

М.Л. Пономарева ✉

Н.Ш. Гараева

С.Н. Пономарев

С.Ю. Павлова

И.О. Иванова

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

✉ smponomarev@yandex.ru

Поступила в редакцию: 10.09.2024

Одобрена после рецензирования: 11.12.2024

Принята к публикации: 26.12..2024

© Пономарева М.Л., Гараева Н.Ш., Пономарев С.Н., Павлова С.Ю., Иванова И.О.

Mira L. Ponomareva ✉

Nazlygul Sh. Garaeva

Sergey N. Ponomarev

Svetlana Yu. Pavlova

Irina O. Ivanova

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture — Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia

✉ smponomarev@yandex.ru

Received by the editorial office: 10.09.2024

Accepted in revised: 11.12.2024

Accepted for publication: 26.12..2024

© Ponomareva M.L., Garaeva N.Sh., Ponomarev S.N., Pavlova S.Yu., Ivanova I.O.

Дифференциация генетических ресурсов озимой тритикале по устойчивости к возбудителю розовой снежной плесени (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and I.C. Hallett)

РЕЗЮМЕ

Розовая снежная плесень, вызываемая низкотемпературным аскомицетом *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and I.C. Hallett), регулярно поражает озимую тритикале (x *Triticosecale*, Wittm.) и является наиболее распространенным и вредоносным фитопатогеном в умеренном и холодном климате. Полевые эксперименты выполнены в 2020–2022 гг. в лаборатории селекции озимой ржи и тритикале ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН на фоне естественного распространения заболевания (ЕФ) и на искусственном инфекционном фоне (ИФ). Лабораторный скрининг проведен методом заражения отсеченных листьев каждого образца наиболее вирулентным штаммом *Microdochium nivale* F00608. Объект исследования — 50 гексаплоидных образцов озимой тритикале из генколлекции ВИГРР им. Н.И. Вавилова. Показано, что средний балл поражения болезнью образцов озимой тритикале на созданном авторами искусственном инфекционном фоне составил $6,39 \pm 1,52$, в условиях естественного развития инфекции — $3,34 \pm 0,94$. Коэффициент корреляции между поражением снежной плесенью на ИФ и урожайностью составил $r = -0,708$. Эпифитотийное развитие снежной плесени приводило к существенному недобору урожайности (на 50,4%). Результаты полевых исследований показали, что большинство сортов образцов озимой тритикале были восприимчивы к розовой снежной плесени. Выявлены формы, обладающие относительно высоким уровнем полевой и лабораторной устойчивости. Для дальнейшего использования в селекции предложены источники полевой устойчивости к снежной плесени: Бета 2, Доктрина 110, Капрал, Немчиновский 56, Башкирская короткостебельная, Цекад 90, Алтайский 5, из которых первые два сорта устойчивы как при естественном заражении, так и при эпифитотийной нагрузке. Высокую устойчивость отсеченных листьев к розовой снежной плесени проявили сорта Пятрус, Кроха, Привада, Горка, Алмаз, Капелла, Трибун, которые рекомендуются использовать в генетических исследованиях.

Ключевые слова: озимая тритикале, розовая снежная плесень, *Microdochium nivale*, инфекционный фон, естественный фон, отсеченные листья, образцы, поражение, устойчивость

Для цитирования: Пономарева М.Л., Гараева Н.Ш., Пономарев С.Н., Павлова С.Ю., Иванова И.О. Дифференциация генетических ресурсов озимой тритикале по устойчивости к возбудителю розовой снежной плесени (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and I.C. Hallett). *Аграрная наука*. 2025; 390(01): 106–113.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-106-113>

Differentiation of genetic resources of winter triticale by resistance to the causative agent of pink snow mold (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and I.C. Hallett)

ABSTRACT

Pink snow mold, caused by the low-temperature ascomycete *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and I.C. Hallett), is a regular occurrence in winter triticale (x *Triticosecale*, Wittm.). It is the most common and damaging phytopathogen in temperate and cold climates. Field experiments were conducted at the laboratory of winter rye and triticale breeding of the Tatar Scientific Research Institute of Agriculture FRC KazSC of RAS in 2020–2022. The experiments were carried out under both natural and artificial infectious conditions. The samples were screened in the laboratory by infecting detached leaves with the most virulent strain of *Microdochium nivale*, F00608. The study focused on 50 hexaploid samples of winter triticale from the N.I. Vavilov VIGRR gene collection. The results demonstrated that the mean disease damage score for winter triticale samples on the artificial infection background was 6.39 ± 1.52 , while in natural conditions of infection development, the score was 3.34 ± 0.94 . A correlation coefficient of $r = -0.708$ was observed between snow mold damage on the artificial infectious background and yield. The development of snow mold resulted in a significant loss in yield, amounting to 50.4%. The results of the field studies demonstrated that the majority of winter triticale cultivars were susceptible to pink snow mold. The forms with relatively high levels of field and laboratory resistance were identified. The sources of field resistance to snow mold have been identified as potential candidates for further use in breeding. The varieties Beta 2, Doctrine 110, Capral, Nemchinovsky 56, Bashkirskaia korotkostebel'naya, Tsekad 90 and Altaysky 5 have been identified as resistant to both natural infection and epiphytotic load. The varieties Pyatrus, Kroha, Privada, Gorka, Almaz, Capella, Tribun have demonstrated high resistance to pink snow mold in detached leaves, and are therefore recommended for use in genetic studies.

