



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

# В Е С Т Н И К ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

---

## PLANT PROTECTION NEWS

2026    ТОМ    109    ВЫПУСК    1  
          VOLUME            ISSUE



Санкт-Петербург  
St. Petersburg, Russia

**ЭНДОФИТНАЯ КОЛОНИЗАЦИЯ РАСТЕНИЙ ГРИБОМ *AKANTHOMYCES MUSCARIUS* И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПЕРСИКОВУЮ ТЛЮ *MYZUS PERSICAE*****Г.В. Митина\*, А.А. Чоглокова, М.А. Черепанова**

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

\*ответственный за переписку, e-mail: galmit@rambler.ru

Изучена способность трех штаммов энтомопатогенного гриба *Akanthomyces muscarius* к эндофитной колонизации культурных растений – бобов, томата и аканта. В отношении бобов обнаружена фиторегуляторная активность штаммов. Внесение в почву споровой суспензии штаммов VI 21 и VI 61 приводило к увеличению зеленой массы, длины растений и массы корня (для VI 61). Наиболее эффективно колонизировал бобы штамм Г-033 ВИЗР опрыскиванием листьев, встречаемость составила 66%, а в стеблях – 40%. Встречаемость штамма VI 61 в листьях и стеблях составила 11–16%. Этот штамм также был обнаружен в корнях и листьях при замачивании семян в споровой суспензии в отличие от других штаммов, которые колонизировали только стебли. Встречаемость VI 21 была наиболее высокой в листьях при опрыскивании (15%). Колонизация бобов штаммами *A. muscarius* негативно влияла на особей персиковой тли, питающихся на этих растениях: плодовитость тлей, посаженных на листья растений, колонизированных VI 21, была ниже на 26% по сравнению с контролем, смертность тли составила 19%. Обработка штаммом VI 61 вызывала тенденцию к снижению плодовитости, смертность тли составила около 50%. Штамм Г-033 ВИЗР не влиял на плодовитость тли, но вызывал до 57% ее смертности. Отмечены единичные случаи проявления симптомов микозов тлей. При колонизации томатов внесением в почву споровых суспензий установлено, что стебли колонизировались лучше всего, колонизация листьев и корней не превышала 8%. Для меченных зеленым флюоресцентным белком штаммов VI 61\* и VI 72\* доказана способность к эндофитной колонизации многолетних растений аканта. Оба штамма выделялись из всех частей аканта, наиболее часто грибы встречались в листьях и стеблях.

**Ключевые слова:** энтомопатогенные грибы, фиторегуляторная активность, кормовые бобы, томаты, персиковая тля

Поступила в редакцию: 14.11.2025

Принята к печати: 01.04.2026

**Введение**

Интерес к экологическому значению энтомопатогенных грибов (ЭПГ) значительно возрос в связи с открытием их способности к эндофитной колонизации тканей растений, которая часто происходит в естественных условиях (Varelli et al., 2016; Vega, 2018). В последние годы увеличилось число сообщений об эндофитных изолятах грибов родов *Lecanicillium* и *Akanthomyces*, представители которых являются возбудителями микозов насекомых и успешно используются в качестве продуцентов биопрепаратов. Выделение этих грибов как эндофитов описано для 54 видов растений, относящихся к 35 семействам (Nicoletti, Vecchimanzi, 2020).

При искусственной эндофитной колонизации разными видами ЭПГ продемонстрирована их способность к стимулированию роста растений (García et al., 2011; Sasan and Bidochka, 2012; Liao et al., 2014; Lopez and Sword, 2015; Jaber and Enkerli, 2017; Dash et al., 2018; Hu, Bidochka, 2021). Усиление роста растений приводит к снижению последствий различных абиотических и биотических стрессов, а также к подавлению болезней растений (Akram et al., 2023). Многочисленными исследованиями показано, что эндофитная колонизация ЭПГ играет особую роль в формировании иммунных свойств растений (Vega, 2008; Ownley et al., 2010; Sasan, Bidochka, 2013; Quesada-Moraga

et al., 2023). Для ряда ЭПГ, проявляющих эндофитные свойства, выявлена антагонистическая активность в отношении фитопатогенных микроорганизмов в опытах *in vitro* (Ашмарина и др., 2021; Saidi et al., 2023 Akram et al., 2023; Ahsan et al., 2024). В ряде исследований сообщалось о биологическом контроле фитопатогенов с помощью эндофитных *Lecanicillium* spp. (Hirano et al., 2008, Ownley et al., 2010; Vega, 2018; Jaber and Ownley, 2018).

Особый интерес представляют сведения о снижении привлекательности растений для фитофагов в результате эндофитной колонизации растений ЭПГ (Dash et al., 2018; Jaber and Ownley, 2018; Manoussopoulos et al., 2019; Yuningsih et al., 2022). Было продемонстрировано негативное воздействие эндофитных ЭПГ на онтогенетические и репродуктивные параметры различных видов тлей (Akelo, Sikora, 2012; Jaber, Araj, 2018).

Для штаммов ЭПГ вида *Akanthomyces muscarius* (Petch) Spatafora, Kepler & B. Shrestha (= *Lecanicillium muscarium*) установлено, что они могут быть использованы в качестве агентов контроля и вредителей, и болезней (Saidi et al., 2023). Отобраны штаммы *A. muscarius*, проявляющие выраженные антагонистические свойства в отношении возбудителей опасных болезней растений. Показана их эффективность в отношении возбудителей серой гнили и

ржавчины (Chogloкова et al., 2024). Однако способность этих штаммов к эндофитной колонизации растений, рост-стимулирующая активность эндофитов и последующее влияние на вредителей не изучены. В настоящем исследовании в качестве модельных объектов были выбраны

растения бобов, томатов и аканта, а в качестве опасного вредителя томатов – персиковая тля *Myzus persicae* Sulzer.

Цель работы: изучить эндофитные свойства штаммов вида *A. muscarius* с антагонистической активностью и оценить их влияние на фитофага *M. persicae*.

