

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.832-840>
УДК 632.4.01/08



Фунгицид-резистентность штаммов *Microdochium nivale* и ее взаимосвязь с вирулентностью

© 2022. Г. Ш. Мурзагулова¹, А. Р. Мещеров¹, О. А. Гоголева¹,
С. Н. Пономарев², М. А. Пономарева²✉, В. Ю. Горшков¹

¹Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Российская Федерация,

²Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Российская Федерация

Цель исследования – анализ устойчивости 21 штамма *Microdochium nivale* (грибов-возбудителей розовой снежной плесени озимых зерновых культур), обитающих в пределах одного ареала и одной культуры (озимая рожь), к фунгицидам, различающимся по химической природе и механизмам действия, а также проверка взаимосвязи между уровнями вирулентности и фунгицид-резистентности штаммов. Вирулентность штаммов *M. nivale* определяли на отсеченных листьях растений ржи сорта Огонек, а также на целых растениях, выращенных в стерильных условиях *in vitro*. Устойчивость штаммов к фунгицидам Провизор (д. в. азоксистробин) и Феразим (д. в. карбендазим) определяли по ингибированию роста мицелия. В результате экспериментов штаммов, способных расти в присутствии фунгицида Провизор, выявлено значительно больше (13), чем Феразим-резистентных штаммов (2); однако Феразим-резистентные штаммы имели больший уровень устойчивости (ингибирование роста на 5-16 %), чем штаммы, устойчивые к Провизору (ингибирование роста на 63-94 %). Обнаружена отрицательная корреляция (ранговый коэффициент корреляции Спирмена -0,604 и -0,532) между уровнем вирулентности штаммов *M. nivale* и уровнем их восприимчивости к Провизору. Это, по всей видимости, означает, что приобретение штаммами *M. nivale* устойчивости к Провизору сопровождается увеличением их вирулентности. Корреляций между фунгицид-резистентностью штаммов *M. nivale* и их принадлежностью к той или иной филогенетической группе, к которой штаммы отнесены на основании нуклеотидной последовательности региона ITS2 (внутренний транс-крибируемый спейсер 2), не выявлено. Проведенное исследование свидетельствует о том, что при выборе стратегии применения фунгицидов необходимо анализировать присутствие в популяциях фитопатогенных грибов штаммов, обладающих одновременно высокой вирулентностью и устойчивостью к разным фунгицидам, а также учитывать, что адаптация грибов к определенным фунгицидам может сопровождаться повышением их вирулентности, что негативно скажется на фитопатологическом состоянии агроценоза.

Ключевые слова: розовая снежная плесень, устойчивость к фунгицидам, озимая рожь, фитопатогенность, внутривидовое разнообразие фитопатогенных грибов, химические средства защиты растений, инфекционные заболевания растений

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (тема № 121110200046-2).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мурзагулова Г. Ш., Мещеров А. Р., Гоголева О. А., Пономарев С. Н., Пономарева М. Л., Горшков В. Ю. Фунгицид-резистентность штаммов *Microdochium nivale* и ее взаимосвязь с вирулентностью. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):832-840. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.832-840>

Поступила: 13.11.2022

Принята к публикации: 06.12.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Fungicide resistance of *Microdochium nivale* strains and its interconnection with virulence

© 2022. Guzaliya Sh. Murzagulova¹, Azat R. Meshcherov¹, Olga A. Gogoleva¹, Sergey N. Ponomarev², Mira L. Ponomareva²✉, Vladimir Y. Gorshkov¹

¹Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, Tatarstan, Russian Federation,

²Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, Tatarstan, Russian Federation

The aim of the study was to analyze the resistance of 21 *Microdochium nivale* strains (fungi that cause pink snow mold in winter crops), living within a single area and a single crop (winter rye), to fungicides that differ in chemical nature and mechanisms of action as well as to test the interconnection between levels of virulence and fungicide resistance of strains. The virulence of *M. nivale* strains was determined on detached leaves of rye (*Ogonek* variety) plants as well as on whole plants grown under sterile conditions in vitro. The resistance of strains to fungicides (Provisor (a.s. azoxystrobin) and Ferazim (a.s. carbendazim)) was determined by inhibition of mycelium growth. As a result of the experiments, more strains (13) capable of growing in the presence of Provisor were revealed than Ferazim-resistant strains (2); however, Ferazim-resistant strains had a greater level of resistance (5–16% of growth inhibition) than Provisor-resistant strains (63–94 % of growth inhibition). A negative correlation (Spearman's correlation coefficient –0.604 and –0.532) between the level of virulence of *M. nivale* strains and the level of their susceptibility to Provisor was found. This evidently means that the acquisition of resistance to Provisor by *M. nivale* strains is accompanied by an increase in their virulence. No correlations were found between the fungicide resistance of *M. nivale* strains and their attribution to one or another phylogenetic group, to which the strains were assigned based on the nucleotide sequence of the ITS2 (internal transcribed spacer 2) region. The study shows that for choosing the fungicide application strategy, it is necessary to analyze phytopathogen populations for the presence of strains that are simultaneously characterized by high virulence and resistance to various fungicides and also take into account that the adaptation of fungi to certain fungicides can be accompanied by an increase in their virulence, which will negatively affect the phytopathological state of agrocenosis.

