



ISSN 1727-1320 (Print),
ISSN 2308-6459 (Online)

ВЕСТИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2025 ТОМ 108 ВЫПУСК
VOLUME ISSUE 4



Санкт-Петербург
St. Petersburg, Russia

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ ВИДА *AKANTHOMYCES MUSCARIUS* ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТОМАТА ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ И БОЛЕЗНЕЙ

А.А. Чоглокова*, Г.В. Митина, М.А. Черепанова

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

*ответственный за переписку, e-mail: 4oglik@inbox.ru

В работе оценена эффективность энтомопатогенного гриба вида *Akanthomyces muscarius* против оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* и возбудителя серой гнили *Botrytis cinerea*. Установлено, что при предварительной обработке листьев томатов конидиями двух изученных штаммов вида *A. muscarius*, площади поражения серой гнилью были меньше. Наибольшее сдерживающее воздействие на развитие серой гнили отмечено для штамма VI 61. Этот же штамм при обработке целых растений томатов наиболее эффективно подавлял развитие заболевания на 4 сутки, и в дальнейшем растения развивались на уровне контрольных. При заражении листьев томата *B. cinerea*, предварительно заселенных *T. vaporariorum*, смертность белокрылки от обработки спорами VI 61 составила 69% на 4-е сутки, что на 50% выше, чем в отсутствие *B. cinerea*. Эффективность *A. muscarius* в отношении фитопатогена в присутствии личинок белокрылки была существенно ниже, чем на незаселенных белокрылкой растениях. С помощью флуоресцентной микроскопии доказаны гиперпаразитические свойства *A. muscarius* в отношении *B. cinerea* и установлено, что при совместном росте штамма VI 61* (меченого флуоресцентной меткой) и возбудителя серой гнили на агаризованной среде гифы ЭПГ обвивают гифы *B. cinerea*, и проникают внутрь, разрастаются и выходят наружу, разрушая клеточные стенки фитопатогена. Полученные результаты позволяют говорить о перспективности применения штамма VI 61 вида *A. muscarius* для защиты томатов от *B. cinerea* и *T. vaporariorum*.

Ключевые слова: *Lecanicillium*, биопестициды, гиперпаразитизм, *Botrytis cinerea*, *Trialeurodes vaporariorum*

Поступила в редакцию: 17.10.2025

Принята к печати: 02.12.2025

Введение

Томат *Solanum lycopersicum* L. – это экономически важная продовольственная культура, подверженная поражению вредителями и фитопатогенными грибами (ФПГ). Для получения высоких урожаев экологически чистой продукции необходимо грамотное использование средств защиты растений, направленное на снижение химической нагрузки на агроценоз. С этой целью перспективно применение энтомопатогенных грибов (ЭПГ) с комплексной активностью в качестве регуляторов численности фитофагов томата и антагонистов возбудителей болезней.

Грибы близкородственных родов *Akanthomyces* и *Lecanicillium* выступают в качестве природных патогенов насекомых из отряда Hemiptera (Hall, 1981). Также известна их способность паразитировать на нематодах, растительноядных клещах, пауках (Goettel et al., 2008). ЭПГ служат продуцентами микробиологических препаратов (Faria, Wright, 2007; Артюшкина и др., 2023).

Неоспоримое преимущество этих аскомицетов заключается в способности к гиперпаразитированию на фитопатогенных грибах (ФПГ) в отсутствие насекомого-хозяина. Давно известен микопаразитизм ЭПГ в отношении ржавчинных грибов (Heintz, Blaich, 1990; Spencer, Atkey, 1981). Множество исследований направлено на изучение этого процесса в отношении мучнисто-росистых и других

ФПГ (Kim et al., 2008; Vandermeer et al., 2009; Zewdie et al., 2021).

Антагонистическая активность грибов родов *Akanthomyces* и *Lecanicillium* установлена в лабораторных условиях в отношении таких ФПГ, как *Alternaria solani* Sorauer, *Botrytis cinerea* Pers., *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., *Phytophthora alni* Brasier & S.A.Kirk (Янковская и др., 2013). Они также подавляют *Penicillium digitatum* (Pers.) Sacc. (Benhamou, Brodeur, 2000), *Fusarium spp.* (Koike et al., 2007), *Verticillium dahliae* Kleb. (Kusunoki et al., 2006) и *Pythium ultimum* Trow (Benhamou, Brodeur, 2001).

Гриб *Akanthomyces muscarius* (Petch) Spatafora, Kepler & B. Shrestha (бывш. *Lecanicillium muscarium*) угнетал рост *R. solani* (Angela, Nicoletti, 2010) и подавлял в лабораторных условиях *P. ultimum*, *R. solani*, *Fusarium oxysporum* Schleld., *Verticillium alboatrum* Reinke & Berthold и *P. digitatum* (Askary et al., 2008). *A. muscarius* обладал высокой вирулентностью в отношении личинок южного походного шелкопряда *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff. и умеренной антагонистической активностью в отношении ФПГ *Fusarium spp.* и *Cochliobolus lunatus* Nelson & Haasis (бывш. *Curvularia lunata*) при росте на чашках (Saidi et al., 2023).

Представители видов *Akanthomyces dipterigenus* (Petch) Spatafora, Kepler, Zare & B. Shrestha (бывш. *Lecanicillium longisporum*) и *Akanthomyces attenuatus* (Zare & W. Gams) Spatafora, Kepler & B. Shrestha (бывш. *Lecanicillium attenuatum*) были эффективны против трех видов тлей и возбудителя мучнистой росы огурца *Podosphaera fuliginea* (Schltdl.) U. Braun & S. Takam (бывш. *Sphaerotheca fuliginea*) в закрытом грунте (Kim et al., 2007).

