

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВОЗБУДИТЕЛЯ СЕТЧАТОЙ ПЯТНИСТОСТИ ЛИСТЬЕВ ЯЧМЕНЯ (*Pyrenophora teres* Drechsler) К ФУНГИЦИДАМ*

Г. В. Волкова, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН,
Я. В. Яхник, аспирант

Федеральный научный центр биологической защиты растений,
350039, Краснодар, п/о 39
E-mail: galvol.bpp@yandex.ru

Исследование проводили с целью изучения влияния фунгицидов различных классов на внутривидовую структуру *Pyrenophora teres* по чувствительности к токсикантам, вирулентности и расовому составу. Схема опыта предусматривала изучение восьми вариантов обработки препаратами Магнелло, КЭ (1 л/га), Капелла, МЭ (1 л/га), Колосаль Про, КМЭ (0,4 л/га), Квадрис, СК (1,2 л/га), Амистар Трио, КЭ (1 л/га), Оргамика С, Ж (0,4 л/га) растений ячменя озимого и их внесения на питательную среду с чистой культурой *P. teres* в дозах 25 %, 50 %, 75 %, 100 %, 125 %, 150 %, 175 %, 200 % от нормы (контроль – без обработки). Расовый состав популяций определяли с использованием международного набора сортодифференциаторов. При обработке фунгицидами растений разрешенной для применения в сельском хозяйстве нормой минимальная эффективность выявлена у препаратов Квадрис, СК (52,3 %), Оргамика С, Ж (66,8 %), максимальные – Магнелло, КЭ (88,2 %) и Колосаль Про, КМЭ (97,0 %). Средняя вирулентность популяции, выделенной после применения Квадрис, СК, была самой высокой – 3,4 балла. Наибольшее расовое разнообразие выявлено в популяциях *P. teres*, выделенных после обработки Магнелло, КЭ (CF=0,10) и Квадрис, СК (CF=0,10). Самая высокая внутривидовая гетерогенность отмечена в вариантах с препаратами на основе триазолов и *Bacillus amyloliquefaciens* – Колосаль Про, КМЭ (Sh=2,16), Капелла, МЭ, (Sh=2,14), Магнелло, КЭ (Sh=2,10) и Оргамика С, Ж (Sh=2,12). При внесении разрешенной нормы препаратов в чистую культуру *P. teres* в среднем рост колоний замедлился от 86,1 % (Квадрис, СК) до 100 % (Амистар Трио, КЭ). Препараты на основе стробилуринов и *Bacillus amyloliquefaciens* полностью предотвращали спорообразование. Полученные результаты позволяют сделать вывод о сдвиге чувствительности к исследуемым препаратам.

SENSITIVITY OF THE CAUSATIVE AGENT OF NET BLOTCH OF BARLEY (*Pyrenophora teres* Drechsler) TO FUNGICIDES

G. V. Volkova, Ya. V. Yakhnik

Federal Research Center of Biological Plant Protection,
350039, Krasnodar, p/o 39
E-mail: galvol.bpp@yandex.ru

