

Устойчивость к мучнистой росе скандинавских образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-146-154



УДК 633.11:581.573.4

Поступление/Received: 11.03.2020

Принято/Accepted: 21.09.2020

Т. В. ЛЕБЕДЕВА, А. Н. БРЫКОВА, Е. В. ЗУЕВ

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ riginbv@mail.ru

Powdery mildew resistance of Nordic spring bread wheat accessions from the collection of the Vavilov Institute (VIR)

Т. В. ЛЕБЕДЕВА, А. Н. БРЫКОВА, Е. В. ЗУЕВ

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ riginbv@mail.ru

Актуальность. Мучнистая роса относится к числу вредоносных заболеваний зерновых культур. Ежегодные потери урожая могут достигать 10–15%, а в годы эпифитотий – и 30%. **Цель данной работы** – обобщить многолетние данные полевых и лабораторных исследований устойчивости к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы из Скандинавских стран, представленных в коллекции ВИР, а также выявить образцы, не поражаемые патогеном на всех фазах развития. **Материал и методы.** Оценена динамика взрослой и проростковой устойчивости к мучнистой росе 279 образцов яровой мягкой пшеницы из Скандинавских стран. Реакцию образцов оценивали к природной популяции гриба с 1961 по 2019 г. Полевые и лабораторные исследования устойчивости к патогену проводили согласно методическим указаниям ВИР. **Результаты.** Анализ базы оценочных данных отдела генетических ресурсов пшеницы ВИР установил, что многие образцы устойчивы к мучнистой росе в поле с 1970 по 1990 г. Полевые и лабораторные изучения 105 стародавних и современных скандинавских сортов пшеницы выявили образцы, характеризующиеся устойчивостью к патогену на всех фазах развития. Полученные данные были перепроверены в 2012 и 2013 г. **Заключение.** Шведские сорта 'Sunnan' (к-58177), 'Canon' (к-60992), 'Sober' (к-61080), 'Dragon' (к-61515), 'Dacke' (к-63479) сохраняют устойчивость к популяциям гриба с 1993 г. Сорта 'SW Vals' (к-64433), 'SW Milljet' (к-64434), 'SW Estrad' (к-64435), 'SW Vinjet' (к-64436), 'Zebra' (к-64707), 'SW Kungsjet' (к-66036), 'SW Kronjet' (к-66097), 'Boett' (к-66353) устойчивы на всех фазах развития с 2005 по 2019 г.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., сорт, линия, восприимчивость к *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, фаза проростков, фаза взрослого растения.

Background. Powdery mildew is one of the harmful and destructive foliar diseases of cereal crops, caused by the fungus *Blumeria graminis* (DC.) E.O. Speer f. sp. *tritici* Em. Marchal. Annual harvest losses may reach 10–15%, and up to 30% in an epidemic year. The VIR collection contains rich diversity of wheat, a valuable source of original material for wheat resistance breeding programs. The aim of this study was to generalize the results of long-term field and laboratory investigations on powdery mildew resistance in spring bread wheat of Nordic origin from the VIR collection and search for accessions resistant in all development phases. **Materials and methods.** Powdery mildew resistance was analyzed in 279 accessions originated from Sweden, Finland, Norway and Denmark. The tests were performed from 1961 to 2019 against a natural population of the fungus in VIR's experimental field (Pushkin, St. Petersburg). Field and laboratory studies were carried out in accordance with the guidelines developed by VIR. **Results.** The analysis of the field data on powdery mildew resistance in spring bread wheat accessions against the Pushkin population of the fungus showed that many Nordic accessions were resistant from 1970 till 1990. These data were retested in 2012–2013. One hundred and five accessions of old landraces and modern cultivars of Nordic origin were studied under field and laboratory conditions for their response to a natural population of the fungus. Accessions resistant in all phases of plant development were identified. **Conclusion.** Swedish cultivars 'Sunnan' (k-58177), 'Canon' (k-60992), 'Sober' (k-61080) 'Dragon' (k-61515) and 'Dacke' (k-63479) preserved their resistance to the powdery mildew population beginning from 1993. Spring bread wheat cultivars 'SW Vals' (k-64436), 'SW Milljet' (k-64434), 'SW Estrad' (k-64435), 'SW Vinjet' (k-64436), 'Zebra' (k-64707), 'SW Kungsjet' (k-66036), 'SW Kronjet' (k-66097) and 'Boett' (k-66353) demonstrated adult and seedling resistance in the period from 2005 to 2019.

Key words: *Triticum aestivum* L., cultivar, breeding line, susceptibility to *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, seedling phase, adult plant phase.

Введение

Мучнистая роса причиняет серьезный вред яровым и озимым посевам мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) во многих странах Северной и Центральной Европы, а также в отдельных регионах России, вызывая стабильные эпифитотии (Everts et al., 2001; Peusha et al., 2008). Мучнистую росу вызывает гриб *Blumeria graminis* (DC.)

