

Источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе

Данил Фидусович Асхадуллин¹, Дамир Фидусович Асхадуллин¹, Нурания Зуфаровна Василова¹,
Евгений Валерьевич Зуев², Илсина Илнуровна Хусаинова¹

¹Татарский НИИСХ – ФИЦ КАНЦ РАН, г. Казань, Россия.

²ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: faridaffz@mail.ru

Аннотация. Эффективная селекционная работа по созданию устойчивых к болезням сортов пшеницы предусматривает региональные, ретроспективные исследования по определению эффективных источников устойчивости. Одной из наиболее вредоносных и глобально значимых болезней пшеницы является мучнистая роса. В условиях Татарстана, находящегося в Поволжском экономическом районе России, массовое развитие мучнистой росы на яровой мягкой пшенице, отмечается ежегодно, вне зависимости от сложившихся погодных условий. Сложившийся высокий естественный инфекционный фон позволяет объективно дифференцировать образцы яровой пшеницы по устойчивости к болезни. Целью наших исследований был поиск источников устойчивости к мучнистой росе среди образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР, сохраняющие устойчивость длительное время. Исследования проводились с 2011 по 2021 г. Всего за весь период было изучена устойчивость к мучнистой росе 702 образцов в условиях Предкамской зоны республики Татарстан. Реакцию образцов оценивали к природной популяции гриба *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, вызываемого мучнистую росу пшеницы. Проведенный скрининг образцов яровой мягкой пшеницы с 2011 по 2020 г. позволил выделить источники полевой устойчивости к мучнистой росе сохраняющие свою эффективность длительное время: Tybalt (к-64897, Нидерланды), Zebra (к-64707, Швеция), CH Rubli (к-65003, Германия), Виза (к-64390, Беларусь). За этот период произошло снижение устойчивости образцов яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе с 3,5 баллов в 2011–2015 годах до 4,6 баллов в 2016–2020 годах (по 9-ти бальной шкале). У сортообразцов: Тома (к-66193), Сударыня (к-6647), Ласка (к-66421) из Белоруссии; KWS Torridon (к-66273, Великобритания); Tybalt (к-64897, Нидерланды); Griwa (к-66701), Zura (к-66702) из Польши; Florens (к-66391, Франция); Odeta (66394, Чехия); Lavett (к-66095), Boett (к-66353) из Швеции не регистрировалось симптомов мучнистой росы в 2019–2021 гг. Коллекция российских сортов и сортов из стран бывшего СССР (кроме Белоруссии), бедна устойчивыми сортами, высокоустойчивыми оказались лишь два сорта Баракат и Ситара из Татарстана. Устойчивые к мучнистой росе образцы, в основном, происходят из европейской части мира (полоса: Великобритания → Беларусь), примерно в географических координатах – 50...55° северной широты.

Ключевые слова: пшеница; мучнистая роса; устойчивость; сорт; вирулентность.

Для цитирования: Асхадуллин Д. Ф., Асхадуллин Д. Ф., Василова Н. З., Зуев Е. В., Хусаинова И. И. Источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе // Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 10–15. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp10-15>.

AGRONOMY

Original article

Sources of spring common wheat resistance to powdery mildew

Danil F. Askhadullin¹, Damir F. Askhadullin¹, Nurania Z. Vasilova¹, Evgeny V. Zuev², Ilsina I. Khusainova¹

¹ Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, RAS, Kazan, Russia.

²FRC N.I.Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Saint Petersburg, Russia
e-mail: faridaffz@mail.ru

Abstract. Effective breeding work to create disease-resistant wheat varieties provides for regional, retrospective studies to determine effective sources of resistance. One of the most harmful and globally significant wheat diseases is powdery mildew. In the conditions of Tatarstan, located in the Volga economic region of Russia, the mass development of powdery mildew on spring common wheat is noted annually, regardless of the prevailing weather conditions. The prevailing high natural infectious background allows us to objectively differentiate spring wheat samples by disease resistance. The purpose of our research was to search for sources of resistance to powdery mildew among the samples of spring common wheat of the VIR collection, which retain stability for a long time. The studies were conducted in the period from 2011 to 2021. In total, during the entire period, the resistance to powdery mildew of 702 samples was studied in the conditions of the Pre-Kama zone of the Republic of Tatarstan. The reaction of the samples was evaluated to a natural population of the fungus *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, caused by powdery mildew of wheat. The screening of spring common wheat samples for the period from 2011 to 2020 allowed us to identify sources of field resistance to powdery mildew that retain their effectiveness for a long time: Tybalt (k-64897, Netherlands), Zebra (k-64707, Sweden), CH Rubli (k-65003, Germany), Visa (k-64390, Belarus). During this period, there was a decrease in the resistance of spring common wheat samples to powdery mildew from 3.5 points in 2011–2015 to 4.6 points in 2016–2020 (on a 9-point scale). At varieties: Toma (k-66193), Sudarynya (k-6647), Laska (k-66421) from Belarus; KWS Torridon (k-66273, UK); Tybalt (k-64897, Netherlands); Griwa (k-66701), Zura (k-66702) from Poland; Florens (k-66391, France); Odeta (66394, Czech Republic); Lavett (k-66095), Boett (k-66353) from Sweden no symptoms of powdery mildew were recorded in 2019–2021. The collection of Russian varieties and varieties from the countries of the former USSR (except Belarus) is poor in resistant varieties, only two varieties of Barakat and Sitara from Tatarstan turned out to be highly resistant. Resistant to B. graminis samples mainly originate from the European part of the world (band: Great Britain → Belarus), approximately in geographical coordinates - 50...55° north latitude.

