



Научная статья

## ИЗМЕНЕНИЕ ВИРУЛЕНТНОСТИ И АГРЕССИВНОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ *PUSCINIA HORDEI* И *PYRENOPHORA TERES* ПОД ВЛИЯНИЕМ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ФУНГИЦИДА ИЗ КЛАССА ТРИАЗОЛОВ И СТРОБИЛУРИНОВ

*М.С. Гвоздева, О.А. Кудинова, Я.В. Яхник,  
В.Д. Руденко, Г.В. Волкова*

### **Аннотация**

**Обоснование.** Потеря чувствительности возбудителей болезней к фунгицидам приводит к снижению эффективности традиционных средств защиты, что негативно сказывается на урожайности и качестве сельскохозяйственной продукции.

**Цель исследования** – анализ вирулентности и агрессивности популяций *Puccinia hordei* и *Pyrenophora teres* под действием двухкомпонентного фунгицида Балий, КМЭ (180 г/л пропиконазола + 120 г/л азоксистробина).

**Материалы и методы.** Приживление фитопатогенов, выделение в чистую культуру и создание искусственных инфекционных фонов проводили по существующим методикам. В опыте использовали несколько норм применения фунгицида: 50 %, 100 %, 150 % и 200 %. Рекомендуемая производителями норма применения препарата (0,6 л/га) была принята за 100 %.

**Результаты.** Для популяции облигатного патогена *P. hordei* установлено увеличение латентного периода (от 168 ч для исходной популяция без обработки до 192 ч в норме применения 200 % от рекомендуемой), снижение спорулирующей способности (от 0,013 мг спор с одной пустулы в исходной популяции до 0,002 мг в норме применения 200%), жизнеспособности (от 100% в исходной популяции до 24,2% в норме применения 200% от рекомендуемой). В отношении гембиотрофного гриба *P. teres* отмечено уменьшение длительности латентного периода (от 149 ч. в исходной популяции до 101

ч. при обработке нормой применения фунгицида 50 % от рекомендуемой), инкубационного периода (от 101 ч в исходной популяции до 77 ч в норме применения 150 % от рекомендуемой), спорулирующей способности (от  $5,8 \cdot 10^3$  конидий в 1 мл суспензии в исходной популяции до  $2,3 \cdot 10^3$  конидий в норме применения 200 %). Не выявлено влияние обработки фунгицидом в различных нормах применения на рост колоний *P. teres*. Отмечено снижение средней вирулентности обеих популяций по сравнению с исходной необработанной популяцией (от 97,1 % до 37,0 %), показатель которой был принят за 100 %.

**Заключение.** Установлено снижение агрессивности и вирулентности *P. hordei* и *P. teres* под влиянием фунгицида Балий, что указывает на чувствительность патогенов к фунгициду. Для предотвращения возможного риска возникновения резистентности популяций необходим перманентный мониторинг динамики внутривидовой структуры.

**Ключевые слова:** ячмень озимый; карликовая ржавчина; сетчатая пятнистость листьев; фунгицид; резистентность; патогенность; агрессивность; вирулентность

**Для цитирования.** Гвоздева, М. С., Кудинова, О. А., Яхник, Я. В., Руденко, В. Д., & Волкова, Г. В. (2025). Изменение вирулентности и агрессивности популяций *Puccinia hordei* и *Pyrenophora teres* под влиянием двухкомпонентного фунгицида из класса триазолов и стробилуринов. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(6-1), 288-311. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1343>

Original article

## CHANGES IN VIRULENCE AND AGGRESSIVENESS OF *PUCCINIA HORDEI* AND *PYRENOPHORA TERES* POPULATIONS INDUCED BY TRIAZOLE AND STROBILURIN CLASS FUNGICIDES

*M.S. Gvozdeva, O.A. Kudinova, Ya.V. Yakhnik,  
V.D. Rudenko, G.V. Volkova*

### *Abstract*

**Background.** Loss of sensitivity of pathogens to fungicides leads to a decrease in the effectiveness of traditional means of protection, which negatively affects the yield and quality of agricultural products.

The **purpose** of the study was to analyze virulence and aggressiveness of *Puccinia hordei* and *Pyrenophora teres* populations under the influence of two-component fungicide Baliy, CME (180 g/l propiconazole + 120 g/l azoxystrobin).

**Materials and methods.** The engraftment of phytopathogens, isolation into pure culture and creation of artificial infectious backgrounds were carried out according to existing methods. Several fungicide application rates were used in the experiment: 50%, 100%, 150% and 200%. The application rate of the preparation recommended by the manufacturers (0.6 l/ha) was taken as 100%.

**Results.** For the population of the obligate pathogen *P. hordei*, an increase in latency period (from 168 h for the initial population without treatment to 192 h in the application rate of 200% of the recommended rate), a decrease in sporulation ability (from 0.013 mg of spores per pustule in the initial population to 0,002 mg in the application rate of 200%), and viability (from 100% in the initial population to 24,2% in the application rate of 200% of the recommended rate) were found. With respect to hemibiotrophic fungus *P. teres*, a decrease in the duration of latent period (from 149 h in the original population to 101 h when treated with fungicide application rate of 50 % of the recommended), incubation period (from 101 h in the original population to 77 h in the application rate of 150% of the recommended), sporulating ability (from 5,8 \*10<sup>3</sup> conidia in 1 ml of suspension in the original population to 2,3 \*10<sup>3</sup> conidia in the application rate of 200%) was observed. No effect of fungicide treatment at different application rates on *P. teres* colony growth was detected. The average virulence of both populations decreased compared to the initial untreated population (from 97,1 % to 37,0 %), which was taken as 100%.

**Conclusion.** A decrease in aggressiveness and virulence of *P. hordei* and *P. teres* under the influence of Baliy fungicide was found, indicating that the pathogens are sensitive to the fungicide. Permanent monitoring of the dynamics of intrapopulation structure is necessary to prevent the possible risk of resistance of populations.

**Keywords:** winter barley; barley leaf rust; spot blotch; fungicide; resistance; pathogenicity; aggressiveness; virulence

**For citation.** Gvozdeva, M. S., Kudinova, O. A., Yakhnik, Ya. V., Rudenko, V. D., & Volkova, G. V. (2025). Changes in virulence and aggressiveness of *Puccinia hordei* and *Pyrenophora teres* populations induced by triazole and strobilurin class fungicides. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(6-1), 288-311. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1343>

## Введение

Сетчатая пятнистость (возбудитель *Pyrenophora teres* Drechsler) и карликовая ржавчина (возбудитель *Puccinia hordei* Otth.) являются одними из

доминирующих грибных болезней листьев ячменя в мире [30; 35] и в южном регионе России [19; 46]. *P. teres* – гемибиотрофный аскомицет, поражающий, помимо ячменя, другие растения родов *Hordeum*, *Agropyron*, *Bromus*, *Elymus*, *Hordeilymus* и *Stipa* [32]. *P. hordei* – биотрофный базидиомицет, поражающий ячмень и его дикие сородичи из рода *Hordeum* [27]. При благоприятных для развития болезней условиях данные патогены могут быть вредоносны, потери урожая составляют в среднем от 40 до 80 % [14; 16].