E.O. Speer f. sp. *tritici* Em. Marchal. В цикле развития гриба имеется хорошо развитая поверхностная грибница, сумчатая и конидиальная стадии. Стелющийся мицелий полностью покрывает надземные части растения, существенно изменяя ход физиологических процессов (Bowen et al., 1991; Everts et al., 2001). Значительная вредоносность мучнистой росы обусловлена ограниченным количеством устойчивых к болезни сортов пшеницы. Пре-

обладающее число яровых сортов относится к категории восприимчивых, что способствует ежегодному сильному развитию болезни и сохранению повышенного инфекционного фона. Постоянный мониторинг вирулентности популяций гриба, поиск новых эффективных генов устойчивости к болезни и введение их в перспективные сорта являются необходимыми этапами селекции. Изучение коллекции пшеницы Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) дает возможность выявления новых устойчивых форм растений, необходимых для использования в современных селекционных программах. Целью данной работы было обобщение многолетних данных полевых и лабораторных исследований устойчивости к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы из Скандинавских стран, представленных в коллекции ВИР, а также выявление генотипов, не поражаемых патогеном на всех фазах развития.

Материалы и методы

Яровые мягкие пшеницы из Скандинавских стран в коллекции ВИР представлены 320 образцами из Швеции, Финляндии, Норвегии и Дании (табл. 1). В нашем эксперименте проанализированы многолетние данные по устойчивости к мучнистой росе 279 образцов яровой мягкой пшеницы.

мовская, а в 1962 г. – И. А. Сизов. В 1970–1980-е годы образцы поступали в основном из двух селекционных учреждений Швеции: Вейбуллсхольмского института селекции и Свалефской селекционной станции (Шведская семенная ассоциация). Несколько сортов было получено с Малоярославецкого сортоучастка. С 1990 г. образцы поступают в коллекцию ВИР уже из объединенной селекционной фирмы «Свалеф–Вейбулл АБ» и по выписке из Чешского генбанка (Научно-исследовательский институт растениеводства, Прага-Рузыне).

Все шведские сорта и селекционные линии яровой мягкой пшеницы, включенные в коллекцию ВИР, были созданы в двух селекционных учреждениях – Свалефской и Вейбуллской селекционных станциях, позднее, с 1993 г., – в объединенной фирме «Свалеф–Вейбулл АБ», а с 2010 г., после переименования, – в «СВ Сидз». Один сорт, 'Сонетт' (к-66799), включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ с 2017 г. в Северо-Западном регионе.

Яровые мягкие пшеницы Финляндии представлены 108 образцами: местные сорта – 18, селекционные линии – 65, селекционные сорта – 25 (см. табл. 1). Первыми в коллекцию были включены ландрасы: Местная из Лохя (к-3470) и Местная из Або (к-3474). Образцы поступили от профессора Р. Реналдера в 1913 г. Довоенные поступления финского материала были из опытной станции Таммисто, Детскосельского отдела селекции

Таблица 1. Число образцов яровой мягкой пшеницы из Скандинавских стран, изученных по устойчивости к мучнистой росе (Пушкин – НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 1961–2019 гг.)

Table 1. The number of spring bread wheat accessions from the Nordic countries tested for their resistance to powdery mildew (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, Town of Pushkin; 1961–2019)

Происхождение	Всего образцов	Местные сорта	Селекционные		Статус неизвестен	Изучена устойчивость к мучнистой росе в поле
			линии	сорта		
Швеция	173	2	91	78	2	147
Финляндия	108	18	65	25	–	95
Норвегия	35	7	3	24	1	34
Дания	4	–	2	2	–	3
Итого	320	27	161	129	3	279

В коллекции ВИР имеется 173 образца яровой мягкой пшеницы из Швеции: 2 местных сорта (ландрасы), 91 селекционная линия, 78 сортов; для двух образцов статус не определен (см. табл. 1). Первые шведские образцы к-6166 и к-6168 поступили в коллекцию ВИР в 1922 г. из Русского сельскохозяйственного комитета Бюро растениеводства (США) от Д. Н. Бородин. Всего до 1941 г. сохранялось 14 образцов. В этот период сорта и линии поступали из шведской фирмы «Алгот-Холмберг», из селекционной фирмы «Свалеф» от селекционера А. Акермана, из Детскосельского отдела селекции ВИР от В. Е. Писарева, из Госсортсети РСФСР, когда эта организация находилась еще в здании ВИР, и из Вейбуллсхольмской селекционной станции.

В 1950–1960-е годы большинство образцов поступило в коллекцию из Свалефской и Вейбуллсхольмской селекционных станций как напрямую, так и после экспедиций ВИР, получивших селекционный материал на этих станциях. В 1961 г. экспедицию возглавляла А. Я. Трофи-

ВИР от В. Е. Писарева, Йокийненской селекционной станции. В 1950–1960-е годы образцы поступали из Йокийненского института селекции растений, опытной станции Таммисто, Ханккянского института селекции растений. Экспедиции ВИР посещали эти учреждения в 1956 и 1958 г. с целью сбора селекционного и местного материала. В экспедициях принимала участие А. Я. Трофимовская.

В 1970–1980-е годы образцы были получены в основном из двух селекционных учреждений: Йокийненского института селекции растений и Ханккянского института селекции растений. Первый селекционер в 1978 г. посетил экспедиция ВИР под руководством Я. С. Нестерова. По результатам экспедиции были закаталогизированы 5 селекционных линий. Несколько финских сортов яровой мягкой пшеницы получены с Малоярославецкого сортоучастка. После 1990 г. в коллекцию ВИР включен только один финский сорт – 'Manu' (к-66029), полученный по выписке из Чешского генбанка.

