



Эффективность бактерий-антагонистов *Bacillus* и *Pseudomonas* в качестве агентов биоконтроля сетчатой пятнистости озимого ячменя в полевых условиях

Асатурова А.М., Жевнова Н.А., Сидоров Н.М., Кремнева О.Ю.

Федеральный научный центр биологической защиты растений

Краснодар, Россия

✉ e-mail: n.zhevnova@mail.ru

Сетчатая пятнистость листьев ячменя – широко распространенная в мире болезнь зерновых культур, наносящая значительный экономический ущерб. Преимущественным способом борьбы с ней остается химическая защита, имеющая множество негативных последствий. Необходимо отметить, что возбудитель болезни – гриб *Pyrenophora teres* – относится к классу патогенов с высокой вероятностью развития множественной резистентности сразу к нескольким химическим фунгицидам. В связи с этим в работе исследовано защитное действие штаммов *Bacillus velezensis* BZR 336 g и BZR 517, а также *Pseudomonas chlororaphis* BZR 245 F на двух сортах ячменя озимого с различной устойчивостью к возбудителю сетчатой пятнистости в условиях двухлетних полевых испытаний. Установлено, что обработка указанными штаммами снижала развитие сетчатой пятнистости в среднем на 26–30% в условиях центральной зоны Краснодарского края. В 2022 г. штаммы смогли конкурировать по эффективности с химическим эталоном. Выявлено, что на восприимчивом сорте Романс снижение развития болезни при обработке штаммами было более выраженным – в среднем 25,7–38,8% при 20,9–25,3% на устойчивом сорте Иосиф. Определено, что обработка жидкими культурами штаммов перед посевом и в период вегетации эффективнее, чем другие способы. В 2018 г. обработка семян и растений штаммами была эффективнее других способов: на сорте Иосиф – в среднем на 6–8%, на сорте Романс – на 8–24%. В 2022 г. обработка семян и растений штаммами была в среднем на 12–17 (Иосиф) и 35–38% (Романс) эффективнее, чем другие методы обработки. Биологическая эффективность штаммов зависела от климатических факторов. В благоприятных погодных условиях максимальное снижение развития болезни отмечено при использовании штамма рода *Pseudomonas*, в условиях нестабильного метеорологического фона наибольшую эффективность продемонстрировали биоагенты рода *Bacillus*. Результаты исследований показали, что биологические методы борьбы с сетчатой пятнистостью листьев озимого ячменя достаточно эффективны и требуют дальнейшей реализации. Биологические средства защиты растений помимо подавления вредоносности фитопатогенов будут способствовать получению экологически безопасной продукции в совокупности со снижением пестицидного пресса на агроценозы.

Ключевые слова: *Pyrenophora teres*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, бактерии-антагонисты, биологическая защита растений, зерновые культуры

Efficacy of *Bacillus* and *Pseudomonas* antagonist bacteria as biocontrol agents of barley net blotch in field conditions

Asaturova A.M., Zhevnova N.A., Sidorov N.M., Kremneva O.Yu.

Federal Research Center of Biological Plant Protection

Krasnodar, Russia

✉ e-mail: n.zhevnova@mail.ru

Barley net blotch is a widespread disease of cereal crops worldwide, causing significant economic losses. The predominant method of controlling it remains chemical defense, which has many nega-

tive consequences. It should be noted that the causative agent of the disease, the fungus *Pyrenophora teres*, belongs to the class of the pathogens with a high probability of developing multiple resistance to several chemical fungicides at once. In this regard, the protective effect of *Bacillus velezensis* strains BZR 336 g and BZR 517, as well as *Pseudomonas chlororaphis* BZR 245 F on two varieties of winter barley with different resistance to the causative agent of net blotch in two-year field trials was investigated. It was found that treatment with the above strains reduced the development of net blotch on average by 26–30% in the conditions of the central zone of the Krasnodar Territory. In 2022, the strains were able to compete in efficiency with the chemical reference. It was found that the reduction of disease development was more pronounced on the susceptible variety Romance when treated with the strains, with an average of 25.7–38.8% compared to 20.9–25.3% on the resistant variety Iosif. It was determined that treatment with liquid strain cultures before sowing and during the growing season is more effective than other methods. In 2018, seed and plant treatment with the strains was more effective than other methods: on the variety Iosif by an average of 6–8% and on the variety Romance by 8–24%. In 2022, seed and plant treatments with the strains were on average 12–17 (Iosif) and 35–38% (Romance) more effective than other methods of treatment. The biological efficacy of the strains depended on climatic factors. In favorable weather conditions, the maximum reduction of disease development was observed with the use of strain of the *Pseudomonas* genus, in conditions of unstable meteorological background the greatest efficiency was demonstrated by bioagents of the *Bacillus* genus. The results of research have shown that biological methods of controlling winter barley net blotch are quite effective and require further implementation. Biological means of plant protection in addition to suppressing the harmfulness of phytopathogens will contribute to the production of environmentally safe products in conjunction with the reduction of pesticide pressure on agrocenoses.