Исторически данные болезни, как и любые болезни зерновых культур, успешно контролируются с помощью фунгицидов [36]. В условиях современного сельскохозяйственного производства применение фунгицидов является необходимым условием сохранения урожайности и качества сельскохозяйственных культур [28]. Это неизбежно приводит к появлению в популяциях фитопатогенов резистентных к фунгицидам изолятов и ставит под угрозу контроль над болезнями растений [41]. По данным Fungicide Resistance Action Committee (FRAC), зарегистрирована устойчивость к 100 действующим веществам у порядка 230 грибных патогенов растений на различных культурах [24]. Ржавчинные грибы относятся к патогенам с низким риском развития резистентности [38], исследователи отмечают отсутствие изменения чувствительности изолятов ржавчинных грибов к фунгицидам из класса стробилуринов [26], морфолинов [37] и фунгицидов из других химических классов [45]. Тем не менее, существует мнение, что ржавчинные грибы имеют много сходств с патогенами, отнесенными к высокому риску развития резистентности (быстро формируют массовые эпифитотии в благоприятных условиях, могут распространяться на большие расстояния, имеют короткий жизненный цикл в уредостадии, способны экспрессировать мутантные гены), поэтому они ошибочно отнесены к патогенам с низким риском развития резистентности [33]. В литературе периодически регистрируется устойчивость ржавчинных грибов к фунгицидам из класса триазолов. Так, например, в Китае описана устойчивость изолятов *Puccinia striiformis* и *Puccinia triticina* к триадимефону [40; 41]. В России также была описана резистентность изолятов ржавчинных грибов к фунгицидам триазолового класса: *P. striiformis* к триадимефону [2], *P. triticina* – к тебуконазолу [4]. Установлено, что под влиянием фунгицида происходит изменение агрессивности и вирулентности, а также снижение чувствительности популяции фитопатогена. В отношении *P. hordei* таких работ не проводилось как в России, так и за рубежом.

*Гриб P. teres*, из-за смешанного способа размножения, способен к более быстрой адаптации к действию фунгицидов различных химических

классов. Начиная с 1985 г. [44], имеются многочисленные сообщения об устойчивости изолятов *P. teres* к фунгицидам из класса триазолов [20; 34; 43]. Изоляты *P. teres*, резистентные к стробилуринам, впервые были зарегистрированы в 2004 году [18], в настоящее время резистентные к фунгицидам изоляты гриба распространены в разных странах [20; 23; 29; 42]. Ввиду важности вопроса появления резистентных изолятов *P. teres* к фунгицидам и неизученности этого направления в России, такие исследования начали проводиться в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) с 2023 г. [3; 13].

В целях предотвращения появления резистентных изолятов в популяциях доминирующих на юге России фитопатогенов ячменя необходим перманентный мониторинг их чувствительности к фунгицидам. Как правило, для снижения развития листовых болезней проводятся обработки зерновых культур фунгицидами на основе триазолов и стробилуринов [11]. Одним из таких является двухкомпонентный препарат Балий, КМЭ (120 г/л азоксистробина + 180 г/л пропиконазола), обладающий системным действием и имеющий современную препаративную форму [9].

Цель исследования – анализ вирулентности и агрессивности популяций *P. hordei* и *P. teres* под влиянием двухкомпонентного фунгицида Балий, КМЭ (180 г/л пропиконазола + 120 г/л азоксистробина).

### **Материалы и методы исследования**

Для выполнения исследования были проведены маршрутные обследования производственных посевов ячменя озимого на территории Республики Адыгея, Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского краев, в ходе которых отобраны образцы растений, пораженные карликовой ржавчиной и сетчатой пятнистостью листьев. Гербарий хранили при температуре +4 °С [5]. Для приживления популяции *P. hordei* в 0.5 л вазоны был высеян восприимчивый к патогену сорт Виват (оригинатор: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Аграрный научный центр «Донской»).

Для создания искусственного инфекционного фона карликовой ржавчины в фазу всходов ячменя споровую суспензию гриба втирали в листья, затем растения выдерживали в камере при температуре +20 °С и капельножидкой влаге в течение 16 часов. Далее зараженные проростки выращивали в условиях теплицы при относительной влажности воздуха 70-80 %, температуре +20-22 °С и освещенности 10-15 тыс. люкс со сменой дня

и ночи (16/8 часов) [5]. Для искусственного заражения растений ячменя озимого сорта Романс использовали спорово-мицелиальную суспензию чистой культуры гриба *P. teres*, предварительно выделенную из гербарного материала [5]. Зараженные патогеном проростки ячменя помещали во влажную камеру при температуре +18-20 °С на 24 часа, затем переносили в климатическую камеру и содержали при температуре +23-25 °С, освещении 30 Вт UVB 280-315 нм и относительной влажности воздуха 80.0 % [5]. Через 6–7 суток после инокуляции растений ячменя популяцией *P. hordei* и через 3 суток после инокуляции популяцией *P. teres* (при появлении первых признаков болезни) проводили обработку фунгицидом Балий, КМЭ в различных нормах применения: 50 %, 100 %, 150 %, 200 % от рекомендуемой. За 100 % принята нижняя граница рекомендуемой нормы применения согласно справочнику пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории РФ 2023 г. В качестве контроля использовали растения, зараженные патогеном без обработки фунгицидом.

Для оценки показателей агрессивности популяции было проведено повторное заражение интактных растений ячменя спорами карликовой ржавчины, собранными с каждого варианта опыта. В ходе эксперимента оценивали следующие характеристики: латентный период (промежуток времени с момента инокуляции споровой суспензией *P. hordei* до раскрытия пустул) [8], длительность споруляции (с начала раскрытия пустул до завершения споруляции) [10], спорулирующая способность (масса спор с одной пустулы, мг) [10], жизнеспособность (количество проросших спор патогена при содержании биоматериала в условиях капельножидкой влажности в течение 24 часов).

Относительно сетчатой пятнистости с каждого варианта опыта, обработанного различными нормами применения фунгицида, были отобраны пораженные участки и выделена чистая культура *P. teres*. Затем проведена оценка показателей агрессивности гриба: скорость роста колоний гриба на питательной среде (измерение диаметра колонии через 7 суток культивирования), интенсивность споруляции колоний гриба (количество спор в 1 мл конидиальной суспензии) и латентный период (промежуток времени с момента инокуляции до образования конидий) [7]. При повторном заражении интактных растений ячменя спорово-мицелиальной суспензией проведена оценка инкубационного периода (промежуток времени от момента заражения до проявления симптомов болезни) [21].

Для каждого патогена определено изменение средней вирулентности популяций под действием различных норм применения фунгицида. Был

использован набор сортов и линий ячменя, содержащих известные *Rph*-гены устойчивости к возбудителю карликовой ржавчины и набор сортов и линий, содержащих известные *Ptr*-гены устойчивости к возбудителю сетчатой пятнистости листьев [1; 22].

Статистическую достоверность показателей агрессивности оценивали с помощью критерия Фишера ( $\alpha=0,05$ ). Различия между изолятами популяций по фенотипическому составу и частоте аллелей вирулентности определяли согласно индексу Нея [31].

В исследованиях использована материально-техническая база Уникальной научной установки (УНУ) «Фитотрон для выделения, идентификации, изучения и поддержания рас, штаммов, фенотипов патогенов» (<https://fncbzh.ru/brk-i-unu/unique-installation-2/>) и объекты биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» (<https://fncbzh.ru/brk-i-unu/unique-installation-1/>).

