

УДК 595.75:632.937.14

**ВЛИЯНИЕ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ РОДА *LECANICILLIUM*
И ИХ КОМПОНЕНТА, УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ, НА ПОВЕДЕНИЕ
САМОК ЗАПАДНОГО ЦВЕТОЧНОГО ТРИПСА *FRANKLINIELLA*
OCCIDENTALIS (PERGANDE) (THYSANOPTERA, THRIPIDAE)**

© 2023 г. Г. В. Митина,* Е. А. Степанычева,** А. А. Чоглокова,***
М. А. Черепанова****

Всероссийский институт защиты растений РАН
шоссе Подбельского, 3, С.-Петербург–Пушкин, 196608 Россия
*e-mail: galmit@rambler.ru (автор, ответственный за переписку),

e-mail: stepanycheva@yandex.ru, *e-mail: 4oglik@inbox.ru, ****e-mail: cherepma@mail.ru

Поступила в редакцию 05.05.2023 г.

После доработки 31.05.2023 г.

Принята к публикации 31.05.2023 г.

Изучено влияние ЛОС шести штаммов энтомопатогенных грибов рода *Lecanicillium* на поведенческие реакции самок западного цветочного трипса *Frankliniella occidentalis* на вегетирующих растениях фасоли и в Y-образном ольфактометре. При обработке фасоли споровыми суспензиями конидий штаммов F2 и V1 29 *Lecanicillium lecanii* в концентрации 1×10^7 спор/мл выявлены существенное репеллентное действие на самок трипса и уменьшение числа отродившихся личинок на 33–34 %. ЛОС *Lecanicillium muscarium* штамм V1 21 и *L. attenuatum* штамм Vit 71, проявившие тенденцию к репеллентности для имаго трипса, также вызывали существенное снижение численности потомства. Тенденцию к аттрактивности проявили ЛОС штаммов, выделенных из тлей (*Lecanicillium dimorphum* штамм ARSEF 2332 и *L. longisporum* штамм V1 13). В Y-образном ольфактометре подтверждены репеллентность ЛОС *L. lecanii* штамма F2 и аттрактивность ЛОС *L. dimorphum* штамма ARSEF 2332. Влияние ЛОС остальных изученных штаммов на поведенческие реакции трипсов было недостоверно. Уксусная кислота, испытанная в ольфактометре в дозах, соответствующих ее содержанию в составе ЛОС грибов над растущим мицелием, вызывала различные реакции у самок трипса в зависимости от концентрации: аттрактивную – в дозе 0.17 ppm, нейтральную – в дозе 0.34 ppm, и слабовыраженную репеллентную – при 0.85 ppm. Полученные данные свидетельствуют о влиянии уксусной кислоты, входящей в состав ЛОС грибов, на поведенческие реакции самок трипса. Репеллентное действие ЛОС спор грибов рода *Lecanicillium* на самок трипса и их негативное влияние на численность потомства повышают эффективность энтомопатогенных грибов.

Ключевые слова: *Frankliniella occidentalis*, поведенческие реакции, энтомопатогенные грибы, *Lecanicillium*, летучие органические соединения, уксусная кислота.

DOI: 10.31857/S0367144523020053, EDN: DTJESV

Западный цветочный, или калифорнийский трипс, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) – наиболее распространенный карантинный объект, вредящий различным овощным и декоративным культурам в закрытом грунте. Он не только причиняет вред растениям в качестве фитофага, но и переносит опасные вирусные заболевания растений. Трипс обладает слабыми летными способностями, и его быстрое расселение на значительные расстояния происходит в основном с продукцией растениеводства. Сложности выявления фитофага связаны с его мелкими размерами, откладкой яиц в паренхиму листа и наличием двух стадий нимф в почве (Mouden et al., 2017; Reitz et al., 2020).

Для снижения численности *F. occidentalis* применяются многочисленные комплексные мероприятия, однако предпочтение отдается традиционным инсектицидам, к которым у трипса быстро формируется устойчивость (Bilbo et al., 2023).

В современной стратегии защиты растений наблюдается тенденция к максимально-му ослаблению негативного воздействия на окружающую среду за счет сокращения объемов применения химических средств защиты растений и поиска новых защитных мер, в том числе с использованием микроорганизмов и биологически активных веществ, влияющих на размножение, развитие, рост и поведение насекомых.

Важное место в ассортименте таких средств борьбы с вредными насекомыми занимают биопрепараты на основе высокоактивных штаммов энтомопатогенных грибов (ЭПГ), являющихся естественными регуляторами численности насекомых. В мировой практике для борьбы против *F. occidentalis* показали эффективность такие микробные агенты, как *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill., *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin, *Isaria fumosorosea* Wize, *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Zare et W. Gams (Zhang et al., 2015; Lee et al., 2017; Wu et al., 2018; Zhou et al., 2020). Особенный интерес представляет возможность применения ЭПГ против почвенной стадии трипса (Skinner et al., 2012).