## Материалы и методы

### Штаммы *Akanthomyces muscarius*

Для тестирования были использованы штаммы вида *A. muscarius* (VI 21, VI 61, Г-033 ВИЗР), отобранные из Государственной коллекции микроорганизмов, патогенных для растений и их вредителей, поддерживаемой в ФГБНУ ВИЗР (WFCC WDCM № 760, УНО) и обладающие выраженными антагонистическими свойствами в отношении фитопатогенных микроорганизмов. Штамм VI 21 выделен из оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Московская область, Раменское), VI 61 выделен из урединиопустул возбудителя ржавчины *Phragmidium* sp. (Краснодарский край, Мостовской район), Г-033 ВИЗР изолирован из жимолостной белокрылки *Aleurodes lonicerae* Walker (Московская область, Долгопрудный). Штамм Г-033 ВИЗР обладает инсектицидной, акарицидной и антагонистической активностью (Митина и др., 2016). Видовая принадлежность всех штаммов определена методом мультислокусного генотипирования по локусам ITS, NAD1 и TEF (Mitina et al., 2017). Для генотипирования штамма VI 61 дополнительно использованы локусы RPB1 RPB2, LSU, SSU.

В работе были использованы также штаммы VI 72\* и VI 61\*, полученные электропорацией прорастающих конидий природных штаммов Г-033 ВИЗР и VI 61 соответственно и меченные флуоресцентным белком (GFP) по разработанному в ВИЗР методу. Эти штаммы обладали антагонистической активностью в отношении фитопатогенов по предварительным данным и проявляли вирулентность на уровне исходных штаммов (Timofeev et al., 2019).

Конидии гриба для инокуляции растений получали путем выращивания в чашках Петри на среде Чапека с дрожжевым экстрактом (состав, г/л дистиллированной воды: сахароза 20, дрожжевой экстракт 1.0, агар 20, KCl 0.5,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1.0,  $\text{MgSO}_4$  0.5,  $\text{NaNO}_3$  2.0) в течение 10 суток при 27°C. Для получения споровой суспензии с определенным титром конидии смывали 0.01%-ным раствором Твин-80, фильтровали через двойной слой марли и подсчитывали титр спор в камере Горяева.

### Оценка эндофитной колонизации штаммами *A. muscarius* растений бобов и томатов

Для выявления способности к колонизации растений использовали метод, разработанный для изучения эндофитных свойств ЭПГ видов *Beauveria bassiana*, *Isaria fumosorosea* и *L. lecanii* (Dash et al., 2018). В качестве тест-растения использовали кормовые бобы *Vicia faba* L. (Fabaceae), сорт «Русский черный». Перед посевом семена стерилизовали 1% гипохлоритом натрия и 70% этиловым спиртом по 2 мин с последующей трехкратной промывкой в дистиллированной воде. Бобы выращивали в 200 мл стерильной почвенно-песчаной смеси (соотношение 1:1) по 2 растения в сосуде, 10 сосудов на вариант. Впоследствии более слабое растение удаляли. Сосуды содержали при температуре 22–25°C, относительной влажности

– 40–60% и 12-часовом световом дне. Обработку растений споровой суспензией штаммов проводили поливом почвы и опрыскиванием листьев, а также замачивали семена бобов (Parsa et al., 2013). Гриб вносили через одну неделю после появления всходов кормовых бобов в концентрации  $1 \times 10^8$  конидий/мл в растворе 0.01% Твин-80 при внесении в почву по 10 мл споровой суспензии на растение, при опрыскивании – по 2 мл/растение. В контрольном варианте почву или растения обрабатывали 0.01% Твин-80. Семена замачивали в споровой суспензии на 24 часа. Для оценки влияния эндофитной колонизации грибами на параметры роста растений бобов биометрические показатели растений учитывали на 10 сутки после обработки: высоту и массу надземной части (стебель с листьями), а также массу корня.

Для определения уровня эндофитной колонизации и встречаемости штаммов ЭПГ в различных частях растения листья, стебель и корень выращенных бобов после колонизации ЭПГ стерилизовали 1% гипохлоритом натрия и 70% этанолом по 2 мин с последующей трехкратной промывкой в стерильной дистиллированной воде. Образцы разрезали скальпелем на фрагменты и помещали в чашки Петри (диаметром 90 мм) по 4–5 фрагментов одного растения на чашку на среду Сабуро с добавлением антибиотиков (0.35 г/л бромид цетилтриметиламмония, 0.05 г/л циклогексимида, 0.05 г/л тетрациклина и 0.6 г/л стрептомицина) для ингибирования сапротрофных грибов и бактерий. Для контроля качества поверхностной стерилизации листьев использовали метод отпечатков (McKinnon et al., 2017). Чашки инкубировали при 27°C и осматривали каждые 2–3 дня в течение 20 дней, учитывая количество растений, из фрагментов которых формировались колонии *A. muscarius* (доля колонизированных растений, %). Образцы, показавшие рост данного гриба на отпечатках, были исключены из анализа. Процент колонизации отдельных частей растения учитывали по отношению количества колонизированных фрагментов к общему числу культивируемых фрагментов растения (Parsa et al., 2013). Встречаемость штаммов ЭПГ в различных частях растения изучали в зависимости от способа обработки.

Семена томата сорт «Белый налив» стерилизовали и высевали в рассадные ящики со стерильной смесью почвы и песка в соотношении 2:1 и выращивали при 25°C и 12-часовом световом дне. Через 2 недели рассаду томатов пикировали в индивидуальные емкости объемом 0.5 л, еще через 2 недели после пересадки проводили обработку растений путем полива почвы 10 мл суспензии конидий ЭПГ в концентрации  $1 \times 10^8$  конидий/мл в растворе 0.01% Твин-80. Обработку почвы грибами под томатами проводили трижды с интервалом 7 дней. В контроле в почву под растение вносили 0.01% раствор Твин-80. Каждые 2 недели томаты удобряли комплексным удобрением, следуя рекомендациям для данной культуры. Томаты выращивали по 1 растению на сосуд, по 10 сосудов на вариант.