Keywords: pink snow mold, fungicide resistance, winter rye, phytopathogenicity, intraspecific diversity of phytopathogenic fungi, plant protection chemicals, plant infectious diseases

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (theme No. 121110200046-2).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citations: Murzagulova G. Sh., Meshcherov A. R., Gogoleva O. A., Ponomarev S. N., Ponomareva M. L., Gorshkov V. Y. Fungicide resistance of *Microdochium nivale* strains and its interconnection with virulence. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):832–840. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.832-840>

Received: 13.11.2022

Accepted for publication: 06.12.2022

Published online: 16.12.2022

Отказ от средств химической защиты растений, в том числе фунгицидов, привел бы к потерям более трети урожая культурных растений. Однако в последние десятилетия наблюдается тенденция к снижению эффективности пестицидов вследствие адаптации к ним фитопатогенов. У 250 видов фитопатогенных грибов обнаружена резистентность хотя бы к одному из 30 наиболее часто применяемых в сельском хозяйстве фунгицидов (Fungicide Resistance Action Committee, <https://www.frac.info/home>). При этом формирование фунгицид-резистентности фитопатогенов часто сопровождается увеличением их вирулентности [1, 2]. Более того, описаны случаи, когда обработка фунгицидами не только не сдерживает, а даже стимулирует

развитие заболеваний у сельскохозяйственных растений [3, 4, 5].

Химическая защита растений имеет особенно важное значение в отношении тех заболеваний, для которых ограничен набор источников устойчивости в генофондах культурных растений вследствие сложного полигенного наследования признаков устойчивости. К таким заболеваниям относится высокоуровневая и широко распространенная в РФ розовая снежная плесень озимых зерновых культур, вызываемая холодоустойчивым фитопатогенным грибом *Microdochium nivale* [6]. Пик паразитической активности *M. nivale* приходится на период залегания снега и первые недели после его таяния. На территории ряда Поволжских республик РФ в «многоснежном» 2019 году был введен режим ЧС из-за гибели озимых

культур вследствие эпифитотии снежной плесени [7]. Причем ситуацию 2019 года нельзя назвать случайной, поскольку практически каждый второй год распространение снежной плесени на посевах озимой ржи в Республике Татарстан превышает эпифитотийный уровень [6]. Вредоносность *M. nivale* не ограничивается зимне-весенним периодом, поскольку этот гриб может вызывать ряд других заболеваний в течение всего вегетационного сезона [8].

Большинство фунгицидных препаратов не обладает достаточной продолжительностью действия, чтобы подавлять развитие вызывающих снежную плесень грибов в течение более 100 дней (в период залегания снега). Поэтому список фунгицидов против снежной плесени ограничен, а их применение возможно только в превентивной форме. Все это служит дополнительным фактором формирования фунгицид-резистентных форм патогенов. Фунгициды (ипродиион) постепенно утрачивали эффективность против снежной плесени, а большинство изолятов, выделенных из территорий, обрабатываемых фунгицидами, проявляли к ним резистентность [9]. Продемонстрирована взаимосвязь между частотой использования ипродииона и пропиконазола в разных регионах Канады и долей изолятов *M. nivale*, устойчивых к этим фунгицидам. Для подавления развития снежной плесени ранее широко применяли фунгициды на основе бензимидазола; однако с течением времени у штаммов *M. nivale* сформировалась резистентность к этим фунгицидам [10].

На сегодняшний день не установлено, насколько фунгицид-резистентность может быть представлена в отдельных популяциях *M. nivale*, которые являются гетерогенными, то есть представленными различающимися генетически и фенотипически формами [7, 11]. Кроме того, не выяснено, насколько фунгицид-резистентность штаммов *M. nivale* коррелирует с уровнем их вирулентности.

Цель исследований – анализ устойчивости штаммов *M. nivale*, обитающих в пределах одного ареала и одной культуры (озимая рожь), к фунгицидам, различающимся по химической природе и механизмам действия, а также проверка взаимосвязи между уровнями вирулентности и фунгицид-резистентности штаммов.

Научная новизна. Впервые показано, что популяции грибов-возбудителей снежной

плесени представлены штаммами *M. nivale*, различающимися по уровню устойчивости к фунгицидам. Впервые показано, что устойчивость возбудителей розовой снежной плесени к фунгициду «Провизор» (д. в. азоксистробин) коррелирует с уровнем вирулентности штаммов.