The research was carried to study the effect of fungicides of various classes on the intrapopulation structure of *Pyrenophora teres* in terms of sensitivity to toxicants, virulence and racial composition. The work was performed using eight treatment options in different doses (control without fungicide, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % (the norm), 125 %, 150 %, 175 %, 200 %) fungicides Magnello, EC (1 l/ha), Capella, M (1 l/ha), Kolosal Pro, MC (0.4 l/ha), Quadris, SC (1.2 l/ha), Amistar Trio, EC (1 l/ha), Orgamika C, L (0.4 l/ha) of plants and introduction to a nutrient medium with a pure culture of *P. teres*. The racial composition of the populations was determined using an international set of differentiator varieties. When treating plants with fungicides with the norm allowed for use in agriculture, the minimum efficiency values were found in the preparations Quadris, SC (52.3 %), Orgamika C, L (66.8 %), the maximum – Magnello, EC (88.2 %) and Kolosal Pro, MC (97.0 %). The average virulence of the population isolated after Quadris, SC treatment was revealed to be maximum – 3.4 points (at the control level). The greatest racial diversity was found in *P. teres* populations isolated after treatment with fungicides based on triazoles Magnello, EC (CF=0.10) and strobilurines Quadris, SC (CF=0.10). The maximum intrapopulation heterogeneity was revealed in populations isolated after treatment with fungicides based on triazoles and *Bacillus amyloliquefaciens*: Kolosal Pro, MC (Sh=2.16), Capella, M (Sh=2.14), Magnello, EC (Sh=2.10) and Orgamika C, L (Sh=2.12). When introducing the permitted rate of drugs into the pure culture of *P. teres*, on average, the growth of colonies slowed down from 86.1 % (Quadris, SC) to 100 % (Amistar Trio, EC). Preparations based on strobilurines and *Bacillus amyloliquefaciens* completely prevented sporulation. The results obtained allow us to conclude that there is a shift in sensitivity to the studied drugs.

Ключевые слова: ячмень озимый, сетчатая пятнистость листьев, *Pyrenophora teres*, фунгициды, резистентность.

Key words: winter barley, net blotch of barley, *Pyrenophora teres*, fungicides, resistance.

Сетчатая пятнистость ячменя (возбудитель – аскомицет *Pyrenophora teres* (Died.) Drechsler) – одно из наиболее вредоносных листовых заболеваний, снижающее как качество, так и количество зерна [1]. Патоген распространен в большинстве регионов выращивания культуры, но наиболее серьезной проблемой становится в областях с умеренным климатом и высокой влажно-

стью. Несмотря на общемировую тенденцию экологизации сельскохозяйственного производства, самым распространенным и эффективным методом борьбы с заболеванием остается обработка фунгицидами [2]. Повсеместное, многократно повторяющееся в течение одного сезона использование пестицидов сопровождается рядом деструктивных последствий, к числу которых относят

*исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0004 (стробилурины, бактериальные фунгициды+биологические пестициды) и гранта Наставник-21.1/48 Кубанского научного фонда (триазолы).

снижение чувствительности фитопатогена и появление резистентных штаммов [3]. Устойчивость к фунгицидам в популяции патогена развивается быстрее при высокой исходной частоте резистентных к действующему веществу препарата штаммов. Применение фунгицидов на основе стробилуринов и триазолов стабилизировало фитосанитарное состояние посевов ячменя в 1980–1990-х гг. благодаря внедрению в технологии защиты препаратов, содержащих принципиально новые действующие вещества с высокой специфичностью, широким спектром контролируемых фитопатогенов и пролонгированным периодом защиты. На сегодняшний день накопление в агроценозах наиболее устойчивых фитопатогенных микроорганизмов приводит к снижению эффективности обработок [3]. Увеличение норм расхода и кратности их проведения, а также применение новых фунгицидов приводит к накоплению устойчивых штаммов, стимулируя их распространение [4].

Фунгициды триазолового класса благодаря высокой эффективности, возможности сочетания с другими препаратами, широкому спектру действия относятся к наиболее распространённым и продаваемым препаратам. Триазолы применяют как для предпосевной обработки семян, так и для опрыскивания вегетирующих растений [2]. Механизм их действия заключается в ингибировании биосинтеза стерина, что приводит к нарушению функционирования клеточных мембран, клеточного деления, задержке роста и полового размножения гриба [5].

Стробилуриновые фунгициды относят к классу препаратов с высокой биологической активностью и специфическим механизмом действия, вследствие чего за последние два десятилетия их широко применяют в сельскохозяйственном производстве [6]. Стробилурины блокируют убухинооксидазу (цитохром *bc1*, СУТВ, ген *cut b*) и ингибируют митохондриальное дыхание грибов [4].