В последнее десятилетие уделяется внимание способности спор и мицелия ЭПГ к выделению летучих органических соединений (ЛОС), влияющих на поведенческие реакции насекомых, а также вызывающих сублетальные эффекты (Butt et al., 2016; Hummadi et al., 2021; Ponce et al., 2021; Weisskopf et al., 2021). ЛОС грибов представляются многообещающими кандидатами на роль биопестицидов, являясь идеальными семиохемиками, включенными в процесс взаимодействия между грибами и насекомыми и способными распространяться через воздух и почву (Morath et al., 2012). Недавно нашими исследованиями было показано, что штаммы разных видов грибов рода *Lecanicillium* оказывали выраженное репеллентное действие на личинок трипса (Митина и др., 2022а).

Влияние ЭПГ на поведение имаго трипса не изучалось, однако оно может быть существенным, поскольку данный фитофаг характеризуется выраженной дистантной ориентацией как на ЛОС кормового растения, его визуальные и морфологические признаки, так и на различные запахи, не связанные с растением (Mainali, Lim, 2011; Cao et al., 2018). Поведенческую реакцию насекомого в ответ на грибной патоген, применяемый в качестве агента биологического контроля, необходимо учитывать при разработке тактики оптимального применения микробиологических препаратов (Baverstock et al., 2009).

Масс-спектрометрические исследования состава ЛОС ЭПГ рода *Lecanicillium* показали, что основными компонентами газовой фазы над мицелием ЭПГ являются углекислый газ, ацетон, уксусная кислота и пентан. Кроме них были обнаружены такие соединения, как диоксид серы, пентан, гексаналь, гексилацетат и этилацетат (Кузьмин и др., 2021). Установлено влияние некоторых из этих соединений, в частности уксусной кислоты, на поведенческие реакции насекомых (Justin et al., 2016; Kivett et al., 2016; Baran et al., 2018; Rimal et al., 2019), но сведений о влиянии уксусной кислоты на поведение *F. occidentalis* нет.

Цель настоящего исследования состояла в оценке влияния ЛОС мицелия и спор ЭПГ рода *Lecanicillium* на поведенческие реакции самок *F. occidentalis* на растениях и в ольфактометре. Среди компонентов ЛОС грибов изучено влияние на поведение трипса уксусной кислоты.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Энтомологический материал

Культуру западного цветочного трипса *Frankliniella occidentalis* содержали на растениях фасоли при температуре 22 ± 2 °C и 18-часовом световом дне. Для оценки реакции насекомых на ЛОС ЭПГ отбирали половозрелых самок трипса.

Микологический материал

Штаммы ЭПГ отобраны из Государственной коллекции ВИЗР (WFCC WDCM № 760). Штаммы V1 21 вида *Lecanicillium muscarium* (Petch) Zare et W. Gams и V1 29 вида *L. lecanii* выделены из белокрылок (V1 21 из оранжерейной белокрылки, V1 29 – из жимолостной белокрылки); штамм V1 13 вида *Lecanicillium longisporum* (Petch) Zare et W. Gams выделен из тли; F2 вида *L. lecanii* – из не идентифицированного насекомого. Штамм ARSEF 2332 вида *Lecanicillium dimorphum* (J. D. Chen) Zare et W. Gams выделен из тли и получен из Коллекции ARSEF USDA (США). Штамм Vit 71 вида *Lecanicillium attenuatum* Zare et W. Gams выделен из большого елового кородея *Ips typographus* L. В современной систематике род *Lecanicillium* (сем. Cordycipitaceae) реклассифицирован и часть его видов отнесена к роду *Akanthomyces*: *Akanthomyces muscarius* (= *L. muscarium*), *Akanthomyces lecanii* (= *L. lecanii*) и *Akanthomyces dipterigenus* (= *L. longisporum*) (Kepler et al., 2017). Поскольку принадлежность этих видов к роду *Akanthomyces* остается дискуссионной, в нашей работе, как и во многих других публикациях, используются традиционные названия этих видов.

Культуры поддерживали на агаризованной среде Чапека в пробирках при +4 °C. Для получения спорующего мицелия штаммы выращивали на среде Чапека в течение 10 суток при 26 °C. Мицелий вырезали микробиологическим пробойником в виде агаровых блоков диаметром 9 мм из свежей культуры. Для получения споровой суспензии споры смывали с мицелия 0.01%-ным раствором Твин 80 в воде и доводили до концентрации 1×10^7 спор/мл. Приготовление суспензии и обработка растений проводились по опубликованной методике (Митина и др., 2019).

