

УДК 632.952:632.4:633.491

## ДЕЙСТВИЕ ФУНГИЦИДОВ НА ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ФУЗАРИОЗНОЙ СУХОЙ ГНИЛИ КАРТОФЕЛЯ<sup>§</sup>

© 2024 г. А. С. Орина<sup>1,\*</sup>, О. П. Гаврилова<sup>1</sup>, И. И. Трубин<sup>1</sup>, Т. Ю. Гагкаева<sup>1</sup><sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений  
196608 Санкт-Петербург–Пушкин, шоссе Подбельского, 3, Россия

\*E-mail: orina-alex@yandex.ru

Проведена лабораторная оценка действия 4-х фунгицидов, содержащих д.в. разных химических классов, на рост штаммов 2-х доминирующих видов грибов *Fusarium* – возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля. Препарат, содержащий беномил, наиболее эффективно подавлял рост штаммов *F. sambucinum* и *F. solani* – в среднем на  $76 \pm 4\%$  по сравнению с контролем. Препарат, содержащий азоксистробин, оказался самым неэффективным из изученных – ингибирование роста штаммов составило в среднем  $35 \pm 5\%$ . Показано достоверное влияние факторов “видовая принадлежность” и “регион происхождения” штамма и их взаимодействия на чувствительность штаммов обоих видов *Fusarium* к каждому из 4-х фунгицидов. Отмечен риск развития резистентности у *F. sambucinum* к д.в. разных классов.

**Ключевые слова:** *Solanum tuberosum*, клубни, *Fusarium sambucinum*, *Fusarium solani*, фунгициды.

**DOI:** 10.31857/S0002188124030057, **EDN:** DNVNDK

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время серьезной проблемой для картофелеводства являются потери урожая, обусловленные грибными заболеваниями. Широкое распространение имеет фузариозная сухая гниль картофеля (ФСГК), вызываемая грибами рода *Fusarium*, которая снижает качество урожая в период хранения, в также ухудшает продовольственное и семенное качество клубней [1–5]. Клубни семенного картофеля, пораженные сухой гнилью в небольшой степени, становятся причиной подавления всходов картофеля и, в итоге, потерь урожая до 7–25% [1, 6]. Кроме того, при длительном хранении до 60% качественных клубней могут поражаться фузариозной сухой гнилью [6].

Показано, что с сухой гнилью клубней ассоциированы  $\approx 11$ –13 видов *Fusarium*, причем видовой состав грибов существенно варьирует в зависимости от условий выращивания картофеля [5, 7, 8]. Среди них, как правило, преобладают виды *F. sambucinum* и *F. solani* [3, 4, 7, 9, 10], также с высокой частотой встречается *F. oxysporum* [8, 11, 12]. Согласно мониторингу распространения грибов рода *Fusarium*, вызывающих ФСГК, проведенному в 2021–2022 гг., в России доминировали виды *F. sambucinum* и *F. solani* – их доли от всех изолятов

*Fusarium*, выделенных в результате микологического анализа, составили 36 и 14% соответственно.

Патогенность разных видов *Fusarium* по отношению к картофелю значительно различается, однако вид *F. sambucinum* является наиболее патогенным для клубней культуры [10, 12].

Применение фунгицидов является одним из обязательных технологических приемов возделывания картофеля [13]. Биологические и агротехнические факторы, такие как высокое генетическое и метаболическое разнообразие возбудителей *Fusarium* и растущее использование химических препаратов, могут создавать риск отбора изолятов, устойчивых к массово используемым фунгицидам [14]. В “Справочнике пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации в 2021/2022” приведено 33 фунгицидных препарата для обработки клубней картофеля на основе 19-ти действующих веществ (д.в.) из разных классов.

Чувствительность к фунгицидам значительно варьирует как у разных видов *Fusarium*, так и у штаммов одного вида [15–17]. По этой причине представляется ценным детальное изучение чувствительности возбудителей ФСГК к фунгицидам с учетом их видовой принадлежности.