Key words: winter triticale, pink snow mold, *Microdochium nivale*, artificial infection background, natural infection background, detached leaf assay, samples, damage, resistance

For citation: Ponomareva M.L., Garaeva N.Sh., Ponomarev S.N., Pavlova S.Yu., Ivanova I.O. Differentiation of genetic resources of winter triticale by resistance to the causative agent of pink snow mold (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and I.C. Hallett). *Agrarian science*. 2025; 390(01): 106–113 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-106-113>

Введение/Introduction

Озимая тритикале (\times *Triticosecale* Wittm. ex A. Camus, $2n = 42$) — искусственное злаковое растение, созданное с целью совмещения характеристик холодостойкости, болезнеустойчивости и адаптации к неблагоприятным почвам и климату с продуктивностью и питательными свойствами. Благодаря своему потенциалу урожайности, хорошему качеству зерна и высокой устойчивости к условиям окружающей среды тритикале является очень перспективной культурой для современных сельскохозяйственных систем, особенно для биоорганического и устойчивого земледелия.

На начальном этапе создания данная культура имела более высокую устойчивость к многочисленным грибным заболеваниям (мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине, фузариозу колоса, твердой и пыльной головне) в сравнении с другими зерновыми [1, 2]. Поэтому тритикале часто предлагалась в качестве источника генов устойчивости для передачи родительским формам — пшенице и ржи [3].

Однако в последние годы было проведено достаточно много исследований, показывающих, что тритикале в разной степени начала поражаться определенными болезнями [4, 5]. Ученые связывают эту тенденцию с увеличением посевных площадей тритикале, когда культура стала терять свой иммунитет из-за эволюции новых рас патогенов, способных поражать этот злак, а также с климатическими изменениями и ухудшением фитосанитарной ситуации в целом [6]. Поэтому основные задачи селекции направлены на повышение толерантности (устойчивости) ко многим биотическим факторам одновременно.

Сорта озимой тритикале главным образом создаются методом гибридизации предварительно отобранных родительских форм, в потомстве которых высока вероятность появления генотипов с оптимальным сочетанием необходимых признаков. Аллополиплоидная природа вовлекаемых в скрещивания форм (сортов и межвидовых гибридов) становится причиной широкого фенотипического разнообразия создаваемых сортов, в том числе и по устойчивости к инфекционным болезням.

Одним из самых серьезных заболеваний зимующих злаков в семействе *Poaceae* остается снежная плесень [7]. На сегодняшний момент доминирующими патогенами, приводящими к данному заболеванию, являются представители разных таксонов: *Ascomycota*, к которым относятся *Microdochium* (*M. nivale*, *M. majus*), вызывающие розовую снежную плесень, и род *Basidiomycota* — виды *Typhula* (*T. ishikariensis*, *T. incarnata*), вызывающие серую и крапчатую снежную плесень соответственно [8, 9]. Перечисленные возбудители могут вызывать это заболевание как самостоятельно, так и в сочетании [10, 11].

Розовая снежная плесень (РСП), определяемая *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and

I.C. Hallett), регулярно поражает озимую тритикале (\times *Triticosecale*, Wittm.) [12], и ее возбудитель считается наиболее распространенным и вирулентным грибным патогеном в умеренном и холодном климате [13, 14]. Патоген так или иначе ассоциирован с растениями в течение всего вегетационного периода, но особенно активен зимой и поражает зимующие растения под снежным покровом. Симптомы заболевания, проявляемые в ранневесенний период, — хлороз, высыхание листьев, обширный рост белого или розового мицелия и образование оранжевых спородохий, которые проявляются в виде обесцвеченных участков листовой пластины [15], а позднее — образование уплотненного слоя и стеблевой гнили [16].

Результативность селекции на болезнеустойчивость определяется многими факторами, среди которых решающее значение имеют исходный материал и уровень исследованности мирового генофонда.

Устойчивость растений к *M. nivale* является полигенной по своей природе. У озимой тритикале были обнаружены QTL, ассоциированные с компонентами устойчивости к *M. nivale*, на хромосомах 1В, 2А, 3А, 3В, 5А, 5В, 6А, 6В и 7В [17].

Цель исследования — выявление генотипов озимой тритикале, характеризующихся устойчивостью к крайне вредоносному заболеванию — розовой снежной плесени, в сочетании с ценными биологическими признаками.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевые эксперименты выполнены в 2020–2022 гг. в лаборатории селекции озимой ржи и тритикале ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН на фоне естественного распространения заболевания (ЕФ) и на искусственном инфекционном фоне (ИФ). Инфекционный питомник размещался вне полей севооборота, на специальном изолированном участке, с трех сторон защищенном лесным массивом, где дольше сохраняется снежный покров.

Почвы опытного участка серые лесные с содержанием гумуса 2,8–3,0%. Инокулом, используемый для создания искусственного фона, был представлен специально подобранными высоковирулентными местными изолятами *Microdochium nivale* (F00628, F00608, F00190, F00204, F00313, F00492, F00501), выделенными ранее и сохраняемыми в коллекции фитопатогенных грибов лаборатории инфекционных заболеваний растений ФИЦ КазНЦ РАН [18]. Смесь мицелия этих штаммов обрабатывали дробленными автоклавированные зерна ячменя, которые вручную равномерно вносили в почву в осенний период из расчета 100 г/м² на стадии трех листьев.

В данной работе объектами исследования стали 50 гексаплоидных образцов озимой тритикале из генколлекции ВИГРП им. Н.И. Вавилова в

сравнении со стандартом Башкирская короткостебельная.

Тестируемые сорта имели различное эколого-географическое происхождение: 34 были представлены основными селекционными учреждениями РФ — Донским федеральным аграрным центром, Национальным центром зерна им. Лукьяненко и др.), а также современными сортами из Беларуси, Украины, Польши, Германии, Румынии, Франции, Швеции и США.

Кроме дифференциации по географической приуроченности, подобранные сорта различались по скороспелости, продуктивности, зимостойкости и другим показателям. Коллекционные образцы высевали на делянках площадью 1,5 м² в 2-кратной повторности с нормой высева 4,5 млн шт/га.

Погодные условия в годы проведения исследований имели различный характер. Они отличались как по среднедекадной температуре, так и по количеству осадков, но в целом способствовали развитию РСР. Продолжительность холодного периода (устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С осенью к положительным значениям весной) составлял 110, 136 и 145 суток в 2019–2020, 2020–2021 и 2021–2022 гг. соответственно. Время залегания снежного покрова длилось в указанных сезонах, соответственно, 102, 150 и 156 дней.