Keywords: *Pyrenophora teres*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, antagonist bacteria, biological plant defence, cereal crops

Для цитирования: Асатунова А.М., Жевнова Н.А., Сидоров Н.М., Кремнева О.Ю. Эффективность бактерий-антагонистов *Bacillus* и *Pseudomonas* в качестве агентов биоконтроля сетчатой пятнистости озимого ячменя в полевых условиях // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 10. С. 69–77. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-10-7>

For citation: Asaturova A.M., Zhevnova N.A., Sidorov N.M., Kremneva O.Yu. Efficacy of *Bacillus* and *Pseudomonas* antagonist bacteria as biocontrol agents of barley net blotch in field conditions. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2024, vol. 54, no. 10, pp. 69–77. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-10-7>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследования выполнены согласно государственному заданию Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0006.

Acknowledgements

The research was carried out according to the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the research work under the topic No. FGRN-2022-0006.

ВВЕДЕНИЕ

Сетчатая пятнистость ячменя, вызываемая гетероталличным аскомицетом *Pyrenophora teres* Drechsler (анаморф: *Drechslera teres* Sacc. (Shoem.) = *Helminthosporium teres*), является одной из наиболее вредоносных болезней и встречается практически во всех странах мира, занимающихся выращиванием зерновых культур, в результате высокой адаптивности патогена и активных микро-

эволюционных процессов [1–4]. В годы эпифитотий потери урожая от данного заболевания могут достигать 20–40% и выше [2–4].

Пораженными оказываются листья, листовые влагалища, стебли (см. рисунок). По мере прогрессирования заболевания происходит уменьшение фотосинтетической площади листа, что может приводить к полной некротизации и усыханию растения. Широкому распространению инфекции способствуют высокая влажность, использование



Сетчатая пятнистость листьев озимого ячменя
Winter barley net blotch disease

восприимчивых сортов и монокультур в севообороте, обилие растительных остатков [1–5].

В настоящее время химический метод остается наиболее востребованным способом подавления болезни [1, 6]. Однако благодаря особенностям генетического аппарата патоген способен быстро приобретать устойчивость к наиболее распространенным и широко применяемым фунгицидам. Резистентность к фунгицидам различных химических групп в связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства наблюдается повсеместно [3, 4]. Практика использования химических средств в борьбе с болезнями показала, что экономическая эффективность их применения постепенно снижается. Появляются устойчивые к действию пестицидов возбудители болезней растений, увеличиваются затраты на разработку новых препаратов, что в итоге повышает стоимость производства сельскохозяйственной продукции. Постоянное применение химических средств защиты растений нарушает биологическое равновесие, загрязняет окружающую среду, приводит к накоплению токсичных остатков в почве, водоемах, грунтовых водах и в сельскохозяйственной продукции [7].

Альтернативой химическому методу являются экологически безопасные биопрепараты на основе микроорганизмов разнообразных таксономических групп. К преимуществам биологических средств защиты растений следует отнести их безопасность для теплокровных организмов и окружающей среды, избирательность действия, отсутствие или слабую фитотоксичность, низкую степень вероятности выработки устойчивости при длительном применении [8–10].