Цель работы – оценка чувствительности к фунгицидам штаммов *F. sambucinum* и *F. solani* различного происхождения.

<sup>§</sup>Исследование выполнено при поддержке РНФ (проект № 23-26-00105).

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Из коллекции чистых культур микроорганизмов лаборатории микологии и фитопатологии ВИЗР в качестве объектов исследования были выбраны 23 штамма *Fusarium* spp., выделенные из клубней картофеля различного географического происхождения: Московская обл. (4 шт.), Омская обл. (3 шт.), Вологодская, Самарская обл., Чувашия (по 2 шт.), Калужская, Ленинградская, Новгородская, Рязанская, Тульская, Ярославская обл., Ставропольский край, Удмуртия (по 1 шт.). Предварительно, среди них 17 штаммов были идентифицированы как *F. sambucinum*, 6 штаммов – как *F. solani*.

Скрининг чувствительности штаммов *Fusarium* проводили методом диффузии фунгицидов в агаризованной среде [18]. Определяли влияние на рост штаммов грибов 4-х фунгицидов, содержащих д.в. из классов амиды, бензимидазолы, стробилурины, триазолы и фенилпирролы (табл. 1).

Химические препараты разводили в стерильной воде таким образом, чтобы получить концентрацию рабочего раствора для обработки клубней или почвы, содержащего максимальную норму расхода, рекомендованную для использования производителем.

В чашках Петри 90 мм с КСА объемом 20 мл стерильным пробочным сверлом диаметром 4 мм делали две лунки на расстоянии 1 см от края чашки. В каждую лунку вносили по 20 мкл раствора препарата. В контрольном варианте в лунки вносили по 20 мкл стерильной воды. Из предварительно выращенных на КСА в темноте при 25°C колоний исследованных штаммов вырезали диски диаметром 4 мм, которые мицелием вниз помещали на среду в центр каждой чашки. Эксперимент выполняли в двукратной повторности.

Через 7 сут инкубации (25°C, темнота) измеряли диаметры выросшей колонии гриба в 2-х взаимно

перпендикулярных направлениях и рассчитывали ее площадь (мм<sup>2</sup>). Ингибирующее действие препарата на рост гриба определяли как отношение разницы величин площади колонии в контроле и в варианте к площади колонии в контроле, выраженное в %.

Для статистического анализа полученных данных использовали программы Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В контрольных вариантах площадь колоний штаммов *F. sambucinum* достигала в среднем  $83.1 \pm 0.6$  мм<sup>2</sup> (диапазон составил 73.5–85.0 мм<sup>2</sup>), штаммов *F. solani* – в среднем  $65.3 \pm 1.5$  мм<sup>2</sup> (60.0–72.5 мм<sup>2</sup>) соответственно.

Все фунгициды, включенные в исследование, подавляли рост штаммов двух видов *Fusarium* (табл. 2, рис. 1).

В среднем для всех препаратов влияние фунгицидов на рост штаммов видов *Fusarium* не имело достоверных различий. Ингибирующее действие на *F. sambucinum* варьировало в диапазоне 1–95% и в среднем составило  $53 \pm 3\%$ . Ингибирующее действие препаратов на рост штаммов *F. solani* варьировало от 9 до 95% и в среднем составило  $53 \pm 7\%$ .

В отношении штаммов двух видов *Fusarium* наибольший ингибирующий эффект проявил препарат, содержащий беномил 500 г/кг – при его добавлении в питательную среду рост колоний в среднем снижался на  $76 \pm 4\%$  по сравнению с контролем.