Финские селекционные сорта и линии были созданы в четырех селекционных учреждениях: Ханкианском институте селекции растений, опытной станции Таммисто, Бореальской селекционной фирме, Йокиойненском институте селекции растений. Сорт 'Ruso' (к-45943) находится в районировании в Северо-Западном регионе РФ с 1978 г.

ВИР сохраняет 35 образцов из Норвегии. Сорта 'Serdal' (к-14668) и 'Messel' (к-14669) поступили в коллекцию в 1926 г. от Кнута Вика (через В. Е. Писарева). До 1941 г. образцы получали из двух селекционных учреждений страны: опытной станции в г. Форус и государственной опытной фермы в г. Хиеллум. Всего довоенная коллекция включает 15 образцов.

В 1950–1970-е годы коллекция норвежских сортов сформировалась главным образом за счет экспедиции А. Я. Трофимовской в 1959 г., которая собрала ценный материал из основных селекционных учреждений Норвегии. Образцы поступали также из государственной опытной фермы в г. Мойстад, государственной опытной фермы в г. Мохолтан, сельскохозяйственного колледжа Норвегии в Воллебеке, Стаурской опытной станции, опытной станции в г. Квитамар. В 2014 г. сорт 'Bastian' (к-66441) получен по выписке из Чешского генбанка.

По статусу образца коллекция норвежских сортов яровой мягкой пшеницы представлена следующим образом: местные сорта – 7, селекционные линии – 3, селекционные сорта – 24; для одного образца статус не определен (см. табл. 1). Норвежские сорта яровой мягкой пшеницы были созданы в следующих селекционных учреждениях: государственном научном центре в г. Тронхейме, сельскохозяйственном колледже в г. Воллебеке, государственной опытной ферме в г. Мойстаде, Норвежском аграрном университете, правительственной зерновой корпорации, институте генетики и селекции.

Датские сорта яровой мягкой пшеницы представлены в коллекции ВИР четырьмя образцами, три из которых получены из государственной экспериментальной станции в г. Тылstrup в 1975 г., а один образец поступил из фирмы «Сизт-Селекция» в 1984 г. Коллекция состоит из двух селекционных сортов и двух линий (см. табл. 1).

Полевое изучение устойчивости образцов пшеницы проводили на экспериментальном поле научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР, Санкт-Петербург, Пуш-

кин) в 1961–2019 гг. В опытах использована общепринятая агротехника возделывания яровой мягкой пшеницы. Посев образцов проводили в оптимальные сроки на делянках площадью 1 м². Стандартными сортами были 'Диамант', 'Ленинградка', 'Ленинградская 97' и 'Ленинградская 6', а также сильно восприимчивый к мучнистой росе образец 'Сибирка Ярцевская'. Инокулюмом для заражения растений служила природная популяция гриба.

Взрослые растения пшеницы оценивали дважды – в фазы «колошение» и «цветение». В этот период инфекция в поле образуется обильно и развитие болезни идет интенсивно. Проявление заболевания на естественном фоне фиксировали, используя шкалы учета, описанные в методических указаниях по изучению мировой коллекции пшеницы (Dorofeev et al., 1977; Merezko, 1999). К классу устойчивых (R) относили растения, поражение которых грибом составляло 9 и 7 баллов, к умеренно устойчивым (MR) – 5 баллов, умеренно восприимчивым (MS) – 3 и восприимчивым (S) – 1 балл.

Реакцию сортов в ювенильной стадии на заражение грибом изучали в контролируемых условиях (Krivchenko et al., 2008). Показателями проявления заболевания растений мучнистой росой были интенсивность спороношения и качественные реакции тканей растений в ответ на внедрение патогена (хлорозы, некрозы). К классу устойчивых (R) относили растения, поражение которых соответствовало 0 и 1 баллу, умеренно устойчивых (MR) – 2 балла, умеренно восприимчивых (MS) – 3 балла и восприимчивых (S) – 4 балла. Реакции растений, поражение которых соответствовало баллам 0, 1 и 2 проверяли трехкратно.

Климат Пушкинского района г. Санкт-Петербурга умеренный, переходный от морского к континентальному. Для района характерна высокая влажность, переменчивая и пасмурная погода с умеренно-холодной зимой и нежарким летом. На рисунках 1–3 приведены среднемноголетние значения основных метеорологических показателей для ППЛ ВИР. Данные предоставлены Л. Ю. Новиковой – руководителем отдела автоматизированных информационных систем генетических ресурсов растений ВИР. Среднемноголетние значения климатических показателей по периодам рассчитаны по методике Всемирной метеорологической организации (WMO Guidelines..., 2017).

Температура воздуха, °C

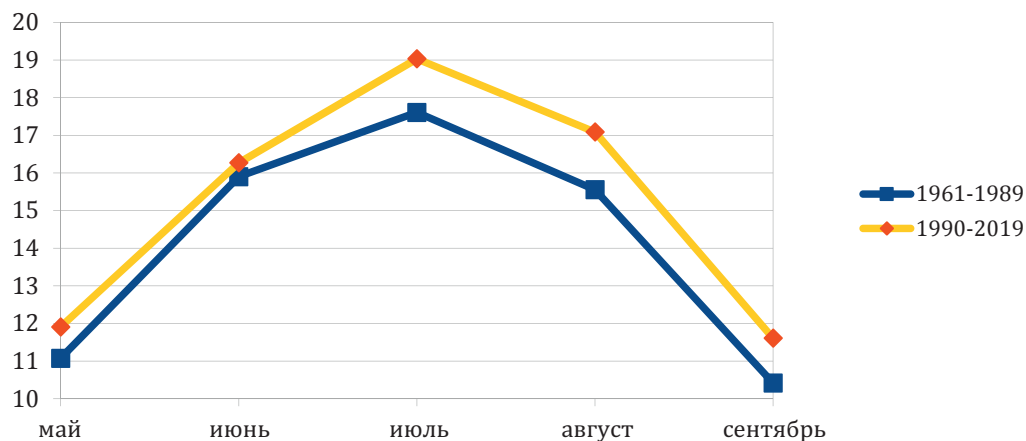


Рис. 1. Среднемноголетние данные среднемесячной температуры воздуха (Пушкин, 1961–2019 гг.)