Оценка первичной реакции самок *Frankliniella occidentalis* на ЛОС грибов на вегетирующих растениях

Растения фасоли выращивали индивидуально в пластиковых стаканчиках (200 мл) и использовали их в фазе семядольных листьев. В садки из оргстекла (60 × 60 × 60 см) помещали по 2 контрольных растения (обработка опрыскиванием 0.01%-ным раствором Твин 80 в воде, по 2 мл на растение) и 2 опытных растения, обработанные свежей конидиальной суспензией ЭПГ

с титром 1×10^7 спор/мл. В центр каждого садка выпускали по 40 самок трипса. Опыт проводили в 5 повторностях (в 5 садках). Условия проведения экспериментов соответствовали тем, в которых содержали культуру фитофага. Учет распределения на растениях самок проводили через 1 сутки, в дальнейшем их удаляли. В связи с тем, что самки откладывают яйца в растительные ткани, внутри листовых жилок или вблизи них, численность потомства оценивали по количеству отродившихся личинок на 5–6-е сутки.

Индекс агрегации (ИА) определяли по формуле:

$$\text{ИА} = (O - K) / (O + K) \times 100,$$

где O – число имаго в опыте, K – число имаго в контроле (Pascual-Villalobos, Robledo 1998). Предполагается, что тестируемые вещества проявляют аттрактивность при $\text{ИА} > 0$ и репеллентность при $\text{ИА} < 0$.

Изменение числа личинок дочернего поколения по отношению к контролю (ИЧЛ, %) рассчитывали по формуле:

$$\text{ИЧЛ} = (\text{число личинок в контроле} - \text{число личинок в опыте}) / \text{число личинок в контроле} \times 100.$$

Оценка первичной реакции самок *Frankliniella occidentalis* на ЛОС в Y-образном ольфактометре

Y-образный ольфактометр представлял собой стеклянную трубку, разделенную на два рукава, которые отходят от центральной части под углом 45° (длина каждого рукава – 14 см, внутренний диаметр – 2.5 см, объем – 215 мл). Над ольфактометром устанавливали источник света, равномерно освещающий оба рукава ольфактометра (лампа накаливания мощностью 60 Вт). Воздух подавался с помощью электрического насоса, который был подключен через силиконовые трубки к двум рукавам Y-образной трубки. Скорость подачи воздуха в общем рукаве, предназначенном для выпуска трипса, составляла 40 мл/мин. Аналогичный ольфактометр, но отличающийся по размеру трубки, ранее применяли для изучения поведения *F. occidentalis* (Cao et al., 2018). Нами были подобраны условия экспериментов, скорость подаваемого воздуха и период экспозиции. Самок фитофага предварительно собирали эксгаустером с растений фасоли и по 1 особи помещали в пробирки Эппендорф на 2 часа без корма, после чего использовали в опыте. Агаровые блоки с мицелием и с чистой средой располагали на кусочках полиэтилена для предотвращения прилипания к стеклу. После помещения источника запаха перед выпуском трипса воздух прогоняли в течение 10 мин. Затем одну самку трипса выпускали в общий рукав ольфактометра на расстоянии 1 см от отверстия. Трипсы, не проявившие целенаправленного движения в течение 3 мин, выбраковывались. Реакцию трипса регистрировали в момент пересечения насекомым $2/3$ длины одного из рукавов ольфактометра. Если за 10 минут самка не делала выбора – ее считали непрореагировавшей. Каждую особь использовали один раз. После тестирования пяти особей Y-образную трубку поворачивали на 180° (чтобы избежать возможного влияния неравномерности освещения) и оценивали движение еще 5 особей, а затем меняли трубку и источник запаха. Опыты проводили в 4 повторностях по 10 особей при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Индекс агрегации определяли по приведенной выше формуле.

Оценка влияния паров уксусной кислоты на поведение самок *Frankliniella occidentalis* в Y-образном ольфактометре

Опыты с уксусной кислотой проводили на самках трипса, которых отбирали так же, как и при оценке влияния ЛОС грибов. Уксусную кислоту разводили дистиллированной водой до определенной концентрации и наносили на сигаретный фильтр в количестве 10 мкл, в контроле на фильтр в том же количестве наносили воду. Фильтры помещали на листья фасоли в различные рукава ольфактометра. Период экспозиции – 10 мин. Минимальное количество уксусной кислоты для нанесения на фильтр рассчитывали, исходя из данных по ее содержанию в смесях ЛОС

над мицелием изучаемых штаммов грибов, полученных с помощью масс-спектрометрического анализа.

Статистическая обработка

Статистическую обработку проводили с помощью метода однофакторного анализа ANOVA (SigmaPlot версия 12.5 Systat Software), для сравнения средних значений использовали тест Tukey's HSD.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обработка вегетирующих растений фасоли споровыми суспензиями штаммов *L. lecanii* F2 и V1 29 вызывала достоверное уменьшение числа имаго (табл. 1) и достоверное уменьшение на 33–34 % числа отродившихся личинок трипса. Штаммы *L. muscarium* V1 21 и *L. attenuatum* V1 71, проявившие тенденцию к репеллентности для имаго трипса, также вызывали существенное уменьшение численности потомства (см. табл. 1). Ранее все эти штаммы, относящиеся к наиболее распространенным в природе видам, оказали выраженное репеллентное действие на личинок трипса (Митина и др., 2022а).