Ранее беномил и тиабендазол, которые относятся к классу бензимидазолов, продемонстрировали высокую эффективность против большинства видов грибов *Fusarium*, вызывающих сухую гниль [11, 12, 19, 20], причем в отдельных исследованиях подавление роста грибов *Fusarium* при добавлении беномила

**Таблица 1.** Фунгицидные препараты, включенные в исследование

Препарат	Действующее вещество (д.в.)	Норма расхода кг, л*	Применение	Концентрация д.в. (г/л) в рабочем растворе
Бенорад, СП	Беномил 500 г/кг	0.5–1.0	Предпосадочная обработка клубней. Расход рабочей жидкости – 2 л/т	250
Максим, КС	Флудиоксонил 25 г/л	0.4	Опрыскивание клубней перед закладкой на хранение. Расход рабочей жидкости – до 10 л/т	1
Квадрис, СК	Азоксистробин 250 г/л	3	Опрыскивание почвы во время посадки клубней. Расход рабочей жидкости – 80–200 л/га.	9
Эместо Сильвер, КС	Пенфлуфен 100 г/л + протиоконазол 18 г/л	0.4	Обработка клубней до или во время посадки. Расход рабочей жидкости – 10–20 л/т	4 + 0.7

\* Норма расхода отпределена с использованием инструкции производителя.

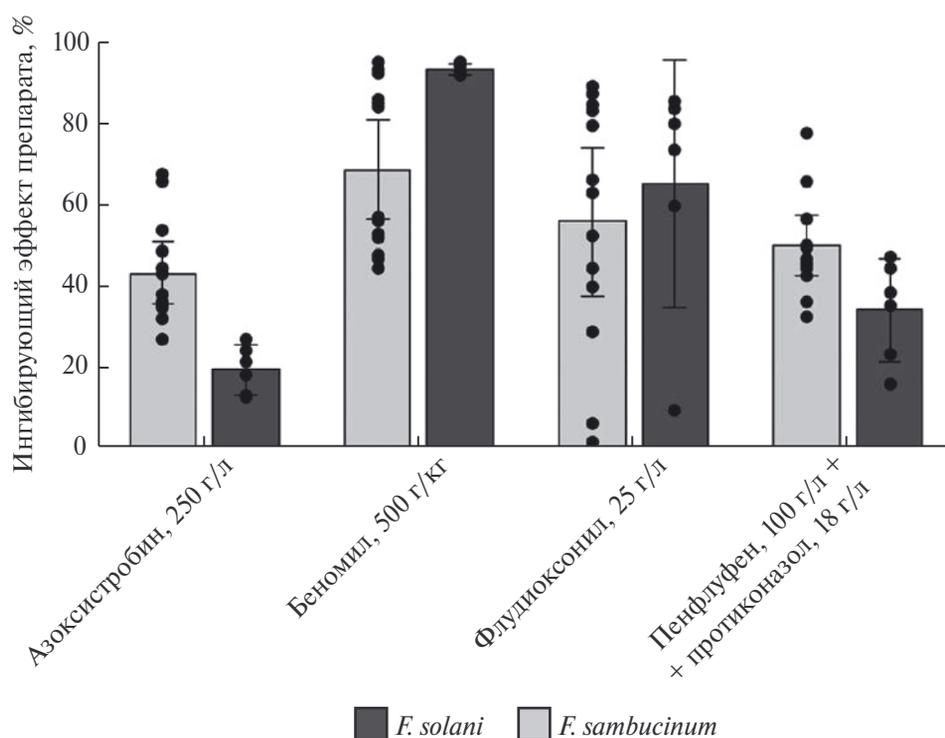
**Таблица 2.** Чувствительность штаммов *F. sambucinum* и *F. solani* разного происхождения к фунгицидам

Вид <i>Fusarium</i>	Происхождение штаммов (число)	Ингибирующее действие препарата на рост штаммов, %			
		азоксистробин 250 г/л	беномил 500 г/кг	флудиоксонил 25 г/л	пенфлуфен 100 г/л + протиконозол 18 г/л
<i>F. sambucinum</i>	Приволжский (3)	55 ± 7	55 ± 2	84 ± 2	66 ± 6
	Северо-Западный (4)	28 ± 4	72 ± 9	55 ± 7	30 ± 6
	Северо-Кавказский (1)	48.6 ± 0.8	93 ± 2	83.1 ± 0.5	45.8 ± 0.7
	Сибирский (3)	32 ± 3	71 ± 13	42 ± 7	48 ± 6
	Центральный (6)	73 ± 5	71 ± 10	44 ± 14	48 ± 3
<i>F. solani</i>	Центральный (2)	20 ± 2	94 ± 1	72 ± 13	20 ± 4
	Приволжский (4)	19 ± 4	93 ± 0.7	61 ± 17	41 ± 3