Запатентован штамм *L. muscarium*, обладающий инсектоакарицидной и антибиотической активностью для борьбы с сосущими вредителями и возбудителями болезней растений (Митина и др., 2016). Тем не менее, препараты с комплексной активностью на основе энтомопатогенных грибов не зарегистрированы (Реестр пестицидов..., 2025). Целью нашей работы было оценить перспективы применения ЭПГ вида *A. muscarius* в качестве агента двойного биологического контроля на растениях томата.

Материалы и методы

Штаммы *Akanthomyces muscarius* и их культивирование

Штаммы VI 21, VI 61, Г-033 ВИЗР вида *Akanthomyces muscarius* отобраны из Государственной коллекции микрорганизмов, патогенных для растений и их вредителей, поддерживаемой в ФГБНУ ВИЗР (WFCC WDCM №760, УНО) как высоковирулентные и обладающие антагонистической активностью в отношении ФПГ (Choglokova et al., 2024). Штамм VI 21 выделен из оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Московская область), VI 61 – из урединиопустул *Phragmidium* sp. на малине (Краснодарский край, Мостовской район), Г-033 ВИЗР – из жимолостной белокрылки *Aleyrodes lonicerae* Walker (Московская область). Грибы выращивали на агаризованной среде Чапека с дрожжевым экстрактом (состав, г/л дистиллированной воды: сахароза 20, дрожжевой экстракт 1, агар 20, KCl 0.5, K₂PO₄ 1.0, MgSO₄ 0.5, NaNO₃ 2.0) в чашках Петри при температуре 26 °C в течение 10 суток для получения конидий.

Эффективность *Akanthomyces muscarius* в отношении *Botrytis cinerea*

Настоящие листья томатов *Solanum lycopersicum* 2–3 яруса отделяли от растения и раскладывали на увлажненную вату в чашки Петри адаксиальной стороной вверх. Доли настоящих листьев обрабатывали опрыскиванием суспензией конидий штаммов *A. muscarius* с концентрацией 1×10⁷ спор/мл в 0.01%-ном растворе Твин-80. После подсушивания в течение 1 часа на листовую пластины наносили суспензию *B. cinerea* в концентрации 1×10⁶ спор/мл в 0.1%-ном растворе Твин-80, содержащем 1 мг/мл сахарозы каплями объемом 15 мкл в нескольких местах каждой доли листа (Sarven et al., 2020). На 2 и 4 сутки сравнивали площади поражений листа фитопатогеном с обработкой *A. muscarius* и без нее. Опыт ставили в 5 повторностях.

Целые растения возрастом 3 недели последовательно опрыскивали суспензией спор ЭПГ с концентрацией 1×10⁷ спор/мл в 0.01%-ном растворе Твин-80 до полного смачивания листовой пластины, а затем после высыхания капель – суспензией *B. cinerea* в концентрации 1×10⁶ спор/мл в 0.1%-ном растворе Твин-80, содержащем 1 мг/мл сахарозы.

Растения помещали в высокие пластиковые прозрачные контейнеры, на дно которых наливали воду для создания повышенной влажности. Контейнеры закрывали

крышкой и оставляли при 12-часовом световом дне. Схема опыта включала в себя 1) контроль; 2) растения, обработанные *B. cinerea*; 3) растения, обработанные ЭПГ и *B. cinerea*.

Развитие симптомов заболевания оценивали на 2 и 4 день после заражения по шкале от 0 до 4, где 0 – отсутствие симптомов; 1 – степень поражения растения 1–25%; 2 – 26–50%; 3 – 51–75%; 4 – 76–100% (Köhl et al., 2020). Опыт ставили в 5 повторностях.

Эффективность *Akanthomyces muscarius* в отношении *Botrytis cinerea* и личинок белокрылки

Для получения личинок оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera, Aleyrodidae) одного возраста использовали лабораторную популяцию, которую содержали при температуре 22±1 °C и 16-ти часовом световом дне на растениях фасоли *Phaseolus vulgaris* L. Имаго белокрылки заселяли растения томатов с 4–5 настоящими листьями и оставляли на сутки для откладки яиц, после чего имаго удаляли с растений. Изолированные листья томатов, заселенные личинками 2 возраста, обрабатывали суспензией конидий штамма VI 61 с титром 1×10⁷ спор/мл в 0.01%-ном растворе Твин-80 окуранием на 5 с и после высыхивания наносили споровую суспензию фитопатогена каплями как описано выше. Для оценки эффективности ЭПГ в отношении *B. cinerea* проводили учет размера пятен, вызванных воздействием фитопатогена на 2 и 8 сутки после обработки ЭПГ и *B. cinerea*.

Вирулентность грибов определяли как процент смертности личинок белокрылки на 4 и 7 сутки после обработки (Митина и др., 2020).

Гиперпаразитические свойства *Akanthomyces muscarius*

Изучение процесса гиперпаразитизма ЭПГ в отношении *B. cinerea* было проведено со штаммом VI 61*, трансформированным и меченым флуоресцентным белком (GFP). Транформант штамма VI 61* был получен по разработанному методу (Timofeev et al., 2019). Зону контакта мицелиев и взаимодействие гиф фитопатогена и ЭПГ при совместном росте на чашке с агаризованной средой Чапека изучали с помощью флуоресцентного микроскопа AxioImager M1.

Статистический анализ

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью метода однофакторного анализа ANOVA (SigmaPlot версия 12.5 Systat Software). Для определения

нормальности распределения использовали тест Шапиро-Вилка (Shapiro-Wilk). При ненормальном распределении использовали тест Краскала-Уоллиса (Kruskal-Wallis) или Данна (Dunn's).