Материал и методы. Объектом исследования служил 21 штамм *M. nivale* из коллекции фитопатогенных грибов лаборатории инфекционных заболеваний растений Казанского института биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН. Штаммы выделены в 2019 г. из одной культуры в одной географической точке, а именно из озимой ржи сорта Огонек, пораженного розовой снежной плесенью, выращиваемой на стационаре конкурсного сортоиспытания, расположенного в Лаишевском районе Республики Татарстан. Растения, из которых выделены штаммы, выращивали из семян, обработанных фунгицидом Шансил, КЭ (д. в. тебуконазол); предшественник – чистый пар. Подтверждение принадлежности штаммов к *M. nivale*, а также разделение штаммов на филогенетические группы в зависимости от нуклеотидной последовательности региона ITS2 (внутренний транскрибируемый спейсер 2) проведено нами ранее с помощью высокопроизводительного секвенирования [7].

Для оценки фунгицид-резистентности штаммов *M. nivale* были выбраны препараты двух основных групп фунгицидов из списка разрешенных к использованию в Российской Федерации и рекомендованных для подавления снежной плесени: ингибитор дыхания Провизор¹ (д. в. азоксистробин) и блокатор β -тубулина Феразим² (д. в. карбендазим). Штаммы культивировали на 1,5%-ном картофельно-сахарозном агаре (КСА). Фунгициды добавляли в растопленную среду КСА до 1 мМ д.в. при 60 °С, перемешивали и разливали в чашки Петри. Концентрация фунгицидов подобрана, исходя из рекомендованного регламента воздействия препаратом. После застывания агаризованной среды в центр чашки Петри помещали агаровый блок диаметром 5 мм, вырезанный из периферийной части колоний грибов. Количественные показатели устойчивости штаммов к фунгицидам определяли на основе сопоставления скорости роста штаммов в присутствии и отсутствии фунгицидов. Скорость роста

¹Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook/prep/provizor-sk.html> (дата обращения: 18.11.2022).

²Там же.

определяли на основании результатов посуточного измерения двух взаимно-перпендикулярных радиусов растущей колонии гриба. На основании этих значений строили кривые роста и соответствующие им аппроксимирующие прямые. Для уравнений функций аппроксимирующих прямых вычисляли производные, значения которых отражали скорость роста гриба (мм/сут).

Оценку вирулентности штаммов проводили на растениях озимой ржи (*Secale cereale* L.) сорта Огонек с помощью двух тестов: на отсеченных листьях растений, выращенных в стерилизованном грунте, и целых растениях, выращенных в стерильных условиях *in vitro*. Растения выращивали при 16-часовом световом дне, температуре 20 °С и влажности 60 %. Для тестирования на отсеченных листьях использовали сегменты листьев длиной 3 см. Сегменты помещали в пластиковые контейнеры на стеклянные предметные стекла и прижимали с обеих сторон двумя слоями ваты, смоченной в 0,004%-ном водном растворе бензимидазола. Листья опрыскивали стерильной водой, чтобы предотвратить высыхание. Агаровый блок диаметром 5 мм, вырезанный с периферии колонии гриба, выращенного на КСА, помещали на середину сегмента листа. Вирулентность каждого штамма проанализирована на 40 листовых сегментах (40 повторностей) в рамках одного эксперимента. На листья контрольных растений помещали стерильный агаровый блок. После инокуляции листьев контейнеры закрывали стеклянной пластиной, помещали в климатическую камеру Binder 720 МК (E5) (Германия) и инкубировали при 16-часовом световом дне, температуре 20 °С и влажности 60 %. Зону поражения листовых сегментов измеряли, начиная с 4 суток после инокуляции через двухдневные интервалы (то есть через 4, 6, 8, 10 дней после инокуляции). На основании измерений строили кривую развития болезни. Уровень вирулентности определяли по площади под кривой развития болезни (ПКРБ), которую вычисляли по формуле:

$$\text{ПКРБ} = \frac{1}{2} (x_1 + x_2) (t_2 - t_1) + \dots + (x_{n-1} + x_n) (t_n - t_{n-1}),$$

где x_1, x_2, x_n – процент поражения сегмента листовой пластинки при первом, втором и n -ом измерении; $t_2 - t_1$ – время между вторым и первым измерением; $t_n - t_{n-1}$ – время между последним и

предпоследним измерением; n – количество измерений.

ПКРБ для штамма, вызывавшего наибольшее поражение листовой пластинки (штамм №11), принимали за единицу.