(концентрация 100 мг/л) в питательную среду составляло >99% [20]. Беномил является системным фунгицидом, применяемым для борьбы с широким спектром заболеваний сельскохозяйственных культур [21]. Фунгицидные свойства беномила основаны на его способности нарушать деление ядра грибной клетки. Между тем, беномил обладает гепа- и нейротоксичностью, оказывает негативное воздействие на репродуктивную систему человека и животных, а также может

вызывать хромосомные аномалии [21]. В связи с этим беномил запрещен к применению в ЕС и США [21], однако из-за своей высокой эффективности по-прежнему используется во многих странах мира [22].

В нашем исследовании ингибирующее действие беномила в отношении штаммов *F. sambucinum* составило  $70 \pm 5\%$ , тогда как штаммы *F. solani* в среднем были достоверно более чувствительными к этому



**Рис. 1.** Ингибирующее действие фунгицидов на рост штаммов *F. sambucinum* и *F. solani*. Точки – показатели индивидуальных штаммов, столбик – среднее для выборки штаммов, отрезки – ДИ при уровне значимости  $p < 0.05$ .

д.в. ( $p = 0.009$ ): его ингибирующее действие оказалось равным  $93 \pm 1\%$ . Сходные различия в чувствительности разных видов *Fusarium* к беномилу были выявлены ранее: ограничение роста штаммов *F. solani* под действием данного д.в. составляло  $>90\%$ , тогда как штаммы *F. sambucinum* оказались менее чувствительными — снижение размера колоний составляло  $26\text{--}46\%$  [23].

Наименее эффективным оказался препарат, содержащий азоксистробин  $250$  г/л, который ограничивал рост всех анализируемых штаммов *Fusarium* в среднем на  $35 \pm 5\%$ . Ингибирующее действие данного препарата в отношении штаммов *F. sambucinum* составило  $40 \pm 3\%$ , тогда как штаммы *F. solani* в среднем оказались в 2 раза менее чувствительными к азоксистробину ( $p = 0.001$ ): ингибирующее действие этого д.в. составило  $19 \pm 2\%$ .

Ранее показано, что азоксистробин демонстрировал меньшую эффективность в ограничении роста возбудителей сухой гнили картофеля в сравнении с имазалилом, тиабендазолом, флудиоксонилем и дифеноканозолом: рост штаммов *F. solani* снижался на  $45\text{--}72\%$  [24]. В другом исследовании азоксистробин также оказался менее эффективным в ограничении роста штаммов *F. solani* в сравнении с карбендазимом, триазолами и манкоцебом [25].

В нашем исследовании препарат, содержащий флудиоксонил, также продемонстрировал эффективность в ограничении роста колоний *Fusarium*: уменьшение площади колоний исследованных штаммов грибов в среднем составило  $58 \pm 6\%$  по сравнению с контролем. Достоверных различий влияния данного д.в. на рост штаммов 2-х видов *F. sambucinum* и *F. solani* не выявлено — ингибирующее действие в среднем составило  $55 \pm 6$  и  $65 \pm 11\%$  соответственно. Однако у разных штаммов 2-х видов *Fusarium* выявлена высокая вариабельность чувствительности к этому д.в. Например, у 2-х штаммов *F. sambucinum* MFG 70208 и MFG 70160 из Центрального региона России отмечена резистентность к флудиоксонилу — площадь их колоний под действием данного д.в. уменьшалась всего на 1 и 6% соответственно. В то же время 53% штаммов *F. sambucinum* оказались высокочувствительными к этому д.в. — ингибирующее действие препарата на их рост варьировало в диапазоне  $63\text{--}89\%$ . Действие флудиоксонила на рост штаммов *F. solani* также оказалось неоднородным — штамм MFG 70147 из Самарской обл. оказался наименее чувствительным — площадь его колонии снижалась всего на 9%. В то же время рост штаммов *F. solani* MFG 70155 из Башкирии и MFG 70176 из Московской обл. уменьшался значительно на 83 и 85% на среде под действием данного д.в.