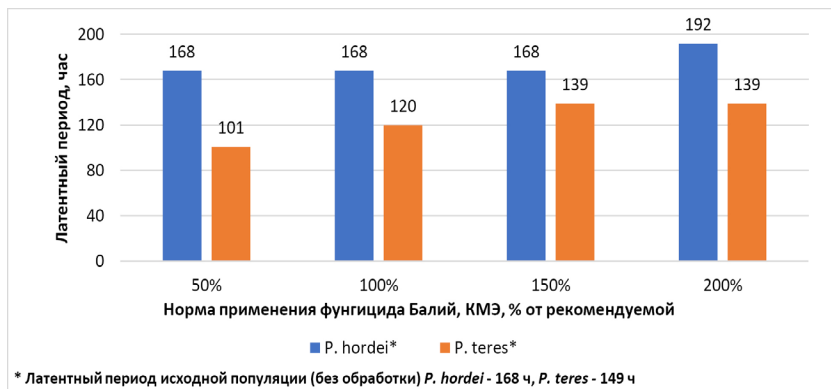
### Результаты исследования и их обсуждение

Установлено изменение показателей агрессивности популяций *P. hordei* и *P. teres* под действием фунгицида Балий, КМЭ. Обработка растений, зараженных карликовой ржавчиной, способствовала увеличению латентного периода гриба (рис. 1). В варианте с нормой применения 50-150 % от рекомендуемой этот показатель оставался на уровне исходной популяции (168 ч), при увеличении нормы до 200 % латентный период возрастал до 192 ч ( $Ff\ 12.0 > Ft\ 5.32$ ). Латентный период исходной популяции (без обработки) сетчатой пятнистости листьев составил 149 ч. Под действием препарата этот показатель изменялся от 101 ч (норма применения 50 % от рекомендуемой) до 139 ч (норма применения 150-200 %), однако достоверных различий с исходной популяцией не выявлено ( $Ff\ 3.0 > Ft\ 10.1$ ).

С увеличением нормы применения фунгицида Балий, КМЭ установлено снижение спорулирующей способности гриба *P. hordei*. Для исходной популяции (без обработки) этот показатель составил 0,013 мг спор с одной пустулы. Под действием препарата спорулирующая способность патогена снижалась от 0,005 мг (норма применения 50 % от рекомендуемой) до 0,002 мг (норма применения 200 % от рекомендуемой).

Для гриба *P. teres*, выделенного в чистую культуру после обработки фунгицидом с нормой применения 50 % от рекомендуемой, споруляция была значительно выше в сравнении с исходной популяцией (без обработки) и составила  $7.0 \cdot 10^3$  конидий в 1 мл суспензии. С увеличением нормы применения препарата (200 % от рекомендуемой) этот показатель снижал-

ся до  $2.3 \cdot 10^3$  конидий в 1 мл ( $F_f 7.6 > F_t 4.6$ ). Спорулирующая способность исходной популяции (без обработки), была на уровне  $5.8 \cdot 10^3$  конидий в 1 мл суспензии.



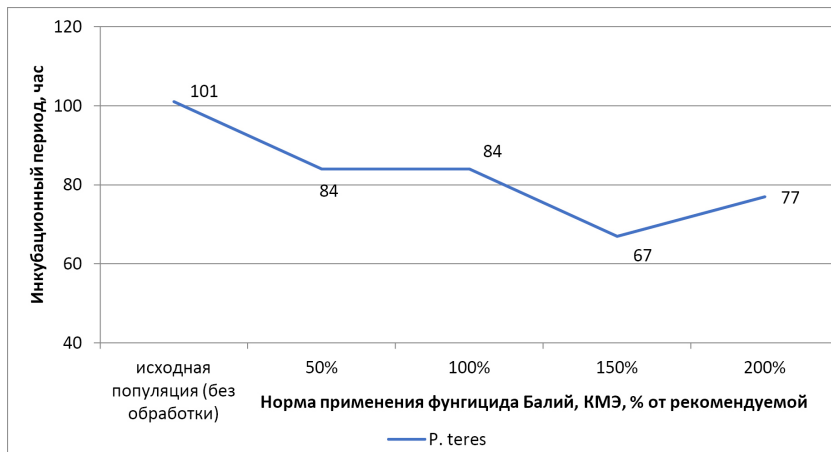
**Рис. 1.** Изменение латентного периода популяций *P. hordei* и *P. teres* под действием различных норм применения фунгицида Балий, КМЭ (тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.)

Проанализирована длительность инкубационного периода популяции сетчатой пятнистости листьев под влиянием различных норм применения фунгицида Балий, КМЭ (рис. 2). В варианте с исходной популяцией (без обработки) этот показатель был на уровне 101 ч. При обработке растений ячменя препаратом с нормами применения 50-150 % от рекомендуемой отмечалось резкое снижение длительности инкубационного периода от 84 ч до 67 ч. Повышение нормы применения фунгицида до 200 % от рекомендуемой способствовало достоверному увеличению изучаемого показателя до 77 ч ( $F_f 32,8 > F_t 10,1$ ).

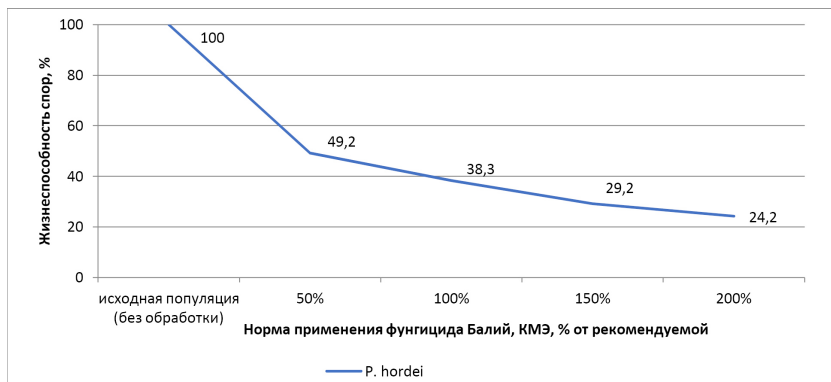
Установлено влияние действия фунгицида Балий, КМЭ на рост колоний гриба *P. teres*. Линейная зависимость от нормы применения препарата выявлена не была. Диаметр колонии варьировал от 29.3 мм (рекомендуемая норма применения) до 33.0 мм (норма применения 50 % от рекомендуемой). Для исходной популяции (без обработки) этот показатель составил 26.6 мм ( $F_f 34,8 > F_t 7,7$ ).

Проведена оценка жизнеспособности спор гриба *P. hordei* под действием различных норм применения фунгицида Балий, КМЭ. Для исходной популяции (без обработки) карликовой ржавчины этот показатель был принят за 100 %. При обработке растений препаратом с нормой примене-

ния 50 % от рекомендуемой отмечено снижение жизнеспособности спор до 49,2 %, а при норме применения 200 % от рекомендуемой – до 24,2 % (рис. 3).



**Рис. 2.** Инкубационный период популяций сетчатой пятнистости листьев ячменя под действием различных норм применения фунгицида Балий, КМЭ (лабораторный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.)



**Рис. 3.** Влияние разных норм применения фунгицида Балий, КМЭ на жизнеспособность спор карликовой ржавчины ячменя (лабораторный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.)

Установлено изменение вирулентности популяций *P. hordei* под действием фунгицида Балий, КМЭ. С увеличением нормы применения препарата

происходило снижение вирулентности популяции карликовой ржавчины к линиям с генами *Rph2*, *Rph3*, *Rph5*, *Rph6+2*, *Rph8*, *Rph12* (табл.1). Использование нормы применения 150 % от рекомендуемой сопровождалось элиминацией вирулентности популяции *P. hordei* к *Rph13*, *Rph19*. Вирулентность популяции гриба к линиям с генами *Rph1*, *Rph4*, *Rph9*, *Rph13*, *Rph19*, *Rph21+2*, *Rph25*, снизилась во всех вариантах по сравнению с исходной популяцией (без обработки). Согласно индексу Нея, различия по вирулентности между парами сравниваемых популяций составили от 0,19 у.е. (исходная популяция – популяция, обработанная фунгицидом с нормой применения 50 %) до 0,22 у.е. (исходная популяция – популяция, обработанная фунгицидом с нормой применения 100-150 %).