Полевая устойчивость образцов тритикале к снежной плесени оценивалась непосредственно после схода снега по интенсивности поражения листовой поверхности и выживаемости (рис. 1а, 1б). Для оценки использовали 9-балльную шкалу: 1 — здоровые растения, 9 — все 100% листьев поражены.

Тип устойчивости оценивался по адаптированной к исследуемому заболеванию следующей шкале: R (устойчивый — 1–2,9 балла); MR (умеренно устойчивый — 3–4,9 балла); MS (умеренно восприимчивый — 5–6,9 балла); S (восприимчивый — 7–9 баллов) [19]. Отрастание растений оценено по той же визуальной шкале (1–9) через две недели после первой оценки, где 1 означает растение без видимых симптомов инфекции, а 9 — полностью мертвое растение без признаков удлинения листьев.

Лабораторный скрининг проведен путем заражения 40 отсеченных листьев каждого образца наиболее вирулентным штаммом *Microdochium nivale* F00608.

Инокулом наращивали в стерильных условиях на среде КСА (картофельно-сахарозный агар). Растения тестируемых образцов озимой тритикале предварительно выращивались в климатической камере Binder 720 МК (E5) (Binder GmbH, Германия) и на стеллажах Led 5 sheif Fitokontrol (Россия) при температуре 22–24 °С, влажности 40% и круглосуточном освещении.

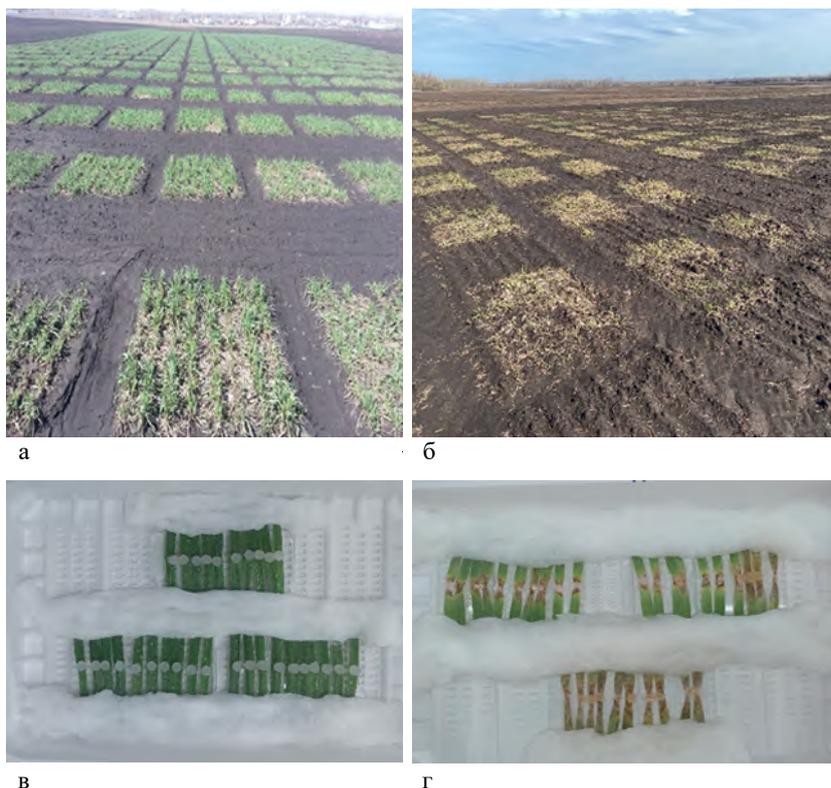
На отрезки листьев длиной 3 см, отделенных у 10–12-дневных проростков, помещали агаровый блок диаметром 6 мм, вырезанный из периферийной части колонии гриба (рис. 1в).

Трехкратная оценка площади поражения отсеченного листа в ответ на инокуляцию *Microdochium nivale* проводилась на 4-й, 6-й и 9-й день после заражения патогеном [9] (рис. 1г). После завершения фитопатологической оценки были рассчитаны степень поражения отсеченного листа (%), скорость развития заболевания (%/день), распространенность заболевания (%) и площадь под кривой развития болезни (ПКРБ), на основании которой вычислялся индекс восприимчивости сортов (ИВ). За единицу принято поражение стандарта.

Ранжирование сортов по результатам лабораторного скрининга выполнено по следующей шкале: 0,1–0,35 — устойчивый (R), 0,36–0,65 — умеренно устойчивый (MR), 0,66–0,80 — умеренно восприимчивый (MS), > 0,8 — восприимчивый (S).

Рис. 1. Поражение растений: а — поражение растений на естественном инфекционном фоне; б — поражение растений на искусственном инфекционном фоне; в — метод отсеченных листьев; г — результат заражения в лабораторных условиях. Фото автора С.Н. Пономарева

Fig. 1. Plant damage: а — plant damage on a natural infectious background; б — plant damage on an artificial infectious background; в — the method of cut-off leaves; д — the result of infection in the laboratory. Photo by S.N. Ponomarev



Для расчета статистических характеристик и визуализации полученных данных использовались пакеты программ Microsoft Office Excel 2007 (США) и XLSTAT 2019.2.2.59614.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результативность селекции на болезнеустойчивость существенно повышает параллельное испытание сортообразцов на естественном и искусственном инфекционном фонах. Средний балл поражения болезнью образцов озимой тритикале на созданном авторами искусственном инфекционном фоне составил $6,39 \pm 1,52$, в условиях естественного развития инфекции — $3,34 \pm 0,94$ (различия статистически доказаны по критерию Стьюдента) (рис. 2).

Коэффициент корреляции между поражением растений на ЕФ и ИФ равнялся $r = 0,799$, между поражением и отрастанием на ИФ — $r = -0,829$.