Keywords: wheat; powdery mildew; disease resistance; variety; virulence.

For citation: Askhadullin D. F., Askhadullin D. F., Vasilova N. Z., Zuev E. V., Khusainova I. I. Sources of spring common wheat resistance to powdery mildew and their environmental stability in the field. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(10):10–15. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp10-15>.





Введение. Одним из факторов, негативно влияющих на урожайность пшеницы, являются грибные болезни. В сельском хозяйстве в борьбе с болезнями пшеницы наиболее эффективными приемами являются использование фунгицидов и возделывание устойчивых сортов. Усиливающиеся общественное настроение в защиту окружающей среды и, в том числе, на необходимость снижения применения пестицидов в растениеводстве вынуждает сельхозтоваропроизводителей идти по более экономически выгодному, экологически безопасному пути – возделывать устойчивые к болезням сорта. Эффективная селекционная работа по созданию устойчивых к болезням сортов пшеницы предусматривает региональные, ретроспективные исследования по определению эффективных источников устойчивости, их донорских свойств, мониторингу изменения видового состава популяции возбудителя болезни. Одной из наиболее вредоносных и глобально значимых болезней пшеницы является мучнистая роса [14].

Мучнистая роса, вызываемая облигатным биотрофом *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal (син. *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*), коэволюционирует с мягкой пшеницей с момента её одомашнивания [23]. Мучнистая роса может развиваться на любой стадии роста, на озимых и яровых формах. Сохранение и распространение инфекции может происходить, в зависимости от региона, как конидиями и мицелием, так и аскоспорами. Считается, что аскоспоры, продуцируемые половым путем, не вносят большого вклада в распространение мучнистой росы [12]. За время вегетации развивается от 10 до 20 генераций конидиального спороношения. Все это обеспечивает грибу высокую адаптацию к различным почвенно-климатическим условиям и вредоносность.

Мучнистая роса пшеницы встречается в большинстве пшеницесееющих регионах мира, при этом потери урожая, при определенных условиях, могут составлять – треть, снижается и содержание белка в зерне [20]. Снижение урожайности объясняется патологическими изменениями у растения, главным образом уменьшением массы зерновок [2, 14].

Популяционная структура этого патогена претерпевает быстрые изменения. С 1969 по 2009 г. как на глобальном уровне, так и в Европе наблюдалось значительное увеличение степени тяжести мучнистой росы у восприимчивых сортов с 7,0–7,5 до 8,1–8,2 баллов (по 9-балльной шкале) [18]. Эволюция возбудителя мучнистой росы так же пространственно неоднородна. Исследование вирулентности возбудителей мучнистой росы на отобранных в 15 штатах США образцах пшеницы демонстрировали широкий диапазон разнообразия патотипов и неоднородность их распределения на территории [13]. Существенная генетическая неоднородность популяций *B. graminis* выявлена и на территории Китая [24]. Кроме того, некоторые виды *B. graminis* способны развивать устойчивость к нескольким химическим классам веществ в течение нескольких лет. Это привело к снижению эффективности некоторых классов фунгицидов, которые применяются против мучнистой росы [22]. Большую роль в увеличении вредоносности мучнистой росы оказывают климатические изменения. В условиях Китая, на основе нескольких моделей изменения климата, спрогнозирована еще большая угроза для производства озимой пшеницы в будущем, из-за мучнистой росы [21]. В настоящее время внедрение в производство сортов пшеницы с высокой степенью устойчивости становится основной стратегией в борьбе с данным заболеванием.