Результаты и обсуждение

Эффективность *Akanthomyces muscarius* в отношении *Botrytis cinerea*

В опытах на отдельных листьях томатов на 2-е сутки после обработки штаммами VI 21 и VI 61 не выявлено влияния ЭПГ на площадь поражения томатов серой гнилью. А площадь поражения листьев в опыте со штаммом Г-033 ВИЗР была достоверно больше, чем в контроле (обработка только спорами *B. cinerea*) (рис. 1). На 4-е сутки при обработке спорами VI 61, площадь пятен, вызванных *B. cinerea*, была достоверно меньше, чем без обработки. Другие штаммы не влияли на размер пятен (рис. 2).

На поверхности некротических пятен наблюдалось спороношение *B. cinerea* и рост мицелия ЭПГ на фитопатогене для всех изученных штаммов.

При заражении 3х-недельных растений томатов *B. cinerea* с предварительной обработкой ЭПГ, только штамм VI 61 показал эффективность в отношении фитопатогена

в сравнении с обработкой другими штаммами (различия достоверны) (рис. 3).

У растений, обработанных конидиями VI 61, с последующей инокуляцией *B. cinerea*, на 2-е сутки после обработки не было отмечено повреждений фитопатогеном, в то время как для VI 21, Г-033 ВИЗР и при отсутствии обработки ЭПГ наблюдали образование на 2-е сутки и увеличение некротических пятен к 4-м суткам, очагов спороношения *B. cinerea* на пятнах некроза (рис. 4). В опыте с VI 61 на 4-е сутки регистрировали появление точечных поражений на стеблях и небольших пятен серой гнили на поверхности листа.

При дальнейшем наблюдении за растениями наблюдалось торможение развития томатов для всех вариантов кроме VI 61, растения в котором развивались на уровне, близком к контрольному варианту (рис. 5).

Таким образом, штамм VI 61 обладал наибольшей антагонистической активностью в отношении возбудителя

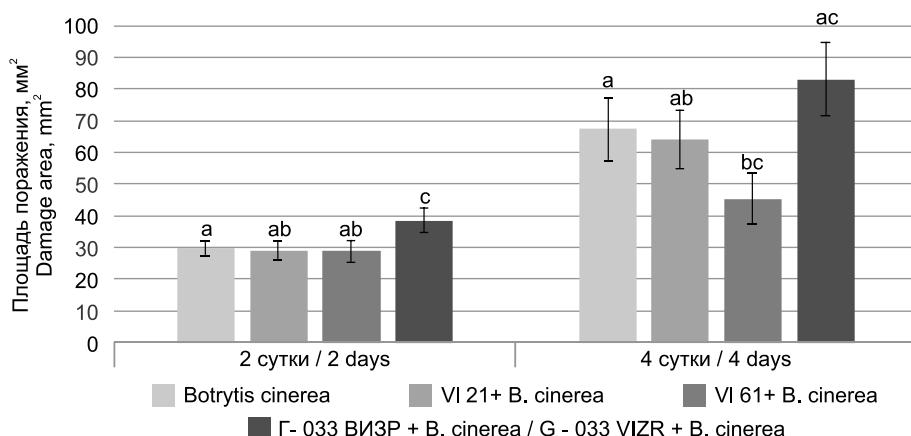


Рисунок 1. Влияние предварительной обработки листьев томата штаммами *Akanthomyces muscarius* на площадь поражения *Botrytis cinerea* (оценка различий проведена между вариантами на 2 и 4 сутки). Указано среднее значение и стандартная ошибка. Разными буквами отмечены варианты, где различия между ними достоверны

Figure 1. Effect of preliminary treatment of leaves with EPF on the area affected by *Botrytis cinerea* (the differences were assessed between the variants on days 2 and 4). Mean value and standard error are indicated. Different letters indicate the variants where the differences between them are reliable



Рисунок 2. Характер поражения листьев, вызванных *Botrytis cinerea* на 4-е сутки

Figure 2. Features of leaf damage caused by *Botrytis cinerea* on the 4th day

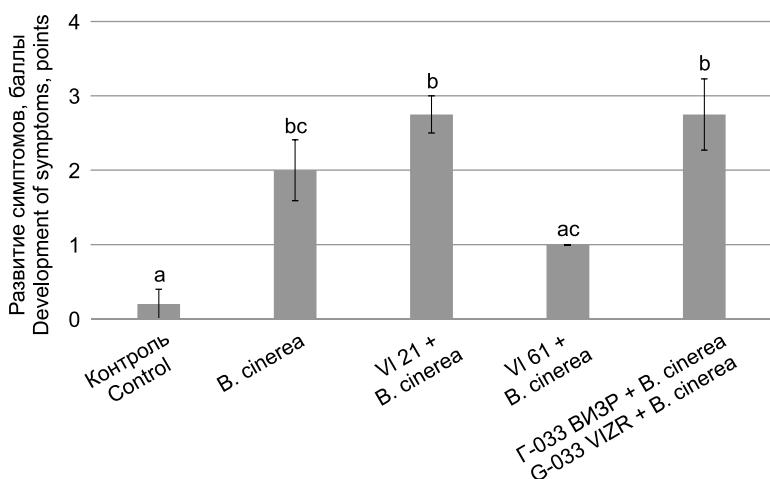


Рисунок 3. Влияние предварительной обработки растений томата штаммами *Akanthomyces muscarius* на степень развития симптомов, вызванных *Botrytis cinerea*, на 4 сутки. Указано среднее значение и стандартная ошибка. Разными буквами отмечены варианты, где различия между ними достоверны