Многочисленные исследования подтверждают эффективность микроорганизмов в борьбе с болезнями растений, в том числе с использованием устойчивых сортов [4, 11–15]. Так, Е. О'Brien¹ сообщает о штаммах *P. fluorescens* МКВ100 и МКВ156, *Pseudomonas* sp. МКВ158 и МКВ194, которые значительно (до 46%) снизили развитие болезни в естественных условиях на двух сортах ячменя. Исследование А. Perello et al.² показало снижение до 56% развития болезни, вызванной таксономически близким патогеном *P. tritici-repentis*, с помощью биоконтрольных штаммов на листьях пшеницы в полевых условиях. Некоторые варианты дали хороший защитный эффект даже по сравнению с обработкой фунгицидами. М. Ghorbanpour et al. [16] проводили оценку влияния штаммов *Pseudomonas* и *Bacillus* на развитие листовой пятнистости ячменя, вызванной *P. graminea*, в полевых условиях в течение двух лет на трех сортах, различающихся по степени устойчивости. Уровень развития заболевания был снижен до 66%.

Проведение исследований в направлении биологизации систем защиты растений перспективно в связи с принятием Стратегии развития производства органической продукции в Российской Федерации до 2030 г., предусматривающей активное развитие агробиотехнологического направления³.

Цель данного исследования – изучить способность бактериальных биоагентов двух

¹O'Brien E. Biological control of *Pyrenophora teres*. Letterkenny, 2005. 104 p.

²Perello A., Moreno V., Monaco C., Simon M.R. Effect of *Trichoderma* spp. isolates for biological control of tan spot of wheat caused by *Pyrenophora tritici-repentis* under field conditions in Argentina // Biocontrol. 2008. N 53. P. 895–904.

³Распоряжение Правительства РФ от 04.07.2023 г. № 1788-р «Об утверждении Стратегии развития производства органической продукции в Российской Федерации до 2030 г.» (<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407297286/>).

разных родов (*Bacillus* и *Pseudomonas*) контролировать развитие сетчатой пятнистости на двух сортах озимого ячменя, различающихся по степени устойчивости к заболеванию, в меняющихся условиях окружающей среды.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на полевой экспериментальной базе ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) в 2017–2018 и 2021–2022 гг. Использовали два сорта озимого ячменя селекции Национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко, различающиеся по степени устойчивости к сетчатой пятнистости: Романс (восприимчивый, уровень развития болезни 30–50%), Иосиф (устойчивый, уровень развития болезни до 20%) [12]. Растения выращивали на делянках площадью 5 м². Общая площадь эксперимента составила 1100 м².

В качестве объектов исследования выступали штаммы из биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов»: *Pseudomonas chlororaphis* BZR 245 F, *Bacillus velezensis* BZR 336 g и BZR 517. Штаммы отобраны методом ступенчатого скрининга и на основе экспериментальных данных признаны перспективными для создания биологических препаратов [13].

В исследовании использованы жидкие культуры (ЖК) указанных штаммов, полученные методом периодического культивирования в шейкерах-инкубаторах New Brunswick Scientific Excella E25 (Энфилд, США) (180 об/мин). Штаммы BZR 336 g и BZR 517 получали на оригинальной оптимизированной питательной среде в течение 48 ч при температуре 25 °С и в течение 36 ч при 30 °С соответственно⁴. Концентрацию клеток поддерживали на уровне $2,8 \cdot 10^8$ – $4,1 \cdot 10^9$ КОЕ/мл.

Штамм BZR 245 F получали тем же методом на среде Кинга Б в течение 36 ч при температуре 26 °С, концентрация клеток $1,6 \cdot 10^8$ – $2,4 \cdot 10^9$ КОЕ/мл.

Штаммы использовали тремя способами:

- 1) предпосевная обработка семян и последующая обработка вегетирующих растений;
- 2) обработка вегетирующих растений;
- 3) обработка семян; обработку вегетирующих растений проводили весной в фазе кущения (Z 26-21).

Нормы применения ЖК штаммов были следующими: обработка семян штаммом BZR 245 F – 2 л/т, BZR 336 g – 3 л/т, BZR 517 – 2 л/т, обработка растений – 2, 3 и 2 л/га соответственно. Расход рабочей жидкости – 10 л/т и 300 л/га. В качестве химического стандарта для обработки семян использовали Кинто Дуо, КС (тритиконазол + прохлораз, 20 + 60 г/л), для обработки растений – Альто Супер, СК (пропиконазол + ципроконазол, 250 г/л + 80 г). В качестве биологического стандарта использовали Алирин-Б, Ж (*B. subtilis*, штамм ВИЗР Б-10).