Fig. 1. Mean monthly air temperature data for many years (Pushkin, 1961–2019)

Осадки, мм

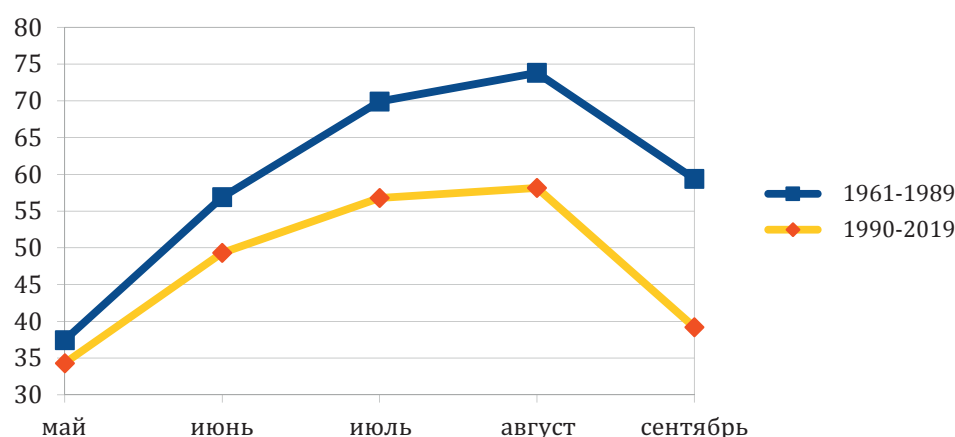


Рис. 2. Среднегодовое количество выпавших осадков (Пушкин, 1961–2019 гг.)

Fig. 2. Mean monthly precipitation data for many years (Pushkin, 1961–2019)

Влажность, %

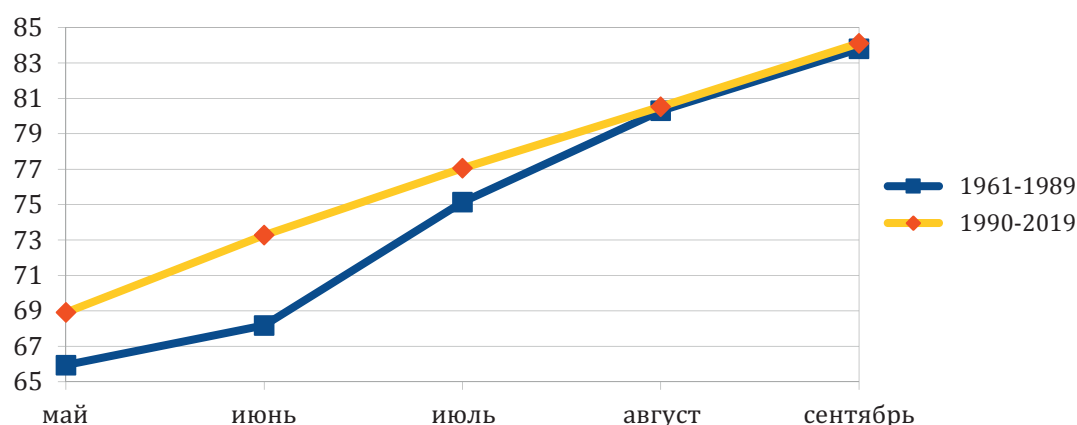


Рис. 3. Среднегодовое относительная влажность воздуха (Пушкин, 1961–2019 гг.)

Fig. 3. Mean monthly relative humidity data for many years (Pushkin, 1961–2019)

С 1990 по 2019 г. наблюдается тенденция к увеличению среднемесячных температур воздуха, уменьшению количества выпавших осадков и увеличению относительной влажности воздуха в течение вегетационного периода яровой мягкой пшеницы.

Климатические условия г. Пушкина благоприятны для развития грибных болезней. Оптимальными для прорастания конидий мучнистой росы являются высокая относительная влажность воздуха (60–100%) и умеренная температура (16–22°C).

Результаты и обсуждение

Анализ проявления мучнистой росы с 1961 по 2019 г. показал следующие результаты: сильное поражение яровой мягкой пшеницы наблюдали в 1961, 1963–1965, 1968, 1983, 1987, 1989, 2007, 2012, 2015–2019 гг.; среднее – в 1962, 1966, 1967, 1969, 1970–1975, 1977, 1981, 1982, 1984–1986, 1990, 1991, 1993, 1994, 1999, 2000, 2002, 2006, 2008–2011, 2013, 2014 г.; слабое – в 1988, 1992,

2001, 2003–2004 гг. В годы сильного проявления мучнистой росы температура воздуха в последней декаде июня и в течение всего июля (время учета поражения растений болезнью) была ниже средней, относительная влажность воздуха – выше средней. В годы, когда мучнистая роса проявлялась слабо, температуру регистрировали выше средней, относительная влажность была пониженной, осадков выпадало очень мало.