Для оценки вирулентности штаммов на целых растениях, семена промывали и стерилизовали 1,0%-ным додецилсульфатом натрия (2 раза по 10 мин), 0,01%-ным перманганатом калия (10 мин) и 1,0% и 5,0%-ным гипохлоритом натрия (5 мин). Стерилизованные семена проращивали в течение 2 суток в темноте при температуре 28 °С. Затем проростки переносили в индивидуальные стерильные стеклянные пробирки объемом 50 мл с 7 мл разбавленной в 4 раза среды Мурасигэ-Скуга без органического углерода. Четырехдневные проростки инфицировали, помещая в пробирку агаровый блок диаметром 8 мм, вырезанный из периферийной части колоний штаммов *M. nivale*. Каждым штаммом инфицировали по 15 растений в рамках одного эксперимента. Пробирки с контрольными растениями помещали в стерильный агаровый блок. Вирулентность штаммов оценивали через 21 день после инфицирования по массе корневой системы инфицированных растений (относительно контрольных неинфицированных растений), поскольку этот параметр наиболее точно отражает степень развития исследуемого заболевания [7] (рис.1).

Наличие или отсутствие корреляций определяли по методу Спирмена, достоверность которых оценивали с помощью теста-Стьюдента ($p \leq 0,05$) (рис. 1). Корреляционный анализ проводили с помощью программного обеспечения XLSTAT версия 2016.02.2845.

Результаты и их обсуждение. Из 21 штамма *M. nivale* восемь оказались полностью восприимчивыми к фунгициду Провизор (д. в. азоксистробин), который ингибировал рост штаммов № 2-4, 12, 16-19 на 100 % (рис. 2, табл.). У 13 штаммов была в той или иной степени выражена устойчивость к Провизору: уровень ингибирования роста этих штаммов этим фунгицидом составлял от 63 до 94 % (рис. 2, табл.).

К фунгициду Феразиму (д. в. карбендазим) из 21 штамма 19 были полностью восприимчивы. При этом у двух штаммов (№ 1 и 3) была сильно выражена устойчивость к этому фунгициду, который ингибировал рост этих штаммов лишь на 5-16 % (табл.).