Тенденцию к аттрактивности проявили ЛОС видов *L. dimorphum* и *L. longisporum* (ARSEF 2332, V1 13), выделенные из тлей. Такие различия в реакциях трипса могут быть связаны с составом ЛОС грибов отдельных видов и штаммов рода *Lecanicillium*. Для других видов ЭПГ установлено, что количественный и качественный состав ЛОС может варьировать в зависимости от штамма, субстрата, возраста культуры, температуры и других параметров окружающей среды (Lozano-Soria et al., 2020). Уменьшение численности потомства, обнаруженное нами у западного цветочного трипса в результате воздействия ЛОС спор ЭПГ, может быть вызвано репеллентным действием споровых суспензий нанесенных на растения. На персиковую тлю *Myzus persicae* (Sulzer) ЛОС ЭПГ рода *Lecanicillium* также оказывали преимущественно репеллентное действие, сопровождающееся уменьшением числа личинок дочернего поколения (Mitina et al., 2021). Преобладание репеллентного действия ЛОС грибов рода *Beauveria* отмечено для насекомых из разных отрядов (Ormond et al., 2011; Mburu et al., 2013). Проявление аттрактивности ЛОС ЭПГ для насекомых было обнаружено у растений, эндофитно колонизированных грибами (Rondot, Reineke, 2017; González-Mas et al., 2021).

Уточнение первичной реакции самок западного цветочного трипса на ЛОС изучаемых штаммов ЭПГ было проведено в Y-образном ольфактометре. Предварительно в ольфактометре было изучено поведение трипса в ответ на источник пищи – лист фасоли. В одном рукаве находился лист фасоли (опыт), а другой оставался пустым (контроль). Этот эксперимент наглядно продемонстрировал, что самки реагируют на летучие вещества пищевого субстрата и выбирают преимущественно рукав ольфактометра с листом фасоли (ИА составил +56.2).

В дальнейшем испытания проводили без листьев фасоли, размещая в разных рукавах ольфактометра высежки среды с грибом и без него. Результаты опытов показали, что ЛОС мицелия штамма *L. lecanii* F2 оказывали репеллентное действие на самок западного цветочного трипса (ИА = –23.5) (табл. 2). Обнаружено слабое аттрактивное действие (ИА = +11.1) ЛОС мицелия *L. dimorphum* штамма ARSEF 2332. Влияние

Таблица 1. Реакция самок *Frankliniella occidentalis* (Pergande) на ЛЮС грибов рода *Lecanicillium* (на вегетирующих растениях)

Штамм	Число самок на растении		F	p	ИА	Число отродившихся личинок		F	P	ИЧД, %
	опыт	контроль				опыт	контроль			
<i>Lecanicillium lecanii</i> F2	5.5 ± 0.5 ^a	8.9 ± 0.9 ^b	9.871	0.006	-23.6	6.3 ± 0.9 ^a	9.5 ± 1.0 ^b	5.402	0.032	-33.7
<i>L. muscardium</i> V1 21	6.6 ± 0.8 ^a	8.5 ± 0.8 ^a	2.687	0.119	-12.6	7.9 ± 0.8 ^a	10.6 ± 0.9 ^b	4.849	0.041	-25.5
<i>L. lecanii</i> V1 29	6.7 ± 0.7 ^a	9.5 ± 0.9 ^b	5.851	0.026	-17.3	10.8 ± 0.6 ^a	16.0 ± 2.4 ^b	4.578	0.046	-32.5
<i>L. longisporum</i> V1 13	8.6 ± 1.4 ^a	7.2 ± 1.3 ^a	0.541	0.471	+8.9	18.0 ± 2.0 ^a	14.5 ± 1.3 ^a	2.102	0.164	+17.8
<i>L. dimorphum</i> 2332	9.9 ± 1.1 ^a	7.6 ± 1.1 ^a	2.132	0.161	+13.1	19.0 ± 2.9 ^a	17.7 ± 2.8 ^a	0.104	0.751	+7.3
<i>L. attenuatum</i> Vit 71	1.7 ± 0.4 ^a	2.8 ± 0.8 ^a	1.366	0.257	-24.4	4.8 ± 1.5 ^a	12.8 ± 3.2 ^b	5.279	0.034	-62.5

Пр и м е ч а н и е. Одинаковыми буквами отмечены варианты, достоверно не отличающиеся от контроля при $P \leq 0.05$.