В последние годы в отрасли востребованы бактериальные фунгициды, которые стимулируют рост растения и обеспечивают защиту от болезней [7]. Прямые механизмы положительного действия бактерий *Bacillus amyloliquefaciens* заключаются в фиксации азота, солиubilизации фосфатов, выработке сидерофоров и фитогормонов (индол-3-уксусная кислота, 1-амиклоциклопропан-1-карбоксилат деаминаза). Косвенный механизм связан с выделением антимикробных соединений (цианистый водород, циклические липопептиды и др.), что повышает устойчивость растений к конкурирующим микроорганизмам, включая патогенные бактерии, грибы и вирусы.

Краснодарский край считают зоной интенсивного ведения сельского хозяйства, поэтому возникает необходимость в комплексном исследовании чувствительности популяции фитопатогенного гриба *P. teres* к фунгицидам различных химических классов и биологическим препаратам.

Цель исследования – оценить влияние фунгицидов различных классов на внутривидовую структуру *Pyrenophora teres* по чувствительности к токсикантам, вирулентности и расовому составу для разработки научно обоснованной антирезистентной стратегии защиты посевов ячменя при использовании современного ассортимента фунгицидов.

Методика. Работу проводили в 2022–2023 гг. на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) с использованием уникальной научной установки «Фитотрон для выделения, идентификации, изучения и поддержания рас, штаммов, фенотипов патогенов» (<https://ckp-rf.ru/>

[catalog/usu/671925/](https://ckp-rf.ru/)) и объектов биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов». Образцы растений с признаками поражения отбирали на естественном инфекционном фоне производственных посевов озимого ячменя в Краснодарском крае.

В опыте изучали четыре препарата, содержащих действующие вещества одного химического класса (стробилурины – Квадрис, СК (250 г/л азоксистробина); триазолы – Колосаль Про, КМЭ (300 г/л пропиконазола + 200 г/л тебуконазола), Капелла, МЭ (30 г/л дифеноконазола + 120 г/л пропиконазола + 60 г/л флутриафола), Магнелло, КЭ (100 г/л дифеноконазола + 250 г/л тебуконазола)), комбинированный препарат с действующими веществами обоих исследуемых химических классов фунгицидов (Амистар Трио, КЭ (100 г/л азоксистробина + 125 г/л пропиконазола + 30 г/л ципроконазола)), а также используемый в производстве перспективный пестицид на основе *Bacillus amyloliquefaciens* (Оргамика С, Ж (*Bacillus amyloliquefaciens*, титр 5×10^9 КОЕ/мл)). Чувствительность к препаратам исследовали на интактных растениях и в чистой культуре *P. teres*. Схема эксперимента предусматривала изучение восьми вариантов норм применения в процентном соотношении к разрешённой в сельском хозяйстве: 0 % (контроль – без фунгицида), 25 %, 50 %, 75 %, 100 % (разрешённая норма), 125 %, 150 %, 175 %, 200 %.

Исследования проводили в условиях климатокмеры Binder KBWF 720 (температура +22,0 °С, влажность 80 %, освещённость 13000 люкс) на растениях, посеянных в вазоны (объём 0,5 л) по 12...15 шт. в каждом (повторность – трехкратная). Инокуляцию восприимчивого сорта озимого ячменя Романо возбудителем сетчатой пятнистости проводили методом опрыскивания (концентрация 40×10^3 конидий на 1 мл) в стадии двух развернутых листьев, затем растения на сутки помещали в полиэтиленовые изоляторы [8]. Обработку фунгицидами осуществляли через 3 суток после инокуляции, учёт – через 7 дней после применения препаратов [1].

Чувствительность патогена к фунгицидам определяли по трём параметрам: развитие болезни после обработки растений препаратами с различной нормой применения, скорость роста колоний изолятов *P. teres* и интенсивность споруляции на питательной среде.

Для исследования в чистой культуре *P. teres* в чашки Петри вносили растворы с установленной для каждого препарата нормой согласно методике Чекмарева [9] (повторность – трехкратная). Скорость роста патогена определяли после инкубации через 7 дней путем измерения диаметра колоний, интенсивность споруляции рассчитывали через 10 дней [9]. Расовый состав популяции определяли с использованием международного набора дифференцирующих сортов [8]. Для эксперимента были взяты по 20 изолятов *P. teres*, отобранных с растений ячменя через трое суток после обработки разрешённой для применения в сельском хозяйстве нормой фунгицидов.