Добавление в среду двухкомпонентного препарата (пенфлуфен  $100$  г/л + протиокназол  $18$  г/л) приводило к ингибированию роста штаммов *Fusarium* в среднем на  $43 \pm 3\%$  по сравнению с контролем. Не выявлены достоверные различия в ингибирующем действии

препарата в отношении штаммов *F. sambucinum* и *F. solani*, — площади колоний этих видов уменьшались по сравнению с контролем на  $47 \pm 4$  и  $34 \pm 5\%$  соответственно.

Выявлено достоверное влияние ( $p < 0.000$ ) факторов “видовая принадлежность” и “регион происхождения” штамма и их воздействия на чувствительность исследованных штаммов *Fusarium* к каждому из 4-х фунгицидов. Препарат, содержащий флудиоксонил, эффективнее ингибировал рост штаммов *F. sambucinum* из Приволжского региона в отличие от штаммов этого вида из других регионов, рост которых эффективнее всего подавлял препарат, содержащий беномил (табл. 2). Сравнение штаммов *F. solani* разного происхождения выявило различия их чувствительности только в отношении двухкомпонентного препарата — штаммы из Центрального региона оказались в среднем менее чувствительными (площадь их колоний уменьшилась на  $20 \pm 4\%$  по сравнению с контролем), чем штаммы из Приволжского региона (отмечено снижение площади их колоний на  $41 \pm 3\%$ ).

Среди всех анализируемых штаммов *F. sambucinum* четыре оказались менее чувствительными к флудиоксонилу, два — к беномилу и по одному — к азоксистробину и двухкомпонентному препарату. Ингибирующее действие фунгицидов в отношении роста этих штаммов было меньше в 1.5 и более раза, чем средний показатель для всей выборки. Штамм *F. sambucinum* MFG 70118 (Ленинградская обл.) может быть охарактеризован как резистентный к 3-м фунгицидам, ингибирующее действие которых было в 2–4 раза меньше средних показателей для вида. Исключение составил препарат, содержащий беномил, который эффективно подавлял рост этого штамма.

Снижение чувствительности штаммов *Fusarium* к различным д.в. отмечали ранее. В 2008 г. впервые была выявлена устойчивость к флудиоксонилу штаммов *Fusarium* spp., вызывающих гниль клубней картофеля в Канаде [26]: ингибирование роста всех исследованных штаммов *F. sambucinum* не проявлялось даже при концентрации  $100$  мг д.в./л в питательной среде [26]. Среди 23-х штаммов *F. sambucinum*, выделенных из картофеля в США, 15 штаммов оказались резистентными к флудиоксонилу: концентрация полумаксимального ингибирования роста данных штаммов в питательной среде была  $>130$  мг д.в./л [27].

Показано, что присутствие низких концентраций флудиоксонила в питательной среде стимулировало рост резистентных к этому д.в. штаммов *F. oxysporum*, выделенных из картофеля [28]. Взаимодействие штаммов *F. oxysporum* с флудиоксонилом приводило к повышенной экспрессии нескольких ключевых для метаболизма генов. Авторы предполагали, что постоянное применение флудиоксонила может со временем привести к распространению резистентности в популяции патогена к данному д.в. [28]. Высокий риск

развития резистентности у грибов *Fusarium* к флудиоксонилу также отмечали другие исследователи [29].