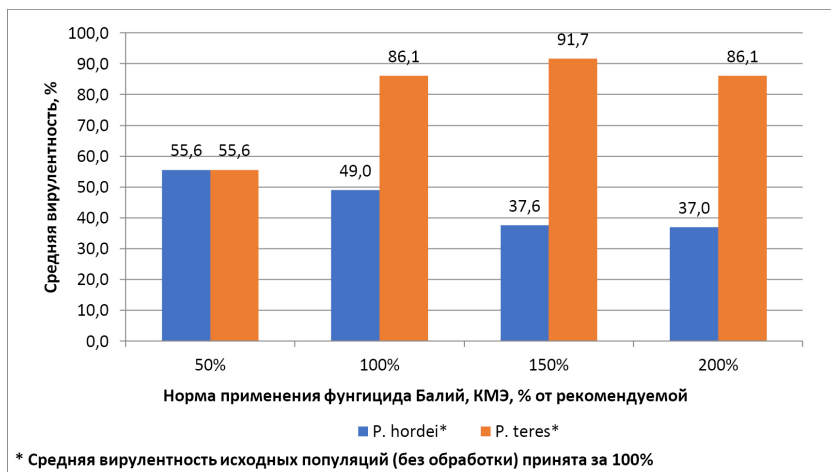
Установлено снижение средней вирулентности популяций *P. hordei* и *P. teres* по сравнению с исходными популяциями без обработки. Средняя вирулентность для исходных популяций фитопатогенов (без обработки) была принята за 100 % (рис. 4). При этом повышение нормы фунгицида способствовало увеличению средней вирулентности популяции возбудителя сетчатой пятнистости (86.1-97.1%) и снижению этого показателя для популяции возбудителя карликовой ржавчины (49.0-37.0 %).

Таблица 1.

**Влияние разных норм применения фунгицида Балий, КМЭ на вирулентность популяции *P. hordei*, (тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.)**

№	Сорт	ген	Норма применения фунгицида, % от рекомендуемой				Исходная популяция (без обработки)
			50	100	150	200	
1	Sudan	<i>Rph1</i>	17	13	19	16	43
2	Peruvian	<i>Rph2</i>	46	31	27	17	59
3	Estate	<i>Rph3</i>	71	60	58	58	80
4	Gold	<i>Rph4</i>	53	57	47	45	57
5	Magnif 104	<i>Rph5</i>	40	34	28	26	35
6	Bolivia	<i>Rph6+2</i>	42	39	31	31	44
7	Cebada Capa	<i>Rph7</i>	0	0	0	0	0
8	Egypt 4	<i>Rph8</i>	34	26	25	19	66
9	Abyssinian	<i>Rph9</i>	11	17	15	14	59
10	Triumph	<i>Rph12</i>	14	11	8	2	42
11	PI 531849	<i>Rph13</i>	47	37	0	17	47
12	PI 584760	<i>Rph14</i>	0	0	0	0	0
13	Prior	<i>Rph19</i>	10	9	0	4	51

14	Ricardo	<i>Rph21+2</i>	9	4	15	13	86
15	Fong tein	<i>Rph25</i>	10	18	0	7	57
Индекс Нея (Nei distance), у.е.			0,19	0,22	0,22	0,21	-



**Рис. 4.** Изменение средней вирулентности популяций *P. hordei* и *P. teres* под действием различных норм применения фунгицида Балий, КМЭ (тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.)

Для популяций фитопатогенных грибов свойственна генетическая изменчивость, которая служит причиной формирования резистентности к фунгицидам [25]. Полная потеря чувствительности развивается в результате естественного отбора, при котором факторы окружающей среды способствуют размножению и накоплению устойчивых изолятов [39]. Каждое применение фунгицида с одинаковым механизмом действия ускоряет процесс отбора, избирательно уничтожая восприимчивые к токсиканту изоляты гриба. Это позволяет устойчивым формам без конкуренции накапливаться в популяции и распространяться в агроценозе. Понимание механизма формирования резистентности к фунгицидам в популяциях возбудителей болезней является одной из основных задач, направленных на разработку антирезистентной стратегии.

Выбранный для исследования двухкомпонентный фунгицид Балий, КМЭ обладает несколькими механизмами действия на фитопатогенов: ингибирует процесс биосинтеза эргостерола в мембранах клеток (д.в.: пропиконазол) и ингибирует митохондриальное дыхание, блокируя транспорт электронов (д.в.: азоксистробин).

Ранее нами были получены сведения по оценке биологической эффективности фунгицида Балий, КМЭ против возбудителей карликовой ржавчины и сетчатой пятнистости листьев ячменя. Результаты подтвердили высокий уровень чувствительности гриба *P. hordei* к препарату, при рекомендованной норме применения фунгицида эффективность составляла 98,3 % [12]. Против возбудителя *P. teres* биологическая эффективность была на уровне 83,1 % [13].

В проведенном исследовании определено влияние данного фунгицида на патогенность популяций *P. hordei* и *P. teres*. Для популяции карликовой ржавчины установлено снижение всех изученных показателей патогенности, в то время как у возбудителя сетчатой пятнистости листьев наблюдалось увеличение показателей.

Полученные данные согласуются с результатами других исследователей. Например, в работах Ю.Т. Дьякова у штаммов гриба *Phytophthora infestans*, контактировавших с пониженной нормой применения фунгицида, чувствительность к токсиканту не изменялась, но отмечалось падение общей приспособленности и агрессивности [6]. В последующие годы, на фоне гибели чувствительных изолятов, численность устойчивой популяции возрастала, в то же время, становясь более агрессивной. Учеными установлена положительная корреляция между вирулентностью популяции и резистентностью к фунгицидам. Так, в случае с *Zymoseptoria tritici* (Desm.) было обнаружено, что австралийская популяция имела низкую общую вирулентность и устойчивость к ципроконазолу, в то время как швейцарская популяция имела высокое значение вирулентности и обладала устойчивостью к ципроконазолу [15]. Подобные результаты получены и для фитопатогена *Alternaria alternata*, популяция гриба из провинции Китая Хэнань характеризовалась высокой агрессивностью и резистентностью к манкоцебу и дифеноконазолу, в то время как популяция из Шаньдун демонстрировала сниженную агрессивность и высокую чувствительность к фунгицидам [17].

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено влияние двухкомпонентного фунгицида Балий, КМЭ (д.в.: 120 г/л азоксистробина + 180 г/л пропиконазола) на внутривидовую структуру грибов *P. hordei* и *P. teres* по признакам агрессивности и вирулентности.

Установлено увеличение латентного периода *P. hordei* от 168 ч (исходная популяция, без обработки) до 192 ч (норма применения 200 % от рекомендуемой). И, напротив, наблюдалось снижение латентного периода

*P. teres* от 149 ч (исходная популяция, без обработки) до 139 ч (норма применения 200 % от рекомендуемой).

Под действием препарата спорулирующая способность *P. hordei* снижалась от 0,013 мг спор с одной пустулы (исходная популяция, без обработки) до 0,002 мг (норма применения 200 % от рекомендуемой). Споруляция гриба *P. teres* варьировала от  $5.8 \cdot 10^3$  конидий в 1 мл суспензии (исходная популяция, без обработки) до  $2.3 \cdot 10^3$  конидий (200 % от рекомендуемой).