Развитие болезни оценивали визуально в динамике по мере возникновения симптомов. Уровень развития болезни фиксировали в процентах, определяя отношение пораженных участков к общей площади листа. В работе представлены данные, полученные при максимальном развитии болезни. Биологическую эффективность рассчитывали по формуле Эбботта⁵

$$БЭ = (100 \cdot (P - p)) / P,$$

где БЭ – биологическая эффективность, %; P – данные в контроле, %; p – данные в варианте с применением биоагента или эталона, %.

Вегетационный период с октября 2017 г. по июнь 2018 г. был благоприятным для растений и биологических агентов (по данным архива погоды, метеостанция № 34920⁶).

⁴Asaturova A.M., Homyak A.I., Tomashevich N.S., Pavlova M.D., Zhevnova N.A., Dubyaga V.M., Kozitsin A.Ye., Sidorova T.M., Nadykta V.D., Ismailov V.Ya. Conditions for the cultivation of new *Bacillus* bacteria being micro bioproduct producers // Journal of pure and applied microbiology. 2015. N 9 (4). P. 2797–2804.

⁵Abbott W.S. A method of computing the effectiveness of an insecticide // Journal of Economic Entomology. 1925. Vol. 18. N 2. P. 265–267.

⁶<https://rp5.ru/>

В это время не было резких колебаний уровня осадков и температуры воздуха. Осень и зима оказались теплыми (5,2...12,2 °C). Растения получали много влаги на начальных этапах вегетации (выпало 70–148 мм осадков). Возобновление вегетации произошло в марте. Осенью 2021 г. после посева температура воздуха была низкой (до –1,3 °C), растения получали мало влаги (40–56 мм). Зимой наблюдались резкие колебания температуры (от –12,1 до –19,0 °C) и осадков (от 37 до 166 мм). Весна 2022 г. выдалась холодной, вегетация возобновилась в середине апреля.

В исследованиях использована материально-техническая база УНУ «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения»⁷. Статистическую обработку данных проводили с применением теста Tukey HSD STATISTICA 13.2 (StatSoft Russia). Повторность во всех опытах трехкратная.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Биологическая эффективность варьировала в зависимости от уровня инфекционного фона, сорта и способа применения ЖК штаммов. В 2018 г. развитие сетчатой пятнистости составило 4,8–5,8% на устойчивом сорте Иосиф и 22,6–35,8% на восприимчивом сорте Романс. В 2022 г. естественный инфекционный фон был более агрессивным – 63,1–66,4% на сорте Иосиф и 71,1–73,2% на сорте Романс. В 2018 г. максимальное снижение развития болезни произошло при использовании химической защиты (независимо от способа применения). В 2022 г. биологическая защита была наиболее эффективна, в частности штаммы BZR 517 и BZR 245 F максимально снижали развитие болезни (см. таблицу).

Предпосевная обработка семян в сочетании с обработкой вегетирующих растений оказалась эффективнее, чем другие виды обработки. В 2018 г. при обработке штаммами семян и растений сорта Иосиф биологическая эффективность составила 16,3–32,0%,

что в среднем на 6–8% выше, чем при использовании других способов. Для устойчивого сорта Романс разница была более выражена: в среднем штаммы подавляли болезнь на 8–24% лучше при обработке семян и растений, чем при других способах обработки. В 2022 г. обработка семян и растений штаммами была в среднем на 12–17 (Иосиф) и 35–38% (Романс) эффективнее, чем другие методы обработки (см. таблицу).

Эффективность штаммов была различной. В 2018 г. штамм BZR 245 F снижал развитие болезни на 15,2–59,9% в зависимости от сорта и способа обработки, превышая данный показатель в вариантах с использованием штаммов рода *Bacillus*. Эффективность BZR 336 g и BZR 517 оказалась ниже – 4,2–53,7%. В 2022 г. BZR 245 F показал максимальную эффективность только на устойчивом сорте, а BZR 336 g и BZR 517 значительно подавляли развитие патогена на двух сортах: на 16,2–49,7% на устойчивом сорте Иосиф и на 6,1–46,9% на восприимчивом сорте Романс. Следует отметить, что штаммы смогли конкурировать по эффективности с химическим стандартом в 2022 г. (см. таблицу).