Сильное развитие вызываемого низкотемпературным аскомицетом *M. nivale* поражения (4 балла) повлекло за собой снижение общей продуктивности растений. Коэффициент корреляции между поражением снежной плесенью на ИФ и урожайностью имел высокосignificant отрицательные значения ($r = -0,708$) (рис. 3).

Из полученного уравнения регрессии видно, что с ростом поражения на единицу урожайность в среднем снижается на 33,6 г зерна с 1 кв. м.

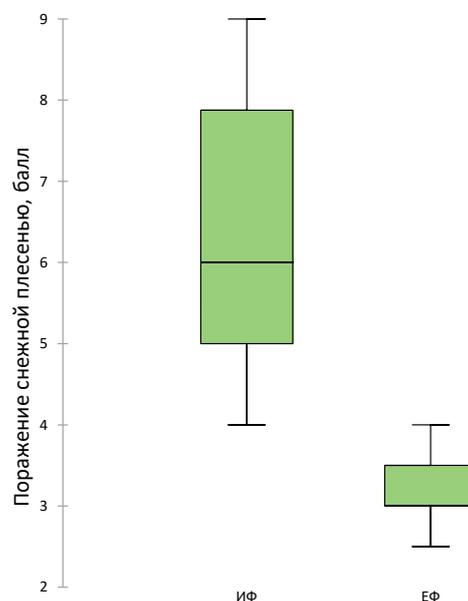
Оценки на устойчивость в условиях искусственного инфекционного фона имеют большое значение, так как соответствуют данным, полученным в условиях естественных эпифитотий, которые случаются с большей частотой, чем десятилетием ранее, позволяют выявлять потенциальную устойчивость и ускоряют селекционный процесс.

Установлено, что данная экспериментальная платформа (искусственный фон) дает большую дифференциацию генетических ресурсов и ежегодно гарантирует успех заражения. Другое преимущество параллельного тестирования на естественном фоне болезни и повышенном инфекционном фоне заключается в том, что генетический материал подвергается полной вариабельности действия патогенов — от слабого до эпифитотийного уровня. Это позволяет объективно определить тяжесть заболевания, которая может сильно варьировать в разных местах и в пределах одного и того же места в отдельные годы, а также избежать использования в гибридизации и последующей селекции слабоустойчивых родительских форм и гибридов.

Сравнение средних значений агрономических параметров на ЕФ и ИФ для одного и того же

Рис. 2. Поражение снежной плесенью 50 сортов из коллекции генетических ресурсов озимой тритикале на искусственном (ИФ) и естественном инфекционном фонах (ЕФ) (среднее за годы исследования)

Fig. 2. Snow mold damage of 50 winter triticale varieties from the collection of genetic resources on artificial and natural infection background (average for the years of the study)



набора образцов озимой тритикале показало сильное влияние пораженности болезнью на степень отрастания и высоту растений (табл. 1). Но особенно значительные различия были обнаружены по урожайности зерна.

Полученные данные свидетельствуют о том, что эпифитотийное развитие снежной плесени приводит к существенному недобору урожайности (на 50,4%).

Результаты полевых исследований показали, что большинство сортообразцов озимой тритикале были восприимчивы к розовой снежной плесени. На естественном фоне самыми устойчивыми (балл 2) были сорта Капрал, Бета 2, Немчиновский 56, Башкирская короткостебельная, Доктрина 110, а самым восприимчивым оказался немецкий сорт Pinokio (6 баллов).

Рис. 3. Регрессионная зависимость урожайности 50 образцов озимой тритикале от поражения РСП на искусственном инфекционном фоне

Fig. 3. Regression relationship of yield of 50 winter triticale samples on pink snow mold damage on artificial infection background

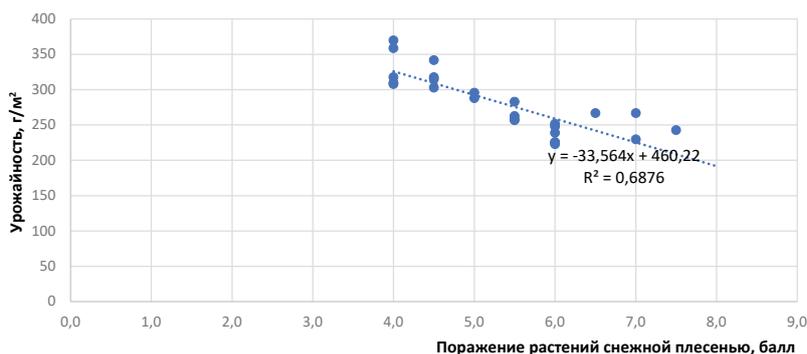


Таблица 1. Средние значения пораженности снежной плесенью, урожайности и элементов структуры урожая 50 образцов тритикале на искусственном и естественном инфекционном фонах

Table 1. Average values of snow mold damage, yield and yield structure elements of 50 triticale samples on artificial and natural infection backgrounds

Признаки	Среднее ± стандартное отклонение	
	инфекционный фон	естественный фон
Снежная плесень, балл	6,39 ± 1,52*	3,34 ± 0,94
Отрастание, балл	5,61 ± 1,08	3,54 ± 0,87
Урожайность зерна, г/м ²	280,3 ± 72,2*	565,5 ± 94,8
Высота растений, см	96,1 ± 16,2*	125,4 ± 13,1

Примечание: * достоверно на 5%-ном уровне значимости.

На искусственном фоне наибольшей устойчивостью к снежной плесени характеризовались сорта Цекад 90, Алтайский 5, Бета 2, Доктрина 110 (балл 4), в наибольшей степени поражены данному заболеванию сорта зарубежной селекции Janko и Witon (Польша), а также сорт Пшеничне (Украина) (балл 9).