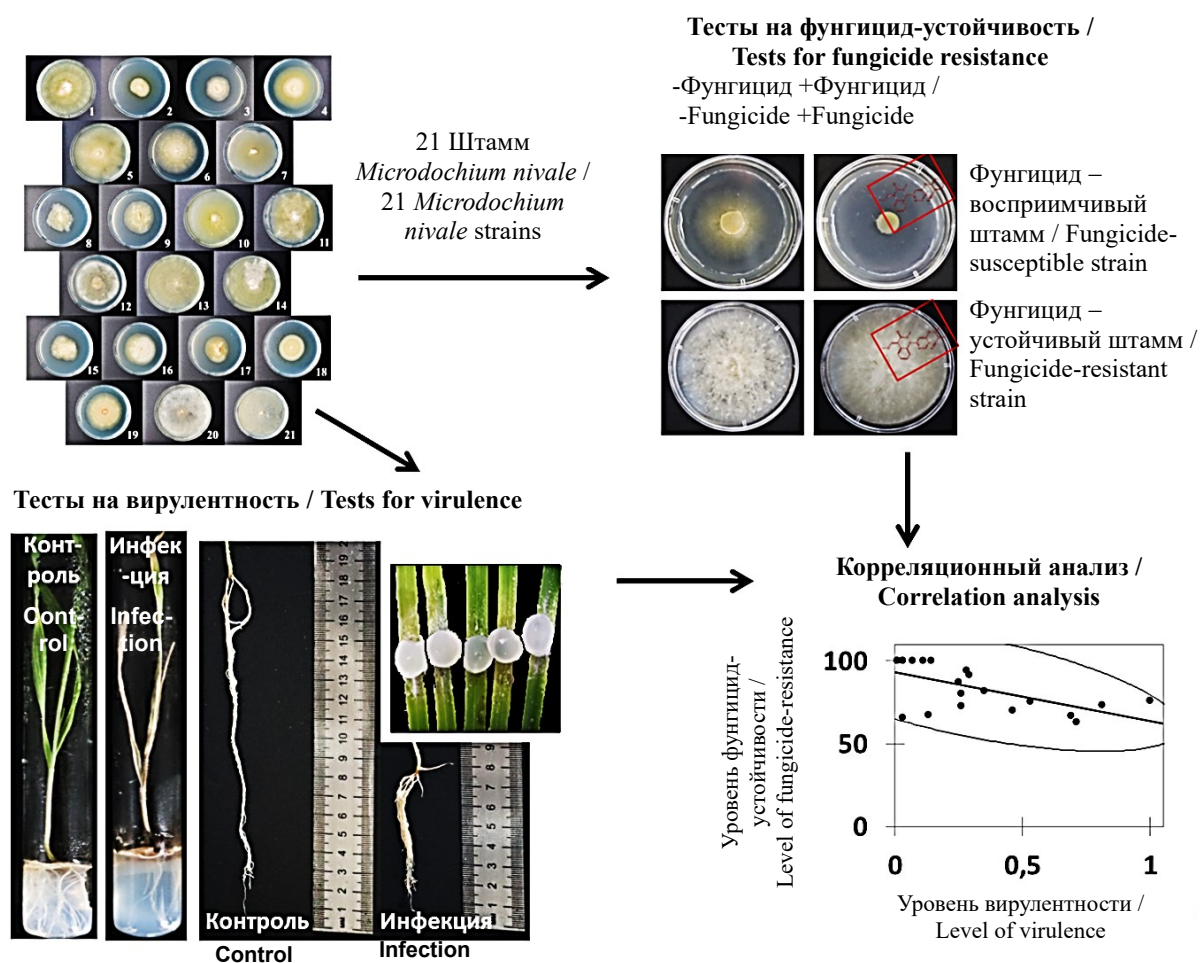


Рис. 1. Схема эксперимента /
Fig. 1. Scheme of the experiment

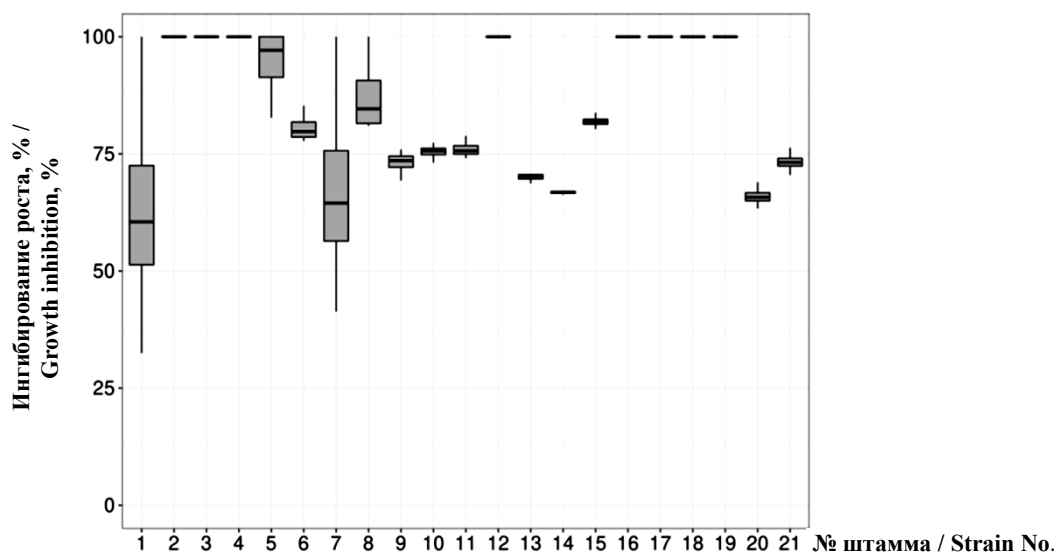


Рис. 2. Ингибирование роста штаммов *Microdochium nivale* в присутствии фунгицида Провизор (1 мМ д.в. азоксистробина) /
Fig. 2. Growth inhibition of the *Microdochium nivale* strains in the presence of fungicide Provizor (1 mM a.s. azoxystrobin)

Таблица – Вирулентность и устойчивость к фунгицидам штаммов *Microdochium nivale*, относящихся к разным генетическим группам, различающимся нуклеотидными последовательностями региона ITS2. M.OTU – *Microdochium* Operational taxonomic unit (операционная таксономическая единица) / Table – Virulence and resistance to fungicides of *Microdochium nivale* strains belonging to different genetic groups differing in the nucleotide sequences of the ITS2 region. M.OTU – *Microdochium* Operational taxonomic unit

№ штамма / No. of strains	№ штамма в коллекции / No. of strains	Вариант последовательности ITS2 / Variant nucleotide sequences of the ITS2 region	Вирулентность / Virulence		Ингибирование роста на фунгицидах, % / Growth inhibition on fungicides, %	
			на целых растениях* / on whole plants*	на отсеченных листьях** / on detached plant leaves**	Феразим / Ferazim	Провизор / Provisor
1	F00608	M.OTU 1	81,4	0,71	4,6	63,4
2	F00609	M.OTU 1	11,2	0,01	100	100,0
3	F00610	M.OTU 2	38,1	0,14	15,75	100,0
4	F00611	M.OTU 1	24,7	0,01	100	100,0
5	F00612	M.OTU 1	80,5	0,28	100	94,2
6	F00613	M.OTU 1	77,9	0,26	100	80,6
7	F00614	M.OTU 1	45,0	0,13	100	67,6
8	F00615	M.OTU 5	82,8	0,25	100	87,6
9	F00616	M.OTU 2	82,2	0,26	100	73,1
10	F00617	M.OTU 2	55,4	0,53	100	75,4
11	F00618	M.OTU 4	85,7	1,00	100	76,1
12	F00619	M.OTU 1	78,8	0,29	100	100,0
13	F00620	M.OTU 1	73,6	0,46	100	70,9
14	F00621	M.OTU 1	76,6	0,69	100	66,8
15	F00622	M.OTU 1	75,3	0,35	100	81,9
16	F00623	M.OTU 2	57,6	0,07	100	100,0
17	F00624	M.OTU 2	29,4	0,11	100	100,0
18	F00625	M.OTU 1	27,3	0,03	100	100,0
19	F00626	M.OTU 1	24,2	0,03	100	100,0
20	F00627	M.OTU 2	47,6	0,03	100	65,9
21	F00628	M.OTU 2	88,3	0,81	100	73,3