Для выявления эндофитов *A. muscarius* в томатах растения вынимали из сосудов и промывали от почвы через 10 дней после третьей обработки. Поверхность образцов томатов стерилизовали по ранее описанной для бобов методике и раскладывали в чашки Петри на среду Сабуро с антибиотиками. Чашки инкубировали при 27 °С в течение 20 дней и определяли долю колонизированных растений и процент колонизации отдельных частей растения.

#### Изучение процесса эндофитной колонизации *A. muscarius* многолетних растений

Исследование проводили с помощью отобранных штаммов ЭПГ, меченных GFP, на растениях аканта *Acanthus mollis* L. в оранжерее Ботанического сада Петра Великого БИН им. Комарова (Санкт-Петербург). Листья, стебли и корни аканта отбирали после полива почвы под растениями споровыми суспензиями штаммов VI 61\* и VI 72\* с титром  $5 \times 10^6$  спор/мл через 14 суток и через 1 месяц и раскладывали на среду Сабуро с антибиотиками для выявления эндофитов. Выросшие колонии изучали с помощью флуоресцентного микроскопа AxioImager M1 для подтверждения выделения внесенных штаммов ЭПГ.

#### Изучение влияния эндофитной колонизации *A. muscarius* растений бобов на персиковую тлю *Myzus persicae*

Бобы выращивали по описанной выше методике (по 3 растения на сосуд). Через одну неделю после всходов в почву под бобами вносили суспензию конидий штаммов

ЭПГ с титром  $1 \times 10^8$  спор/мл по 10 мл на сосуд, через 2 недели первые настоящие листья отделяли и раскладывали в пластиковые камеры объемом 50 см<sup>3</sup> на 1% агар. На листья бобов отсаживали по 10 самок тли. На следующие сутки самок удаляли и учитывали количество отрожденных личинок, рассчитывали среднее количество личинок на самку (плодовитость). Камеры оставляли при дневном свете и 25 °С, учеты проводили на 3 и 7 сутки после удаления самок, подсчитывая число живых личинок на листе, а также личинок с внешними признаками микоза в виде белого мицелиального налета и белых пушистых колоний на них. Испытания проводили дважды в 6 повторностях. Вирулентность ЭПГ в отношении тли определяли по методике (Митина и др., 2021). Расчет биологической эффективности проводили по снижению численности тлей с поправкой на контроль относительно исходного количества отрожденных личинок после удаления самок.

#### Статистический анализ

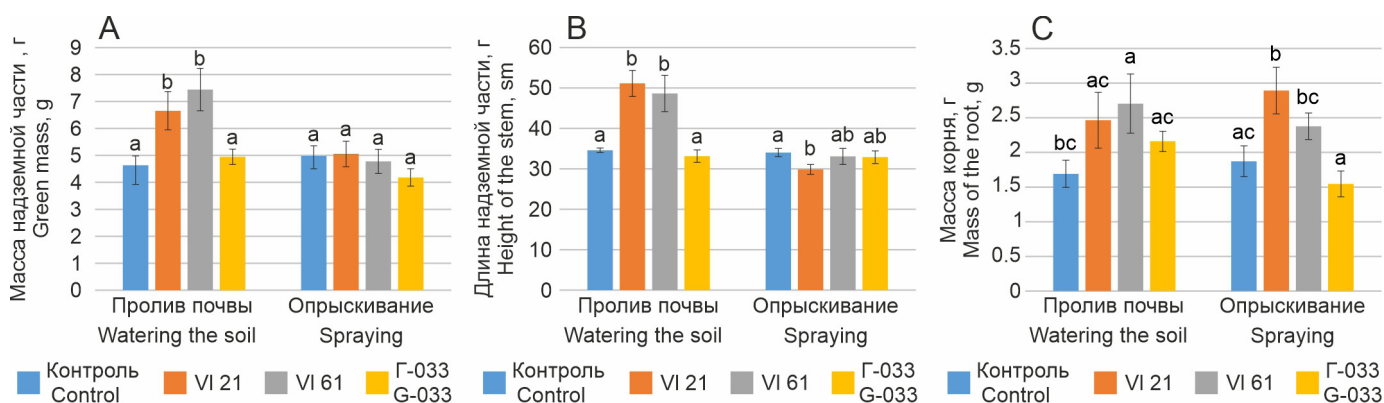
Статистический анализ полученных данных с помощью метода однофакторного анализа ANOVA (SigmaPlot версия 12.5 Systat Software). Нормальность распределения данных проверяли с помощью теста Шапиро-Вилка (Shapiro-Wilk). Нормально распределенные данные анализировали с помощью t-критерия Стьюдента. Ненормально распределенные данные были проанализированы с помощью теста Манна-Уитни (Mann-Whitney).

### Результаты и обсуждение

#### Оценка эндофитной колонизации штаммами *A. muscarius* растений бобов и томатов

Колонизация растений бобов энтомопатогенами оказывала существенное влияние на параметры роста растений и зависела от способа внесения ЭПГ. При проливе почвы споровой суспензией штаммов VI 21 и VI 61 на 10 сутки после инокуляции статистически значимо увеличилась масса надземной части на 43.8% и 60.7%, соответственно длина растений увеличилась на 47.7% и 40.7% (рис. 1 А, В). При опрыскивании бобов спорами штаммов

существенных изменений по массе надземной части не отмечено, но выявлено уменьшение длины растения при обработке спорами VI 21. Также обнаружено существенное увеличение массы корня на 37.4% при обработке почвы спорами VI 61 и на 35.2% и при опрыскивании растений штаммом VI 21 (рис. 1 С). Эндофитная колонизация бобов спорами Г-033 ВИЗР не влияла на рост растений. Замачивание семян бобов в споровой суспензии штаммов также не оказало влияния ни на один из изученных параметров бобов.