Figure 3. The effect of preliminary treatment of tomato plants with *Akanthomyces muscarius* strains on the degree of damage caused by *Botrytis cinerea*. Mean value and standard error are indicated. Different letters indicate the variants where the differences between them are reliable



Рисунок 4. Влияние предварительной обработки растений штаммами *Akanthomyces muscarius* при заражении *Botrytis cinerea*

Figure 4. The effect of preliminary treatment of plants with *Akanthomyces muscarius* strains on infection with *Botrytis cinerea*

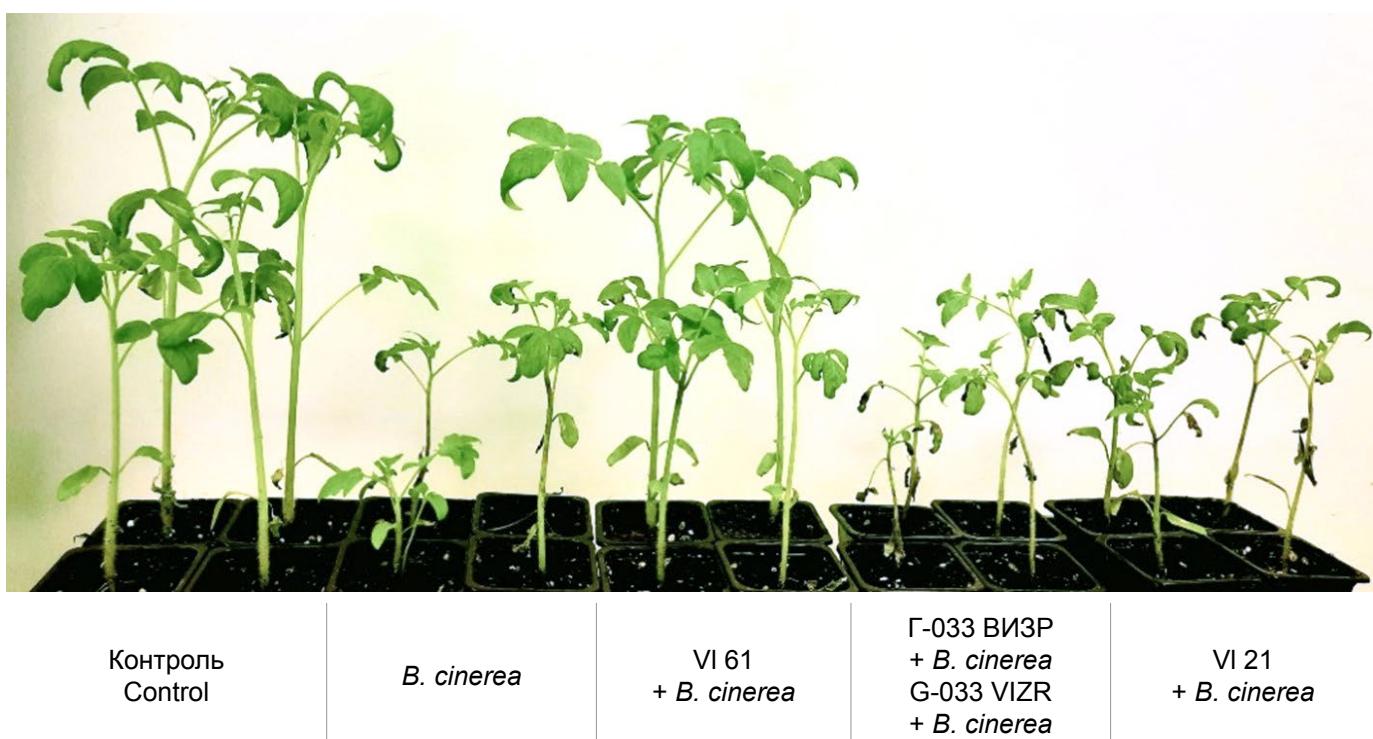


Рисунок 5. Влияние предварительной обработки растений штаммами *Akanthomyces muscarius* при заражении *Botrytis cinerea* на 9-е сутки

Figure 5. The effect of preliminary treatment of plants with *Akanthomyces muscarius* strains on infection with *Botrytis cinerea* on the 9th day

серой гнили в вегетационных опытах на отдельных листьях и растениях томатов. Штаммы VI 21, Г-033 ВИЗР не оказали видимого защитного эффекта от ФПГ в опытах *in planta*, хотя они подавляли *B. cinerea* на агаризованных средах.

Возможно, такая активность штамма VI 61 связана с тем, что VI 61 выделен из урединиопустул ржавчинного гриба *Phragmidium sp.*, а остальные штаммы – из насекомых.

Эффективность *Akanthomyces muscarius* в отношении фитопатогена и фитофага при их одновременном присутствии на растении

Листья томатов, заселенные личинками белокрылки, обрабатывали суспензией конидий VI 61 с последующим нанесением на эти же листья спор гриба *B. cinerea*. В результате смертность белокрылки от заражения ЭПГ была на 50% выше на 4-е сутки, чем в отсутствие *B. cinerea* и

составила 69 %. Различия на 7-е сутки были менее выражены – смертность белокрылки была на 18 % больше в присутствии фитопатогена (рис. 6).

Эффективность VI 61 в отношении *B. cinerea* на листьях, заселенных личинками белокрылки, была существенно ниже по сравнению с его эффективностью против *B. cinerea* без белокрылки на 2 и 8 сутки (рис. 7).