*На целых растениях, выращенных в стерильных условиях *in vitro*; ** На отсеченных листьях растений /

*On whole plants grown under *in vitro* sterile conditions; ** On detached plant leaves

Устойчивость штаммов *M. nivale* к соединениям из классов бензимидазолов (к которым относится карбендазим) и стробируринов (к которым относится азоксистробин) ранее описывали [10, 12, 13]. Мы обнаружили, что в рамках одной гетерогенной популяции присутствуют штаммы, имеющие разные уровни устойчивости к фунгицидам Феразим (д. в. карбендазим) и Провизор (д. в. азоксистробин). При этом штаммов, способных расти в присутствии Провизора, выявлено значительно больше (13), чем Феразим-резистентных штаммов (2); однако Феразим-резистентные штаммы имели боль-

ший уровень устойчивости (ингибирование роста на 5-16 %), чем устойчивые к Провизору (ингибирование роста на 63-94 %). Это согласуется с тем, что ранее для фунгицидов, содержащих азоксистробин, описан сильный фунгистатический эффект в отношении штаммов *M. nivale* [13]. Только один из проанализированных нами штаммов (№ 3) оказался способен расти в присутствии обоих исследованных фунгицидов.

Исследованные штаммы *M. nivale* существенно различались по вирулентности при их тестировании как на целых растениях, так и на отсеченных листьях. При этом количе-

ственные данные о степени вирулентности штаммов на целых растениях и отсеченных листьях значимо коррелировали друг с другом (коэффициент корреляции Спирмена = 0,79, $p < 0,001$). Наибольший уровень вирулентности был характерен для штаммов № 1, 11, 21, наименьший – № 2, 4, 18, 19 (табл. 1). Из двух штаммов, устойчивых к Феразиму, один был высоковирулентный (№ 1), а другой низковирулентный (№ 3). Для того чтобы оценить возможную взаимосвязь между устойчивостью штаммов к Провизору и их вирулентностью проведен корреляционный анализ, который показал, что уровень вирулентности штаммов

имеет отрицательную корреляцию с уровнем ингибирования роста штаммов в присутствии Провизора (рис. 3). Это означает, что резистентные к Провизору штаммы имеют большую вирулентность, чем штаммы, восприимчивые к этому фунгициду. В связи с этим логично предположить, что приобретение штаммами *M. nivale* устойчивости к Провизору сопровождается увеличением их вирулентности. Это согласуется с тем, что для ряда видов фитопатогенных грибов ранее продемонстрирована взаимосвязь между устойчивостью к различным фунгицидам и повышенной вирулентностью [1, 2, 4, 5].