Длительность инкубационного периода возбудителя сетчатой пятнистости листьев изменялась от 101 ч (исходная популяция, без обработки) до 77 ч (норма применения 200 % от рекомендуемой). Отмечено влияние фунгицида Балий, КМЭ на рост гриба *P. teres* на питательной среде, диаметр колонии варьировал от 26.6 мм (исходная популяция, без обработки) до 32.3 мм (норма применения 200 % от рекомендуемой).

Под действием различных норм применения фунгицида установлено снижение жизнеспособности спор гриба *P. Hordei*. Этот показатель варьировал от 100 % (исходная популяция, без обработки) до 24.2 % (норма применения 200 % от рекомендуемой).

Применение разных норм препарата способствовало увеличению средней вирулентности популяции возбудителя сетчатой пятнистости от 55.6 % (норма применения 50 % от рекомендуемой) до 86.1% (норма применения 200 % от рекомендуемой) и снижению этого показателя для популяции возбудителя карликовой ржавчины от 55.6 % (норма применения 50 % от рекомендуемой) до 37.0 % (норма применения 200 % от рекомендуемой).

При этом средняя вирулентность обеих популяций при обработке различными нормами применения препарата снижена по сравнению с контролем. Различие в показателях вирулентности и агрессивности в ответ на обработку фунгицидом у популяций *P. hordei* и *P. teres* может быть связано с различиями в физиологических особенностях биотрофного и гемибитрофного патогенов.

Исследования в данном направлении позволяют своевременно выявить изменения в структуре популяций *P. hordei* и *P. teres* по показателям вирулентности и агрессивности, способные привести к накоплению резистентных к фунгициду изолятов. Полученные результаты подтверждают влияние различных норм применения препарата Балий, КМЭ на показатели патогенности, что служит определенным риском снижения чувствительности возбудителей болезней к изученному фунгициду. Для сдерживания скорости развития устойчивости фитопатогенов основополагающими факторами остаются оптимизация качества обработки посевов и строгое соблюдение регламента применения препарата.

**Информация о спонсорстве.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10063, <https://rscf.ru/project/23-76-10063/>

### Список литературы

1. Волкова, Г. В., Кудинова, О. А., Гладкова, Е. В., Ваганова, О. Ф., Данилова, А. В., & Матвеева, И. П. (2018). *Вирулентность популяций возбудителей ржавчины зерновых колосовых культур* (38 с.). Краснодар: ИП Дедкова С. А. ISBN: 978-5-905120-07-7. EDN: <https://elibrary.ru/YAPANV>
2. Волкова, Г. В. (1995). Фунгицидоустойчивая форма возбудителя жёлтой ржавчины пшеницы. *Агрехимия*, (1), 79–83. EDN: <https://elibrary.ru/SJRJUV>
3. Волкова, Г. В., & Яхник, Я. В. (2023). Чувствительность возбудителя сетчатой пятнистости листьев ячменя (*Pyrenophora teres* Drechsler) к фунгицидам. *Российская сельскохозяйственная наука*, (6), 33–37. <https://doi.org/10.31857/S2500262723060078>. EDN: <https://elibrary.ru/NJHIXM>
4. Гвоздева, М. С., & Волкова, Г. В. (2022). Влияние фунгицида Колосаль на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы по признакам патогенности и чувствительности. *Микология и фитопатология*, 56(1), 52–63. <https://doi.org/10.31857/S0026364822010044>. EDN: <https://elibrary.ru/ROWMIY>
5. Волкова, Г. В., Яхник, Я. В., Кудинова, О. А. и др. (2024). *Грибные патогены зерновых колосовых культур: биология, распространение, вредоносность, методы учёта, сбора и хранения биоматериала. Создание искусственных инфекционных фонов: научнопрактические рекомендации* (98 с.). Краснодар: ФГБНУ ФНЦБЗР. ISBN: 978-5-93491-974-1. EDN: <https://elibrary.ru/RFYZXL>
6. Дьяков, Ю. Т., & Еланский, С. Н. (2007). Популяционная генетика *Phytophthora infestans*. В *Микология сегодня* (Т. 1, с. 107–139). Москва: Национальная академия микологии.
7. Волкова, Г. В., Яхник, Я. В., Кремнева, О. Ю., & Мерзликина, Е. Н. (2022). Подбор оптимальной питательной среды для культивирования *Pyrenophora teres* Drechsler. *Вестник Ульяновской ГСХА*, (3 (59)). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-3-122-127>. EDN: <https://elibrary.ru/HVVIYF>
8. Пыжикова, Г. В. (1972). Влияние температуры на инфекцию и развитие жёлтой ржавчины пшеницы. *Микология и фитопатология*, 6(3), 51–53.
9. Гришечкина, Л. Д., Долженко, В. И., Кунгурцева, О. В. и др. (2020). Развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов. *Агрехимия*, (9), 32–47. <https://doi.org/10.31857/S0002188120090070>. EDN: <https://elibrary.ru/FVOOLD>
10. Санин, С. С. (1975). Методы определения количества спор, образуемых ржавчинными и другими фитопатогенными грибами. *Микология и фитопатология*, 9(3), 443–445.

11. Тютереv, С. Л. (2001). Проблемы устойчивости фитопатогенов к новым фунгицидам. *Вестник защиты растений*, (1), 38–53. EDN: <https://elibrary.ru/ZISGCP>
12. Гвоздева, М. С., Данилова, А. В., Кудинова, О. А. и др. (2024). Чувствительность возбудителя карликовой ржавчины ячменя (*Puccinia hordei* G.H. Otth.) к фунгицидам — производным триазолов и стробилуринов. *Агрехимия*, (11), 32–38. <https://doi.org/10.31857/S0002188124110051>. EDN: <https://elibrary.ru/AHVZMB>
13. Яхник, Я. В., & Волкова, Г. В. (2024). Чувствительность возбудителя сетчатой пятнистости листьев (*Pyrenophora teres*) к двухкомпонентным фунгицидам на основе триазолового и стробилуринового классов. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, (2), 127–138. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-2-127-138>. EDN: <https://elibrary.ru/SILTVB>
14. Abebe, W. (2021). Barley net blotch disease management: a review. *International Journal of Environment Agriculture Research*, 7(9), 69–81. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5554528>
15. Yang, L., Gao, F., Shang, L., Zhan, J., & McDonald, B. A. (2013). Association between virulence and triazole tolerance in the phytopathogenic fungus *Mycosphaerella graminicola*. *PLoS One*, 8(3), e59568. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059568>
16. Hussain, B., Mohiddin, M. A., Wani, S. H. et al. (2024). Characterization of barley genotypes and their biochemical responses against leaf rust (*Puccinia hordei*) disease under cold arid environment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 33(1), 185–195. <https://doi.org/10.15244/pjoes/170775>. EDN: <https://elibrary.ru/SCDXOP>
17. Yang, L. N., He, M. H., Ouyang, H. B. et al. (2019). Crossresistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action. *BMC Microbiology*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1574-8>. EDN: <https://elibrary.ru/UNUBDI>
18. Sierotzki, H., Frey, R., Wullschleger, J. et al. (2007). Cytochrome b gene sequence and structure of *Pyrenophora teres* and *P. triticirepentis* and implications for QoI resistance. *Pest Management Science*, 63(3), 225–233. <https://doi.org/10.1002/ps.1330>
19. Danilova, A. V., & Volkova, G. V. (2022). Virulence of barley leaf rust in the South of Russia in 2017–2019. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 20(1), 1001. <https://doi.org/10.5424/sjar/2022201-18337>. EDN: <https://elibrary.ru/WIJUQZ>
20. Mair, W. J., Deng, W., Mullins, J. G. L. et al. (2016). Demethylase inhibitor fungicide resistance in *Pyrenophora teres* f. sp. *teres* associated with target site modifi-