В таблице 2 представлено число лет изучения устойчивости к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы из Скандинавских стран в условиях ППЛ ВИР. Однолетние данные были исключены из анализа. Коллекции из Швеции, Финляндии, Норвегии и Дании оценивали по устойчивости к болезни в течение 2–8 лет. Наиболее пристально исследовали сорта из Швеции: 'Svenno' (к-42656) – в течение 18 лет, 'Diamant' (к-25019) – 17 лет; Финляндии: 'Ta 3332' (к-42928) – 16 лет, 'Apu' (к-41961) – 15 лет, 'Ruso' (к-45943) – 14 лет; Норвегии: 'As II' (к-44701) – 16 лет, 'Nora' (к-43714) – 14 лет, 'Rollo' (к-46567), 'Norrone' (к-43221), 'Lade' (к-45137) – 13 лет.

Таблица 2. Степень изученности образцов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к мучнистой росе (Пушкин, 1961–2019 гг.)**Table 2.** The level of knowledge acquired on the responses of Nordic spring bread wheat accessions to powdery mildew (Pushkin, 1961–2019)

Происхождение	Число лет изучения устойчивости к мучнистой росе					
	1 год	2–4 года	5–8 лет	9–13 лет	14–18 лет	Всего образцов
Швеция	44	51	24	26	2	147
Финляндия	5	36	35	16	3	95
Норвегия	1	3	16	12	2	34
Дания	-	3	-	-	-	3
Всего	50	93	75	54	7	279

Многолетние исследования сортов Скандинавии в фазах «колошение» и «цветение» показали, что 81 образец (29,0%) из 279 проанализированных устойчив к пушкинской популяции возбудителя мучнистой росы (табл. 3). Большинство устойчивых к болезни образцов (70) наблюдали среди шведских пшениц. Основная часть образцов, исследованных в полевых условиях, относилась к умеренно устойчивой и умеренно восприимчивой группам. Интересно отметить, что лишь восемь скандинавских образцов оказались восприимчивы к болезни. Местные стародавние сорта в результате непрерывных отборов в поле обладали определенной степенью устойчивости к мучнистой росе. Поражению яровой мягкой пшеницы грибными болезнями в сельском хозяйстве Скандинавии всегда уделялось внимание. Местные стародавние сорта обладали умеренной устойчивостью к мучнистой росе, но были малопродуктивны. Культивирование умеренно пораженных болезнью сортов решало проблему равновесия авирулентных и вирулентных генов в популяции гриба. В последующие десятилетия для повышения продуктивности широко использовалась гибридизация местных сортов с сортами других стран. Параллельно с этим процессом происходило внедрение расоспецифических генов устойчивости в скандинавские сорта и, как следствие, перманентные изменения в составе популяции гриба (Hysing et al., 2008).

В таблице 4 представлены сорта Скандинавии, которые проявляли устойчивость к заболеванию в полевых условиях с 1961 по 2018 г. В связи с изменениями, происходящими в популяции гриба, часть сортов на сегодняшний день оказалась восприимчива к болезни. С 1990-х годов потеряли устойчивость сорта из Швеции – ‘Rang’ (к-47098), ‘Drabant’ (к-50846), ‘Sappo’ (к-52362), ‘Tilly’ (к-52785), ‘Trippel’ (к-54222), ‘Walter’ (к-54585), ‘Kadett’ (к-57724); Финляндии – ‘Ulla’ (к-54216), ‘Jo 8187’ (к-59593); Дании – ‘Cara’ (к-55141). Обращают на себя внимание шведские сорта ‘Canon’ (к-61222), ‘Dragon’ (к-61515) и ‘Dacke’ (к-63479), сохранявшие устойчивость к болезни с 1993 по 2013 г.

В годы изучения устойчивости к мучнистой росе (1970–2019 гг.) наблюдали изменения в составе пушкинской популяции гриба: появились изоляты, вирулентные к большинству образцов, защищенных идентифицированными генами устойчивости мягкой пшеницы. В 1970 г. в нашем распоряжении для характеристики популяции гриба имелись лишь два устойчивых сорта с известной генетической характеристикой: ‘Weichenstephaner M’ (к-46745, Германия) с геном *Mle*, обозначенным позднее как *Pm4b*, и ‘Halle 13471’ (к-46590, Германия) с геном *Mld*. Единичные хорошо развитые пустулы на сорте ‘Weichenstephaner M’ были замечены нами в конце 70-х гг. прошлого века, позднее стал поражаться и сорт ‘Halle 13471’. В дальнейшем отмечали наличие генов ви-

Таблица 3. Распределение по устойчивости к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы из Скандинавских стран (Пушкин, 1961–2019 гг.)**Table 3.** Distribution of spring bread wheat accessions from the Nordic countries according to their resistance to powdery mildew (Pushkin, 1961–2019)

Происхождение	Число образцов			
	устойчивые	умеренно устойчивые	умеренно восприимчивые	восприимчивые
Швеция	70	41	35	1
Финляндия	7	22	60	6
Норвегия	4	9	20	1
Дания	-	3	-	-
Всего	81	75	115	8