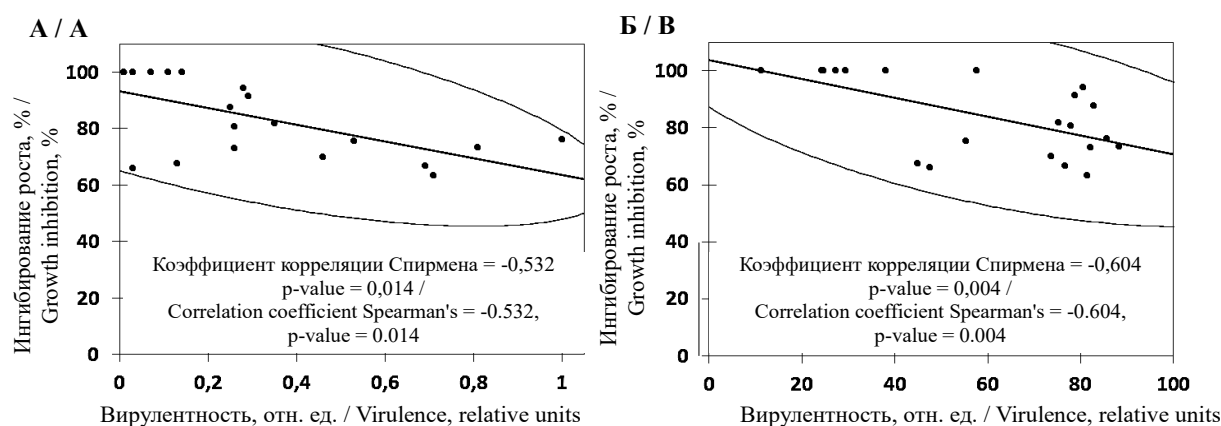


Рис. 3. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая статистически значимую корреляцию между вирулентностью штаммов *Microdochium nivale* и их устойчивостью к фунгициду Провизор. Вирулентность штаммов определяли с помощью расчета ПКРБ (площадь под кривой развития болезни) на отсеченных листьях растений ржи (А) и процента сухой массы корней инфицированных растений ржи от сухой массы корней контрольных растений (Б). Коэффициент корреляции – ранговый коэффициент корреляции Спирмена, $p\text{-value} \leq 0,05$ /

Fig. 3. Scatterplot showing a statistically significant correlation between the virulence of *Microdochium nivale* strains and their resistance to fungicide Provisor. The virulence of the strains was determined by calculating the area under the disease progress curve (AUDPC) on cut leaves of rye plants (A), and the dry weight percentage of the roots of infected rye plants relative to the dry weight of the roots of control plants (B). Correlation coefficient – Spearman's rank correlation coefficient, $p\text{-value} \leq 0,05$

Корреляций между фунгицид-резистентностью штаммов *M. nivale* и их принадлежностью к той или иной филогенетической группе, к которой штаммы отнесены на основании нуклеотидной последовательности региона ITS2, не выявлено. Это свидетельствует о том, что разные филогенетические группы могут со сходной эффективностью адаптироваться к действию фунгицидов.

Выводы. Проведенные исследования показали, что в гетерогенных популяциях возбудителей розовой снежной плесени *M. nivale* присутствуют штаммы, устойчивые к разным фунгицидам, в том числе и высоковирулентные.

Это означает, что при выборе стратегии применения фунгицидов необходимо анализировать присутствие в популяции штаммов, обладающих одновременно высокой вирулентностью и устойчивостью к разным фунгицидам. Существует положительная корреляция между уровнем вирулентности штаммов *M. nivale* и уровнем их устойчивости к фунгициду Провизор (д. в. азоксистробин). Следовательно, важно учитывать, что адаптация к определенным фунгицидам может сопровождаться повышением вирулентности, что негативно скажется на фитопатологическом состоянии агроценоза.

Список литературы

1. De Ramón-Carbonell M., López-Pérez M., González-Candelas L., Sánchez-Torres P. PdMFS1 transporter contributes to *Penicillium digitatum* fungicide resistance and fungal virulence during citrus fruit infection. *Journal of Fungi*. 2019;5(4):100. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof5040100>
2. Hu M., Chen S. Non-target site mechanisms of fungicide resistance in crop pathogens: A review. *Microorganisms*. 2021;9(3):502. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030502>
3. Жуковский А. Г. Чувствительность изолятов гриба *Fusarium nivale*, возбудителя снежной плесени озимой тритикале, к протравителям. Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2005;(5):109.
4. Yang L., Gao F., Shang L., Zhan J., McDonald B. A. Association between virulence and triazole tolerance in the phytopathogenic fungus *Mycosphaerella graminicola*. *PLoS One*. 2013;8(3):e59568. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059568>
5. Siah A., Deweer C., Tisserant B., Randoux B., Halama P., Reignault P. Relationship between pathogenicity and fungicide tolerance in the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola*. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 2015;80(3):589-593. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27141758/>
6. Ponomareva M. L., Gorshkov V. Y., 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7>
7. Gorshkov V., Osipova E., Ponomareva M., Ponomarev S., Gogoleva N., Petrova O., Gogoleva O., Meshchero A., Balkin A., Vetchinkina E., Potapov K., Gogolev Y., Korzun V. 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. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof6040335>
8. Гагкаева Т. Ю., Гаврилова О. П., Орина А. С. Хорошая новость – грибы микроdochium не продуцируют микотоксины! Защита и карантин растений. 2017;(5):9-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29239969>
9. Chastagner G. A., Vassey W. E. Occurrence of iprodione-tolerant *Fusarium nivale* under field conditions. *Plant Disease*. 1982;66:112-114. DOI: <https://doi.org/10.1094/PD-66-112>
10. Буга С. Ф., Радына А. А., Боярчук В. Е. Резистентность популяции гриба *Fusarium nivale* к фундазолу. Вестник защиты растений. 2001;2:39-42.
11. 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;156:885-895. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01939-5>
12. Olvang H. Chemical control of winter damaging fungi in cereals. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*. 1992;7:55-61.
13. Орина А. С., Гагкаева Т. Ю., Гаврилова О. П., Усольцева М. Ю. Действие фунгицидов на рост грибов, вызывающих снежную плесень злаков. Агрохимия. 2021;(5):52-61. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121050094>