Таблица 2. Реакция самок *Frankliniella occidentalis* (Pergande) на ЛЮС грибов рода *Lecanicillium* в Y-образном ольфактометре в отсутствие кормового растения

Штамм	Число особей		F	P	Доля прореагировавших особей, %	Время реакции		F	P	ИА
	опыт	контроль				опыт	контроль			
<i>Lecanicillium longisporum</i> V1 13	4.0 ± 0.4 ^a	3.5 ± 0.3 ^a	1.0	0.36	75.0	5.3 ± 0.5 ^a	6.9 ± 0.5 ^a	4.769	0.072	+6.4
<i>L. muscardium</i> V1 21	3.3 ± 0.5 ^a	4.3 ± 0.3 ^a	3.42	0.11	75.0	5.3 ± 0.5 ^b	4.8 ± 0.3 ^a	0.542	0.489	-14.7
<i>L. lecanii</i> F2	3.3 ± 0.5 ^a	5.3 ± 0.3 ^b	13.71	0.01	85.0	6.9 ± 0.9 ^a	4.3 ± 0.6 ^a	5.324	0.060	-23.5
<i>L. attenuatum</i> Vit 71	3.8 ± 0.3 ^a	4.5 ± 0.6 ^a	1.17	0.32	82.5	4.2 ± 0.6 ^a	2.7 ± 0.3 ^a	4.152	0.088	-9.1
<i>L. lecanii</i> V1 29	3.8 ± 0.5 ^a	4.0 ± 0.4 ^a	0.16	0.71	77.5	4.6 ± 0.6 ^a	2.9 ± 0.4 ^b	6.646	0.042	-3.2
<i>L. dimorphum</i> 2332	5.0 ± 0.0 ^a	4.0 ± 0.4 ^b	6.00	0.05	90.0	4.2 ± 0.24 ^a	4.6 ± 0.2 ^a	1.752	0.234	+11.1

Пр и м е ч а н и е. Одинаковыми буквами отмечены варианты, достоверно не отличающиеся от контроля при $P \leq 0.05$.

ЛОС остальных изученных штаммов на поведенческие реакции трипсов было недостаточно.

Таким образом, в Y-образном ольфактометре выявлены тенденции в поведении имаго трипса, сходные с его реакциями на обработку растений суспензией конидий: подтверждена репеллентность ЛОС штамма *L. lecanii* F2 и аттрактивность ЛОС штамма *L. dimorphum* ARSEF 2332.

В результате изучения влияния ЛОС грибов рода *Lecanicillium* на разные стадии западного цветочного трипса с использованием нескольких методов установлено, что только штамм F2 *L. lecanii* оказывал репеллентное действие как на имаго (на вегетирующих растениях фасоли и в ольфактометре), так и на личинок (Митина и др., 2022а). Это свидетельствует о перспективности штамма, обладающего высокой патогенностью для трипса (Митина и др., 2022б) и оказывающего на него репеллентное действие.

Результаты экспериментов по изучению влияния уксусной кислоты на поведение самок *F. occidentalis* показали зависимость реакции самок трипса на пары уксусной кислоты от ее концентрации (от дозировки вещества ppm на объем ольфактометра) (табл. 3).

При тестировании самой низкой концентрации уксусной кислоты (0.02 %, 0.17 ppm на объем трубки) трипсы отдавали предпочтение зоне с кислотой, тогда как после увеличения концентрации в 2 раза (0.04 %, 0.34 ppm) реакция трипса была нейтральной. При максимальной использованной концентрации 0.1 % (0.85 ppm на объем) проявилось слабо выраженное репеллентное действие уксусной кислоты.

Полученные результаты согласуются с литературными данными. Предполагается, что уксусная кислота влияет на выбор растения хозяина некоторыми насекомыми-фитофагами, например, азиатской цитрусовой листоблошкой *Diaphorina citri* (Kuwayana) (Justin et al., 2016). Тестирование уксусной кислоты в четырехкамерном ольфактометре в количестве 0.1–10 мкг и в полевых условиях – 0.1–100 мкг под-

Таблица 3. Реакция самок *Frankliniella occidentalis* (Pergande) на пары уксусной кислоты в Y-образном ольфактометре

Концентрация уксусной кислоты, % (ppm на объем ольфактометра)	Число особей		F	P	Доля отреагировавших особей, %	Время реакции		F	p	ИА
	опыт	контроль				опыт	контроль			
0.02 (0.17)	5.0 ± 0.4 ^a	3.0 ± 0.4 ^b	12.0	0.013	80.0 ± 4.1	6.0 ± 1.0 ^a	5.3 ± 1.2 ^a	0.236	0.645	+25.0
0.04 (0.34)	3.6 ± 1.2 ^a	3.2 ± 1.0 ^a	0.176	0.689	85.0 ± 2.9	4.1 ± 0.4 ^a	2.5 ± 0.3 ^b	11.013	0.016	5.9
0.1 (0.85)	3.5 ± 0.5 ^a	4.75 ± 0.5 ^a	3.261	0.121	82.5 ± 2.5	5.3 ± 0.2 ^a	3.2 ± 0.3 ^b	26.226	0.002	-15.2

Примечание. Одинаковыми буквами отмечены варианты, достоверно не отличающиеся от контроля при $P \leq 0.05$.