Таблица 4. Образцы яровой мягкой пшеницы, устойчивые к пушкинской популяции возбудителя мучнистой росы (Пушкин)**Table 4. Spring bread wheat accessions resistant to the Pushkin population of the powdery mildew agent (Pushkin)**

Номер по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Период изучения	Устойчивость, балл
<i>Образцы, устойчивые в 1970–1980 гг.</i>				
50378	Weibulls 11276	Швеция	1972, 1977	7
52309	Kadett	Швеция	1981, 1983, 1984, 1987	7
52363	W-N RQ-50	Швеция	1975, 1977	7
52365	WW 16062	Швеция	1977, 1981	9
52781	Fero	Швеция	1972, 1977	7
52792	WW 16161	Швеция	1977, 1987	9
52793	WW 15962	Швеция	1977, 1982	7
52797	WW 13523	Швеция	1977, 1981, 1982	7
52798	Varvete 11691	Швеция	1974, 1975, 1977, 1981	7
54585	Walter	Швеция	1981, 1982	7
54587	Sv.66342	Швеция	1974, 1975	7
57741	WW 19179	Швеция	1986, 1987	7
59434	Hja 23145	Финляндия	1988, 1989	7
59439	Hja 23654	Финляндия	1988, 1989	7
<i>Образцы, устойчивые в 1990–2000 гг.</i>				
61060	Solvent	Швеция	1989, 1991	7
61080	Sober	Швеция	1989, 1991	7
<i>Образцы, устойчивые в настоящее время</i>				
61222	Canon	Швеция	1993, 2012, 2013	7
61515	Dragon	Швеция	1993, 2012, 2013	7
63479	Dacke	Швеция	1999, 2000, 2012, 2013	7
64433	SW Vals	Швеция	2004, 2005, 2012–2019	9
64434	SW Milljet	Швеция	2004, 2005, 2012–2019	9
64435	SW Estrad	Швеция	2004, 2005, 2012–2019	9
64436	SW Vinjett	Швеция	2004, 2005, 2012–2019	7
66096	Swedjet	Швеция	2015–2019	7

рулентности к *Pm1*, *Pm2*, *Pm3a-c* в местной популяции гриба. Линии и сорта с доминантным геном *Pm6* оставались устойчивыми в наших опытах до конца 90-х годов прошлого века (Lebedeva, Krivchenko, 1988; Hsam, Zeller, 2002; Lebedeva et al., 2018).

В настоящее время в пушкинской популяции гриба присутствуют клоны, вирулентные к генам устойчивости мягкой пшеницы *Pm1a*, *Pm2*, *Pm3a-d*, *Pm4a-b*, *Pm5*, *Pm6*, *Pm7*, *Pm8*, *Pm9*, *Pm16*, *Pm17*, *Pm19* и авирулентные к *Pm12*.

В 2012–2013 гг. для проверки сохранения устойчивости к мучнистой росе изучили 105 скандинавских образцов яровой мягкой пшеницы. Анализ устойчивости взрослых растений к популяции гриба в год повышенного инфекционного фона (2012) выявил 17 (16,2%) резистентных сортов, 34 (32,4%) умеренно устойчивых, 19 (18,1%) умеренно восприимчивых и 35 (34,3%) восприимчивых к болезни.

В 2018–2019 гг. этот же набор образцов из Скандинавии оценили по устойчивости к популяции мучни-

стой росы в стадии проростков. В ювенильной фазе восприимчивым (S) и умеренно восприимчивым (MS) был 71 образец (67,62%), умеренно устойчивыми (MR) – 9 (8,57%), устойчивыми (R) – 25 образцов (23,81%). Выявлен ряд сортов, сохраняющих невосприимчивость к популяции гриба на всех фазах роста. Результаты анализа показали, что образцы, устойчивые к болезни в проростках, могут поражаться на последующих фазах развития: 'Sonett' (к-52333), 'Kadett' (к-57724), 'Boru' (к-61059), 'Drabant' (к-50846), 'Trippel' (к-54222), 'Tapiu' (к-57059) 'Timmo' (к-57073), 'Vitus' (к-58760) (табл. 5).

Устойчивость к патогену некоторых скандинавских сортов была изучена методами фитопатологического и гибридологического анализа (Hsam et al., 2002; Hysing et al., 2008; McIntosh et al., 2003, 2017; Peusha et al., 1996, 2000, 2008; Lebedeva et al., 2018). В этих работах приводятся данные о генах устойчивости к мучнистой росе

у сортов из Швеции:

'Ring' (к-44779) – *Pm1a, Pm2, Pm9*; 'Pompe' (к-46563) – *Pm1a, Pm2, Pm9*; 'Troll' (к-47096) – *Pm1a, Pm2, Pm9*; 'Rang' (к-47098) – *Pm1a, Pm2, Pm4b, Pm9*; 'Drabant' (к-50846) –

Таблица 5. Устойчивость к мучнистой росе скандинавских образцов яровой мягкой пшеницы на разных фазах развития растений (Пушкин)

Table 5. Powdery mildew resistance in Nordic accessions of spring bread wheat in different phases of plant development (Pushkin)