Биологическую эффективность (БЭ) рассчитывали по формуле Аббота, полуэффективную концентрацию (EC_{50}) – с использованием сервиса «Quest Graph™ EC50 Calculator». Наличие статистических различий между выборками оценивали с помощью критерия Фишера ($\alpha=0,05$), связь между признаками – по шкале Чеддока. Величину средней вирулентности определяли, как средний балл развития болезни каждого дифференцирующего сорта на изоляте гриба. Изоляты с идентичными фенотипами, образовавшиеся в результате клонального размножения одного изолята, составили клональную фракцию популяции (CF). Уровень генетического разно-

Табл. 1. Развитие сетчатой пятнистости листьев на растениях ячменя после обработки фунгицидами различных классов, сорт Романс (тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2023 г.)

Фунгицид	ЕС ₅₀ [*] мг/мл	Развитие болезни, балл								
		0 %*	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %
Магнелло, КЭ	4,7	4,2±0,2	2,7±0,8	2,7±0,5	2,3±0,4	0,5±0,4	0,6±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0
Биологическая эффективность	-	-	36,8	36,8	44,7	88,2	86,8	92,1	94,1	100,0
Капелла, МЭ	3,4	4,2±0,2	3,8±0,4	2,8±0,4	3±0,2	0,9±0,1	0,8±0,1	0,6±0,1	0,3±0,1	0,1±0,1
Биологическая эффективность	-	-	11,2	34,9	28,9	78,9	82,2	86,8	94,1	97,4
Колосаль Про, КМЭ	1,4	4,2±0,2	3,3±0,4	0,9±0,1	0,3±0,1	0,1±0,1	0,4±0,1	0,4±0,1	0,3±0,1	0
Биологическая эффективность	-	-	21,1	78,9	92,1	97,0	89,5	97,6	97,6	100,0
Квадрис, СК	21,2	4,2±0,2	3,0±0,4	2,4±0,2	2,2±0,2	2,0±0,4	1,2±0,1	0,8±0,1	0,6±0,1	0,2±0,1
Биологическая эффективность	-	-	28,9	43,2	47,9	52,3	71,6	81,1	85,8	95,3
Амистар Трио, КЭ	13,0	4,2±0,2	2,0±0,1	1,6±0,1	1,6±0,1	1,0±0,1	1,2±0,1	0,6±0,1	0,6±0,1	0,4±0,1
Биологическая эффективность	-	-	52,6	62,1	62,1	76,3	71,6	85,8	85,8	90,5
Органика С, Ж	3,6	4,2±0,2	3,2±0,2	3,0±0,1	2,2±0,1	1,4±0,1	0,8±0,1	0,6±0,1	0,6±0,1	0,4±0,1
Биологическая эффективность	-	-	24,2	28,9	47,9	66,8	81,1	85,8	85,8	90,5

*норма применения от разрешенной в сельском хозяйстве, %.

образия *P. teres* описывали с помощью индекса Шеннона [10]. Расчет проводили с использованием программного обеспечения Statistica версии 13.3 (<http://statsoft.ru/products/trial/>).

Результаты и обсуждение. В вегетационном опыте при обработке растений ячменя фунгицидами различных классов было установлено, что внесение препаратов в норме 25 % от разрешенной для применения в сельском хозяйстве ингибирует развитие патогена. Их биологическая эффективность при такой концентрации варьировала от 11,2 % (Капелла, МЭ) до 52,6 % (Амистар Трио, КЭ) (табл. 1).