твердило возможность ее использования в качестве приманки для этого вредителя (Zanardi et al., 2019). Зависимость реакции на уксусную кислоту от ее концентрации была установлена для дрозофилы *Drosophila melanogaster* (Meigen), причем по мере повышения концентрации вещества от 1 до 5–10 % наблюдали изменение действия на муху от аттрактивного до выраженного репеллентного (Rimal et al., 2019). Изучено также отпугивающее действие повышенных дозировок уксусной кислоты (до 10 М) и на чернотелку *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Baran et al., 2018). Уксусная кислота идентифицирована в составе ЛОС грибов *Metarhizium anisopliae*, *M. flavoviride* Gams et Roszypal, *Hirsutella danubiensi* (Bojke et al., 2018) и практически всех изученных штаммов рода *Lecanicillium*; по масс-спектрометрическим данным содержание уксусной кислоты в ЛОС над мицелием составляло до 0.8 ppm (Кузьмин и др., 2021). Таким образом, влияние уксусной кислоты в составе ЛОС грибов рода *Lecanicillium* на поведенческие реакции западного цветочного трипса может быть существенным и зависит от количества, в котором ее выделяют разные штаммы.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что ЭПГ рода *Lecanicillium* могут снижать численность трипса не только в результате его заражения, но и за счет репеллентного действия и отрицательного влияния на численность потомства, что повышает эффективность их применения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа поддержана Российским научным фондом и Санкт-Петербургским научным фондом (грант № 23-26-10052).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кузьмин А. Г., Титов Ю. А., Митина Г. В., Чоглокова А. А. 2021. Масс-спектрометрические исследования состава летучих органических соединений, выделяемых различными видами грибов рода *Lecanicillium*. Научное приборостроение **31** (4): 71–78.
<https://doi.org/10.18358/np-31-4-i7178>
- Митина Г. В., Степаныхева Е. А., Петрова М. О. 2019. Влияние летучих соединений и экстрактов мицелия энтомопатогенных грибов на поведенческие реакции и жизнеспособность западного цветочного трипса *Frankliniella occidentalis* (Pergande). Паразитология **53** (3): 230–240.
<https://doi.org/10.1134/S0031184719030050>
- Митина Г. В., Степаныхева Е. А., Чоглокова А. А. 2022a. Новые подходы к оценке эффективности энтомопатогенных грибов в микробиологической защите растений от западного цветочного трипса *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). Труды Русского энтомологического общества. Санкт-Петербург. Т. 93. Энтомологические исследования в агроэкосистемах, с. 132–137.
https://doi.org/10.47640/1605-7678_2022_93_132
- Митина Г. В., Степаныхева Е. А., Чоглокова А. А., Черепанова М. А. 2022b. Роль летучих органических соединений энтомопатогенных грибов рода *Lecanicillium* в поведении самок западного цветочного трипса *Frankliniella occidentalis* (Pergande). В кн.: Сборник статей XVII Международной научно-практической конференции. «Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы». Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, с. 210–213.
- Baran B., Krzyżowski M., Cup M., Janiec J., Grabowski M., Francikowski J. 2018. Repellent effect of volatile fatty acids on lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*). Insects **9** (1): 35.
<https://doi.org/10.3390/insects9010035>
- Baverstock J., Roy H. E., Pell J. K. 2009. Entomopathogenic fungi and insect behaviour: From unsuspecting hosts to targeted vectors. BioControl **55** (1): 89–102.
<https://doi.org/10.1007/s10526-009-9238-5>
- Bilbo T. R., Kennedy G. G., Walgenbach J. F. 2023. Western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) field resistance to spinetoram in North Carolina. Crop Protection **165**: 106–168.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106168>