Мировая коллекция генетических ресурсов растений ВИР (г. Санкт-Петербург, Россия) имеет значительное количество устойчивых образцов яровой мягкой пшеницы к популяции мучнистой росы, приуроченной к Северо-Западному региону России [6,5]. Изучена вирулентность рас в данном регионе. Однако, малоизвестно о структурах популяции мучнистой росы и экономических потерях, которые происходят на коммерческих сортах в других регионах России. При этом, сильное развитие мучнистой росы на пшенице в отдельные годы или ежегодно отмечается на территории многих сельскохозяйственно-развитых экономических районах России: в Северо-Западном [7], Центральном [3], Центрально-Черноземном [9], Северо-Кавказском [1], Западно-Сибирском [11]. В условиях Татарстана, находящегося в Поволжском экономическом районе, массовое развитие мучнистой росы на яровой пшенице, отмечается ежегодно, вне зависимости от сложившихся погодных условий. Сложившийся высокий естественный инфекционный фон позволяет объективно дифференцировать образцы яровой пшеницы по устойчивости к болезни. А также, выявлять популяционные изменения возбудителя мучнистой росы, для использования этих данных в стратегии селекционной работы с культурой – яровая мягкая пшеница.

Целью наших исследований был поиск источников устойчивости к мучнистой росе среди образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР, сохраняющие устойчивость длительное время на высоком естественном инфекционном фоне.

Методика исследований. Исследования на яровой мягкой пшенице проводили с 2011 по 2021 г. (11 вегетационных периодов). Весеннее и осеннее обследование озимой пшеницы в 2021 г. Объектами исследования служили образцы коллекции яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) ВИР из основных пшеницесееющих регионов мира и сорта селекции Татарского НИИСХ. Всего за весь период было изучена устойчивость к мучнистой росе 702 образцов. Названия образцов пшеницы приведены по номенклатуре ВИР. Посев образцов яровой мягкой пшеницы проводили на полях землепользования Татарского НИИСХ находящегося в Предкамской зоне Республики Татарстан (55°62'N, 49°33'E – 55°63'N, 49°31'E). Республика Татарстан входит в Средневолжский регион РФ согласно Положению Государственного реестра селекционных достижений, допущенных к использованию. Почва серая лесная, тяжелосуглинистая, слабо- и среднегумусированная, обеспеченность фосфором и калием среднее – высокое. Посев проводили селекционными сеялками с площадью делянок 1 м². Норма высева 5,5 млн всхожих семян/га. Срок посева, оптимальный для зоны – первая декада мая. Реакцию образцов оценивали к природной популяции гриба *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, вызываемого мучнистую росу пшеницы.



Погодные условия в летний период в годы исследований были характерны для лесостепной зоны России, с частыми засухами, исключение 2017 г. с дождливым и холодным летом. Оценку образцов по восприимчивости к мучнистой росе проводили не менее 2 раз за вегетационный период: в фазу выхода в трубку и в колошение, период между наблюдениями составлял 17–21 день. Для оценки интенсивности развития болезни использовали шкалу E.E. Saari, J.M. Prescott [19] (0 баллов – растения свободны от инфекции, 9 баллов – растения высоко восприимчивые, сильное развитие болезни на всех листьях, имеется поражение колоса). Статистическая обработка результатов исследования проведена на основании алгоритмов вычисления, описанных в Методике полевого опыта [8].

Результаты исследований. Разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы, создаваемых и выращиваемых в России, большое. В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на 2020 год, включено по всем регионам России 277 сортов. По Средневолжскому региону допущено 45 сортов, из них 36 сортов имеются в нашей коллекции. По результатам испытаний в 2019–2021 гг. установлено, что большинство из них восприимчивы к местной популяции мучнистой росы (рис. 1). Устойчивыми являются только 11 % сортов.

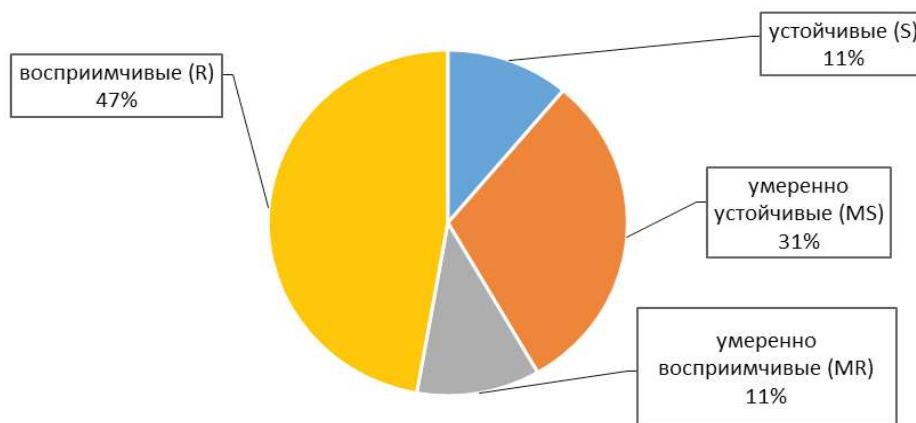


Рис. 1. Доля сортов яровой мягкой пшеницы с различной степенью устойчивости к мучнистой росе допущенных к использованию в Средневолжском регионе