При этом в присутствии личинок белокрылки гиперпаразитические свойства ЭПГ в отношении фитопатогенных грибов были выражены слабее, а площадь пятен больше. Развитию некрозов листьев, вероятно, способствовали повреждения листьев, вызванные питанием личинок белокрылки. Таким образом, наши исследования показали, что при двойной инфекции обработка ЭПГ приводит к увеличению смертность белокрылки, но при этом эффективность защиты от серой гнили снижается. Сопоставление полученных результатов по эффективности гриба

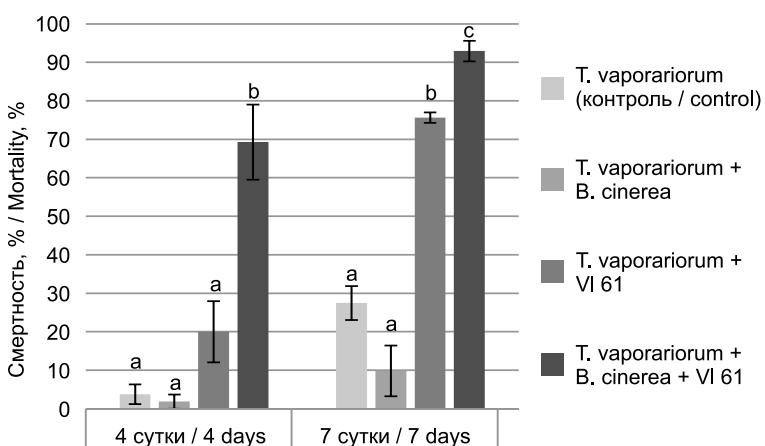


Рисунок 6. Смертность оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* при обработке грибом *Akanthomyces muscarius*, штамм VI 61, в том числе в присутствии *Botrytis cinerea*. Указано среднее значение и стандартная ошибка. Разными буквами отмечены варианты, где различия между ними достоверны

Figure 6. Mortality of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* due to treatment with *Akanthomyces muscarius*, strain VI 61, including in the presence of *Botrytis cinerea*. Mean value and standard error are indicated. Different letters indicate the variants where the differences between them are reliable

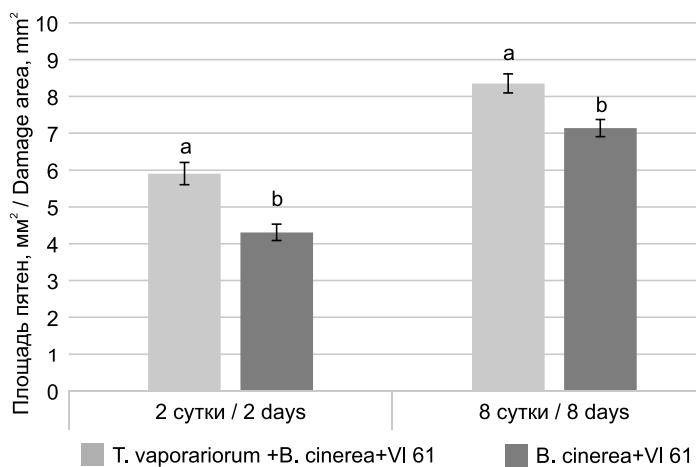


Рисунок 7. Эффективность VI 61 в отношении *Botrytis cinerea* на листьях томатов, заселенных оранжерейной белокрылкой *Trialeurodes vaporariorum* (оценка достоверности различий проведена между вариантами на 2 и 8 сутки учета). Указано среднее значение и стандартная ошибка. Разными буквами отмечены варианты, где различия между ними достоверны

Figure 7. Efficacy of VI 61 against *Botrytis cinerea* on tomato leaves infested with the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (the differences were assessed between the variants on days 2 and 8). Mean value and standard error are indicated. Different letters indicate the variants where the differences between them are reliable

A. muscarius позволяет предположить, что при одновременном присутствии на растении белокрылки и *B. cinerea* ЭПГ проявляют свои патогенные свойства в первую очередь в отношении насекомых.

Сведения о применении микромицетов при одновременном заражении растений вредителями и возбудителями болезней единичны. Ким с соавторами (Kim et al., 2010) оценивали эффективность гриба *L. longisporum* (Vertalec®) в отношении хлопковой тли *Aphis gossypii* Glover и мучнистой росы *Podosphaera fuliginea* (Schltdl.) Braun & S. Takam. (бывш. *Sphaerotheca fuliginea*) на огурцах в тепличных условиях. Исследователями не выявлены различия в активности ЭПГ в отношении фитофага и фитопатогена при совместном заражении в сравнении с применением *L. longisporum* против этих объектов по отдельности.

Большинство исследователей делают вывод о потенциале различных видов ЭПГ как агентов двойного биоконтроля на основе лабораторных экспериментов или опытов на растениях, где ЭПГ проявляют активность в отношении вредных насекомых и отдельно против ФПГ на агаризованных средах (Lozano-Tovar et al., 2013; Yun et al., 2017; Aguilera-Samaritano et al., 2021; Kang et al., 2018).

Гиперпаразитические свойства *Akanthomyces muscarius*

Более детально гиперпаразитические свойства ЭПГ изучены при совместном росте штамма VI 61* (меченого

флюоресцентной меткой) и возбудителя серой гнили *B. cinerea* на агаризованной среде. Вокруг колонии VI 61* формировалась зона отсутствия роста *B. cinerea*, а затем наблюдалось нарастание энтомопатогена на мицелий фитопатогена (рис. 8А). При изучении зоны контакта мицелиев с помощью флуоресцентного микроскопа установлено, что гифы ЭПГ обвивают гифы *B. cinerea* и проникают внутрь, разрастаются и выходят наружу, разрушая клеточные стенки (рис. 8В, С).