- Bojke A., Tkaczuk C., Stepnowski P., Gołębiowski M. 2018. Comparison of volatile compounds released by entomopathogenic fungi. *Microbiological Research* **214**: 129–136.
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.06.011>
- Butt T. M., Coates C. J., Dubovskiy I. M., Ratcliffe N. A. 2016. Entomopathogenic fungi: new insights into host–pathogen interactions. *Advances in Genetics* **94**: 307–364. <https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2016.01.006>
- Cao Y., Zhi J. R., Li C., Zhang R. Z., Wang C., Shang B. Z., Gao Y. L. 2018. Behavioral responses of *Frankliniella occidentalis* to floral volatiles combined with different background visual cues. *Arthropod-Plant Interactions* **12**: 31–39.
<https://doi.org/10.1007/s11829-017-9549-x>
- González-Mas N., Gutiérrez-Sánchez F., Sánchez-Ortiz A., Grandi L., Turlings T. C. J., Manuel Muñoz-Redondo J., Moreno-Rojas J. M., Quesada-Moraga E. 2021. Endophytic colonization by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* affects plant volatile emissions in the presence or absence of chewing and sap-sucking insects. *Frontiers in Plant Science* **12**: 660460.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.660460>
- Hummadi E. H., Dearden A., Generalovic T., Clunie B., Harrott A., Cetin Y., Demirbek M., Khoja S., Eastwood D., Dudley E., Hazir S., Touray M., Ulug D., Gulsen S. H., Cimen H., Butt T. 2021. Volatile organic compounds of *Metarhizium brunneum* influence the efficacy of entomopathogenic nematodes in insect control. *Biological Control* **155**: 104527.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104527>
- Justin G., Robbins P. S., Rocco T. A., Lukasz L. S., Lapointe S. L. 2016. Formic and acetic acids in degradation products of plant volatiles elicit olfactory and behavioral responses from an insect vector. *Chemical Senses* **41** (4): 325–338.
<https://doi.org/10.1093/chemse/bjw005>
- Kepler R. M., Luangsa-Ard J. J., Hywel-Jones N. L., Quandt C. A., Sung G. H., Rehner S. A., Aime M.C., Henkel T. W., Sanjuan T., Zare R., Chen M., Li Z., Rossman A. Y., Spatafora J. W., Shrestha B. 2017. A phylogenetically-based nomenclature for Cordycipitaceae (Hypocreales). *IMA Fungus* **8** (2): 335–353.
<https://doi.org/10.5598/imafungus.2017.08.02.08>
- Kivett J. M., Cloyd R. A., Bello N. M. 2016. Evaluation of entomopathogenic fungi against the western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) under laboratory conditions. *Journal of Entomological Science* **51** (4): 274–291.
<https://doi.org/10.18474/JES16-07.1>
- Lee S. J., Kim S., Kim J. C., Lee M. R., Hossain M. S., Shin T. S., Kim T. H., Kim J. S. 2017. Entomopathogenic *Beauveria bassiana* granules to control soil-dwelling stage of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *BioControl* **62** (5): 639–648.
<https://doi.org/10.1007/s10526-017-981>
- Lozano-Soria A., Picciotti U., Lopez-Moya F., Lopez-Cepero J., Porcelli F., Lopez-Llorca L. V. 2020. Volatile organic compounds from entomopathogenic and nematophagous fungi, repel banana black weevil (*Cosmopolites sordidus*). *Insects* **11**: 509.
<https://doi.org/10.3390/insects11080509>
- Mainali B. P., Lim U. T. 2011. Behavioral response of western flower thrips to visual and olfactory cues. *Journal of Insect Behavior* **24**: 436–46.
<https://doi.org/10.1007/s10905-011-9267-7>
- Mburu D. M., Maniania N. K., Hassanali A. 2013. Comparison of volatile blends and nucleotide sequences of two *Beauveria bassiana* isolates of different virulence and repellency towards the termite *Macrotermes michaelseni*. *Journal of Chemical Ecology* **39**: 101e108.
<https://doi.org/10.1007/s10886-012-0207-6>
- Mitina G. V., Stepanycheva E. A., Choglokov A. A., Cherepanova M. A. 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 Revue* **101** (8): 1015–1023.
<https://doi.org/10.1134/S0013873821080017>
- Morath S. U., Hung R., Bennett J. W. 2012. Fungal volatile organic compounds: A review with emphasis on their biotechnological potential. *Fungal Biology Reviews* **26**: 73–83.
<https://doi.org/10.1016/j.fbr.2012.07.001>
- Mouden S., Sarmiento K. F., Klinkhamer P. G., Leiss K. A. 2017. Integrated pest management in western flower thrips: past, present and future. *Pest Management Science* **73** (5): 813–822.
<https://doi.org/10.1002/ps.4531>
- Ormond E. L., Thomas A. P. M., Pell J. K., Freeman S. N., Roy H. E. 2011. Avoidance of a generalist entomopathogenic fungus by the ladybird, *Coccinella septempunctata*. *FEMS Microbiology Ecology* **77**: 229–237.
<https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01100.x>