По данным ВНИИ фитопатологии [10], при интенсивности развития мучнистой росы 20–40 %, что соответствует интенсивности развития болезни на умеренно восприимчивых и восприимчивых сортах, потери урожая составляют 10–25 %. Таким образом, при выращивании более половины допущенных к использованию в Средневолжском регионе сортов, существует риск существенно недополучить урожай зерна из-за мучнистой росы и возрастает актуальность селекционной работы на устойчивость к данной болезни.

Для прикладного использования и селекционной практики большее значение имеют образцы, сохраняющие устойчивость длительное время и, как правило, имеющие горизонтальную устойчивость. Одиннадцатилетние исследования (2011–2021 гг.) показывают, что для возбудителя мучнистой росы *B. graminis* в наших условиях, характерно изменение вирулентности. Большинство образцов, у которых отсутствовали симптомы болезни или были слабыми с 2011 по 2013 г., стали поражаться мучнистой росой в последующие годы (табл. 1).

Таблица 1

Устойчивость к *Blumeria graminis* коллекционных образцов в период колошения, балл

Образец	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Казахстанская раннеспелая*	–	5	5	9	8	7	9	7	8	8	4
Tyalt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zebra	0	0	0	3	3	1	1	1	3	3	1
CH Rubli	0	0	0	3	3	1	0	1	1	0	0
Виза	–	0	0	3	1	1	0	1	3	1	1
Kadett	0	0	1	5	4	3	3	1	3	3	1
Башкирская 28	0	1	0	3	4	3	5	4	7	4	3

*Восприимчивый стандарт.

Из всей коллекции на протяжении 11 лет сохраняет абсолютную полевую устойчивость только сорт Tyalt. У сортов Zebra идентифицированы гены устойчивости к мучнистой росе *Pm 2a*, *3d*, *4b*, *4c*, *6* [15], у сорта Kadett *Pm 3d*, *4b* [17], то есть комбинация генов *Pm 3d* + *4b* эффективно работает уже на протяжении более 10 лет.

В 2011–2020 гг. нами проведено наблюдение за реакцией на поражение *B. graminis* у 55 сортов яровой мягкой пшеницы отличающиеся по уровню устойчивости. По средним данным, 25 сортов отнесены к группе устойчивых и 30 сортов к группе восприимчивых (рис. 2).

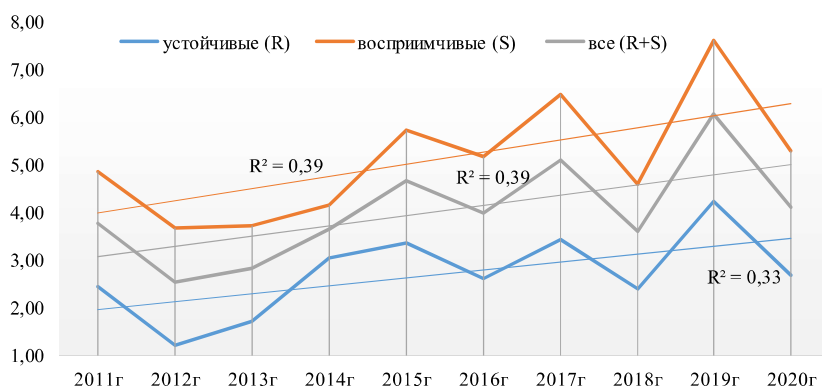


Рис. 2. Изменение степени устойчивости к мучнистой росе у сортов яровой мягкой пшеницы, балл

Как в совокупности по всем сортам, так и по разным группам устойчивости/восприимчивости наблюдается тенденция к увеличению тяжести заболевания мучнистой росой у сортов яровой пшеницы, при этом, на основании коэффициента множественной детерминации (R^2) увеличение степени поражения у восприимчивых сортов $R^2 = 0,39$, выше, чем у устойчивых $R^2 = 0,33$.