Дополнительное обследование посевов в период весеннего отрастания показало, что многие сорта, несмотря на значительное поражение снежной плесенью, обладали хорошей регенерационной способностью на фоне высокой инфекционной нагрузки, хорошо восстанавливались и сформировали дополнительные побеги кущения. Такими особенностями характеризовались сорта озимой тритикале Башкирская короткостебельная, Трибун, Зимогор, Атаман Платов, Сибирский, Цекад 90, Алтайский 5, Легион, Консул, Алмаз, Торнадо, Святозар и Парус.

Высокую поражаемость зарубежных сортов РСП ряд авторов объясняют отсутствием или непродолжительным периодом залегания снежного покрова, в течение которого патоген проявлял свое присутствие в очень слабой степени [20]. В то же время Abdelhalim *et al.* [21] утверждают, что, в отличие

от других возбудителей, *M. nivale* не нуждается в снежном покрове, чтобы нанести ущерб, и по этой причине розовая снежная плесень распространена даже в тех районах, где продолжительность залегания снежного покрова минимальна или его отсутствие заменяется влажными условиями и близкими к нулю температурами.

Ряд авторов показали, что наблюдаемые климатические изменения приводят к распространению термофильных видов грибов с юга на север, а криофильных, каковыми являются возбудители снежной плесени, наоборот, с севера на юг [22]. Эти обстоятельства указывают на необходимость тестирования образцов, включаемых в российские селекционные программы, на устойчивость к этому фитопатогену. При этом основной акцент целесообразно делать на высокое генетическое разнообразие образцов по устойчивости к РСП.

При лабораторном скрининге установлено, что индекс восприимчивости (ИВ) у изучаемых образцов озимой тритикале колебался в пределах 0,46–3,37 (рис. 4). Большинство изученных генотипов (78%), в том числе стандарт Башкирская короткостебельная, имели ИВ свыше 0,8 и отнесены к группе восприимчивых образцов. При этом не выявлено образцов с наименьшим индексом восприимчивости (0,10–0,35), относящихся к группе устойчивых.

По результатам оценки сортообразцов методом заражения отсеченных листьев было выявлено, что наименьшая степень поражения составляла 8.3% у белорусского сортообразца Пятрусь. Кроме него, в качестве источников устойчивости были выделены 6 образцов — Кроха, Привада, Горка, Алмаз, Капелла, Трибун, у которых значения ИВ соответствовали группе высокоустойчивых генотипов. Максимальный индекс восприимчивости выявлен у иностранных сортов Ozozko и Witon.

Рис. 4. Ранжирование образцов озимой тритикале по индексу восприимчивости к *M. nivale*. Желтым цветом обозначены умеренно устойчивые (MR) образцы, оранжевым — умеренно восприимчивые (MS), красным — восприимчивые (S), синим — стандарт

Fig. 4. Ranking of winter triticale samples by susceptibility index to *M. nivale*. Yellow color indicates moderately resistant (MR) samples, orange — moderately susceptible (MS), red — susceptible (S), blue — standard

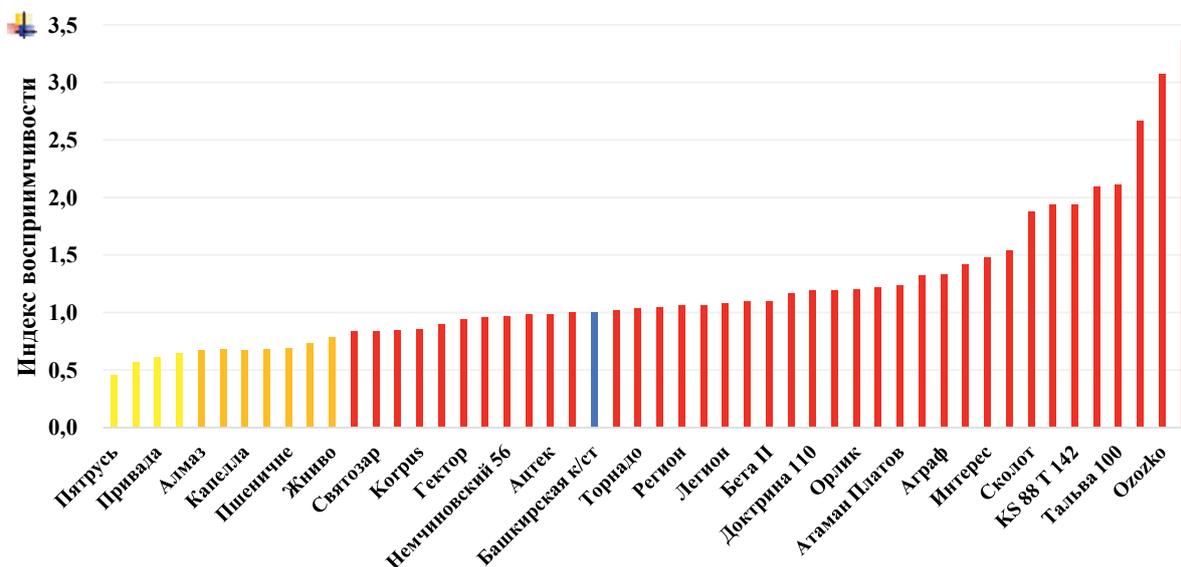
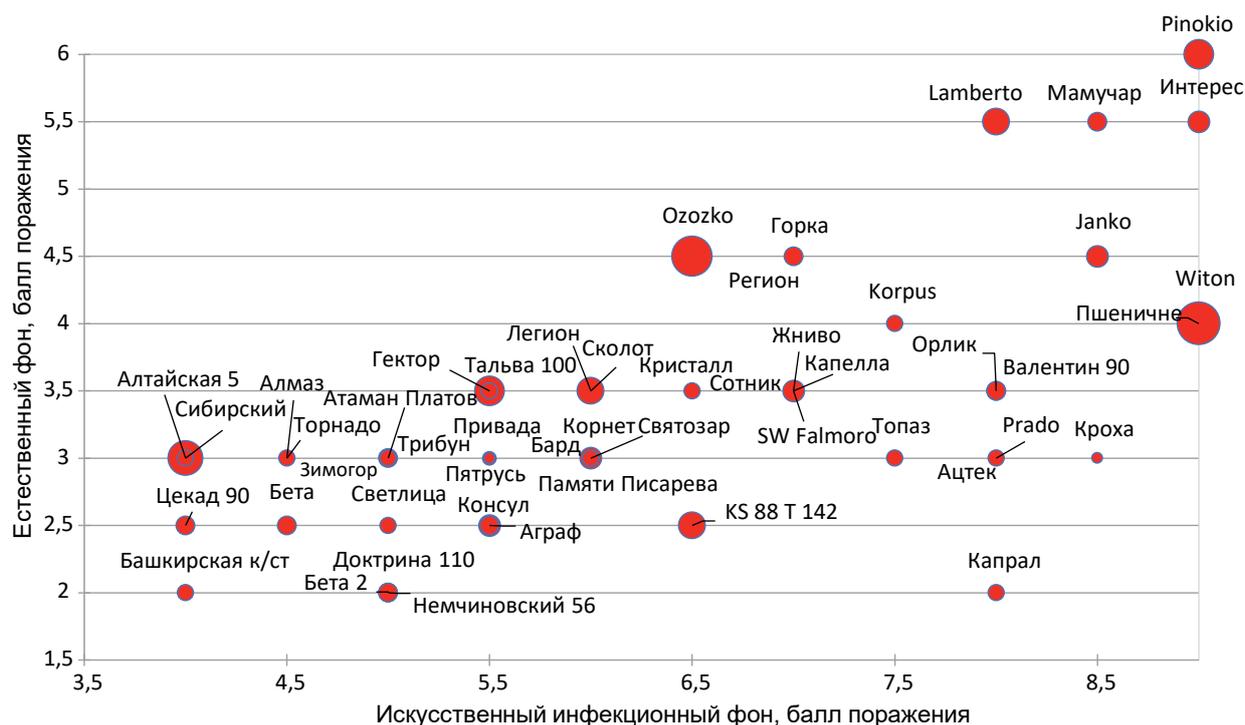