Наибольшую эффективность при обработке разрешенной для применения в сельском хозяйстве нормой отмечали при использовании препаратов на основе триазолов – Колосаль Про, КМЭ (97,0 %) и Магнелло, КЭ (88,2 %). Наименьшая эффективность (52,3 %) выявлена в варианте с Квадрис, СК (стробилурины). Эффективность препарата на бактериальной основе Органика С, Ж составила 66,8 %. Полное подавление развития патогена на растениях установлено при обработке в двойных от разрешенных в сельском хозяйстве нормах применения препаратами Колосаль Про, КМЭ и Магнелло, КЭ. Отмечена достаточно высокая эффективность средства на биологической основе Органика С, Ж. Увеличение его нормы от разрешенной в сельском хозяйстве на 25 % способствовало росту эффективности применения до 81,1 %, что сопоставимо с величиной этого показателя у химических фунгицидов.

Современная защита растений предполагает не полное истребление патогенных организмов, а ограничение их негативного воздействия и сбалансированные взаимоотношения между организмами для обеспечения стратегии устойчивого развития агроэкосистемы и запуска таких частных саморегулятивных процессов, как иммунный ответ растения на заражение и активация существующих генов устойчивости [11]. Определение полуэффективной концентрации применения препаратов (ЕС₅₀) выявило широкий диапазон ингибирования жизнедеятельности патогена. Достаточно высокую эффективность замедления его роста наблюдали после обработки препаратом на основе триазолов Капелла, МЭ (ЕС₅₀ 3,4 мг/мл) и на бактериальной основе Органика С, Ж (ЕС₅₀ 3,6 мг/мл). При использовании химических

фунгицидов на основе стробилуринов отмечена наименьшая в опыте полуэффективная концентрация таких фунгицидов, как Амистар Трио, КЭ – ЕС₅₀ 13,0 мг/мл и Квадрис, СК – ЕС₅₀ 21,2 мг/мл. Применение против сетчатой пятнистости листьев фунгицидов на основе триазолов свидетельствует о достаточно высоком уровне защиты листьев от патогена внутри листовой пластины, а также обеспечении «лечащего эффекта» [5].

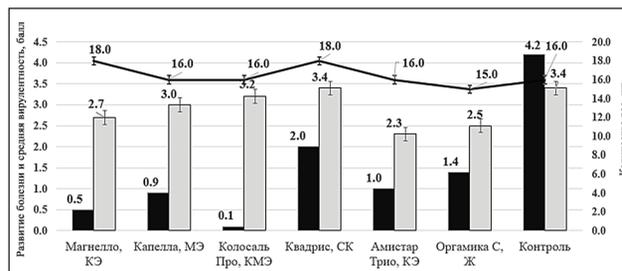


Рис. 1. Развитие болезни, средняя вирулентность и количество рас в популяциях *Pyrenophora teres*, собранных после обработки растений ячменя фунгицидами, сорт Романс (тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2023 г.): ■ – развитие болезней, балл; □ – средняя вирулентность, балл; — — — развитие болезней, балл.

Для популяции гриба *P. teres*, выделенной после обработки изучаемыми препаратами интактных растений ячменя сорта Романс, наиболее эффективным химическим фунгицидом был Колосаль Про, КМЭ, средняя вирулентность которого составила 3,2 балла. Также высокие показатели средней вирулентности отмечены у популяции гриба, выделенной после обработки препарата с достаточно высокой эффективностью, Капелла, МЭ (3,0 балла) и препарата с наименьшей среди опытных вариантов эффективностью Квадрис, СК (3,4). Корреляции между развитием болезни после обработки фунгицидами различных химических классов и средней вирулентностью выделенных популяций не установлено ($r=0,086$). Наибольшее количество рас (18 шт.) отмечено в популяциях *P. teres* после обработки двухкомпонентным препаратом на основе триазола Магнелло, КЭ и однокомпонентным препаратом на основе стробилурина Квадрис, СК (рис. 1).

Табл. 2. Гетерогенность популяций гриба, выделенных с растений после обработки различными фунгицидами (ФГБНУ ФНЦБЗР, 2023 г.)