- cation and inducible overexpression of *Cyp51*. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1279. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01279>. EDN: <https://elibrary.ru/XUCLWV>
21. Afanasenko, O. S., Jalli, M., Pinnschmidt, H. O. et al. (2009). Development of an international standard set of barley differential genotypes for *Pyrenophora teres* f. *teres*. *Plant Pathology*, 58(4), 665–676. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02062.x>. EDN: <https://elibrary.ru/LLWTHJ>
  22. Dinglasan, E. (2019). Genetic characterization of resistance to *Pyrenophora teres* f. *teres* in the international barley differential Canadian lake shore. *Frontiers in Plant Science*, 10, 326. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00326>. EDN: <https://elibrary.ru/XUAIEQ>
  23. Semar, M., Strobel, D., Koch, A. et al. (2007). Field efficacy of pyraclostrobin against populations of *Pyrenophora teres* containing the F129L mutation in the cytochrome b gene. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 114(3), 117–119. <https://doi.org/10.1007/BF03356718>. EDN: <https://elibrary.ru/DUGXKW>
  24. FRAC. (2020). *List of first confirmed cases of plant pathogenic organisms resistant to disease control agents*. Brussels: CropLife International.
  25. Yin, Y., Miao, J., Shao, W. et al. (2023). Fungicide resistance: progress in understanding mechanism, monitoring, and management. *Phytopathology*, 113(4), 707–718. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0370-KD>. EDN: <https://elibrary.ru/NSVMRF>
  26. Cook, N. M., Chng, S., Woodman, T. L. et al. (2021). High frequency of fungicide resistance-associated mutations in the wheat yellow rust pathogen *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Pest Management Science*, 77(7), 3358–3371. <https://doi.org/10.1002/ps.6380>. EDN: <https://elibrary.ru/CURFLE>
  27. Duplessis, S., Lorrain, C., Petre, B. et al. (2021). Host adaptation and virulence in heteroecious rust fungi. *Annual Review of Phytopathology*, 59(1), 403–422. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020620-121149>. EDN: <https://elibrary.ru/XYPCEI>
  28. Lucas, J. A., Hawkins, N. J., & Fraaije, B. A. (2015). The evolution of fungicide resistance. *Advances in Applied Microbiology*, 90, 29–92. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2014.09.001>. EDN: <https://elibrary.ru/YEYUVV>
  29. Marzani, Q. A., Swarbrick, P., & Rossall, S. (2013). Correlation of the F129L mutation in *Pyrenophora teres*, the pathogen of net blotch of barley, with the efficacy of QoI fungicides. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 3(4), 66–72. <https://doi.org/10.9790/2380-0346672>
  30. Amouzoune, M., Amri, A., Benkirane, R. et al. (2022). Mining and predictive characterization of resistance to leaf rust (*Puccinia hordei* Oth.) using two subsets of barley genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01268-4>. EDN: <https://elibrary.ru/ITUWVG>

31. Nei, M. (1972). Genetic distance between populations. *The American Naturalist*, 106(949), 283–292. <https://doi.org/10.1086/282771>
32. Tomić, A., Trkulja, V., Matić, S. et al. (2024). Net blotch (*Pyrenophora teres* Drechsler): an increasingly significant threat to barley production. *Plant Protection Science*, 60(1), 1–30. <https://doi.org/10.17221/122/2023-PPS>. EDN: <https://elibrary.ru/UGGCVL>
33. Oliver, R. P. (2014). A reassessment of the risk of rust fungi developing resistance to fungicides. *Pest Management Science*, 70(11), 1641–1645. <https://doi.org/10.1002/ps.3767>
34. Peever, T. L., & Milgroom, M. G. (1993). Genetic correlations in resistance to sterol biosynthesis-inhibiting fungicides in *Pyrenophora teres*. *Phytopathology*, 83(10), 1076–1082. <https://doi.org/10.1094/Phyto-83-1076>
35. Backes, A., Guerriero, G., Ait Barka, E., & Jacquard, C. (2021). *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control. *Frontiers in Plant Science*, 12, 614951. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.614951>. EDN: <https://elibrary.ru/COHFHY>
36. Ransom, J. K., & McMullen, M. V. (2008). Yield and disease control on hard winter wheat cultivars with foliar fungicides. *Agronomy Journal*, 100(4), 1130–1137. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0397>
37. Russell, P. E. (1995). Fungicide resistance: occurrence and management. *The Journal of Agricultural Science*, 124(3), 317–323. <https://doi.org/10.1017/S0021859600073275>
38. Russell, P. E. (2003). *Sensitivity baselines in fungicide resistance research and management* (FRAC Monograph No. 3). Brussels: CropLife International.
39. SánchezTorres, P. (2021). Molecular mechanisms underlying fungicide resistance in citrus postharvest green mold. *Journal of Fungi*, 7(9), 783–801. <https://doi.org/10.3390/jof7090783>. EDN: <https://elibrary.ru/YUQQJN>
40. Zhan, G., Ji, F., Zhao, J. et al. (2022). Sensitivity and resistance risk assessment of *Puccinia striiformis* f. sp. tritici to triadimefon in China. *Plant Disease*, 106(6), 1690–1699. <https://doi.org/10.1094/pdis-10-21-2168-re>. EDN: <https://elibrary.ru/LFETDX>
41. Ji, F., Zhou, A., Liu, B. et al. (2023). Sensitivity of *Puccinia triticina* f. sp. tritici from China to triadimefon and resistance risk assessment. *Plant Disease*, 107(12), 3877–3885. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-23-0277-RE>. EDN: <https://elibrary.ru/MHLYVD>
42. Lammari, H. I., Rehfus, A., Stammer, G., & Benslimane, H. (2020). Sensitivity of the *Pyrenophora teres* population in Algeria to quinone outside inhibitors, succinate dehydrogenase inhibitors and demethylation inhibitors. *The Plant Pa-*

- thology Journal*, 36(3), 218–230. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.09.2019.0237>. EDN: <https://elibrary.ru/NHWZXA>
43. Serenius, M., & Manninen, O. (2008). Prochloraz tolerance of *Pyrenophora teres* population in Finland. *Agriculture and Food Science*, 15(1), 35–42. <https://doi.org/10.2137/145960606777245588>. EDN: <https://elibrary.ru/MKEMZB>
44. Sheridan, J. E., Grbavac, N., & Sheridan, M. H. (1985). Triadimenol insensitivity in *Pyrenophora teres*. *Transactions of the British Mycological Society*, 85, 338–341.
45. Thind, T. S. (2022). New insights into fungicide resistance: a growing challenge in crop protection. *Indian Phytopathology*, 75(4), 927–939. <https://doi.org/10.1007/s42360-022-00550-4>. EDN: <https://elibrary.ru/UWKIPN>
46. Volkova, G., & Yakhnik, Y. (2022). *Pyrenophora teres*: population structure, virulence and aggressiveness in Southern Russia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(10), 103401. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103401>. EDN: <https://elibrary.ru/ZDQWFP>