Замечено, что в полевых условиях биологическая эффективность штаммов зависела от погодных условий. В благоприятные по погодным условиям 2017 и 2018 гг. штамм BZR 245 F подавлял развитие сетчатой пятнистости активнее, чем бациллярные штаммы. Биологическая эффективность штамма BZR 245 F составила 24,6–59,9%, штаммов BZR 336 g и BZR 517 – 4,2–50,3% (см. таблицу). В 2021–2022 гг. климатические условия были менее стабильны, чем в предыдущий период исследований. В 2022 г. биологическая эффективность штаммов BZR 336 g и BZR 517 была в среднем на 7–19% выше, чем у BZR 245 F, что особенно заметно на восприимчивом сорте Иосиф. Кроме того, в условиях полевых опытов в 2022 г. штаммы смогли конкурировать по эффективности с химическим стандартом.

⁷<http://ckp-rf.ru/usu/671367>

Развитие сетчатой пятнистости (R, %) и биологическая эффективность (BE, %) штаммов в условиях полевой экспериментальной базы ФГБНУ ФНЦБЗР

Development of net blotch (R, %) and biological efficacy (BE, %) of strains under the conditions of the field experimental base of the FRCBPP

Способ обработки	Вариант опыта	2018 г.				2022 г.			
		Сорт Иосиф		Сорт Романс		Сорт Иосиф		Сорт Романс	
		R	BE	R	BE	R	BE	R	BE
Обработка семян и растений	Контроль	5,7 ^c	—	23,4 ^c	—	63,6 ^c	—	72,2 ^d	—
	Химический эталон	3,8 ^a	33,1	4,6 ^a	80,4	46,5 ^a	26,9	53,2 ^c	26,3
	Биологический эталон	4,2 ^a	27,3	10,1 ^{a, b}	57,0	44,3 ^a	30,3	34,5 ^{a, b}	52,2
	BZR 245 F	3,9 ^a	32,0	9,4 ^{a, b}	59,9	48,7 ^a	23,5	27,3 ^b	62,2
	BZR 336 g	4,2 ^a	26,7	11,6 ^{a, b}	50,3	43,9 ^a	30,9	42,3 ^a	41,3
	BZR 517	4,8 ^a	16,3	16,3 ^{b, c}	30,5	32,0 ^b	49,7	38,3 ^a	46,9
Обработка растений	Контроль	5,8 ^b	—	27,8 ^b	—	66,4 ^c	—	73,2 ^a	—
	Химический эталон	3,7 ^c	36,6	13,1 ^a	53,0	57,3 ^a	13,8	49,3 ^b	32,7
	Биологический эталон	5,3 ^b	9,1	20,4 ^{a, b}	26,6	53,4 ^{a, b}	19,6	55,3 ^{b, c}	24,4
	BZR 245 F	4,4 ^a	24,6	14,0 ^a	49,6	57,2 ^a	13,9	62,3 ^{a, c}	14,8
	BZR 336 g	4,6 ^a	21,7	16,8 ^a	39,4	50,4 ^b	24,1	63,0 ^{a, c}	13,9
	BZR 517	4,7 ^a	20,0	16,9 ^a	39,1	55,5 ^{a, b}	16,4	67,4 ^a	7,9
Обработка семян	Контроль	4,8 ^a	—	22,6 ^b	—	63,1 ^c	—	71,1 ^b	—
	Химический эталон	2,2 ^a	53,8	12,5 ^a	44,7	56,0 ^a	11,2	80,5 ^c	0,0
	Биологический эталон	3,3 ^a	30,1	15,7 ^a	30,7	57,9 ^{a, c}	8,2	65,8 ^{a, b}	7,4
	BZR 245 F	3,3 ^a	30,1	19,2 ^{a, b}	15,2	49,4 ^b	21,7	64,4 ^a	9,4
	BZR 336 g	4,6 ^a	4,2	13,8 ^a	38,9	43,6 ^d	30,9	50,5 ^c	29,0
	BZR 517	4,2 ^a	12,6	16,7 ^{a, b}	26,3	52,8 ^{a, b}	16,2	66,8 ^{a, b}	6,1