Устойчивость к тиабендазолу, д.в. из класса бензимидазолов, была обнаружена у 18% исследованных штаммов *F. sambucinum*, выделенных из клубней картофеля в Канаде [30]. Также, в США среди 228 изолятов *Fusarium* spp., выделенных из клубней картофеля, все исследованные штаммы *F. sambucinum* обладали низкой чувствительностью к тиабендазолу, и в то же время все штаммы оказались чувствительными к дифеноконазолу [12]. Между тем было показано, что механизм, ответственный за низкую чувствительность штаммов *F. culmorum* к тебуконазолу, обеспечивает их низкую чувствительность ко всем триазолам, а также д.в. других классов — имидазолам и бензимидазолам и, по всей видимости, является универсальным для многих видов грибов *Fusarium* [15].

Резистентность штаммов грибов *Fusarium* к д.в. различных классов может развиваться с разной скоростью. Поэтому научно обоснованный выбор препаратов для защиты картофеля от ФСГК в конкретном регионе зависит от видового состава патогенов и их чувствительности.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка чувствительности к фунгицидам 17-ти штаммов *F. sambucinum* и 6-ти штаммов *F. solani*, выделенных из клубней картофеля различного происхождения с симптомами сухой гнили, показала, что все проанализированные препараты подавляли рост грибов *Fusarium*: ингибирующее действие составило  $53 \pm 3$  и  $53 \pm 7\%$  соответственно.

Среди 4-х фунгицидов препарат, содержащий беномил, наиболее эффективно подавлял рост грибов *Fusarium* spp.: его ингибирующее действие в среднем составляло  $76 \pm 4\%$ . Препарат, содержащий флудиоксонил, а также двухкомпонентный препарат, содержащий комбинацию пенфлуфена и протиоконазола, также продемонстрировали ингибирующее действие, а именно ограничение роста штаммов *Fusarium* spp. в среднем составляло по сравнению с контролем соответственно  $58 \pm 6$  и  $43 \pm 3\%$ . Наименее эффективным оказался препарат, содержащий азоксистробин, который ограничивал рост штаммов в среднем на  $35 \pm 5\%$ .

Среди всех анализированных штаммов *Fusarium* 4 штамма *F. sambucinum* характеризовались низкой чувствительностью к флудиоксонилу, 2 — к беномилу и по одному — к азоксистробину и двухкомпонентному препарату. Отмечен риск развития резистентности у грибов *Fusarium* к д.в. разных классов. Поэтому научно обоснованный выбор фунгицидов для защиты картофеля от фузариозной сухой гнили картофеля зависит от видового состава патогенов в конкретном регионе и их чувствительности к используемым препаратам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов Б.В., Белов Г.Л., Варицев Ю.А., Еланский С.Н., Журомский Г.К., Завриев С.К., Зейрук В.Н., Иванюк В.Г., Кузнецова М.А., Пляхневич М.П., Пшеченков К.А., Симаков Е.А., Склярова Н.П., Сташевски З., Усков А.И., Яшина И.М. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. М.: Картофелевод, 2009. 272 с.
2. Хадиева Г.Ф., Лутфуллин М.Т., Акосах Й.А., Малова А.В., Мочалова Н.К., Вологин С.Г., Сташевски З., Марданова А.М. Анализ микромицетов рода *Fusarium*, изолированных из инфицированных клубней картофеля, выращенных в Республике Татарстан // Докл. науки и техн. АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 34–39.
3. Du M., Ren X., Sun Q., Wang Y., Zhang R. Characterization of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in China and susceptibility evaluation of chinese potato germplasm to the pathogen // Potato Res. 2012. V. 55. P. 175–184.
4. Stefańczyk E., Sobkowiak S., Brylińska M., Śliwka J. Diversity of *Fusarium* spp. associated with dry rot of potato tubers in Poland // Europ. J. Plant Pathol. 2016. V. 145. P. 871–884.
5. Azil N., Stefańczyk E., Sobkowiak S., Chihat S., Boureghda H., Śliwka J. Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with tuber dry rot and wilt of potato in Algeria // Europ. J. Plant Pathol. 2021. V. 159. P. 495–509.
6. Wharton P., Hammerschmidt R., Kirk W. *Fusarium* dry rot // Michigan potato diseases series. Michigan: Michigan State University, 2007. P. 531–532.
7. Tiwari R.K., Kumar R., Sharma S., Sagar V., Aggarwal R., Naga K.C., Lal M.K., Chourasia K.N., Kumar D., Kumar M. Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management // Biotech. 2020. V. 10(11). Art. 503.
8. Белосохов А.Ф., Ярмеева М.М., Долгов А.М., Миславский С.М., Албантов Г.П., Курчаев М.Л., Кокаева Л.Ю., Чудинова Е.М., Еланский С.Н. Грибы рода *Fusarium* на клубнях картофеля // Совр. Микол. в России. 2022. Т. 9. С. 250–252.
9. Esfahani M.N. Susceptibility assessment of potato cultivars to *Fusarium* dry rot species // Potato Res. 2005. V. 48(3–4). P. 215–226.
10. Peters J.C., Lees A.K., Cullen D.W., Sullivan L., Stroud G.P., Cunnington A.C. Characterization of *Fusarium* spp. responsible for causing dry rot of potato in Great Britain // Plant Pathol. 2008. V. 57. P. 262–271.
11. Daami-Remadi M. Potato *Fusarium* dry rot in Tunisia: current status and future prospects // Pest Technol. 2012. V. 6. P. 15–22.
12. Gachango E., Hanson L.E., Rojas A., Hao J.J., Kirk W.W. *Fusarium* spp. causing dry rot of seed potato tubers in Michigan and their sensitivity to fungicides // Plant Disease. 2012. V. 96. P. 1767–1774.
13. Baturo-Ciesniewska A., Lenc L., Grabowski A., Lukanowski A. Characteristics of polish isolates of *Fusarium sambucinum*: molecular identification, pathogenicity, diversity and