Критерий	Магнелло, КЭ	Капелла, МЭ	Колосаль Про, КМЭ	Квадрис, СК	Амистар Трио, КЭ	Органика С, Ж	Контроль (без обработки)
Клональная фракция (CF)	0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,25	0,20
Индекс Шеннона (Sh)	2,10	2,14	2,16	2,09	2,07	2,12	2,00

Табл. 3. Ингибирование роста колоний *Puynophora teres* при внесении фунгицидов на питательную среду (ФГБНУ ФНЦБЗР, 2023 г.), мм

Фунгицид	ЕС _{50*} мг/мл	Развитие болезни, балл								
		0 %*	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %
Магнелло, КЭ, Биологическая эффективность	0,004	50,3±3,6	2,6±0,8	2,6±0,5	2,3±0,4	0,5±0,3	0,6±0,1	0,1±0,1	0	0
Капелла, МЭ Биологическая эффективность	0,007	50,3±3,6	3,8±0,4	2,8±0,4	1,7±0,2	0,9±0,1	0,8±0,1	0,6±0,1	0,1±0,1	0
Колосаль Про, КМЭ Биологическая эффективность	0,25	50,3±3,6	3,3±0,4	0,9±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0	0
Квадрис, СК Биологическая эффективность	0,43	50,3±3,6	16,0±0,8	8,0±0,4	6,6±0,7	7,0±0,4	5,0±0,4	4,0±0,4	2,6±0,1	0,5±0,1
Амистар Трио, КЭ Биологическая эффективность	0,87	50,3±3,6	6,7±0,3	0,1±0,1	0,0	0,0	0,8±0,1	0,4±0,1	0	0
Оргамика С, Ж Биологическая эффективность	0,06	50,3±3,6	5,6±0,3	1,6±0,1	2,3±0,1	2,6±0,1	1,6±0,1	0,0	0,4±0,1	0

*норма применения от разрешенной в сельском хозяйстве, %.

Самое высокое разнообразие расового состава выявлено у популяций, отобранных после обработки препаратами Магнелло, КЭ и Квадрис, СК (CF=0,10). Клональная фракция популяций гриба, выделенных с растений после применения фунгицидов Капелла, МЭ, Колосаль Про, КМЭ и Амистар Трио, КЭ, находилась на уровне контроля (CF=0,20). Минимальное расовое разнообразие (CF=0,25) отмечено в популяции *P. teres* после обработки препаратом на бактериальной основе Оргамика С, Ж (табл. 2).

Согласно статистическому индексу Шеннона, характеризующему популяционное разнообразие, наибольшая гетерогенность была свойственна популяциям *P. teres*, отобранным после обработки препаратами на основе триазолов и *Bacillus amyloliquefaciens*: Колосаль Про, КМЭ – 2,16, Капелла, МЭ – 2,14, Оргамика С, Ж – 2,12, Магнелло, КЭ – 2,10. Индекс разнообразия в популяциях гриба в вариантах с препаратами, содержащими действующие вещества из класса стробилуринов, был ниже: Кварис, СК (стробилурины) – 2,09, Амистар Трио, КЭ (стробилурины+триазолы) – 2,07. Такие результаты согласуются с данными других исследователей об ингибировании соединениями этого химического класса полового и конидиального размножения микромицетов, что препятствует расширению спектра расового разнообразия [6, 12]. Минимальное в опыте генетическое разнообразие выявлено в контроле – 2,0. Полученные результаты свидетельствуют о высокой гетерогенности популяций гриба *P. teres*, выделенных после обработки фунгицидами различных химических классов.

В лабораторном опыте, проведенном с чистой культурой *P. teres*, внесение фунгицидов на питательную среду даже в заниженной норме привело к ингибированию роста колоний (табл. 3). Эффективность препаратов составляла от 86,5 % (Амистар Трио, КЭ) до 94,8 % (Магнелло, КЭ). Исключение выявлено при использовании однокомпонентного препарата на основе стробилурина Квадрис, СК, эффективность которого была ниже,

чем у других испытываемых фунгицидов, и составляла 68,2 %. В вариантах с внесением препаратов в норме 50 % от разрешенной для применения в сельском хозяйстве рост колоний происходил на мицелиальном диске, занимая незначительное пространство на среде с фунгицидом. При этом образовывался стерильный белый мицелий, характерный для выращивания на обедненной среде с недоступными питательными веществами (рис. 2 а), что согласуется с результатами других исследователей [13].