Примечание. Разные буквы указывают на достоверные различия ($p < 0,05$) в пределах столбца согласно тесту Tukey HSD.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что обработка штаммами снижала развитие сетчатой пятнистости ячменя в среднем на 30% в 2018 г. и на 26% в 2022 г. Следует отметить, что в 2022 г. штаммы смогли конкурировать по эффективности с химическим эталоном.

Установлено, что обработка ЖК штаммов перед посевом и в период вегетации была эффективнее, чем другие способы. В 2018 г. обработка штаммами семян и растений сорта Иосиф снижала развитие сетчатой пятнистости на 6–8% эффективнее, чем другие способы, на сорте Романс – на 8–24% эффективнее. В 2022 г. обработка семян и растений штаммами была в среднем на 12–17 (Иосиф) и 35–38% (Романс) эффективнее относительно других методов обработки.

Выявлено, что на восприимчивом сорте Романс снижение развития болезни при обработке штаммами было более выраженным – в среднем 25,7–38,8% при 20,9–25,3% на устойчивом сорте Иосиф.

Определено, что в полевых условиях биологическая эффективность штаммов зависела от погодных условий. В благоприятный по погодным условиям период (2017–2018 гг.) штамм BZR 245 F подавлял развитие сетчатой пятнистости активнее, чем бациллярные штаммы. В менее стабильный по климатическим условиям период (2021–2022 гг.) биологическая эффективность штаммов рода *Bacillus* была в среднем на 7–19% выше, чем у BZR 245 F, что особенно заметно на восприимчивом сорте Иосиф.