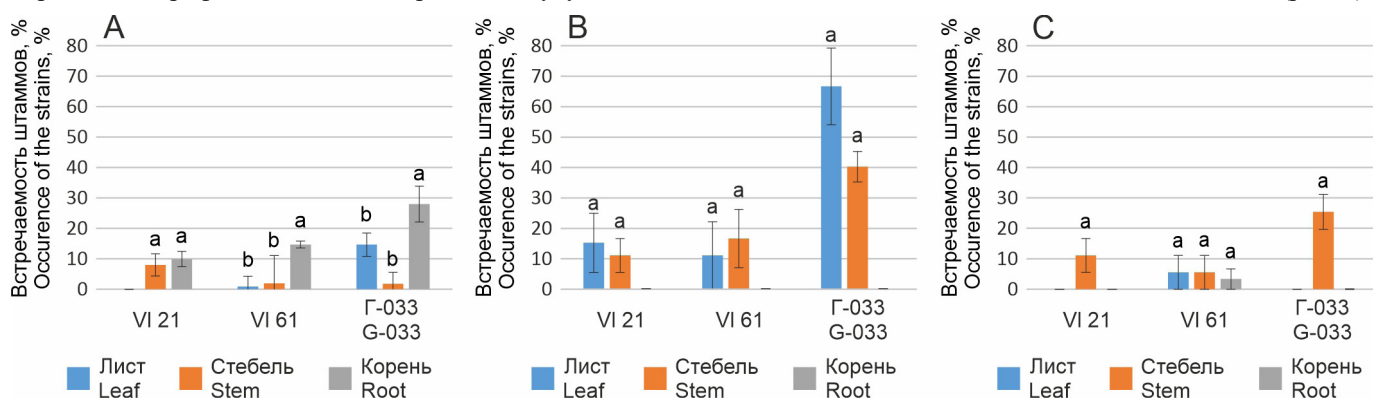
**Рисунок 1.** Влияние *Akanthomyces muscarius* на параметры роста кормовых бобов при поливе почвы и при опрыскивании суспензией спор: А – масса надземной части растения; В – высота надземной части растения; С – масса корня. Разными буквами над столбцами отмечено наличие существенных различий, сравнение по способу обработки ( $p < 0.05$ )

**Figure 1.** The effect of *Akanthomyces muscarius* colonization on the growth parameters of the broad beans when watering the soil and when spraying with the suspension of spores: A – green mass; B – height of the stem; C – mass of the root. Different letters above the bars indicate the presence of significant differences, comparison by method of inoculation ( $p < 0.05$ )

Полученные данные подтверждаются предыдущими исследованиями о том, что эндофитные ЭПГ из родов *Lecanicillium* и *Akanthomyces* способны усиливать рост растений, например, фасоли (Dash et al., 2018) и хлопчатника (Lopez, Sword, 2015). Предполагают, что рост-стимулирующий эффект эндофитных ЭПГ связан с образованием фитогормонов и улучшением условий питания растений при эндофитной колонизации. Для отдельных штаммов *Lecanicillium psalliotae* (Treschew) Zare & W. Gams установлено образование индолил-3-уксусной кислоты и сидерофоров, что приводило к увеличению содержания хлорофилла в листьях кардамона и улучшению

доступности цинка и неорганического фосфата (Kumar et al., 2018). Высвобождение сидерофоров также было отмечено у эндофитного штамма *Akanthomyces lecanii* (Zimm.) Spatafora, Kepler & B. Shrestha из *Pistacia vera* (Dolatabad et al., 2017).

Доля эндофитно колонизированных частей растений бобов была различной для исследуемых штаммов и зависела от способа обработки. Наиболее эффективно колонизировал растения штамм Г-033 ВИЗР путем опрыскивания листьев – он выделялся из листьев и стеблей, встречаемость составила 66.7% и 40.3%, соответственно (рис. 2).



**Рисунок 2.** Частота колонизации отдельных частей растений бобов штаммами *Akanthomyces muscarius*:

А – при внесении в почву; В – при опрыскивании листьев; С – при замачивании семян. Разными буквами над столбцами отмечено наличие существенных различий, сравнение по локализации эндофита ( $p < 0.05$ )

**Figure 2.** Frequency of occurrence of *Akanthomyces muscarius* in different parts of the broad beans after: A – watering the soil; B – spraying; C – treatment the seed. Different letters above the bars indicate the presence of significant differences, comparison by endophyte localization ( $p < 0.05$ )

Штамм VI 61 также чаще выделялся из листьев и стеблей при опрыскивании листьев (до 11–16%). Этот штамм также был обнаружен в корнях и листьях при замачивании семян в отличие от других штаммов, которые были выделены только из стеблей. Встречаемость VI 21 была наиболее высокой в листьях при опрыскивании, но не превышала 15%. При опрыскивании листьев ни один штамм не был выделен из корней. Помимо ЭПГ из растений бобов выделялись различные микромицеты, особенно обильно – из корней.

Известно, что распространение ЭПГ в растении может быть локальным или системным, выявлены штаммовые различия ЭПГ по способности к эндофитной колонизации (Vamisile et al., 2018). Например, штамм вида *A. lecanii* продемонстрировал способность колонизировать растения пшеницы, кукурузы, томата, фасоли и тыквы путем инокуляции листьев, тогда как инокуляция в почву оказалась неэффективной (Gurulingappa et al., 2010). Различные результаты, полученные при оценке методов инокуляции, свидетельствуют о том, что помимо генотипа вносимого гриба на эффективность инокуляции влияют растение-хозяин и другие факторы окружающей среды (Landa et al., 2013).

#### Изучение процесса эндофитной колонизации *A. muscarius* многолетних растений

В результате эндофитной колонизации растений аканта в оранжерее БИН путем полива почвы конидиями штаммов VI 61\* и VI 72\*, меченных GFP, через 14 суток после внесения спор оба штамма были выделены из всех частей

аканта, но наиболее часто ЭПГ встречались в листьях и стеблях (рис. 3).

