tyaeva E.I., Shajdayuk E.L. Harakteristika virulentnosti populyacij Ruccinia triticina i perspektivy ispol'zovaniya genov Lr24, Lr25, LrSp v selekcii yarovoj myagkoj pshenicy na Yuzhnom Urale // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2017. T. 21. № 5. S. 523–529. https://doi.org/10.18699/VJ17.269
13. Leonova I.N., Skolotneva E.S., Salina E.A. Genome-wide association study of leaf rust resistance in Russian spring wheat varieties // BMC Plant Biol. 2020. Oct. 14–20 (Suppl. 1). P. 135. https://doi.org/10.1186/s12870-020-02333-3
14. Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic form of barley mildew Erysiphe graminis DC. // Phytopathology. 1930. V. 20. № 3. P. 229–239.
15. Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat Puccinia triticina Erikss // Phytopathology. 1926. V. 16. № 1. P. 89–120.
16. McIntosh R.A., Hart G.E., Devos K.M. et al. Catalogue of gene symbols for wheat: 1998 Supplement. Available online: https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wgc/98/ (дата обращения 9 сентября 2024).
17. McIntosh R.A., Devos K.M., Dubcovsky J. et al. Catalogue of gene symbols for wheat: 2003 Supplement. Available online: https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wgc/2003upd.html (дата обращения 9 сентября 2024).
18. McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J. et al. Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2017 Supplement. Available online: https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2017.pdf (дата обращения 9 сентября 2024).
19. Nisha R., Panneer Sh., Sivasamy M. et al. Stacking effective ASR and APR rust genes for multiple disease resistance in bread wheat cultivars // Crop Breeding and Applied Biotechnology. 2023. 23 (1). e44082317. https://doi.org/10.1590/1984-70332023v23n1a7
20. Skolotneva E.S., Leonova I.N., Bukatich E.Y. et al. Effectiveness of leaf rust resistance genes against Puccinia triticina populations in Western Siberia during 2008–2017 // J. Plant Dis. Prot. 2018. New Series 125 (4). P. 549–555. https://doi.org/10.1007/s41348-018-0191-3
21. Wheat Pocketbook. HGCA Recommended List 2014/15. Available online: https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/AHDB%20Cereals%20&%20Oilseeds/Varieties/RL2014-15/Recommended%20Lists%20for%20cereals%20and%20oilseeds%202014-5.pdf (дата обращения 9 сентября 2024).
22. Zuev E.V., Lebedeva T.V., Yakovleva O.V. et al. Genetic Diversity for Effective Resistance in Wheat Landraces from Ethiopia and Eritrea to Fungal Diseases and Toxic Aluminum Ions // Plants 2024. Issue 13. № 8. PP. 1166. https://doi.org/10.3390/plants13081166).

Поступила в редакцию 17.09.2024
Принята к публикации 01.10.2024