По нашим наблюдениям, штаммы *A. muscarius* Г-033 ВИЗР и VI 61 проявляют гиперпаразитические свойства в отношении возбудителя ржавчины роз *Phragmidium* sp. Также выявлена способность этих аскомицетов проникать в урединиоспоры и подавлять развитие возбудителя бурой ржавчины пшеницы *Puccinia recondita* Dietel & Holw. Эти данные согласуются с аналогичными исследованиями. В частности, изучен гиперпаразитизм *Akanthomyces lecanii* (Zimm.) Spatafora, Kepler & Shrestha в отношении возбудителя ржавчины арахиса *Puccinia arachidis* Speg. Авторы регистрировали те же этапы развития инфекции на урединиоспорах фитопатогена под фотонным и электронным микроскопами (Nana et al., 2023). Этот же вид ЭПГ снижал заболеваемость дыни мучнистой росой тыквенных культур *Podosphaera fusca* (Fr.) Braun & Shishkoff (бывш. *Sphaerotheca fusca*) до 90% при нанесении на растения конидий *A. lecanii* на ранних стадиях заражения фитопатогеном. С помощью световой и сканирующей электронной

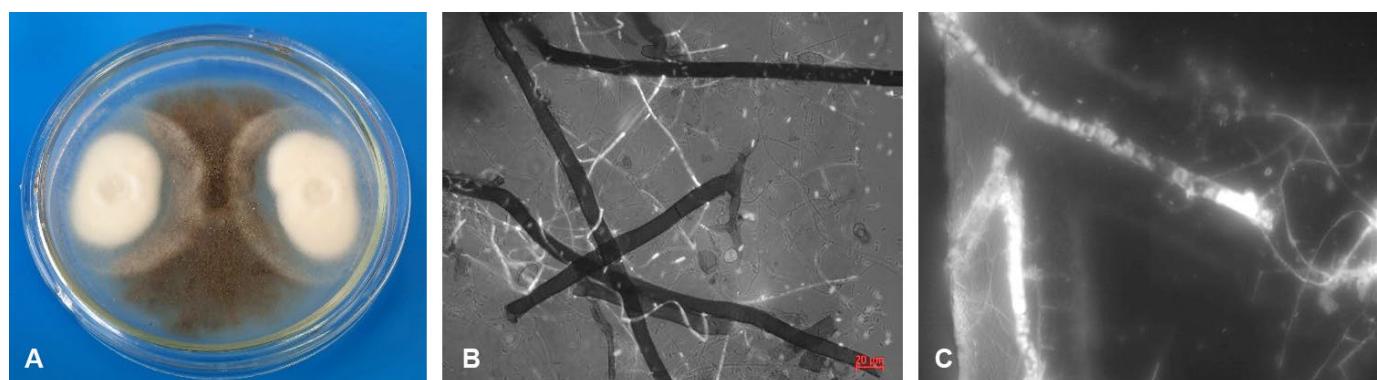


Рисунок 8. Гиперпаразитические свойства штамма VI 61* в отношении возбудителя серой гнили *Botrytis cinerea*: А – совместный рост VI 61* и *Botrytis cinerea* на агаризованной среде; В, С – флуоресцентная + световая микроскопия

Figure 8. Hyperparasitic properties of strain VI 61* in relation to the causative agent of gray mold *Botrytis cinerea*: A – joint growth of VI 61* and *Botrytis cinerea* on agar medium; B, C – fluorescence + light microscopy

микроскопии (СЭМ) выявлены морфологические изменения ФПГ, такие как деформация гиф и сморщивание конидиеносцев и конидий. Также выявлено проникновение микопаразита в гифы, конидиеносцы и конидии *P. fusca* (Romero et al., 2003).

Арктический штамм *L. muscarium* проявил микопаразитизм в отношении *Mucor mucedo* L., *B. cinerea*, *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp и *Phytophthora palmivora* Butler. С помощью световой и сканирующей электронной микроскопии наблюдалось оплетение гиф ЭПГ вокруг гиф фитопатогена, их полное разрушение и обильное спороношение *L. muscarium* (Fenice and Gooday, 2006).

Таким образом, для наиболее активного штамма VI 61 с помощью флуоресцентной микроскопии доказаны его гиперпаразитические свойства в отношении возбудителя серой гнили *B. cinerea*, что позволяет его использовать для защиты томатов на ранних стадиях поражения растений. В дальнейшем следует оценить его эффективность для защиты других растений от серой гнили, а также возможное влияние на фитопатогенные микроорганизмы других видов. Также этот штамм может применяться для защиты растений от оранжерейной белокрылки в защищенном грунте.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российской научного фонда и Санкт-Петербургского научного фонда (грант № 23-26-10052).

Библиографический список (References)