- reaction to control agents // Amer. J. Potato Res. 2015. V. 92. P. 49–61.
14. Spolti P., Del Ponte E.M., Cummings J.A., Dong Y., Bergstrom G.C. Fitness attributes of *Fusarium graminearum* isolates from wheat in New York possessing a 3-ADON or 15-ADON trichothecene genotype // Phytopathology. 2014. V. 104(5). P. 513–519.
  15. Hellin P., King R., Urban M., Hammond-Kosack K.E., Legrève A. The adaptation of *Fusarium culmorum* to DMI fungicides is mediated by major transcriptome modifications in response to azole fungicide, including the overexpression of a PDR transporter (*FcABC1*) // Front. Microbiol. 2018. V. 9. Art. 1385.
  16. Xu S., Wang J., Wang H., Bao Y., Li Y., Govindaraju M., Yao W., Chen B., Zhang M. Molecular characterization of carbendazim resistance of *Fusarium* species complex that causes sugarcane pokkah boeng disease // BMC Genomics. 2019. V. 20. Art. 115.
  17. Zhao B., He D., Wang L. Advances in *Fusarium* drug resistance research // J. Global Antimicrob. Resist. 2021. V. 24. P. 215–219.
  18. Орина А.С., Хюмму А.В., Шпанев А.М. Фунгицидная активность химических и биологических препаратов в отношении возбудителей альтернариоза картофеля // Агрохимия. 2022. № 10. С. 47–54.
  19. Bojanowski A., Avis T.J., Pelletier S., Tweddell R.J. Management of potato dry rot // Postharvest Biol. Technol. 2013. V. 84. P. 99–109.
  20. Sandipan P.B., Solanki B.P., Patel N.N., Patel R.L., Verma P.D., Desai H.R. Efficacy of different fungicides against dry rot pathogen of potato caused by *Fusarium* sp. under *in vitro* condition // Cercetari Agronomice in Moldova. 2016. V. 49(4). P. 69–74.
  21. Pearson M.A., Miller G.W. Benomyl // Encyclopedia of toxicology. 3rd Edit. Cambridge: Academic Press, 2014. P. 411–412.
  22. Kara M., Oztas E., Ramazanoğullari R., Kouretas D., Nepka C., Tsatsakis A.M., Veskoukis A.S. Benomyl, a benzimidazole fungicide, induces oxidative stress and apoptosis in neural cells // Toxicol. Rep. 2020. V. 7. P. 501–509.
  23. Daami-Remadi M., Ayed F., Jabnoun-Khiareddine H., Hibar K., El Mahjoub M. *In vitro*, *in vivo* and *in situ* evaluation of fungicides tested individually or in combination for the control of the fusarium dry rot of potato // Inter. J. Agricult. Res. 2006. V. 1. P. 564–572.
  24. Vatankhah M., Saberi-Riseh R., Eskandari M.M., Afzali H. Evaluation of some fungicides for the control of *Fusarium* dry rot of potato // J. Crop Protect. 2019. V. 8(3). P. 275–285.
  25. Gupta P.K., Singh S.K., Shikha S. *In vitro* efficacy of different fungicides against *Fusarium solani* isolate causing root rot of papaya (*Carica papaya* L.) // Inter. J. Chem. Studies. 2020. V. 8(3). P. 221–224.
  26. Peters R.D., Platt H.W., Drake K.A., Coffin R.H., Moorehead S., Clark M.M., Al-Mughrabi K.I., Howard R.J. First report of fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium* spp. causing potato seed-piece decay // Plant Disease. 2008. V. 92(1). P. 172.
  27. Gachango E., Kirk W., Hanson L., Rojas A., Tumbalam P., Shetty K. First report of *in vitro* fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in Michigan // Plant Disease. 2011. V. 95(2). P. 228.
  28. Akosah Y.A., Kostennikova Z.S., Lutfullin M.T., Lutfullina G.F., Afordoanyi D.M., Vologin S.G., Mardanova A.M. Induced expression of *CYP51a* and *HK1* genes associated with penconazole and fludioxonil resistance in the potato pathogen *Fusarium oxysporum* // Microorganisms. 2023. V. 11. Art. 1257.
  29. Qiu J.B., Yu M.Z., Yin Q., Xu J.H., Shi J.R. Molecular characterization, fitness, and mycotoxin production of *Fusarium asiaticum* strains resistant to fludioxonil // Plant Disease. 2018. V. 102(9). P. 1759–1765.
  30. Platt H. Resistance to thiabendazole in *Fusarium* species and *Helminthosporium solani* in potato tubers treated commercially in eastern Canada // Phytoprotection. 1997. V. 78(1). P. 1–10.