Выделение из аканта внесенных штаммов в качестве эндофитов подтверждено флуоресцентной микроскопией. Через месяц после внесения ЭПГ были выделены из корней и листьев *A. mollis*, а через 2 месяца – только из листьев. Полученные данные подтверждают способность ЭПГ к эндофитной колонизации растений и выживаемости в условиях теплиц.

#### Оценка эндофитных свойств штаммов в отношении томата

В результате полива почвы споровыми суспензиями ЭПГ под растениями томатов выявлена различная степень колонизации отдельных частей растений. Все штаммы лучше всего колонизировали стебли томата: от 20% для VI 21 до 55% для VI 72\*, колонизация листьев и корней не превышала 8% (рис. 4).

Полученные нами результаты по низкой степени колонизации ЭПГ листьев томатов по сравнению со стеблем и корнями находят подтверждение в литературе. Колонизация растений томатов эндофитными и эпифитными грибами происходила неравномерно (Dong et al., 2021). Авторы объясняют это физическими и химическими свойствами различных органов томата, в частности антимикробными соединениями, которые накапливаются в листьях. Так, в составе листьев томатов обнаружено повышенное по сравнению со стеблями и плодами содержание таких соединений как линоленовая и кофейная кислоты, обладающих фунгицидными свойствами (Kim et al., 2019). В литературе также встречается информация об улучшении

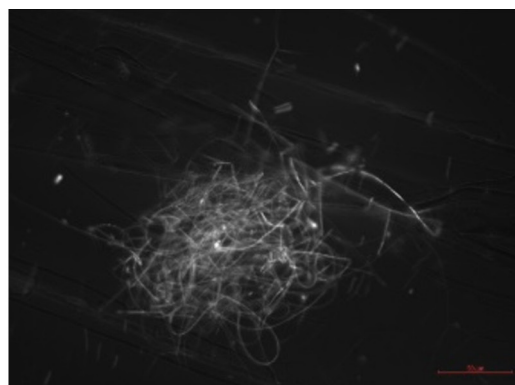
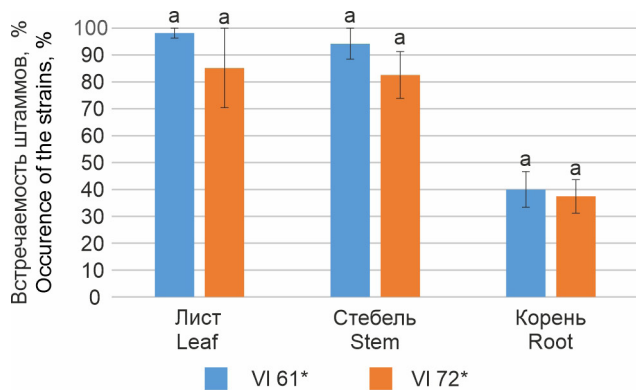
усвоения питательных веществ растениями и снижении хлорозов листьев под воздействием эндофитных ЭПГ (Sánchez-Rodríguez et al., 2015). В наших экспериментах растения томатов, инокулированные ЭПГ, отличались более яркой окраской.

**Изучение влияния эндофитной колонизации *A. muscarius* растений бобов на персиковую тлю *Muzus persicae***

Колонизация бобов штаммами *A. muscarius* негативно влияла на численность тли, питающейся на этих растениях. Плодовитость тлей, посаженных на листья инокулированных растений, через сутки была достоверно ниже после внесения в почву под растение штамма VI 21 по сравнению с контролем ( $p < 0.05$ ) (табл. 1). При внесении штамма VI 61 выявлена тенденция к снижению плодовитости тли. При эндофитной колонизации бобов грибом Г-033 ВИЗР плодовитость тли не отличалась от контроля, однако на 7-е сутки смертность тли была высокой и составила 56.5%. В опыте с VI 61 смертность также была довольно высокой и составила 49.3%. На отдельных особях тлей были выявлены внешние признаки микозов, что свидетельствует о заражении тли при питании растениями, эндофитизированными ЭПГ.

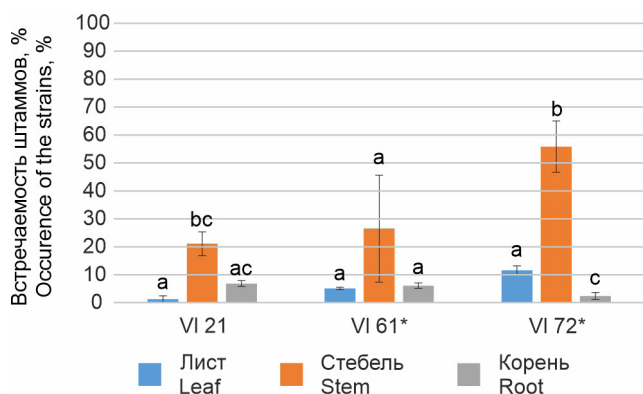
Эти результаты согласуются с данными, полученными другими исследователями. Было продемонстрировано негативное воздействие эндофитных ЭПГ на онтогенетические и репродуктивные параметры различных видов тлей (Akello, Sikora, 2012; Jaber and Araj, 2018). Доказана передача эндофитного гриба *A. lecanii* от растений хлопка к тле *Aphis gossypii* Glover и ее заражение (Anderson et al., 2007).

Для отдельного штамма вида *A. lecanii* установлено, что в результате эндофитной колонизации растений табака происходило снижение плодовитости и сокращение продолжительности жизни *M. persicae* (Yuningsih et al., 2022). Выявлено существенное снижение колонизации растений сладкого перца и бобов персиковой тлей *M. persicae* в результате эндофитной колонизации растений *Beauveria bassiana* (Tomilova et al., 2022). Защитный эффект после системной колонизации фасоли грибом *A. lecanii* был продемонстрирован против красного паутинного клеща *Tetranychus urticae* Koch. В этом случае сообщалось, что *A. lecanii* распространился в тканях растения после искусственной инокуляции семян, способствуя росту растений и снижая выживаемость и плодовитость клещей (Dash et al., 2018).