Номер по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Устойчивость, балл	
			взрослых растений в 2012 и 2013 г.	Проростков в 2018 и 2019 г.
50846	Drabant	Швеция	3	0
52333	Sonett	Швеция	5	0
54222	Trippel	Швеция	1	1
57059	Tapi'	Финляндия	3	0
57073	Timmo	Швеция	3	1
57724	Kadett	Швеция	5	1
58177	Sunnan	Швеция	7	0
58760	Vitus	Дания	3	0
61059	Boru	Швеция	5	0
61221	Sober	Швеция	7	0
61222	Canon	Швеция	9	1
61515	Dragon	Швеция	9	1
63479	Dacke	Швеция	9	1
64433	SW Vales	Швеция	9	0
64434	SW Milljet	Швеция	9	0
64435	SW Estrad	Швеция	9	0
64436	SW Vinjett	Швеция	7	1
64707	Zebra	Швеция	7	0
66036	SW Kungsjet	Швеция	9	0
66095	Lavett	Швеция	7	1
66096	Swedjet	Швеция	7	1
66097	SW Kronjet	Швеция	7	0
66098	SW Kadrij	Швеция	7	0
66353	Boett	Швеция	9	0
66799	Сонетт	Швеция	7	1

Pm2, *Pm4b*, *Pm6*; 'Sonett' (к-52333) – *Mld*; 'Sappo' (к-52362) – *Pm1a*, *Pm2*, *Pm4b*, *Pm6*; 'Walter' (к-54585) – *Pm1*, *Pm2*, *Pm4b*; 'Timmo' (к-57073) – *Pm1*, *Pm2*, *Pm4b*, *Pm6*; 'Kaddett' (к-57724) – *Pm3d*, *Pm4b*; 'Saffran' (к-57725) – *Pm1a*, *Pm2*, *Pm8*, *Pm9*; 'Sunnan' (к-58177) – *Pm1*, *Pm2*, *Pm6*; 'William' (к-58758) – *Pm1*, *Pm4b*, *Pm6*; 'Nemares' (к-61174) – *Pm1*, *Pm2*; 'Canon' (к-61222) – *Pm1*, *Pm2*, *Pm6*; 'Dragon' (к-61515) – *Pm1*, *Pm4b*, *Pm5*, *Pm6*; 'Tjalve' (к-61516) – *Pm3d*, *Pm4*; 'SW Estrad' (к-64435) – *Pm3d*; 'SW Vinjett' (к-64436) – *Pm3d*; 'Zebra' (к-64707) – *Pm3d*; 'Lavett' (к-66095) – *Pm3d*, *Pm4b*; 'Polkka' (к-66715) – *Pm3f*;

у сортов из Норвегии: 'As II' (к-44701) – *Pm1a*; 'Runar' (к-57055) – *Pm4b*; 'Reno' (к-57056) – *Pm4b*; 'Tautra' (к-57067) – *Pm5*, *Pm6*; 'Bastian' (к-66441) – *Pm3d*;

у сортов из Финляндии: 'Ulla' (к-54216) – *Pm1*; 'Tapio' (к-57059) – *Pm3d*; 'Manu' (к-66029) – *Pm4b*;

у сорта из Дании: 'Vitus' (к-58760) – *Pm3d*.

Таким образом, у скандинавских сортов яровой мягкой пшеницы идентифицированы гены устойчивости к мучнистой росе *Pm1*, *Pm2*, *Pm3d*, *Pm3f*, *Pm4b*, *Pm5*, *Pm6*, *Pm8*, *Pm9*. По нашим данным (Lebedeva et al., 2018), устойчивость к болезни шведских сортов 'SW Vals' (к-64433), 'SW Milljet' (к-64434), 'SW Vinjett' (к-64436) не контролируется доминантным геном *Pm12*.

Устойчивость скандинавских сортов в ювенильной фазе контролируется идентифицированными генами пшеницы, к которым популяция мучнистой росы имеет гены вирулентности, и не идентифицированными факторами устойчивости. Известно, что у ряда сортов сохраняется защита от болезни после преодоления устойчивости, контролируемой главными генами. Использование единичных главных генов обычно не обеспечивает долговременную защиту от болезни, но некоторые их комбинации в сочетании с генами-модификаторами могут быть эффективны. По литературным сведениям, в Швеции до 1920 г. 41% местных форм (ландрас) имели умеренную проростковую устойчивость, а 95% были умеренно устойчивы в поле (Hysing et al., 2008). Можно предположить, что устойчивость сортов контролировали гены с малым эффектом и аккумуляция их обеспечивала неспецифическую, долговременную защиту от мучнистой росы. Возможно, такая неспецифическая основа сохранилась в современных сортах, созданных на базе местных сортов.

Заключение

Многолетние исследования сортов и линий яровой мягкой пшеницы из Скандинавских стран в фазах «колошение» и «цветение» показали, что 81 образец (29,0%) из 279 проанализированных были устойчивы к пушкинской популяции возбудителя мучнистой росы в период с 1961 по 2019 г. Установлено, что современные скандинавские сорта яровой мягкой пшеницы устойчивы к популяции *B. graminis* как в ювенильной фазе, так и во взрослом состоянии и сохраняют устойчивость с 2005 г. Это яровые сорта 'Sunnan', 'Sober', 'SW Vals', 'SW Milljet', 'SW Estrad', 'SW Vinjett', 'Zebra', 'SW Kungsjet', 'SW Kronjet', 'Boett'. Представляют интерес для селекции созданные в 1970–1980 гг. сорта 'Canon', 'Dragon', 'Dacke', которые и до настоящего времени в условиях Ленинградской области характеризуются устойчивостью к болезни.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2020-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2020-0006 "Search For and Viability Maintenance, and Disclosing the Potential of Hereditary Variation in the Global Collection of Cereal and Groat Crops at VIR for the Development of an Optimized Genebank and Its Sustainable Utilization in Plant Breeding and Crop Production."