## Effect of Fungicides on *Fusarium* Fungi Caused Potato Dry Rot

A. S. Orina<sup>a, #</sup>, O. P. Gavrilo<sup>a</sup>, I. I. Trubin<sup>a</sup>, T. Yu. Gagkaeva<sup>a</sup>

<sup>a</sup>All-Russian Institute of Plant Protection,  
sh. Podbel'skogo 3, Saint-Petersburg, 196608, Russia

<sup>#</sup>E-mail: orina-alex@yandex.ru

A laboratory assessment of the effect of 4 fungicides containing active substance (a.s.) of different chemical classes on the growth of strains of 2 dominant species of *Fusarium* fungi, pathogens of fusarium dry rot of potatoes, was carried out. The drug containing benomyl most effectively suppressed the growth of *F. sambucinum* and *F. solani* strains by an average of  $76 \pm 4\%$  compared with the control. The drug containing azoxystrobin turned out to be the least effective – inhibition of strain growth averaged  $35 \pm 5\%$ . The significant influence of the factors “species affiliation” and “region of origin” of the strain and their interaction on the sensitivity of strains of both *Fusarium* species to each of the 4 fungicides has been shown. The risk of developing resistance in *F. sambucinum* to a.s. of different classes was noted.

**Keywords:** *Solanum tuberosum*, tubers, *Fusarium sambucinum*, *Fusarium solani*, fungicides.