В 2017–2019 гг. коллекция яровой мягкой пшеницы пополнилась большим количеством образцов с высокой степенью устойчивости, что расширило генофонд устойчивых к мучнистой росе. При испытании в 2019–2021 гг. удалось выделить образцы иммунные к современной популяции мучнистой росы. К иммунным нами отнесены образцы, у которых полностью отсутствовала инфекция за последние три года испытаний (табл. 2).

Таблица 2

Образцы яровой мягкой пшеницы, иммунные к татарстанской популяции возбудителя мучнистой росы, 2019–2021 гг.

Номер по каталогу ВИР	Образец	Родословная	Происхождение
66193	Тома	Белорусская 80 / Виза	Беларусь
66407	Сударыня	Kontessa / Banti // Quattro	Беларусь
66421	Ласка	нет данных	Беларусь
66273	KWS Torridon	Belvoir / CPBT-W-100 // Tybalt	Великобритания
64897	Tybalt	Chablis / ZE-95-2355	Нидерланды
66701	Griwa	Banti / Nemaes	Польша
66702	Zura	нет данных	Польша
66391	Florens	SEC 405-95-9a-14 / KWS Chamsin // Alora	Франция
66394	Odeta	SW Kadrij / ST 464	Чехия
66095	Lavett	Kadett / WW-118466 // Dragon, SWE	Швеция
66353	Boett	нет данных	Швеция

На основании анализа родословных иммунных образцов можно предположить, что большинство из них несут эффективную комбинацию генов *Pm3d* + *Pm4b* плюс неизвестный фактор устойчивости. Гены *Pm3d* и *Pm4b* широко представлены у устойчивых к мучнистой росе сортов пшеницы в европейских странах [16], при этом расоспецифическая устойчивость образцов несущих только один из этих генов, в настоящее время, сильно снижена.

За 11 лет испытаний в 2019 г. отмечалось максимальное поражение посевов пшеницы мучнистой росой, что было спровоцировано благоприятной температурой и влажностью воздуха. Полевая оценка коллекционных образцов пшеницы (368 шт.) в 2019 г. показала, что образцы имеющие высокий уровень полевой устойчивости к мучнистой росе, у которых инфекция отсутствовала или отмечались локальные поражения только на нижних листьях (39 шт.) в основном происходят из Северной, Центральной, Западной и Восточной Европы (Польша и Беларусь). В коллекционном материале из Северной Америки (9 образцов), стран Южной Америки (4 образца), Китая (28 образцов), стран Ближнего Востока (6 образцов), Центральной Азии (18 образцов), Африки (6 образцов) отсутствовали высокоустойчивые образцы. Большая часть российских сортов восприимчива к местной популяции мучнистой росы, высокоустойчивыми оказались лишь два сорта Баракат и Ситара из Татарстана. Эти два сорта имеют общую родословную Sub / Прохоровка, устойчивость которых наследовалась от сорта Sub (кат. ВИР 62510) из Великобритании.

Заключение. Ввиду незначительно количества сортов, допущенных к использованию с высоким уровнем устойчивости к мучнистой росе (11 %), имеются риски при производстве основной зерновой культуры в России. Необходим поиск источников устойчивости к мучнистой росе пшеницы сохраняющих свою эффективность длительное время в условиях Средней Волги для использования в селекционной работе.

Популяция мучнистой росы, распространившаяся в Республике Татарстан, вирулентна к большинству образцов коллекции. Генетическая основа устойчивости подавляющего количества российских сортов не эффективна против местной популяции.

Полевые испытания образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР в течение 11 лет в условиях Татарстана позволили выявить наиболее эффективные источники устойчивости к мучнистой росе вызываемой грибом





B. graminis сохраняющие высокую полевую устойчивость длительное время: Tybalt (к-64897, Нидерланды), Zebra (к-64707, Швеция), SN Rubli (к-65003, Германия), Виза (к-64390, Беларусь).

Полевая оценка 55 образцов пшеницы по степени устойчивости / восприимчивости к мучнистой росе с 2011 по 2020 год указывает на увеличение тяжести заболевания мучнистой росой, что указывает на изменение популяционной структуры возбудителя. Эффективность проведения полевых оценок яровой мягкой пшеницы по степени поражения мучнистой росой подтверждается высокой долей влияния генотипа и взаимодействия генотип-среда (на основании данных дисперсионного анализа).

При испытании в последние годы (2019–2021) выделены иммунные к мучнистой росе образцы (симптомов болезни не отмечалось): Тома (к-66193), Сударыня (к-6647), Ласка (к-66421) из Белоруссии; KWS Torridon (к-66273, Великобритания); Tybalt (к-64897, Нидерланды); Griwa (к-66701), Zura (к-66702) из Польши; Florens (к-66391, Франция); Odeta (к-66394, Чехия); Lavett (к-66095), Boett (к-66353) из Швеции.