**Рисунок 3.** Частота встречаемости штаммов VI 61\* и VI 72\* в разных частях аканта *Acanthus mollis* после инокуляции почвы (слева) и флуоресцентная микроскопия листьев *A. mollis* после инокуляции штаммом VI 72\* (справа)

**Figure 3.** Frequency of occurrence of the strains VI 61\* and VI 72\* in different parts of *Acanthus mollis* after soil inoculation (left) and fluorescence microscopy of *A. mollis* leaves after inoculation with strain VI 72\* (right)



**Рисунок 4.** Частота колонизации отдельных частей растений томатов штаммами *Akanthomyces muscarius* при поливе почвы (слева) и выделение VI 61 из стеблей томата (справа). Разными буквами над столбцами отмечено наличие существенных различий, сравнение по локализации эндофита ( $p < 0.05$ )

**Figure 4.** Frequency of occurrence of *Akanthomyces muscarius* in different parts of the tomato plants after watering the soil (left) and isolation VI 61 from tomato stems (right). Different letters above the bars indicate the presence of significant differences, comparison by endophyte localization ( $p < 0.05$ )

**Таблица 1.** Влияние эндофитной колонизации бобов штаммами *Akanthomyces muscarius* на плодовитость и смертность персиковой тли *Myzus persicae*

Штамм	Плодовитость тли, личинок на самку	Смертность тли с учетом гибели в контроле (7 сут), %	Доля тлей с микозами, %
Контроль	2.7±0.2 <sup>a</sup>	-	-
VI 21	2.0±0.2 <sup>b</sup>	18.6±7.5 <sup>a</sup>	4.6±4.2
VI 61	2.3±0.3 <sup>ab</sup>	49.3±7.7 <sup>b</sup>	3.8±2.6
G-033 ВИЗР	2.7±0.4 <sup>ab</sup>	56.5±8.0 <sup>b</sup>	5.5±4.5

Примечание: разными буквами отмечены варианты, достоверно отличающиеся между собой при  $p < 0.05$ , попарное сравнение.

**Table 1.** The effect of endophytization of broad beans with *Akanthomyces muscarius* strains on the fecundity and mortality of peach aphid *Myzus persicae*

Strain	Fecundity, larvae per female	Control-corrected mortality (7 days), %	Rate of aphids with mycoses, %
Control	2.7±0.2 <sup>a</sup>	-	-
VI 21	2.0±0.2 <sup>b</sup>	18.6±7.5 <sup>a</sup>	4.6±4.2
VI 61	2.3±0.3 <sup>ab</sup>	49.3±7.7 <sup>b</sup>	3.8±2.6
G-033 VIZR	2.7±0.4 <sup>ab</sup>	56.5±8.0 <sup>b</sup>	5.5±4.5

Note: Variants that are significantly different from each other at  $p < 0.05$  are marked with different letters, pairwise comparison.

Таким образом, в результате эндофитной колонизации растений бобов тремя изученными штаммами *A. muscarius* выявлены побочные положительные эффекты: стимуляция роста растений (увеличение массы надземной части и высоты растений бобов) и снижение плодовитости персиковой тли, питающейся на эндофитизированных растениях. Эти эффекты открывают новые возможности в разработке биопрепаратов на основе энтомопатогенных грибов комплексного действия в отношении вредителей

и болезней. Важное значение имеет выбор способа обработки растений грибами, который влияет на уровень эндофитной колонизации отдельных частей растений. Следует учитывать также и особенности штаммов *A. muscarius* по способности к эндофитной колонизации определенных растений. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение эффективности этих штаммов против вредителей и болезней в полевых условиях.

### Благодарности

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

### Библиографический список (References)

- Ашмарина ЛФ, Леднёв ГР, Томилова ОГ, Садохина ТА и др. (2021) Влияние энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana* на развитие заболеваний кормовых бобов (*Vicia faba*) в полевых условиях. *Доклады Российской академии наук. Науки о жизни* 499(1):385–390
- Митина ГВ, Борисов БА, Первушин АЛ, Чоглокова АА и др. (2016) Штамм гриба *Lecanicillium muscarium*, обладающий инсектоакарицидной и антибиотической активностью для борьбы против сосущих вредителей, грибных и бактериальных болезней. Патент на изобретение RU 2598251
- Митина ГВ, Степаныхева ЕА, Чоглокова АА, Черепанова МА (2021) Особенности поведенческих реакций персиковой тли *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Hemiptera, Aphididae) на летучие органические соединения энтомопатогенных грибов рода *Lecanicillium*. *Энтомологическое обозрение* 100(1):697–707
- Ahsan SM, Injamum-UI-Hoque M, Das AK, Rahman MM, Mollah MMI et al (2024) Plant–entomopathogenic fungi interaction: recent progress and future prospects on endophytism-mediated growth promotion and biocontrol. *Plants* 13(10):1420. <http://doi.org/10.3390/plants13101420>
- Akello J, Sikora R (2012) Systemic acropetal influence of endophyte seed treatment on *Acyrtosiphon pisum* and *Aphis fabae* offspring development and reproductive fitness. *Biol Control* 61:215–221. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.02.007>
- Akram S, Ahmed AHeP, HeP, Liu Y, Wu Y et al (2023) Uniting the Role of Endophytic Fungi against Plant Pathogens and Their Interaction. *J of Fungi* 9(1):72. <http://doi.org/10.3390/jof9010072>
- Anderson CM, McGee PA, Nehl DB, Mensah RK (2007) The fungus *Lecanicillium lecanii* colonises the plant *Gossypium hirsutum* and the aphid *Aphis gossypii*. *Australas Mycol* 26:65–70
- Bamisile BS, Dash CK, Akutse KS, Keppanan R, Afolabi OG et al (2018) Prospects of endophytic fungal entomopathogens as biocontrol and plant growth promoting agents: An insight on how artificial inoculation methods affect endophytic colonization of host plants. *Microbiol Res* 217:34–50. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.08.016>
- Barelli L, Moonjely S, Behie SW, Bidochka MJ (2016) Fungi with multifunctional lifestyles: endophytic insect pathogenic fungi. *Plant Mol Biol* 90:657–664. <http://doi.org/10.1007/s11103-015-0413-z>
- Chogloкова АА, Митина ГВ, Черепанова МА (2024) Entomopathogenic fungi of the genus *Akanthomyces* and closely related species as antagonists of phytopathogenic microorganisms. *Appl Biochem and Microbiol* 60(6):1321–1327. <http://doi.org/10.1134/S0003683824604852>