Проведенное исследование показало, что биологические методы борьбы с сетчатой пятнистостью листьев озимого ячменя достаточно эффективны и требуют дальнейшей реализации в производственных условиях. Биологические средства защиты растений от болезней не только позволят снизить вредоносность *P. teres*, но и будут способствовать получению экологически безопасной продукции в совокупности с уменьшением пестицидного пресса на агроценозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мироненко Н.В., Орина А.С., Коваленко Н.М. Генетический полиморфизм штаммов ToxV+ *Pyrenophora tritici-repentis* // Экологическая генетика. 2021. Т. 19. № 2. С. 121–129. DOI: 10.17816/ecogen54718.
2. Volkova G., Yakhnik Ya. *Pyrenophora teres*: Population structure, virulence and aggressiveness in Southern Russia // Saudi journal of biological sciences. 2022. Vol. 29. N 10. P. 103401. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.103401.
3. Яхник Я.В., Волкова Г.В. Чувствительность возбудителя сетчатой пятнистости листьев (*Pyrenophora teres*) к двухкомпонентным фунгицидам на основе триазолового и стробилуринового классов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 127–138. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-2-127-138.
4. Backes A., Guerriero G., Ait Barka E., Jacquard C. *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control // Frontiers in plant science. 2021. N 12. P. 614951. DOI: 10.3389/fpls.2021.614951.
5. Мироненко Н.В., Лашина Н.М., Баранова О.А., Зубкович А.А., Афанасенко О.С. Гибридизация между формами *Pyrenophora teres* в природных популяциях России и Республики Беларусь // Микология и фитопатология. 2021. Т. 55. № 1. С. 51–58. DOI: 10.31857/S0026364821010074.
6. McLean M.S., Poole N., Santa I.M., Hollaway G.J. Efficacy of spot form of net blotch suppression in barley from seed, fertilizer and foliar applied fungicides // Crop Protection. 2022. N 153. P. 105865. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105865.
7. Azizbekyan R.R. Biological preparations for the protection of agricultural plants (review) // Applied biochemistry and microbiology. 2019. Vol. 55. N 8. P. 816–823. DOI: 10.1134/S0003683819080027.
8. Павлюшин В.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Перспективы и возможности микробиологической защиты растений для повышения уровня экологической безопасности в агроценозах (обзор) // Защита и карантин растений. 2022. № 4. С. 10–18. DOI: 10.47528/1026-8634_2022_4_10.
9. Clare S.J., Wyatt N.A., Brueggeman R.S., Friesen T.L. Research advances in the *Pyrenophora teres* – barley interaction // Molecular Plant Pathology. 2019. N 21 (2). P. 272–288. DOI: 10.1111/mp.12896.
10. Веселова С.В., Сорокань А.В., Бурханова Г.Ф., Румянцев С.Д., Алексеев В.Ю., Черепанова Е.А., Максимов И.В. Бактерии рода *Bacillus* как перспективный источник для создания биопрепаратов от патогенов и вредителей сельскохозяйственных культур // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 97. С. 40–45. DOI: 10.21515/1999-1703-97-40-45.
11. Rozanova I.V., Lashina N.M., Mustafin Z.S., Gorobets S.A., Efimov V.M., Afanasenko O.S., Khlestkina E.K. SNPS associated with barley resistance to isolates of *Pyrenophora teres* f. *teres* // BMC Genomics. 2019. N 20 (S3). P. 292. DOI: 10.1186/s12864-019-5623-3.
12. Волкова Г.В., Данилова А.В., Яхник Я.В., Гладкова Е.В., Тарачева О.В. Иммунологическая оценка устойчивости сортов озимого ячменя к листовым болезням на юге России // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 5. С. 16–21.
13. Асатурова А.М., Жевнова Н.А., Павлова М.Д., Дубяга В.М., Томашевич Н.С., Хомяк А.И., Цыгичко А.А., Бондарчук Е.Ю., Сидорова Т.М. Эффективность инокуляции семян озимой пшеницы бактериями рода *Bacillus*, перспективными для создания биопрепаратов // Зерновое хозяйство России. 2019. № 2 (62). С. 8–12.
14. Hoyer A.K., Jorgensen H.J.L., Hodkinson T.R., Jensen B. Fungal endophytes isolated from *elymus repens*, a wild relative of barley, have potential for biological control of *Fusarium culmorum* and *Pyrenophora teres* in barley // Pathogens. 2022. Vol. 11. N 10. P. 1097. DOI: 10.3390/pathogens11101097.
15. Dimkic I., Janakiev T., Petrovic M., Degrassi G., Fira D. Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms: a review // Physiological and molecular plant pathology. 2022. N 117. P. 101754. DOI: 10.1016/j.pmpp.2021.101754.
16. Ghorbanpour M., Omidvari M., Abbaszadeh-Dahaji P., Omidvar R., Kariman K. Mechanisms underlying the protective effects of beneficial fungi against plant diseases // Biological control. 2018. N 117. P. 147–157. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2017.11.006.