Статья подготовлена в рамках государственных заданий ФИЦ КазНЦ РАН «Эколого-генетические подходы к созданию и сохранению ресурсов растений и животных, расширению их адаптивного потенциала и биоразнообразия, разработка сберегающих агротехнологий с целью повышения устойчивости производства высококачественной продукции, достижения безопасности для здоровья человека и окружающей среды» и 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерова Т.Г., Шишкин Н.В. Оценка устойчивости сортов озимой пшеницы к основным болезням при экологическом испытании в Ростовской области // *Зерновое хозяйство России*. 2018. № 1. С. 70–72. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-55-1-70-72>.
2. Керимова Ш.Р. Влияние заболевания мучнистой росой на продуктивность и показатели качества пшеницы // *Аграрная наука*. 2020. № 7–8. С. 118–121. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-118-121>.
3. Киселева М.И., Коломиец Т.М., Пахолкова Е.В., Жемчужина Н.С., Любич В.В. Дифференциация сортов озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по устойчивости к наиболее вредоносным возбудителям грибных болезней // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 3. С. 299–309. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.3.299rus>.
4. Кривченко В.И., Лебедева Т.В., Пеуша Х.О. Мучнистая роса злаков / Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: метод. пособие. М., 2008. С. 86–105.
5. Лебедева Т.В., Брыкова А.Н., Зуев Е.В. Устойчивость к мучнистой росе скандинавских образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181. № 3. С. 146–154. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-3-146-154>.
6. Лебедева Т.В., Зуев Е.В., Брыкова А.Н. Перспективность использования современных европейских сортов яровой мягкой пшеницы для селекции на устойчивость к мучнистой росе в Северо-Западном регионе РФ // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019. Т. 180. № 4. С. 170–176. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-4-170-176>.
7. Лебедева Т.В., Зуев Е.В., Брыкова А.Н. Проявление устойчивости к мучнистой росе у образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции генетических ресурсов растений ВИР // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018. Т. 179. № 3. С. 272–277. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-272-277>.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 1985. 351 с.
9. Назарова Л.Н., Полякова Т.М., Жохова Т.П., Корнева Л.Г. Фитосанитарное состояние посевов пшеницы в России в 2006–2010 гг. // *Защита и карантин растений*. 2012. № 6. С. 39–43.
10. Санин С.С., Ибрагимов Т.З., Стрижекозин Ю.А. Метод расчета потерь урожая пшеницы от болезней // *Защита и карантин растений*. 2018. № 1. С. 11–15.
11. Сочалова Л.П., Пискарев В.В. Устойчивость сортов яровой мягкой пшеницы к возбудителям инфекционных заболеваний в условиях изменяющегося климата Западной Сибири // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. Т. 31. № 2. С. 21–25.
12. Bousset L., de Vallavieille-Pope C. Effect of Sexual Recombination on Pathotype Frequencies in Barley Powdery Mildew Populations of Artificially Inoculated Field Plots // *European Journal of Plant Pathology*. 2003. No. 109. No. 1. P. 13–24. <https://doi.org/10.1023/A:1022034829401>.
13. Cowger C., Mehra L., Arellano C., Meyers E., Murphy J.P. Virulence Differences in *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* from the Central and Eastern United States // *Phytopathology*. 2018. Vol. 108. P. 402–411. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-17-0211-R>.
14. Draz I.S., Esmail S.M., Abou-Zeid M.A.E.-H., Essa T.A.E.-M. Powdery mildew susceptibility of spring wheat cultivars as a major constraint on grain yield // *Annals of Agricultural Sciences*. 2019. Vol. 64. No. 1. P. 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.aas.2019.05.007>.
15. Goriawa-Duba K., Duba A., Suchowilska E., Wiwart M. An Analysis of the Genetic Diversity of Bread Wheat x Spelt Breeding Lines in Terms of Their Resistance to Powdery Mildew and Leaf Rust // *Agronomy*. 2020. No. 10(5). P. 658 (1-21). <https://doi.org/10.3390/agronomy10050658>.
16. Hysing S.-C., Merker A., Liljeroth E., Koebner R. M. D., Zeller F. J., Hsam S. L. K. Powdery mildew resistance in 155 Nordic bread wheat cultivars and landraces // *Hereditas*. 2007. Vol. 144. No. 3. P. 102–119. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0018-0661.01991.x>.
17. McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rodgers W.J., Morris C., Somers D.J., Appels R., Devos K.M. Catalogue of Gene Symbols for Wheat / *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium*. 24-29 August, Brisbane, Australia. 2008.
18. Morgounov A., Tufan H. A., Sharma R., Akin B., Bagci A., Braun H.-J., Kaya Y., Keser M., Payne T. S., Sonder K., McIntosh R. Global incidence of wheat rusts and powdery mildew during 1969–2010 and durability of resistance of winter wheat variety Bezostaya 1 // *European Journal of Plant Pathology*. 2012. Vol. 132. P. 323–340. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9879-y>.
19. Saari E. E., Prescott J. M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases // *Plant disease reporter*. 1975. No. 59. P. 377–380.
20. Samobor V., Vukobratović M., Jošt M. Effect of powdery mildew attack on quality parameters and experimental bread baking of wheat // *Acta agriculturae Slovenica*. 2006. Vol. 87. No. 2. P. 381–391.
21. Tang X., Cao X., Xu X., Jiang Y., Luo Y., Ma Z., Fan J., Zhou Y. Effects of Climate Change on Epidemics of Powdery Mildew in Winter Wheat in China // *Plant Disease*. 2017. Vol. 101. No. 10. P. 1753–1760. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-17-0168-RE>.