### References

1. Volkova, G. V., Kudinova, O. A., Gladkova, E. V., Vaganova, O. F., Danilova, A. V., & Matveeva, I. P. (2018). *Virulence of pathogen populations causing rust in cereal crops*. 38 p. Krasnodar: IP Dedkova S. A. ISBN: 9785905120077. EDN: <https://elibrary.ru/YAPANV>
2. Volkova, G. V. (1995). Fungicideresistant form of the yellow wheat rust pathogen. *Agrochemistry*, (1), 79–83. EDN: <https://elibrary.ru/SJRJUV>
3. Volkova, G. V., & Yakhnik, Ya. V. (2023). Sensitivity of the barley net blotch pathogen (*Pyrenophora teres* Drechsler) to fungicides. *Russian Agricultural Science*, (6), 33–37. <https://doi.org/10.31857/S2500262723060078>. EDN: <https://elibrary.ru/NJHIXM>
4. Gvozdeva, M. S., & Volkova, G. V. (2022). Effect of the fungicide Kolosal on the population structure of the brown wheat rust pathogen in terms of pathogenicity and sensitivity traits. *Mycology and Phytopathology*, 56(1), 52–63. <https://doi.org/10.31857/S0026364822010044>. EDN: <https://elibrary.ru/ROWMIY>
5. Volkova, G. V., Yakhnik, Ya. V., Kudinova, O. A., et al. (2024). *Fungal pathogens of cereal crops: biology, distribution, harmfulness, methods of accounting, collection and storage of biomaterial. Creation of artificial infectious backgrounds: scientific and practical recommendations*. 98 p. Krasnodar: FGBNU FNTSBZR. ISBN: 9785934919741. EDN: <https://elibrary.ru/RFYZXL>
6. D'yakov, Yu. T., & Elanskiy, S. N. (2007). Population genetics of *Phytophthora infestans*. In *Mycology Today* (Vol. 1, pp. 107–139). Moscow: National Academy of Mycology

7. Volkova, G. V., Yakhnik, Ya. V., Kremneva, O. Yu., & Merzlikina, E. N. (2022). Selection of an optimal nutrient medium for cultivation of *Pyrenophora teres* Drechsler. *Bulletin of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, (3 (59)). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-3-122-127>. EDN: <https://elibrary.ru/HVVIYF>
8. Pyzhikova, G. V. (1972). Effect of temperature on infection and development of yellow wheat rust. *Mycology and Phytopathology*, 6(3), 51–53
9. Grishechkina, L. D., Dolzhenko, V. I., Kungurtseva, O. V., et al. (2020). Development of research on the formation of a modern range of fungicides. *Agrochemistry*, (9), 32–47. <https://doi.org/10.31857/S0002188120090070>. EDN: <https://elibrary.ru/FVOOLD>
10. Sanin, S. S. (1975). Methods for determining the number of spores produced by rust and other phytopathogenic fungi. *Mycology and Phytopathology*, 9(3), 443–445
11. Tyuterev, S. L. (2001). Problems of phytopathogen resistance to new fungicides. *Plant Protection Bulletin*, (1), 38–53. EDN: <https://elibrary.ru/ZISGCP>
12. Gvozdeva, M. S., Danilova, A. V., Kudinova, O. A., et al. (2024). Sensitivity of the dwarf barley rust pathogen (*Puccinia hordei* G.H. Oth.) to triazole and strobilurin fungicides. *Agrochemistry*, (11), 32–38. <https://doi.org/10.31857/S0002188124110051>. EDN: <https://elibrary.ru/AHVZMB>
13. Yakhnik, Ya. V., & Volkova, G. V. (2024). Sensitivity of the net blotch leaf pathogen (*Pyrenophora teres*) to twocomponent fungicides based on triazole and strobilurin classes. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*, (2), 127–138. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-2-127-138>. EDN: <https://elibrary.ru/SILTVB>
14. Abebe, W. (2021). Barley net blotch disease management: a review. *International Journal of Environment Agriculture Research*, 7(9), 69–81. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5554528>
15. Yang, L., Gao, F., Shang, L., Zhan, J., & McDonald, B. A. (2013). Association between virulence and triazole tolerance in the phytopathogenic fungus *Mycosphaerella graminicola*. *PLoS One*, 8(3), e59568. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059568>
16. Hussain, B., Mohiddin, M. A., Wani, S. H. et al. (2024). Characterization of barley genotypes and their biochemical responses against leaf rust (*Puccinia hordei*) disease under cold arid environment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 33(1), 185–195. <https://doi.org/10.15244/pjoes/170775>. EDN: <https://elibrary.ru/SCDXOP>
17. Yang, L. N., He, M. H., Ouyang, H. B. et al. (2019). Crossresistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action. *BMC Microbiology*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1574-8>. EDN: <https://elibrary.ru/UNUBDI>

18. Sierotzki, H., Frey, R., Wullschleger, J. et al. (2007). Cytochrome b gene sequence and structure of *Pyrenophora teres* and *P. tritici-repentis* and implications for QoI resistance. *Pest Management Science*, 63(3), 225–233. <https://doi.org/10.1002/ps.1330>
19. Danilova, A. V., & Volkova, G. V. (2022). Virulence of barley leaf rust in the South of Russia in 2017–2019. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 20(1), 1001. <https://doi.org/10.5424/sjar/2022201-18337>. EDN: <https://elibrary.ru/WIJUQZ>
20. Mair, W. J., Deng, W., Mullins, J. G. L. et al. (2016). Demethylase inhibitor fungicide resistance in *Pyrenophora teres* f. sp. *teres* associated with target site modification and inducible overexpression of *Cyp51*. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1279. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01279>. EDN: <https://elibrary.ru/XUCLWV>
21. Afanasenko, O. S., Jalli, M., Pinnschmidt, H. O. et al. (2009). Development of an international standard set of barley differential genotypes for *Pyrenophora teres* f. *teres*. *Plant Pathology*, 58(4), 665–676. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02062.x>. EDN: <https://elibrary.ru/LLWTHJ>
22. Dinglasan, E. (2019). Genetic characterization of resistance to *Pyrenophora teres* f. *teres* in the international barley differential Canadian lake shore. *Frontiers in Plant Science*, 10, 326. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00326>. EDN: <https://elibrary.ru/XUAIEQ>
23. Semar, M., Strobel, D., Koch, A. et al. (2007). Field efficacy of pyraclostrobin against populations of *Pyrenophora teres* containing the F129L mutation in the cytochrome b gene. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 114(3), 117–119. <https://doi.org/10.1007/BF03356718>. EDN: <https://elibrary.ru/DUGXKW>
24. FRAC. (2020). *List of first confirmed cases of plant pathogenic organisms resistant to disease control agents*. Brussels: CropLife International.
25. Yin, Y., Miao, J., Shao, W. et al. (2023). Fungicide resistance: progress in understanding mechanism, monitoring, and management. *Phytopathology*, 113(4), 707–718. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0370-KD>. EDN: <https://elibrary.ru/NSVMRF>
26. Cook, N. M., Chng, S., Woodman, T. L. et al. (2021). High frequency of fungicide resistance-associated mutations in the wheat yellow rust pathogen *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Pest Management Science*, 77(7), 3358–3371. <https://doi.org/10.1002/ps.6380>. EDN: <https://elibrary.ru/CURFLE>
27. Duplessis, S., Lorrain, C., Petre, B. et al. (2021). Host adaptation and virulence in heteroecious rust fungi. *Annual Review of Phytopathology*, 59(1), 403–422. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020620-121149>. EDN: <https://elibrary.ru/XYPCEI>