- Pascual-Villalobos M. J., Robledo A. 1998. Screening for anti-insect activity in Mediterranean plants. *Industrial Crop and Products* **8** (3): 183–194.
[https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(98\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(98)00002-8)
- Ponce M. A., Kim T. N., Morrison W. R. III. 2021. A systematic review of the behavioral responses by stored-product arthropods to individual or blends of microbially produced volatile cues. *Insects* **12**: 391.
<https://doi.org/10.3390/insects12050391>
- Reitz S. R., Gao Y. L., Kirk W. D. J., Hoddle M. S., Leiss K. A., Funderburk J. E. 2020. Invasion biology, ecology, and management of the western flower thrips. *Annual Review of Entomology* **65**: 17–37.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-024947>
- Rimal S., Sang J., Poudel S., Thakur D., Montell C., Lee Y. 2019. Mechanism of acetic acid gustatory repulsion in *Drosophila*. *Cell Reports* **26** (6): 1432–1442.e4.
<https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.01.042>
- Rondot Y., Reineke A. 2017. Association of *Beauveria bassiana* with grapevine plants deters adult black vine weevils, *Otiorhynchus sulcatus*. *Biocontrol Science and Technology* **27**: 811–820.
<https://doi.org/10.1080/09583157.2017.1347604>
- Skinner M., Gouli S., Frank C. E., Parker B. L., Kim J. S. 2012. Management of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) with granular formulations of entomopathogenic fungi. *Biological Control* **63**: 246–252.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.08.004>
- Weisskopf L., Schulz S., Garbeva P. 2021. Microbial volatile organic compounds in intra-kingdom and inter-kingdom interactions. *Nature Reviews Microbiology* **19**: 391–404.
<https://doi.org/10.1038/s41579-020-00508-1>
- Wu S., Tang L., Fang F., Li D., Yuan X., Lei Z., Gao Y. 2018. Screening, efficacy and mechanisms of microbial control agents against sucking pest insects as thrips. *Crop Protection* **55**: 199–217.
<https://doi.org/10.1016/bs.aiip.2018.07.005>
- Zanardi O. Z., Volpe H. X. L., Luvizotto R. A. G., Magnani R. F., Gonzalez F., Carolina C., Oehlschlager C. A., Lehan B. J., Esperança V., Delfino J. Y., Freitas R., de Carvalho R. I., Mulinari T. A., Miranda M. P., Bento J. M. S., Leal W. S. 2019. Laboratory and field evaluation of acetic acid-based lures for male Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. *Scientific Reports* **9**: 12920.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-49469-3>
- Zhang T., Reitz S. R., Wang H., Lei Z. 2015. Sublethal effects of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) on life table parameters of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology* **108** (3): 975–985.
<https://doi.org/10.1093/jee/fov091>
- Zhou Y. M., Zou X., Zhi J. R., Xie J. Q., Jiang T. 2020. Fast recognition of *Lecanicillium* spp., and its virulence against *Frankliniella occidentalis*. *Frontiers in Microbiology* **11**: 561381.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.56138>

EFFECT OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS OF ENTOMOPATHOGENIC FUNGI OF THE GENUS *LECANICILLIUM* AND THEIR COMPONENT, THE ACETIC ACID, ON THE FEMALE BEHAVIOUR OF THE WESTERN FLOWER THRIPS *FRANKLINIELLA OCCIDENTALIS* (PERGANDE) (THYSANOPTERA, THIRIPIDAE)

G. V. Mitina, E. A. Stepanycheva, A. A. Chogloкова, M. A. Cherepanova

Key words: *Frankliniella occidentalis*, behavioral reactions, entomopathogenic fungi, *Lecanicillium*, volatile organic compounds, acetic acid.

S U M M A R Y

The effect of VOCs of six entomopathogenic fungal strains from genus *Lecanicillium* on the behavioral responses of the western flower thrips females *Frankliniella occidentalis* on vegetative bean plants and in a Y-shaped olfactometer was studied. The significant repellent reactions of thrips females

and a decrease in a number of offspring by 33–34% were revealed after treatment the beans by conidial suspensions of *L. lecanii* strains F2 and V1 29 in the concentration of 1×10^7 spores/ml. Strains V1 21 (*L. muscarium*) and Vit 71 (*L. attenuatum*), which showed a repellent tendency towards thrips females, also caused a significant decrease of offspring number. The strains isolated from aphids (ARSEF 2332 of *L. dimorphum* and V1 13 of *L. longisporum*) showed a tendency towards attractiveness. In the Y-shaped olfactometer the repellency of the F2 strain and the attractiveness of the ARSEF 2332 strain were confirmed. The influence of the other studied strains on the thrips behavioral reactions was unreliable. Acetic acid, tested in the olfactometer at doses corresponding to its content in the fungal VOCs over growing mycelium, caused different reactions of thrips females depending on the acid concentration: attractive reactions at the dose of 0.17 ppm; neutral – at the dose of 0.34 ppm; and weak repellent – at 0.85 ppm. The obtained data indicate that acetic acid, contained in the fungal VOCs, effect on the behavioral responses of thrips females. The repellent effect of the fungal spores of the genus *Lecanicillium* on thrips females and the negative impact on offspring number increase the effectiveness of entomopathogenic fungi.