- Артюшкина ТВ, Носова АВ, Рыбаков ЮА (2023) Инсектицидные препараты на основе энтомопатогенных грибов. *Биотехнология* 39(6):97–107. <https://doi.org/10.56304/S0234275823060030>
- Реестр пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Раздел Пестициды. 2025. Москва: Минсельхоз России.
- Митина ГВ, Степанычева ЕА, Чоглокова АА (2020) Влияние энтомопатогенных грибов *Akanthomyces* и *Lecanicillium* на поведенческие реакции и жизнеспособность оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum*. *Вестник защиты растений* 103(4):265–268. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-4-13466>
- Митина ГВ, Борисов БА, Первушин АЛ, Чоглокова АА, Павлюшин ВА (2016) Штамм гриба *Lecanicillium muscarium*, обладающий инсектоакарицидной и антибиотической активностью для борьбы против сосущих вредителей, грибных и бактериальных болезней. Патент на изобретение RUS 2598251
- Янковская ЕН, Войтка ДВ, Федорович МВ, Михнюк АВ (2013) Антагонистическая активность энтомопатогенных грибов в отношении фитопатогенных микромицетов. *Genetica, fiziologia și ameliorarea plantelor* 3(23):321–323. <https://doi.org/10.53040/gppb7.2021.85>
- Aguilera-Samaritano J, Caballero J, Deymié, M Rosa M, Vazquez F, Pappano D, Lechner B, González-Teuber M (2021) Dual effects of entomopathogenic fungi on control of the pest *Lobesia botrana* and the pathogenic fungus *Eutypella microtheca* on grapevine. *Biol Res* 54(44) <https://doi.org/10.1186/s40659-021-00367-x>
- Angela C, Nicoletti R (2010) Occurrence of *Lecanicillium muscarium* as an antagonist of soil-borne fungal pathogens of perennial wallrocket. *J Plant Pathol* 92(4S):S4.77–S4.78
- Askary H, Morad MA, Ajamhassany M, Zamani SM (2008) Preliminary laboratory investigation of *Lecanicillium muscarium* affecting some phytopathogenic fungi. *Iranian J Forest Range Protect Res* 5(2):151–159
- Benhamou N, Brodeur J (2000) Evidence for antibiosis and induced host defense reactions in the interaction between *Verticillium lecanii* and *Penicillium digitatum*, the causal agent of green mold. *Phytopathology* 90:932–943
- Benhamou N, Brodeur J (2001) Pre-inoculation of RiT-DNA transformed cucumber roots with the mycoparasite, *Verticillium lecanii*, induces host defense reactions against *Pythium ultimum* infection. *Physiol Mol Plant Pathol* 58(3):133–146
- Choglokova AA, Mitina GV, Cherepanova MA (2024) Entomopathogenic fungi of the genus *Akanthomyces* and closely related species as antagonists of phytopathogenic microorganisms. *Appl Biochem Microbiol* 60:1321–1327. <https://doi.org/10.1134/S0003683824604852>
- Goettel MS, Koike M, Kim J, Auchi D, Shinya R, Browder J (2008) Potential of *Lecanicillium* species for management of insects, nematodes and plant diseases. *J Invertebr Pathol* 98:256–261
- Faria MR, Wraight SP (2007) Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biol Control* 43:237–256
- Fenice M, Gooday GW (2006) Mycoparasitic actions against fungi and oomycetes by a strain (CCFEE 5003) of the fungus *Lecanicillium muscarium* isolated in Continental Antarctica. *Annal Microbiol* 56(1):1–6
- Hall RA (1981) The fungus *Verticillium lecanii* as a microbial insecticide against aphids and scales. In: Burges HD (ed) *Microbial control of pests and plant diseases 1970–1980*. New York: Academic Press. 483–498
- Heintz C, Blaich R (1990) *Verticillium lecanii* as a hyperparasite of grapevine powdery mildew (*Uncinula necator*) *Vitis* 29:229–232
- Kang BR, Han JH, Kim JJ, Kim YC (2018) Dual biocontrol potential of the entomopathogenic fungus, *Isaria javanica*, for both aphids and plant fungal pathogens. *Mycobiology* 46(4):440–447. <https://doi.org/10.1080/12298093.2018.1538073>

- Kim JJ, Goettel MS, Gillespie DR (2010) Evaluation of *Lecanicillium longisporum*, Vertalec® against the cotton aphid, *Aphis gossypii*, and cucumber powdery mildew, *Sphaerotheca fuliginea* in a greenhouse environment. *Crop Protect* 29(6):540–544 <https://doi.org/10.1016/j.crop.2009.12.011>
- Kim JJ, Goettel MS, Gillespie DR (2008) Evaluation of *Lecanicillium longisporum*, Vertalec for simultaneous suppression of cotton aphid, *Sphaerotheca fuliginea*, on potted cucumbers. *Biol Control* 45:404–409
- Kim JJ, Goettel MS, Gillespie DR (2007) Potential of *Lecanicillium* species for dual microbial control of aphids and the cucumber powdery mildew fungus, *Sphaerotheca fuliginea*. *Biol Control* 40:327–332
- Köhler J, Medeiros FHV, Lombaers-vanderPlas C, Groenenboom-de Haas L, van den Bosch T (2020) Efficacies of bacterial and fungal isolates in biocontrol of *Botrytis cinerea* and *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* and growth promotion in tomato do not correlate. *Biol Control* 150:104375. <https://doi.org/10.1016/j.bioc.2020.104375>
- Koike M, Yoshida S, Abe N, Asano K (2007) Microbial pesticide inhibiting the outbreak of plant disease damage. Invention patent US20080019947A1
- Kusunoki K, Kawai A, Aiuchi D, Koike M, Tani M, Kuramochi K (2006) Biological control of *Verticillium* black-spot of Japanese radish by entomopathogenic *Verticillium lecanii* (*Lecanicillium* spp.). *Res Bull Obihiro Univ* 27: 99–107 (In Japanese with English summary)
- Lozano-Tovar MD, Ortiz-Urquiza A, Garrido-Jurado I, Trapero-Casas A, Quesada-Moraga E (2013) Assessment of entomopathogenic fungi and their extracts against a soil-dwelling pest and soilborne pathogens of olive. *Biol Control* 67(3):409–420. <https://doi.org/10.1016/j.bioc.2013.09.006>
- Nana TA, Koita K, Sanon E, Sankara P (2023) Mechanisms of action of *Akanthomyces lecanii* on peanut rust: Ultrastructural investigations. *Eur J Plant Pathol* 166:241–249. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02658-3>
- Romero D, Rivera ME, Cazorla FM, De Vicente A, A Pérez-García (2003) Effect of mycoparasitic fungi on the development of *Sphaerotheca fusca* in melon leaves. *Mycol Res* 107(1):64–71. <https://doi.org/10.1017/S0953756202006974>
- Saidi A, Mebdou S, Meclem D, Al-Hoshani N, Sadrati N, Boufahja F, Bendif H (2023) Dual biocontrol potential of the entomopathogenic fungus *Akanthomyces muscarius* against *Thaumetopoea pityocampa* and plant pathogenic fungi. *Saudi J Biol Sci* 30(8):103719. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103719>
- Sarven MS, Hao Q, Deng J, Yang F, Wang G, Xiao Y, Xiao X (2020) Biological control of tomato gray mold caused by *Botrytis cinerea* with the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Pathogens* 9(3):213. <https://doi.org/10.3390/pathogens9030213>
- Spencer DM, Atkey PT (1981) Parasitic effects of *Verticillium lecanii* on two rust fungi. *Transactions of the British Mycological Society* 77(3):535–542. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(81\)80101-5](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(81)80101-5)
- Timofeev S, Tsarev A, Senderskiy I, Rogozhin E, Mitina G, Kozlov S, Dolgikh V (2019) Efficient transformation of the entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* by electroporation of germinated conidia. *Mycoscience* 60(3):197–200. <https://doi.org/10.1016/j.myc.2019.02.010>
- Vandermeer J, Perfecto I, Liere H (2009) Evidence for hyperparasitism of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) by the entomogenous fungus, *Lecanicillium lecanii*, through a complex ecological web. *Plant Pathol* 58:636–641
- Yun HG, Kim DJ, Gwak WS, Shin TY, Woo SD (2017) Entomopathogenic fungi as dual control agents against both the pest *Myzus persicae* and phytopathogen *Botrytis cinerea*. *Mycobiology* 45(3):192–198. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.3.192>
- Zewdie B, Tack A. J. M, Ayalew B, Adugna G, Nemomissa S, Hylander K (2021) Temporal dynamics and biocontrol potential of a hyperparasite on coffee leaf rust across a landscape in Arabica coffee's native range. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 311:107297. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107297>