Рис. 5. Поражение образцов озимой тритикале на основе трех оценок (по оси x — на искусственном инфекционном фоне, по оси y — на естественном фоне развития заболевания, размер маркера — на отсеченных листьях)

Fig. 5. Damage of winter triticale samples based on three assessments (abscissa axis — on artificial infection background, ordinate axis — on natural background of disease development marker size — on detached leaves)



Комплексное исследование выборки образцов из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова и крупнейших селекционных центров РФ показало, что, несмотря на относительно хорошую устойчивость озимой тритикале к заболеваниям грибной этиологии, данная культура подвержена серьезному воздействию микромицета *M. nivale*, вызывающего розовую снежную плесень (рис. 5). Наивысшую степень поражения (59,6%) по совокупности всех трех оценок имел образец Witon польского происхождения.

Некоторые сорта (Сибирский, Тальва 100), показавшие неплохой результат в полевых условиях, имели сильное поражение РСР при лабораторном скрининге. И наоборот, сорта Кроха и Горка при довольно сильном поражении на ЕФ и ИФ, при искусственной инокуляции отсеченных листьев показали умеренную устойчивость (ИВ = 0,57 и 0,64).

Выводы/Conclusion

Таким образом, одновременный скрининг образцов озимой тритикале по устойчивости к розовой снежной плесени в естественных и искусственно созданных условиях эпифитотий позволяет выявлять формы, обладающие относительно высоким уровнем устойчивости и генетическим разнообразием по данному признаку, от

которых зависит длительность сохранения устойчивости у будущих сортов.

Лабораторные условия позволяют более точно оценить материал и уже на этом этапе выбраковать неустойчивые к снежной плесени формы, которые не будут использоваться в дальнейшем селекционном процессе.

Установлено, что применение отсеченных листьев и искусственные инокуляции изолятами *Microdochium nivale*, предложенные авторами для поддержания инфекционного фона, вызывают чувствительные и дифференциальные реакции устойчивости сортов озимой тритикале, что позволяет использовать их для дальнейшего исследования генетических ресурсов в селекционной практике.