28. Lucas, J. A., Hawkins, N. J., & Fraaije, B. A. (2015). The evolution of fungicide resistance. *Advances in Applied Microbiology*, 90, 29–92. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2014.09.001>. EDN: <https://elibrary.ru/YEYUVV>
29. Marzani, Q. A., Swarbrick, P., & Rossall, S. (2013). Correlation of the F129L mutation in *Pyrenophora teres*, the pathogen of net blotch of barley, with the efficacy of QoI fungicides. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 3(4), 66–72. <https://doi.org/10.9790/2380-0346672>
30. Amouzoune, M., Amri, A., Benkirane, R. et al. (2022). Mining and predictive characterization of resistance to leaf rust (*Puccinia hordei* Otth.) using two subsets of barley genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01268-4>. EDN: <https://elibrary.ru/ITUWVG>
31. Nei, M. (1972). Genetic distance between populations. *The American Naturalist*, 106(949), 283–292. <https://doi.org/10.1086/282771>
32. Tomić, A., Trkulja, V., Matic, S. et al. (2024). Net blotch (*Pyrenophora teres* Drechsler): an increasingly significant threat to barley production. *Plant Protection Science*, 60(1), 1–30. <https://doi.org/10.17221/122/2023-PPS>. EDN: <https://elibrary.ru/UGGCVL>
33. Oliver, R. P. (2014). A reassessment of the risk of rust fungi developing resistance to fungicides. *Pest Management Science*, 70(11), 1641–1645. <https://doi.org/10.1002/ps.3767>
34. Peever, T. L., & Milgroom, M. G. (1993). Genetic correlations in resistance to sterol biosynthesisinhibiting fungicides in *Pyrenophora teres*. *Phytopathology*, 83(10), 1076–1082. <https://doi.org/10.1094/Phyto-83-1076>
35. Backes, A., Guerriero, G., Ait Barka, E., & Jacquard, C. (2021). *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control. *Frontiers in Plant Science*, 12, 614951. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.614951>. EDN: <https://elibrary.ru/COHFHY>
36. Ransom, J. K., & McMullen, M. V. (2008). Yield and disease control on hard winter wheat cultivars with foliar fungicides. *Agronomy Journal*, 100(4), 1130–1137. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0397>
37. Russell, P. E. (1995). Fungicide resistance: occurrence and management. *The Journal of Agricultural Science*, 124(3), 317–323. <https://doi.org/10.1017/S0021859600073275>
38. Russell, P. E. (2003). *Sensitivity baselines in fungicide resistance research and management* (FRAC Monograph No. 3). Brussels: CropLife International.
39. SánchezTorres, P. (2021). Molecular mechanisms underlying fungicide resistance in citrus postharvest green mold. *Journal of Fungi*, 7(9), 783–801. <https://doi.org/10.3390/jof7090783>. EDN: <https://elibrary.ru/YUQQJN>

40. Zhan, G., Ji, F., Zhao, J. et al. (2022). Sensitivity and resistance risk assessment of *Puccinia striiformis* f. sp. tritici to triadimefon in China. *Plant Disease*, 106(6), 1690–1699. <https://doi.org/10.1094/pdis-10-21-2168-re>. EDN: <https://elibrary.ru/LFETDX>
41. Ji, F., Zhou, A., Liu, B. et al. (2023). Sensitivity of *Puccinia triticina* f. sp. tritici from China to triadimefon and resistance risk assessment. *Plant Disease*, 107(12), 3877–3885. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-23-0277-RE>. EDN: <https://elibrary.ru/MHLYVD>
42. Lammari, H. I., Rehfus, A., Stammler, G., & Benslimane, H. (2020). Sensitivity of the *Pyrenophora teres* population in Algeria to quinone outside inhibitors, succinate dehydrogenase inhibitors and demethylation inhibitors. *The Plant Pathology Journal*, 36(3), 218–230. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.09.2019.0237>. EDN: <https://elibrary.ru/NHWZXA>
43. Serenius, M., & Manninen, O. (2008). Prochloraz tolerance of *Pyrenophora teres* population in Finland. *Agriculture and Food Science*, 15(1), 35–42. <https://doi.org/10.2137/145960606777245588>. EDN: <https://elibrary.ru/MKEMZB>
44. Sheridan, J. E., Grbavac, N., & Sheridan, M. H. (1985). Triadimenol insensitivity in *Pyrenophora teres*. *Transactions of the British Mycological Society*, 85, 338–341.
45. Thind, T. S. (2022). New insights into fungicide resistance: a growing challenge in crop protection. *Indian Phytopathology*, 75(4), 927–939. <https://doi.org/10.1007/s42360-022-00550-4>. EDN: <https://elibrary.ru/UWKIPN>
46. Volkova, G., & Yakhnik, Y. (2022). *Pyrenophora teres*: population structure, virulence and aggressiveness in Southern Russia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(10), 103401. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103401>. EDN: <https://elibrary.ru/ZDQWFP>

### ДАнные об авторах

**Гвоздева Мария Сергеевна**, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений» ул. им. Калинина, 62, г. Краснодар, 350039, Российская Федерация maria-v23@mail.ru*

**Кудинова Ольга Александровна**, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»*

*ул. им. Калинина, 62, г. Краснодар, 350039, Российская Федерация  
alosa@list.ru*

**Яхник Яна Викторовна**, научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный научный центр биологической защиты растений»  
ул. им. Калинина, 62, г. Краснодар, 350039, Российская Федерация  
yahnik1@mail.ru*

**Руденко Валерия Денисовна**, научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный научный центр биологической защиты растений»  
ул. им. Калинина, 62, г. Краснодар, 350039, Российская Федерация  
agarovaleraa@ya.ru*

**Волкова Галина Владимировна**, д.б.н., главный научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный научный центр биологической защиты растений»  
ул. им. Калинина, 62, г. Краснодар, 350039, Российская Федерация  
galvol.bpp@yandex.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Maria S. Gvozdeva**, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases

*Federal Research Center of Biological Plant Protection  
62, Kalinina Str., Krasnodar, 350039, Russian Federation  
maria-v23@mail.ru*

*SPIN-code: 3524-9667*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9141-6647>*

*ResearcherID: ABA-9852-2020*

*Scopus Author ID: 57828466900*

**Olga A. Kudinova**, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases

*Federal Research Center of Biological Plant Protection  
62, Kalinina Str., Krasnodar, 350039, Russian Federation*

*alosa@list.ru*

*SPIN-code: 8598-2352*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0568-4312>ResearcherID: K-8630-2018*

*Scopus Author ID: 57212106679*

**Yana V. Yakhnik**, Research Fellow at the Laboratory of Plant Immunity to Diseases

*Federal Research Center of Biological Plant Protection*

*62, Kalinina Str., Krasnodar, 350039, Russian Federation*

*yahnik1@mail.ru*

*SPIN-code: 7453-5768*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3410-7928>*

*ResearcherID: ABD-9845-2021*

*Scopus Author ID: 57802986700*

**Valeria D. Rudenko**, Research Fellow at the Laboratory of Plant Immunity to Diseases

*Federal Research Center of Biological Plant Protection*

*62, Kalinina Str., Krasnodar, 350039, Russian Federation*

*agapovaleraa@ya.ru*

*SPIN-code: 9931-6807*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7296-3565>*

*ResearcherID: ABA-9862-2020*

*Scopus Author ID: 57535982300*

**Galina V. Volkova**, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases

*Federal Research Center of Biological Plant Protection*

*62, Kalinina Str., Krasnodar, 350039, Russian Federation*

*galvol.bpp@yandex.ru*

*SPIN-code: 1949-6965*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3696-2610>*

*ResearcherID: E-3950-2014*

*Scopus Author ID: 7005497728*

Поступила 10.04.2025

После рецензирования 20.05.2025

Принята 25.05.2025

Received 10.04.2025

Revised 20.05.2025

Accepted 25.05.2025