Рис. 2. Ингибирование образования морфологических структур *Puynophora teres*: а) образование стерильного слабо структурированного белого мицелия при внесении на питательную среду препарата Оргамика С, Ж; б) ингибирование нормальной споруляции и единичное формирование 2...4 септированных конидий гриба при внесении на питательную среду препарата Магнелло, КЭ; в) нормальное спорообразование в контрольном варианте (ФГБНУ ФНЦБЗР, 2023 г., ориг.).

Внесение на питательную среду фунгицидов в значительной степени ингибировало споруляцию (табл. 4). Средняя споруляция в контрольном варианте составляла $13,5 \pm 2,7 \times 10^3$ шт./мл. Минимальное в опыте ингибирование спорообразования *P. teres* выявлено под влиянием препарата Магнелло, КЭ – в среднем по вариантам опыта $1,3 \pm 0,1 \times 10^3$ шт./мл (см. рис. 2 б). В среднем в вариантах с препаратами Капелла, МЭ и Колосаль Про, КМЭ отмечен одинаковый уровень ингибирования споруляции гриба – $0,4 \pm 0,01 \times 10^3$ шт./мл. Препараты группы триазолов негативно влияют на органогенез конидиеносцев, конидий и других морфологических структур, что приводит к замедлению, либо полному отсутствию повторного заражения.

Табл. 4. Ингибирование споруляции *Puynophora teres* при внесении фунгицидов на питательную среду (ФГБНУ ФНЦБЗР, 2023 г.), $\times 10^3$ шт./мл

Фунгицид	Развитие болезни, балл								
	0 %*	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %
Магнелло, КЭ	13,5±1,0	0,9±0,4	3,6±0,7	0	1,0±0,0	2,7±0,4	0,7±0,4	1,6±0,4	0
Биологическая эффективность	-	93,3	73,3	100,0	92,6	80,0	94,8	88,1	100,0
Капелла, МЭ	13,5±1,0	0,8±0,4	1,8±0,6	0,3±0,4	0	0	0	0	0
Биологическая эффективность	-	94,1	86,7	97,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Колосаль Про, КМЭ	13,5±1,0	0,0	1,2±0,4	1,7±0,4	0	0	0	0	0
Биологическая эффективность	-	100,0	91,1	87,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Квадрис, СК	13,5±1,0	0	0	0	0	0	0	0	0
Биологическая эффективность	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Амистар Трио, КЭ	13,5±1,0	0	0	0	0	0	0	0	0
Биологическая эффективность	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Оргамика С, Ж	13,5±1,0	0,3±0,4	0,1±0,4	0,1±0,4	0	0	0	0	0
Биологическая эффективность	-	97,8	99,3	99,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Препараты на основе стробилуринов полностью ингибировали спорообразование. Конидии отсутствовали в чашках Петри даже с минимальным содержанием фунгицидов Амистар Трио, КЭ и Квадрис, СК, что согласуется со сведениями других авторов [6].

Выводы. Эффективность фунгицидов при обработке интактных растений ячменя, пораженных *P. teres*, и *in vitro* в разрешенной для применения в сельском хозяйстве нормой значительно варьировала в зависимости от действующего вещества в составе токсиканта. Препараты на основе триазолов сильнее ингибировали развитие патогена на растениях и рост колоний на питательной среде. Наименьшая эффективность обработки растений разрешенной для применения в сельском хозяйстве нормой отмечена для однокомпонентного препарата на основе стробилурина (Квадрис, СК–52,6%), самая высокая – при использовании двухкомпонентного препарата на основе триазолов (Колосаль Про, КМЭ – 97,0%).