22. Vielba-Fernández A., Polonio Á., Ruiz-Jiménez L., de Vicente A., Pérez-García A., Fernández-Ortuño D. Fungicide Resistance in Powdery Mildew Fungi // *Microorganisms*. 2020. No. 8(9). P. 1431(1–34). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091431>.
23. Wicker T., Oberhaensli S., Parlange F. Buchmann J. P., Shatalina M., Roffler S., Ben-David R., Doležel J., Šimková H., Schulze-Lefert P., Spanu P. D., Bruggmann R., Amselem J., Quesneville H., van Themaat E. V. L., Paape T., K. K. Shimizu, Keller B. The wheat powdery mildew genome shows the unique evolution of an obligate biotroph. *Nature Genetics*. 2013. Vol. 45. No.9. P. 1092–1096. <https://doi.org/10.1038/ng.2704>.
24. Wu X.X., Xu X.F., Ma D.X., Chen R.Z., Li T.Y., Cao Y.Y. Virulence structure and its genetic diversity analyses of *Blumeria graminis* f. sp. tritici isolates in China // *BMC Evolutionary Biology*. 2019. No. 19. P. 183(1–12). <https://doi.org/10.1186/s12862-019-1511-3>.

REFERENCES

1. Derova T.G., Shishkin N.V. Evaluation of the resistance of winter wheat varieties to major diseases during environmental testing in the Rostov region. *Grain Economy of Russia*. 2018; 1: 70–72. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-55-1-70-72>.
2. Kerimova Sh.R. Influence of powdery mildew disease on productivity and quality indicators of wheat. *Agrarian science*. 2020; 7–8: 118–121. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-118-121>.
3. Kiseleva M.I., Kolomiets T.M., Pakholkova E.V., Zhemchuzhina N.S., Lyubich V.V. Differentiation of varieties of winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.) in terms of resistance to the most harmful pathogens of fungal diseases. *Agricultural Biology*. 2016; 51; 3: 299–309. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.3.299rus>.
4. Krivchenko V.I., Lebedeva T.V. Peusha H.O. Powdery mildew of cereals / Study of genetic resources of grain crops for resistance to pests: methodical allowance. Moscow, 2008: 86–105.
5. Lebedeva T.V., Brykova A.N., Zuev E.V. Powdery mildew resistance of Scandinavian accessions of spring soft wheat from the VIR collection. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020; 181; 3: 146–154. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-3-146-154>.
6. Lebedeva T.V., Zuev E.V., Brykova A.N. Prospects for the use of modern European varieties of spring soft wheat for breeding for resistance to powdery mildew in the North-West region of the Russian Federation. *Works on applied botany, genetics and breeding*. 2019; 180; 4: 170–176. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-4-170-176>.
7. Lebedeva T.V., Zuev E.V., Brykova A.N. Manifestation of resistance to powdery mildew in accessions of spring common wheat from the collection of plant genetic resources VIR. *Works on applied botany, genetics and breeding*. 2018; 179; 3: 272–277. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-272-277>.
8. Dospekhov B.A. Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, 1985. 351 p.
9. Nazarova L.N., Polyakova T.M., Zhokhova T.P., Korneva L.G. Phytosanitary condition of wheat crops in Russia in 2006–2010. *Protection and quarantine of plants*. 2012; 6: 39–43.
10. Sanin S.S., Ibragimov T.Z., Strizhekozin Yu.A. Method for calculating wheat yield losses from diseases. *Plant Protection and Quarantine*. 2018; 1: 11–15.
11. Sochalova L.P., Piskarev V.V. Resistance of spring soft wheat varieties to pathogens of infectious diseases in the changing climate of Western Siberia. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2017; 31; 2: 21–25.