Для дальнейшего использования в селекции предложены источники полевой устойчивости к снежной плесени — Бета 2, Доктрина 110, Капрал, Немчиновский 56, Башкирская короткостебельная, Цекад 90, Алтайский 5, из которых первые два сорта устойчивы как при естественном заражении, так и при эпифитотийной нагрузке. Высокую устойчивость отсеченных листьев к розовой снежной плесени проявили сорта Пятрусь, Кроха, Привада, Горка, Алмаз, Капелла, Трибун, которые рекомендуется использовать в генетических исследованиях.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асеева Т.А., Зенкина К.В. Мучнистая роса — опасная болезнь яровой тритикале на Дальнем Востоке. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024; (1): 28–31. <https://doi.org/10.31857/S2500262724010051>
2. Крупенько Н.А. и др. Фитопатологическая ситуация в посевах зерновых культур в Беларуси. *Защита растений*. 2023; 47: 86–93. <https://elibrary.ru/kyvwqq>
3. Mergoum M. et al. Triticale (x *Triticosecale* Wittmack) Breeding. Al-Khayri J., Jain S., Johnson D. (eds.). *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*. Cham: Springer. 2019; 5: 405–451. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_11
4. Каневская И.Ю., Касынкина О.М. Фитопатологическая оценка озимой тритикале. *Аграрный научный журнал*. 2022; (7): 19–21. <http://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp19-21>
5. Сашко Е.Ф., Веверитц Е.К., Лятамборг С.И. Выявление источников устойчивости к септориозу у генотипов озимых тритикале в естественных полевых условиях Республики Молдова. *Аграрная наука*. 2019; (1): 48–51. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-48-52>
6. Miedaner T., Flath K., Starck N., Weißmann S., Maurer H.P. Quantitative-Genetic Evaluation of Resistances to Five Fungal Diseases in A Large Triticale Diversity Panel (x *Triticosecale*). *Crops*. 2022; 2(3): 218–232. <https://doi.org/10.3390/crops2030016>
7. Dubas E., Golebiowska G., Zur I., Wedzony M. *Microdochium nivale* (Fr., Samuels & Hallett): cytological analysis of the infection process in triticale (x *Triticosecale* Wittm.). *Acta Physiologiae Plantarum*. 2011; 33: 529–537. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0576-9>
8. Tsers I. et al. First genome-scale insights into the virulence of the snow mold causal fungus *Microdochium nivale*. *IMA Fungus*. 2023; 14: 2. <https://doi.org/10.1186/s43008-022-00107-0>
9. Ponomareva M. et al. Resistance to Snow Mold as a Target Trait for Rye Breeding. *Plants*. 2022; 11(19): 2516. <https://doi.org/10.3390/plants11192516>
10. Ткаченко О.Б. Снежные плесени: (история изучения, возбудители, их биологические особенности). М.: *Российская академия наук*. 2017; 71. ISBN 978-5-906906-24-3 <https://elibrary.ru/upnzpp>
11. Гагкаева Т.Ю., Орина А.С., Гаврилова О.П. Разнообразие грибов рода *Microdochium*, выявленных на зерновых культурах в России. *Микология и фитопатология*. 2020; 54(5): 347–364. <https://doi.org/10.31857/S0026364820050049>
12. Gawronska K., Golebiowska-Pikania G. The effects of cold-hardening and *Microdochium nivale* infection on oxidative stress and antioxidative protection of the two contrasting genotypes of winter triticale. *European Food Research and Technology*. 2016; 242(8): 1267–1276. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2630-8>
13. Zhukovsky A., Ilyuk A. Snow mould harmfulness in winter triticale and the efficiency of seed dressing products in the Republic of Belarus. *Progress in Plant Protection*. 2010; 50(4): 1841–1846.
14. Ponomareva M.L., Gorshkov V.Yu., Ponomarev S.N., Korzun V., Miedaner T. Snow mold of winter cereals: a complex disease and a challenge for resistance breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021; 134(2): 419–433. <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7>
15. Temirbekova S.K. et al. Evaluation of Wheat Resistance to Snow Mold Caused by *Microdochium nivale* (Fr) Samuels and I.C. Hallett under Abiotic Stress Influence in the Central Non-Black Earth Region of Russia. *Plants*. 2022; 11(5): 699. <https://doi.org/10.3390/plants11050699>
16. Hudec K., Bokor P. Field pathogenicity of *Fusarium culmorum*, *Fusarium equiseti* and *Microdochium nivale* on triticale. *Acta fytotechnica et zootechnica*. 2001; 4(S): 312–314.
17. Szechyńska-Hebda M. et al. Identifying QTLs for cold-induced resistance to *Microdochium nivale* in winter triticale. *Plant Genetic Resources*. 2011; 9(2): 296–299. <https://doi.org/10.1017/S1479262111000268>
18. Gorshkov V. et al. Rye Snow Mold-Associated *Microdochium nivale* Strains Inhabiting a Common Area: Variability in Genetics, Morphotype, Extracellular Enzymatic Activities, and Virulence. *Journal of Fungi*. 2020; 6(4): 335. <https://doi.org/10.3390/jof6040335>
19. Ponomareva M. et al. Resistance to Snow Mold as a Target Trait for Rye Breeding. *Plants*. 2022; 11(19): 2516. <https://doi.org/10.3390/plants11192516>
20. Targonska-Karasek M. et al. Investigation of obsolete diversity of rye (*Secale cereale* L.) using multiplexed SSR fingerprinting and evaluation of agronomic traits. *Journal of Applied Genetics*. 2020; 61(4): 513–529. <https://doi.org/10.1007/s13353-020-00579-z>