- Dash CK, Bamisile BS, Keppanan R, Qasim M, Lin Y et al (2018) Endophytic entomopathogenic fungi enhance the growth of *Phaseolus vulgaris* L. (*Fabaceae*) and negatively affect the development and reproduction of *Tetranychus urticae* Koch (*Acari: Tetranychidae*). *Microb Pathog* 125:385–392. <http://doi.org/10.1080/09583157.2016.1243227>
- Dolatabad HK, Javan-Nikkhah M, Shier WT (2017) Evaluation of antifungal, phosphate solubilisation, and siderophore and chitinase release activities of endophytic fungi from *Pistacia vera*. *Mycol Progr* 16:777–790
- Dong C, Wang L, Li Q, Shang Q (2021) Epiphytic and endophytic fungal communities of tomato plants. *Hortic Plant J* 7(1):38–48. <http://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.09.002>
- García JE, Beatriz PJ, Alejandro P, Roberto LE (2011) *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin promotes growth and has endophytic activity in tomato plants. *Adv Bio Res* 5:22–27
- Gurulingappa P, Sword GA, Murdoch G, McGee PA (2010) Colonization of crop plants by fungal entomopathogens and their effects on two insect pests when in planta. *Biol Control* 55:34–41. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.06.011>
- Hirano E, Koike M, Aiuchi D, Tani M (2008) Pre-inoculation of cucumber roots with *Verticillium lecanii* (*Lecanicillium muscarium*) induces resistance to powdery mildew. *Res Bull Obihiro Univ* 29:82–94
- Hu S, Bidochka MJ (2021) Root colonization by endophytic insect-pathogenic fungi. *J Appl Microbiol* 130(2):570–581. <https://doi.org/10.1111/jam.14503>
- Jaber LR, Araj SE (2018) Interactions among endophytic fungal entomopathogens (*Ascomycota: Hypocreales*), the green peach aphid *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae), and the aphid endoparasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae) (2017) *Biol Control* 116:53–61. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.04.005>
- Jaber LR, Enkerli J (2017) Fungal entomopathogens as endophytes: can they promote plant growth? *Biocontrol Sci Technol* 27(1):28–41. <https://doi.org/10.1080/09583157.2016.1243227>
- Jaber LR (2018) Seed inoculation with endophytic fungal entomopathogens promotes plant growth and reduces crown and root rot (CRR) caused by *Fusarium culmorum* in wheat. *Planta* 248:1525–1535. <http://doi.org/10.1007/s00425-018-2991-x>
- Jaber LR, Ownley BH (2018) Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens? *Biol Control* 116:36–45. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.018>
- Kim DS, Kwack Y, Lee JH, Chun C (2019) Antimicrobial activity of various parts of tomato plants varied with different solvent extracts. *Plant Pathol J* 35(2):149–155. <http://doi.org/10.5423/PPJ.OA.07.2018.0132>
- Kuchár M, Glare TR, Hampton JG, Dickie IA et al (2019) Virulence of the plant-associated endophytic fungus *Lecanicillium muscarium* to diamondback moth larvae. *N Z Plant Prot* 72: 253–259. <http://doi.org/10.30843/nzpp.2019.72.257>
- Kumar CS, Jacob TK, Devasahayam S, Thomas S et al (2018) Multifarious plant growth promotion by an entomopathogenic fungus *Lecanicillium psalliotae*. *Microbiol Res* 207:153–160 <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.11.017>
- Landa BB, López-Díaz C, Jiménez-Fernández D, Montes-Borrego M et al (2013) In-planta detection and monitorization of endophytic colonization by a *Beauveria bassiana* strain using a new-developed nested and quantitative PCR-based assay and confocal laser scanning microscopy. *J Invertebr Pathol* 114(2):128–138. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2013.06.007>
- Liao X, O'Brien TR, Fang W, St. Leger RJ (2014) The plant beneficial effects of *Metarhizium species* correlate with their association with roots. *Appl Microbiol Biotechnol* 98:7089–7096. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5788-2>
- Lopez DC, Sword GA (2015) The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). *Biol Control* 89:53–60. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.03.010>
- Manoussopoulos Y, Mantzoukas S, Lagogiannis I, Goudoudaki S et al (2019) Effects of three strawberry entomopathogenic fungi on the prefeeding behavior of the aphid *Myzus persicae*. *J Insect Behav* 32:99–108. <http://doi.org/10.1007/s10905-019-09709-w>
- McKinnon AC, Saari S, Moran-Diez ME, Meyling NV et al (2017) *Beauveria bassiana* as an endophyte: A critical review on associated methodology and biocontrol potential. *BioControl* 62:1–17. <http://doi.org/10.1007/s10526-016-9769-5>
- Mitina G, Kazartsev I, Vasileva A, Yli-Mattila T (2017) Multilocus genotyping based species identification of entomopathogenic fungi of the genus *Lecanicillium* (= *Verticillium lecanii* sl). *J. Basic Microbiol.* 57, 950–961. <http://doi.org/10.1002/jobm.201700092>
- Nicoletti R, Becchimanzi A (2020) Endophytism of *Lecanicillium* and *Akanthomyces*. *Agriculture* 10, 205. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060205>
- Ownley BH, Gwinn KD, Vega FE (2010) Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens: ecology and evolution. *BioControl* 55:113–128. <http://doi.org/10.1007/s10526-009-9241-x>
- Parsa S, Ortiz V, Vega FE (2013) Establishment of fungal entomopathogens as endophytes: towards endophytic biological control. *J Vis Exp* 11(74): 50360. <http://doi.org/10.3791/50360>
- Quesada-Moraga E, Garrido-Jurado I, González-Mas N, Yousef-Yousef M (2023) Ecosystem services of entomopathogenic ascomycetes. *J Invertebr Pathol* 201:108015. <http://doi.org/10.1016/j.jip.2023.108015>
- Saidi A, Mebdoua S, Mecerlem D, Al-Hoshani N et al (2023) Dual biocontrol potential of the entomopathogenic fungus *Akanthomyces muscarius* against *Thaumetopoea pityocampa* and plant pathogenic fungi. *Saudi J Biol Sci* 30(8):103719. <http://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103719>
- Sánchez-Rodríguez AR, Campillo MCD, Quesada-Moraga E (2015) *Beauveria bassiana*: An entomopathogenic fungus alleviates Fe chlorosis symptoms in plants grown on calcareous substrates. *Sci Hortic* 197:193–202. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.029>
- Sasan RK, Bidochka MJ (2013) Antagonism of the endophytic insect pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* against the bean plant pathogen *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*. *Canad J Plant Pathol* 35:288–293. <https://doi.org/10.1080/07060661.2013.823114>