References

1. De Ramón-Carbonell M., López-Pérez M., González-Candelas L., Sánchez-Torres P. PdMFS1 transporter contributes to *Penicillium digitatum* fungicide resistance and fungal virulence during citrus fruit infection. *Journal of Fungi*. 2019;5(4):100. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof5040100>
2. Hu M., Chen S. Non-target site mechanisms of fungicide resistance in crop pathogens: A review. *Microorganisms*. 2021;9(3):502. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030502>
3. Zhukovskiy A. G. Sensitivity of isolates of *Fusarium nivale* fungus, the causative agent of winter triticale snow mold, to protectants. *Vestsi Natsyyanal'ny akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk*. 2005;(5):109. (In Belarus).
4. Yang L., Gao F., Shang L., Zhan J., McDonald B. A. Association between virulence and triazole tolerance in the phytopathogenic fungus *Mycosphaerella graminicola*. *PLoS One*. 2013;8(3):e59568. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059568>
5. Siah A., Deweer C., Tisserant B., Randoux B., Halama P., Reignault P. Relationship between pathogenicity and fungicide tolerance in the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola*. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 2015;80(3):589-593. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27141758/>
6. Ponomareva M. L., Gorshkov V. Y., 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7>
7. Gorshkov V., Osipova E., Ponomareva M., Ponomarev S., Gogoleva N., Petrova O., Gogoleva O., Meshchero A., Balkin A., Vetchinkina E., Potapov K., Gogolev Y., Korzun V. 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. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof6040335>
8. Gagkaeva T. Yu., Gavrilova O. P., Orina A. S. Good news – microdochium sp. of fungi do not produce mycotoxins! *Zashchita i karantin rasteniy*. 2017;(5):9-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29239969>
9. Chastagner G. A., Vassey W. E. Occurrence of iprodione-tolerant *Fusarium nivale* under field conditions. *Plant Disease*. 1982;66:112-114. DOI: <https://doi.org/10.1094/PD-66-112>
10. Buga S. F., Radyna A. A., Boyarchuk V. E. Resistance of the *Fusarium nivale* fungi population to fundazole. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News. 2001;2:39-42. (In Russ.).
11. 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;156:885-895. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01939-5>
12. Olvang H. Chemical control of winter damaging fungi in cereals. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*. 1992;7:55-61.
13. Orina A. S., Gagkaeva T. Yu., Gavrilova O. P., Usoltseva M. Yu. Effect of fungicides on the growth of fungi causing snow mold of cereals. *Agrokimiya*. 2021;(5):52-61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121050094>

Сведения об авторах

Гузалия Шаукатовна Мурзагулова, младший научный сотрудник лаборатории инфекционных заболеваний растений, Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6475-9521>

Азат Рустемович Мещеров, младший научный сотрудник лаборатории инфекционных заболеваний растений, Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3718-3528>

Ольга Александровна Гоголева, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории инфекционных заболеваний растений, Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2841-1720>

Сергей Николаевич Пономарев, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции озимой ржи и тритикале, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8898-4435>

✉ **Мира Леонидовна Пономарева**, доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник, зав. лабораторией селекции озимой ржи и тритикале, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1648-3938>, e-mail: smponomarev@yandex.ru

Владимир Юрьевич Горшков, кандидат биол. наук, заведующий лабораторией инфекционных заболеваний растений, Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9577-2032>

Information about the authors

Guzaliya Sh. Murzagulova, junior researcher, the Laboratory of Plant Infectious Diseases, Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Lobachevskiy str., 2/31, PO-box 261, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6475-9521>

Azat R. Meshcherov, junior researcher, the Laboratory of Plant Infectious Diseases, Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Lobachevskiy str., 2/31, PO-box 261, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3718-3528>

Olga A. Gogoleva, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Plant Infectious Diseases, Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Lobachevskiy str., 2/31, PO-box 261, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2841-1720>

Sergey N. Ponomarev, DSc in Agricultural Science, chief researcher, the Laboratory of Breeding of Winter Rye and Triticale, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8898-4435>

✉ **Mira L. Ponomareva**, DSc in Biological Science, professor, chief researcher, Head of the Laboratory of Breeding of Winter Rye and Triticale, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1648-3938>, e-mail: smponomarev@yandex.ru

Vladimir Y. Gorshkov, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory of Plant Infectious Diseases, Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Lobachevskiy str., 2/31, PO-box 261, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9577-2032>

✉ – Для контактов / Corresponding author