REFERENCES

1. Aseeva T.A., Zenkina K.V. Powdery mildew is a dangerous disease of spring triticale in the Far East. *Russian Agricultural Sciences*. 2024; (1): 28–31 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500262724010051>
2. Krupenko N.A. et al. Phytopathological situation in the crops of cereals in Belarus. *Plant Protection*. 2023; 47: 86–93 (in Russian). <https://elibrary.ru/kyvwqq>
3. Mergoum M. et al. Triticale (x *Triticosecale* Wittmack) Breeding. Al-Khayri J., Jain S., Johnson D. (eds.). *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*. Cham: Springer. 2019; 5: 405–451. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_11
4. Kanevskaya I.Yu., Kasynkina O.M. Phytopathological assessment of winter triticale. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; (7): 19–21 (in Russian). <http://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp19-21>
5. Sashco E.F., Vevertitce E.C., Latamborg S.I. Identification of sources of resistance to septoria in genotypes of winter triticale in natural field conditions of the Republic of Moldova. *Agrarian science*. 2019; (1): 48–51 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-48-52>
6. Miedaner T., Flath K., Starck N., Weißmann S., Maurer H.P. Quantitative-Genetic Evaluation of Resistances to Five Fungal Diseases in A Large Triticale Diversity Panel (x *Triticosecale*). *Crops*. 2022; 2(3): 218–232. <https://doi.org/10.3390/crops2030016>
7. Dubas E., Golebiowska G., Zur I., Wedzony M. *Microdochium nivale* (Fr., Samuels & Hallett): cytological analysis of the infection process in triticale (x *Triticosecale* Wittm.). *Acta Physiologiae Plantarum*. 2011; 33: 529–537. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0576-9>
8. Tsers I. et al. First genome-scale insights into the virulence of the snow mold causal fungus *Microdochium nivale*. *IMA Fungus*. 2023; 14: 2. <https://doi.org/10.1186/s43008-022-00107-0>
9. Ponomareva M. et al. Resistance to Snow Mold as a Target Trait for Rye Breeding. *Plants*. 2022; 11(19): 2516. <https://doi.org/10.3390/plants11192516>
10. Tkachenko O.B. Snow molds: (history of study, pathogens, their biological features). Moscow: *Russian Academy of Sciences*. 2017; 71 (in Russian). ISBN 978-5-906906-24-3 <https://elibrary.ru/upnzpp>
11. Gagkaeva T.Yu., Orina A.S., Gavrilo O.P. Biodiversity of *Microdochium* fungi occurring on small grain cereals in Russia. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2020; 54(5): 347–364 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0026364820050049>
12. Gawronska K., Golebiowska-Pikania G. The effects of cold-hardening and *Microdochium nivale* infection on oxidative stress and antioxidative protection of the two contrasting genotypes of winter triticale. *European Food Research and Technology*. 2016; 242(8): 1267–1276. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2630-8>
13. Zhukovsky A., Ilyuk A. Snow mould harmfulness in winter triticale and the efficiency of seed dressing products in the Republic of Belarus. *Progress in Plant Protection*. 2010; 50(4): 1841–1846.
14. Ponomareva M.L., Gorshkov V.Yu., Ponomarev S.N., Korzun V., Miedaner T. Snow mold of winter cereals: a complex disease and a challenge for resistance breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021; 134(2): 419–433. <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7>
15. Temirbekova S.K. et al. Evaluation of Wheat Resistance to Snow Mold Caused by *Microdochium nivale* (Fr) Samuels and I.C. Hallett under Abiotic Stress Influence in the Central Non-Black Earth Region of Russia. *Plants*. 2022; 11(5): 699. <https://doi.org/10.3390/plants11050699>
16. Hudec K., Bokor P. Field pathogenicity of *Fusarium culmorum*, *Fusarium equiseti* and *Microdochium nivale* on triticale. *Acta fytotechnica et zootechnica*. 2001; 4(S): 312–314.
17. Szechyńska-Hebda M. et al. Identifying QTLs for cold-induced resistance to *Microdochium nivale* in winter triticale. *Plant Genetic Resources*. 2011; 9(2): 296–299. <https://doi.org/10.1017/S1479262111000268>
18. Gorshkov V. et al. Rye Snow Mold-Associated *Microdochium nivale* Strains Inhabiting a Common Area: Variability in Genetics, Morphotype, Extracellular Enzymatic Activities, and Virulence. *Journal of Fungi*. 2020; 6(4): 335. <https://doi.org/10.3390/jof6040335>
19. Ponomareva M. et al. Resistance to Snow Mold as a Target Trait for Rye Breeding. *Plants*. 2022; 11(19): 2516. <https://doi.org/10.3390/plants11192516>
20. Targonska-Karasek M. et al. Investigation of obsolete diversity of rye (*Secale cereale* L.) using multiplexed SSR fingerprinting and evaluation of agronomic traits. *Journal of Applied Genetics*. 2020; 61(4): 513–529. <https://doi.org/10.1007/s13353-020-00579-z>

21. Abdelhalim M., Brurberg M.B., Hofgaard I.S., Rognli O.A., Tronsmo A.M. Pathogenicity, host specificity and genetic diversity in Norwegian isolates of *Microdochium nivale* and *Microdochium majus*. *European Journal of Plant Pathology*. 2020; 156(3): 885–895. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01939-5>

22. Muggia L., Ametrano C.G., Sterflinger K., Tesei D. An Overview of Genomics, Phylogenomics and Proteomics Approaches in Ascomycota. *Life*. 2020; 10(12): 356. <https://doi.org/10.3390/life10120356>

ОБ АВТОРАХ

Мира Леонидовна Пономарева

доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией
smponomarev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1648-3938>

Назлыгуль Шамсутдиновна Гараева

научный сотрудник
cimba93@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7401-8946>

Сергей Николаевич Пономарев

доктор сельскохозяйственных наук,
главный научный сотрудник
s.ponomarev2020@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8898-4435>

Светлана Юрьевна Павлова

аспирант, младший научный сотрудник
swetlanapavlova00@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6806-800X>

Ирина Олеговна Иванова

аспирант, младший научный сотрудник
010719992010@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0084-3254>

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, Казань, 420059, Россия

21. Abdelhalim M., Brurberg M.B., Hofgaard I.S., Rognli O.A., Tronsmo A.M. Pathogenicity, host specificity and genetic diversity in Norwegian isolates of *Microdochium nivale* and *Microdochium majus*. *European Journal of Plant Pathology*. 2020; 156(3): 885–895. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01939-5>

22. Muggia L., Ametrano C.G., Sterflinger K., Tesei D. An Overview of Genomics, Phylogenomics and Proteomics Approaches in Ascomycota. *Life*. 2020; 10(12): 356. <https://doi.org/10.3390/life10120356>

ABOUT THE AUTHORS

Mira Leonidovna Ponomareva

Doctor in Biological Science, Professor, Chief Researcher,
Head of the Laboratory
smponomarev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1648-3938>

Nazlygul Shamsutdinovna Garaeva

Research Associate
cimba93@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7401-8946>

Sergey Nikolaevich Ponomarev

Doctor in Agricultural Sciences,
Chief Researcher
s.ponomarev2020@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8898-4435>

Svetlana Yurievna Pavlova

Postgraduate Student, Junior Researcher
swetlanapavlova00@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6806-800X>

Irina Olegovna Ivanova

Postgraduate Student, Junior Researcher
010719992010@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0084-3254>

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture — Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", 48 Orenburg tract, Kazan, 420059, Russia



7-я международная выставка технологий выращивания, хранения и сбыта плодово-ягодной продукции

САДЫ РОССИИ ПРО ЯБЛОКО 2025

ГЛАВНАЯ ВЫСТАВКА
ДЛЯ САДОВОДОВ

9-11 ИЮНЯ
2025



г. Минеральные Воды,
МВЦ Минводы ЭКСПО
РЕКЛАМА