- Sasan RK, Bidochka MJ (2012) The insect-pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* (Clavicipitaceae) is also an endophyte that stimulates plant root development. *Am J Bot* 99:101–107. <https://doi.org/10.3732/ajb.1100136>
- Timofeev S, Tsarev A, Senderskiy I, Rogozhin E et al (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>
- Tomilova O, Lednev G, Volkova N, Kozlova E (2022) Effect of the endophytic colonization of *Beauveria bassiana* on the population density of peach aphid (*Myzus persicae*) and the growth parameters of plants. *Plant Protection News* 105(2):94–99. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-2-15325>
- Vega FE (2008) Insect pathology and fungal endophytes. *J Invertebr Pathol* 98(3):277–279. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.01.008>
- Vega FE (2018) The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: a review. *Mycologia* 110(1):4–30. <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1418578>
- Yuningsih D, Anwar R, Wiyono S (2022) Endophytic colonization of entomopathogenic *Lecanicillium lecanii* (Zimm) Zare & Gams PTN10, and its effect on tobacco resistance against *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 974(1):6. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/974/1/012089>

#### Translation of Russian References

- Ashmarina LF, Lednev GR, Tomilova OG, Sadokhina TA et al (2021) Effect of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on the development of broad bean (*Vicia faba*) diseases under field conditions. Reports of the Russian Academy of Sciences. Life Sciences 499(1):385–390 (In Russian)
- Mitina GV, Borisov BA, Pervushin AL, Chogloкова AA, Pavlyushin VA (2016) [*Lecanicillium muscarium* a fungal strain with insecticidal, acaricidal and antibiotic activity for the control of sucking pests, fungal, and bacterial diseases]. Patent of the Russian Federation No. 2598251 (In Russian)
- Mitina GV, Stepanycheva EA, Chogloкова AA, Cherepanova MA (2021) Features of behavioral reactions of the peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Hemiptera, Aphididae) to volatile organic compounds of entomopathogenic fungi of the genus *Lecanicillium*. *Entomological Review* 101(8):1015–1023. <http://doi.org/10.1134/S0013873821080017>
- Plant Protection News, 2026, 109(1), p. 41–48
- OECD+WoS: 1.06+RQ (Mycology), 1.06+QU (Microbiology) <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2026-109-1-17495>

Full-text article

## ENDOPHYTIC COLONIZATION OF PLANTS BY THE FUNGUS *AKANTHOMYCES MUSCARIUS* AND ITS EFFECT ON THE PEACH APHID *MYZUS PERSICAE*

G.V. Mitina\*, A.A. Chogloкова, M.A. Cherepanova  
All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

\*corresponding author, e-mail: galmit@rambler.ru

The ability of three strains of entomopathogenic fungus *Akanthomyces muscarius* to endophytic colonization was studied in beans, tomato and acanthus. In beans, phyto regulatory activity of the fungus was revealed. Watering soil with spore suspensions of strains VI 21 and VI 61 resulted in increase of green mass, plant length, and root mass (for VI 61). Strain G-033 VIZR colonized beans most effectively when sprayed on leaves, occurrence in leaves and stems was 66% and 40%, respectively. Occurrence of VI 61 in leaves and stems was 11–16%. It was also found in roots and leaves after seed soaking in spore suspension, unlike other strains, which only colonized stems. The occurrence of VI 21 was highest in leaves when sprayed (15%). Colonization of beans with *A. muscarius* negatively influenced aphids feeding on these plants. On VI 21-colonized plants, aphid fecundity was 26% lower than in control and mortality reached 19%. VI 61 showed a fecundity decreasing trend and 50% mortality of aphids. Strain G-033 VIZR didn't affect aphid fecundity but caused 57% mortality. Occasional aphid specimens displayed cases of mycoses. When the soil under tomato plants was watered with fungal spore suspension, the isolates predominately colonized the tomato stems, while colonization rate of leaves and roots did not exceed 8%. The ability of green fluorescent protein-labeled strains VI 61\* and VI 72\* to colonize perennial acanthus plants was shown. Both strains were isolated from all parts of the acanthus, most frequently from leaves and stems.

**Keywords:** entomopathogenic fungi, phyto regulatory activity, broad beans, tomatoes, peach aphid

Submitted: 14.11.2025

Accepted: 01.04.2026