References/Литература

- Bowen K.L., Everts K.L., Leath S. Reduction in yield of winter wheat in North Carolina due to powdery mildew and leaf rust. *Phytopathology*. 1991;82(5):503-511. DOI: 10.1094/Phyto-81-503
- Dorofeev V.F., Rudenko M.I., Shitova I.P., Korneichuk V.A. Guidelines for the study of the world wheat collection (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniuyu mirovoy kollektsii pshenitsy). Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Дорофеев В.Ф., Руденко М.И., Шитова И.П., Корнейчук В.А. Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы. Ленинград: ВИР; 1977).
- Everts K.L., Leath S., Finney P.L. Impact of powdery mildew and leaf rust on milling and baking quality of soft red winter wheat. *Plant Disease*. 2001;85(4):423-429. DOI: 10.1094/pdis.2001.85.4.423
- Hsam S.L.K., Zeller F.J. Breeding for powdery mildew resistance in common wheat (*Triticum aestivum* L.) In: R.R. Bélanger, W.R. Bushell, A.J. Dik, T.L.W. Carver (eds). *The powdery mildews. A comprehensive treatise*. St. Paul, Minnesota: APS Press; 2002. p.219-238.
- 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*. 2008;144(3):102-119. DOI: 10.1111/j.2007.0018-0661.01991.x
- Krivchenko V.I., Lebedeva T.V., Peusha H.O. Powdery mildew of cereals (Muchnistaya rosa zlakov). In: *The study of cereal crop genetic resources for resistance to harmful organisms: A guide (Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoychivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye)*. Moscow; 2008. p.86-105. [in Russian] (Кривченко В.И. Лебедева Т.В., Пешуша Х.О. Мучнистая роса злаков. В кн.: *Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: Методическое пособие*. Москва; 2008. С.86-105).
- Lebedeva T.V., Krivchenko V.I. Powdery mildew resistance in bread wheat line Weihestephani M1. (Ustoychivost linii myagkoy pshenitsy Weihestephani M1 k muchnistoy rose [*Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*]). *Bulletin of VIR*. 1988;177:70-71. [in Russian] (Лебедева Т.В., Кривченко В.И. Устойчивость линии мягкой пшеницы Weihestephani M1 к мучнистой росе (*Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*). *Бюллетень ВИР*. 1988;177:70-71).

- Lebedeva T.V., Zuev E.V. Inheritance of powdery mildew resistance in selected spring wheat accessions from the VIR collection. *Vavilovia*. 2018;1(1):18-24. [in Russian] (Лебедева Т.В., Зуев Е.В. Наследование устойчивости к мучнистой росе у некоторых образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР. *Vavilovia*. 2018;1(1):18-24). DOI: 10.30901/2658-3860-2018-1-18-24
- McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Morris C., Xia X.C. Catalogue of gene symbols for wheat: 2017. Supplement. Available from: <https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2017.pdf> (accessed Apr. 14, 2020).
- McIntosh R.A., Yamazaki Y., Devos K.M., Dubcovsky J., Rodgers W.J., Apples R. Catalogue of gene symbols for wheat. In: N.E. Pogna, M. Romano, E.A. Pogna, G. Galterio (eds.). *Proceedings of the 10th International. Wheat Genetics Symposium*. Paestum, Italy; 2003.
- Merezhko A.F. (ed.). Replenishment, preservation *in vivo* and study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale: Methodological guidelines (Popolneniye, sokhraneniye v zhivom vide i izucheniye mirovoy kollektsii pshenitsy, egilopsa i tritikale: Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian]

(Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: Методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).

- Peusha H., Enno T., Priilinn O. Chromosomal location of powdery mildew resistance genes and cytogenetic analysis of meiosis in common wheat cultivar Meri. *Hereditas*. 2000;132(1):29-34. DOI: 10.1111/j.1601-5223.2000.00029.x
- Peusha H., Enno T., Yakobson I., Tsombalova J., Ingver A., Yärve K. Powdery mildew resistance of Nordic spring wheat cultivars grown in Estonia. *Acta. Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*. 2008;58(4):289-296. DOI: 10.1080/09064710701706242
- Peusha H., Hsam S.L., Enno T., Zeller F.J. Identification of powdery mildew resistance in common wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell.) VII. Cultivars and advanced breeding lines grown in Finland. *Hereditas*. 1996;124(1):91-93. DOI: 10.1111/j.1601-5223.1996.00091.x
- WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. No. 1203. World Meteorological Organization; 2017. Available from: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166 (accessed Apr. 07, 2020).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

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;181(3):146-154. DOI:10.30901/2227-8834-2020-3-146-154

Lebedeva T.V., Brykova A., Zuev E.V. Powdery mildew resistance of Nordic spring bread wheat accessions from the collection of the Vavilov Institute (VIR). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):146-154. DOI:10.30901/2227-8834-2020-3-146-154

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-3-146-154>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Lebedeva T.V. <https://orcid.org/0000-0003-2344-9233>

Brykova A.N. <https://orcid.org/0000-0002-2215-5068>

Zuev E.V. <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>