Translation of Russian References

- Artyushkina TV, Nosova AV, Rybakov YuA (2023) [Insecticidal preparations based on entomopathogenic fungi]. *Biotehnologiya* 39(6):97–107. <https://doi.org/10.56304/S0234275823060030> (In Russian)
- Mitina GV, Borisov BA, Pervushin AL, Choglokova AA, Pavlyushin VA (2016) [*Lecanicillium. muscarium* fungus strain with insecticidal, acaricidal and antibiotic activity for the control of sucking pests, fungal and bacterial diseases]. Invention patent RUS 2598251 (In Russian)
- Mitina G, Stepansheva E, Choglokova A (2020) The effect of the different species of the entomopathogenic fungi from genera *Akanthomyces* and *Lecanicillium* on the behavioral responses and the viability of the *Trialeurodes vaporariorum*. *Plant Protection News* 103(4):265–268. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-4-13466> (In Russian)
- Registry of pesticides and agrochemicals permitted for use in the Russian federation. Chapter Pesticides. 2025. Moscow: Ministry of agriculture of the Russian Federation (In Russian)
- Yankovskaya EN, Voitka DV, Fedorovich MV, Mikhnyuk AV (2013) Antagonistic activity of entomopathogenic fungi against phytopathogenic micromycetes. *Genetica, fiziologia și ameliorarea plantelor* 3(23):321–323. <https://doi.org/10.53040/gppb7.2021.85> (In Russian)

PROSPECTS FOR USING THE ENTOMOPATHOGENIC FUNGUS *AKANTHOMYCES MUSCARIUS* TO PROTECT TOMATOES FROM PESTS AND DISEASES

A.A. Choglokova*, G.V. Mitina, M.A. Cherepanova

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

*corresponding author, e-mail: 4oglik@inbox.ru

This study assessed the efficacy of the entomopathogenic fungus *Akanthomyces muscarius* against the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* and the gray mold pathogen *Botrytis cinerea*. It was found that the area of *B. cinerea* infestation on tomato leaves was reduced after pre-treatment with conidia of two out of three *A. muscarius* strains. Strain VI 61 demonstrated the greatest inhibitory effect on gray mold development. This strain, when applied to the whole tomato plants, most effectively suppressed disease development on the fourth day, with subsequent plant growth at the level of the control. When tomato leaves were infested with *B. cinerea* pre-inoculated with *T. vaporariorum*, whitefly mortality from treatment with VI 61 spores was 69 % on the fourth day, 50% higher than in the absence of *B. cinerea*. The efficacy of *A. muscarius* against the phytopathogen in the presence of whitefly larvae was significantly lower than on plants not inhabited by the whitefly. Fluorescence microscopy demonstrated the hyperparasitic properties of *A. muscarius* against *B. cinerea*. It was found that, when strain VI 61* (labeled with a fluorescent tag) and the gray mold pathogen were grown together on agar medium, the fungal hyphae entwined *B. cinerea* hyphae, penetrating, growing, and emerging, destroying the pathogen's cell walls. These results suggest that strain VI 61 of *A. muscarius* holds promise for protecting tomatoes from *B. cinerea* and *T. vaporariorum*.

Keywords: *Lecanicillium*, biopesticides, hyperparasitism, *Botrytis cinerea*, *Trialeurodes vaporariorum*

Submitted: 17.10.2025

Accepted: 02.12.2025