Наибольшее расовое разнообразие выявлено в популяциях *P. teres*, выделенных после обработки фунгицидами на основе триазолов Магнелло, КЭ (CF=0,10) и стробилуринов Квадрис, СК (CF=0,10), внутрипопуляционная гетерогенность – в популяциях, отобранных после использования препаратов на основе триазолов и *Bacillus amyloliquefaciens* (Sh от 2,10 до 2,16).

В среднем во всех вариантах при внесении разрешенной для применения в сельском хозяйстве нормы препаратов рост колоний патогена замедлялся от 86,1% (Квадрис, СК (стробилурины)) до 100% (Амистар Трио, КЭ (стробилурины+триазолы)). Препараты на основе стробилуринов и *B. amyloliquefaciens* полностью предотвращали спорообразование.

Литература.

1. Worku A. Barley Net Blotch Disease Management: A Review // *Agriculture Journal IJOEAR*. 2021. No. 7. P. 69–81.
2. Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы / Т. П. Побежимова, А. В. Корсукова, Н. В. Дорофеев и др. // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2019. Т. 9. № 3 (30). С. 461–476. doi: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476.
3. Deising H. B., Reimann S., Pascholati S. F. Mechanisms and significance of fungicide resistance // *Brazilian Journal of Microbiology*. 2008. No. 39. P. 286–295. doi: 10.1590/S1517-838220080002000017.
4. Lucas J. A., Hawkins N. J., Fraaije B. A. The evolution of fungicide resistance // *Advances in Applied Microbiology*. 2015. No. 90. P. 29–92. doi: 10.1016/bs.aambs.2014.09.001.
5. Андреева Е. И., Зинченко В. А. Системные фунгициды – ингибиторы биосинтеза эргостерина // *АгроXXI*. 2002. № 4. С. 14–15.
6. Kinetics and new mechanism of azoxystrobin biodegradation by an *Ochrobactrum anthropi* strain SH14 / Y. Feng, W. Zhang, S. Pang, et al. // *Microorganisms*. 2020. Vol. 8. No. 5. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7284741/> (дата обращения: 10.08.23).
7. A Review on the Biotechnological Applications of the Operational Group *Bacillus amyloliquefaciens* / M. S. Ngalimat, R. S. R. Yahaya, M. M. Baharudin, et al. // *Microorganisms*. 2021. Vol. 9. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2607/9/3/614> (дата обращения: 10.08.23). doi: 10.3390/microorganisms9030614.
8. Development of an international standard set of barley differential genotypes for *Pyrenophora teres* f. *teres* / O. S. Afanasenko, M. Jalli, H. O. Pinnschmidt, et al. // *Plant Pathology*. 2009. Vol. 58. No. 4. P. 665–676.
9. Методика определения биологической эффективности фунгицидов в отношении грибов рода *Fusarium* и их резистентности к химическим препаратам / В. В. Чекарчев, Ю. В. Зеленева, Г. Н. Бучнева и др. // Тамбов: Принт-Сервис, 2015. 61 с.
10. Shannon C. E. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University Illinois Press. 1949. 117 p.
11. Infectious plant diseases: Etiology, current status, problems and prospects in plant protection / P. A. Nazarov, B. D. Naleev, M. I. Ivanova, et al. // *Acta naturae*. 2020. Vol. 12. No. 3. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7604890/> (дата обращения: 10.08.23). doi: 10.32607/actanaturae.11026.
12. Щербачева Л. А. Развитие резистентности к фунгицидам у фитопатогенных грибов и их хемосенсибилизация как способ повышения защитной эффективности триазолов и стробилуринов // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. № 54. С. 875–891. doi: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476.
13. *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control / A. Backes, G. Guerriero, A. Barka, et al. // *Frontiers in plant science*. 2021. Vol. 12. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.614951/full> (дата обращения: 10.08.23). doi: 10.3389/fpls.2021.614951.

Поступила в редакцию 06.09.2023

После доработки 30.09.2023

Принята к публикации 24.10.2023