12. Bousset L., de Vallavieille-Pope C. Effect of Sexual Recombination on Pathotype Frequencies in Barley Powdery Mildew Populations of Artificially Inoculated Field Plots. *European Journal of Plant Pathology*. 2003; 109; 1:13–24. <https://doi.org/10.1023/A:1022034829401>.
13. Cowger C., Mehra L., Arellano C., Meyers E., Murphy J.P. Virulence Differences in *Blumeria graminis* f. sp. tritici from the Central and Eastern United States. *Phytopathology*. 2018; 108: 402–411. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-17-0211-R>.
14. Draz I.S., Esmail S.M., Abou-Zeid M.A.E.-H., Essa T.A.E.-M. Powdery mildew susceptibility of spring wheat cultivars as a major constraint on grain yield. *Annals of Agricultural Sciences*. 2019; 64; 1: 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.05.007>.
15. Goriewa-Duba K., Duba A., Suchowilska E., Wiwart M. An Analysis of the Genetic Diversity of Bread Wheat x Spelt Breeding Lines in Terms of Their Resistance to Powdery Mildew and Leaf Rust. *Agronomy*. 2020; 10(5): 658 (1-21). <https://doi.org/10.3390/agronomy10050658>.
16. Hysing S.-C., Merker A., Liljeroth E., Koebner R. M. D., Zeller F. J., Hsam S. L. K. Powdery mildew resistance in 155 Nordic bread wheat cultivars and landraces. *Hereditas*. 2007; 144; 3: 102–119. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0018-0661.01991.x>.
17. McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rodgers W.J., Morris C., Somers D.J., Appels R., Devos K.M. Catalogue of Gene Symbols for Wheat. *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium*. 24-29 August, Brisbane, Australia. 2008.
18. Morgounov A., Tufan H. A., Sharma R., Akin B., Bagci A., Braun H.-J., Kaya Y., Keser M., Payne T. S., Sonder K., McIntosh R. Global incidence of wheat rusts and powdery mildew during 1969–2010 and durability of resistance of winter wheat variety Bezostaya 1. *European Journal of Plant Pathology*. 2012; 132: 323–340. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9879-y>.
19. Saari E. E., Prescott J. M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases // *Plant disease reporter*. 1975; 59: 377–380.
20. Samobor V., Vukobratović M., Jošt M. Effect of powdery mildew attack on quality parameters and experimental bread baking of wheat. *Acta agriculturae Slovenica*. 2006; 87; 2: 381–391.
21. Tang X., Cao X., Xu X., Jiang Y., Luo Y., Ma Z., Fan J., Zhou Y. Effects of Climate Change on Epidemics of Powdery Mildew in Winter Wheat in China. *Plant Disease*. 2017; 101; 10: 1753–1760. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-17-0168-RE>.
22. Vielba-Fernández A., Polonio Á., Ruiz-Jiménez L., de Vicente A., Pérez-García A., Fernández-Ortuño D. Fungicide Resistance in Powdery Mildew Fungi. *Microorganisms*. 2020; 8(9): 1431(1–34). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091431>.
23. Wicker T., Oberhaensli S., Parlange F. Buchmann J. P., Shatalina M., Roffler S., Ben-David R., Doležel J., Šimková H., Schulze-Lefert P., Spanu P. D., Bruggmann R., Amselem J., Quesneville H., van Themaat E. V. L., Paape T., K. K. Shimizu, Keller B. The wheat powdery mildew genome shows the unique evolution of an obligate biotroph. *Nature Genetics*. 2013; 45; 9: 1092–1096. <https://doi.org/10.1038/ng.2704>.
24. Wu X.X., Xu X.F., Ma D.X., Chen R.Z., Li T.Y., Cao Y.Y. Virulence structure and its genetic diversity analyses of *Blumeria graminis* f. sp. tritici isolates in China. *BMC Evolutionary Biology*. 2019; 19: 183(1–12). <https://doi.org/10.1186/s12862-019-1511-3>.

Статья поступила в редакцию 03.03.2022; одобрена после рецензирования 11.04.2022; принята к публикации 27.04.2022.
The article was submitted 03.03.2022; approved after reviewing 11.04.2022; accepted for publication 27.04.2022.