REFERENCES

1. Mironenko N.V., Orina A.S., Kovalenko N.M. Genetic polymorphism of ToxB+ *Pyrenophora tritici-repentis* strains. *Ekologicheskaya genetika = Ecological Genetics*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 121–129. (In Russian). DOI: 10.17816/ecogen54718.
2. Volkova G., Yakhnik Ya. *Pyrenophora teres*: Population structure, virulence and aggressiveness in Southern Russia. *Saudi journal of biological sciences*, 2022, vol. 29, no. 10, p. 103401. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.103401.
3. Yakhnik Ya.V., Volkova G.V. Sensitivity of the causative agent of net blotch of barley (*Pyrenophora teres*) to a two-component fungicide based on triazole and strobilurine classes. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2024, no. 2, pp. 127–138. (In Russian). DOI: 10.26897/0021-342X-2024-2-127-138.
4. Backes A., Guerriero G., Ait Barka E., Jacquard C. *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control. *Frontiers in plant science*, 2021, no. 12, p. 614951. DOI: 10.3389/fpls.2021.614951.
5. Mironenko N.V., Lashina N.M., Baranova O.A., Zubkovich A.A., Afanasenko O.S. Hybridization between *Pyrenophora teres* forms in natural populations of Russia and the Republic of Belarus. *Mikologiya i fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*, 2021, vol. 55, no. 1, pp. 51–58. (In Russian). DOI: 10.31857/S0026364821010074.
6. McLean M.S., Poole N., Santa I.M., Hollaway G.J. Efficacy of spot form of net blotch suppression in barley from seed, fertilizer and foliar applied fungicides. *Crop Protection*, 2022, no. 153, p. 105865. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105865.
7. Azizbekyan R.R. Biological preparations for the protection of agricultural plants (review). *Applied biochemistry and microbiology*, 2019, vol. 55, no. 8, pp. 816–823. DOI: 10.1134/S0003683819080027.
8. Pavlyushin V.A., Novikova I.I., Boikova I.V. Prospects and opportunities of microbiological plant protection for increasing the level of ecological safety in agricultural plant communities (review). *Zashchita i karantin rasteniy = Plant Protection and Quarantine*, 2022, no. 4, pp. 10–18. (In Russian). DOI: 10.47528/1026-8634_2022_4_10.
9. Clare S.J., Wyatt N.A., Brueggeman R.S., Friesen T.L. Research advances in the *Pyrenophora teres* – barley interaction. *Molecular Plant Pathology*, 2019, no. 21 (2), pp. 272–288. DOI: 10.1111/mp.12896.
10. Veselova S.V., Sorokan A.V., Burkhanova G.F., Rummyantsev S.D., Alekseev V.Yu., Cherepanova E.A., Maximov I.V. Bacteria of the genus *Bacillus* as a promising source for the creation of biological control agents against pathogens and pests of agricultural crops. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2022, no. 97, pp. 40–45. (In Russian). DOI: 10.21515/1999-1703-97-40-45.
11. Rozanova I.V., Lashina N.M., Mustafin Z.S., Gorobets S.A., Efimov V.M., Afanasenko O.S., Khlestkina E.K. SNPS associated with barley resistance to isolates of *Pyrenophora teres* f. *teres*. *BMC Genomics*, 2019, no. 20 (S3), p. 292. DOI: 10.1186/s12864-019-5623-3.
12. Volkova G.V., Danilova A.V., Yakhnik Ya.V., Gladkova E.V., Taracheva O.V. Immunological assessment of resistance of winter barley varieties to leaf diseases in the south of Russia. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka = Russian Agricultural Sciences*, 2021, no. 5, pp. 16–21. (In Russian).
13. Asaturova A.M., Zhevnova N.A., Pavlova M.D., Dubyaga V.M., Tomashevich N.S., Khomyak A.I., Tsygichko A.A., Bondarchuk E.Yu., Sidorova T.M. Efficiency of winter wheat seed inoculation by the *Bacillus* bacteria promising for the development of bio medicines. *Zernovoe khozyaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2019, no. 2 (62), pp. 8–12. (In Russian).
14. Hoyer A.K., Jorgensen H.J.L., Hodkinson T.R., Jensen B. Fungal endophytes isolated from *Elymus repens*, a wild relative of barley, have potential for biological control of *Fusarium culmorum* and *Pyrenophora teres* in barley. *Pathogens*, 2022, vol. 11, no. 10, p. 1097. DOI: 10.3390/pathogens11101097.
15. Dimkic I., Janakiev T., Petrovic M., Degraasi G., Fira D. Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms: a review. *Physiological and molecular plant pathology*, 2022, no. 117, p. 101754. DOI: 10.1016/j.pmpp.2021.101754.
16. Ghorbanpour M., Omidvari M., Abbaszadeh-Dahaji P., Omidvar R., Kariman K. Mechanisms underlying the protective effects of beneficial fungi against plant diseases. *Biological control*, 2018, no. 117, pp. 147–157. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2017.11.006.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Асатунова А.М., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, директор

✉ **Жевнова Н.А.**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 350039, Краснодар, п/о 39; e-mail: n.zhevnova@mail.ru

Сидоров Н.М., научный сотрудник

Кремнева О.Ю., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

Anzhela M. Asaturova, Candidate of Science in Biology, Lead Researcher, Director

✉ **Natalya A. Zhevnova**, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher; **address:** PO Box 39, Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: n.zhevnova@mail.ru

Nikita M. Sidorov, Researcher

Oksana Yu. Kremneva, Candidate of Science in Biology, Lead Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 02.08.2024

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 12.09.2024

Дата публикации / Published 20.11.2024