

УДК 595.7:632.937.3

# ОЛЬФАКТОРНЫЕ РЕАКЦИИ ОРАНЖЕРЕЙНОЙ БЕЛОКРЫЛКИ *Trialeurodes vaporariorum* WESTWOOD И ЕЕ ПАРАЗИТОИДА ЭНКАРЗИИ *Encarsia formosa* GAHAN НА ЛЕТУЧИЕ СОЕДИНЕНИЯ ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ РОДА *Lecanicillium*

© 2024 г. Г. В. Митина<sup>1,\*</sup>, О. С. Кириллова<sup>1</sup>, А. А. Чоглокова<sup>1</sup>, М. А. Черепанова<sup>1</sup><sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений  
196608 Санкт-Петербург—Пушкин, шоссе Подбельского, 3, Россия

\*E-mail: galmit@rambler.ru

Для оценки перспективы совместного использования энтомопатогенных грибов (ЭПГ) и энтомофагов в защите растений от оранжерейной белокрылки изучено влияние летучих органических соединений (ЛОС) грибов на поведение фитофага и ее паразитоида энкарзии в 2-х видах ольфактометров. В Y-образном ольфактометре выявлено, что 3 из 9 штаммов ЭПГ оказывали существенное влияние на поведение имаго фитофага. Мицелий штамма VI 72 вида *L. muscarium* проявил аттрактивное действие (ИА = +16), а для штамма VI 61 этого же вида и штамма Vit 71 вида *L. attenuatum* обнаружено репеллентное действие в отношении вредителя (ИА = –28 и –20 соответственно). Эксперименты в двухкамерных ольфактометрах, где *T. vaporariorum* тестировали не индивидуально, а группами (по 15 особей), показали, что все изученные штаммы не влияли на реакции фитофага. Активность ЛОС грибов в отношении энкарзии была менее выражена по сравнению с белокрылкой. В Y-образном ольфактометре показано, что только Vit 71 (*L. attenuatum*) проявил аттрактивное действие, остальные штаммы не вызывали реакций у паразитоида или проявляли тенденцию к его привлечению.

**Ключевые слова:** поведенческие реакции, летучие органические соединения, энтомопатогенные грибы, *Lecanicillium*, *Trialeurodes vaporariorum*, *Encarsia formosa*.

DOI: 10.31857/S0002188124100057, EDN: ANQKWX

## ВВЕДЕНИЕ

Оранжерейная белокрылка *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae) — широко распространенный вредитель культур закрытого грунта во всем мире [1, 2]. Это флоэмосоусущее насекомое, вредоносность которого связана как с потерей растением ассимилятов, так и с переносом возбудителей вирусных заболеваний [3]. В процессе питания белокрылка выделяет медвяную росу, которая покрывает листья и создает субстрат для развития сажистых грибов, что препятствует фотосинтезу, уменьшает транспирацию и снижает товарные качества плодов [4]. Экологически безопасными методами борьбы с данным фитофагом в защищенном грунте являются выпуск энтомофагов и применение энтомопатогенных грибов (ЭПГ).

*Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) — паразитоид, используемый в программах биологической борьбы с оранжерейной белокрылкой на овощах и декоративных культурах в закрытом грунте как в нашей стране, так и за рубежом [5, 6]. Самки энкарзии откладывают яйца в личиночные

стадии белокрылки, предпочитая личинок 3-го возраста [7, 8]. В зависимости от температуры и относительной влажности воздуха развитие энтомофага может происходить почти в 2 раза быстрее развития белокрылки [7].

Грибы рода *Lecanicillium* (Petch.) Zare & W. Gams широко распространены в природе и являются патогенами тлей и белокрылок [9, 10]. Отдельные виды этих грибов, в частности *L. muscarium*, нашли практическое применение в качестве продуцентов биопрепаратов для борьбы с белокрылками [11–13].

Применение энкарзии совместно с энтомопатогенами может повысить эффективность защиты культур от оранжерейной белокрылки. Однако имеются данные о негативном влиянии некоторых ЭПГ на энтомофагов, в том числе на перепончатокрылых паразитоидов [14]. После применения суспензии спор *Aschersonia aleyrodis* против оранжерейной белокрылки энкарзия избегала зараженных патогеном личинок фитофага для откладки яиц [15]. При совместном применении энкарзии и определенных штаммов *Beauveria bassiana* наблюдали снижение

количества имаго энкарзии, отродившихся из обработанных патогеном личинок белокрылки [16]. Для эффективной интегрированной защиты культур от оранжерейной белокрылки необходимо изучение различных аспектов взаимодействия между фитофагом, паразитоидом и патогеном. В этих взаимоотношениях немаловажное значение имеет влияние летучих органических соединений (ЛОС), выделяемых энтомопатогенами, на поведение насекомых. Характер воздействия ЛОС грибов рода *Lecanicillium* как на фитофагов, так и на энтомофагов зависит от ряда факторов, в частности, от вида и штамма гриба, таксономической принадлежности насекомого, способа внесения и формы патогена. Например, некоторые штаммы одного вида *Lecanicillium lecanii* вызывали противоположные поведенческие реакции у клопов *Orius laevigatus* (Fiebr.) [17]. Споры ЭПГ разных видов рода *Lecanicillium* вызывали преимущественно репеллентные реакции у имаго оранжерейной белокрылки, находящейся на растениях, и подавляющее действие на репродуктивный потенциал вредителя [18]. Влияние ЛОС мицелия энтомопатогенных грибов рода *Lecanicillium* на энкарзию ранее не изучали, и проведение такой оценки важно для обоснования совместного применения данных объектов в борьбе с оранжерейной белокрылкой.

Цель работы — изучение ольфакторных реакций оранжерейной белокрылки и энкарзии на ЛОС энтомопатогенного гриба рода *Lecanicillium* с использованием ольфактометров 2-х видов.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Лабораторную популяцию оранжерейной белокрылки *T. vaporariorum* и энкарзии *E. formosa* разводили на растениях табака сорта Виржиния при температуре 23–25°C, влажности воздуха  $65 \pm 5\%$ , 16-часовом световом дне.

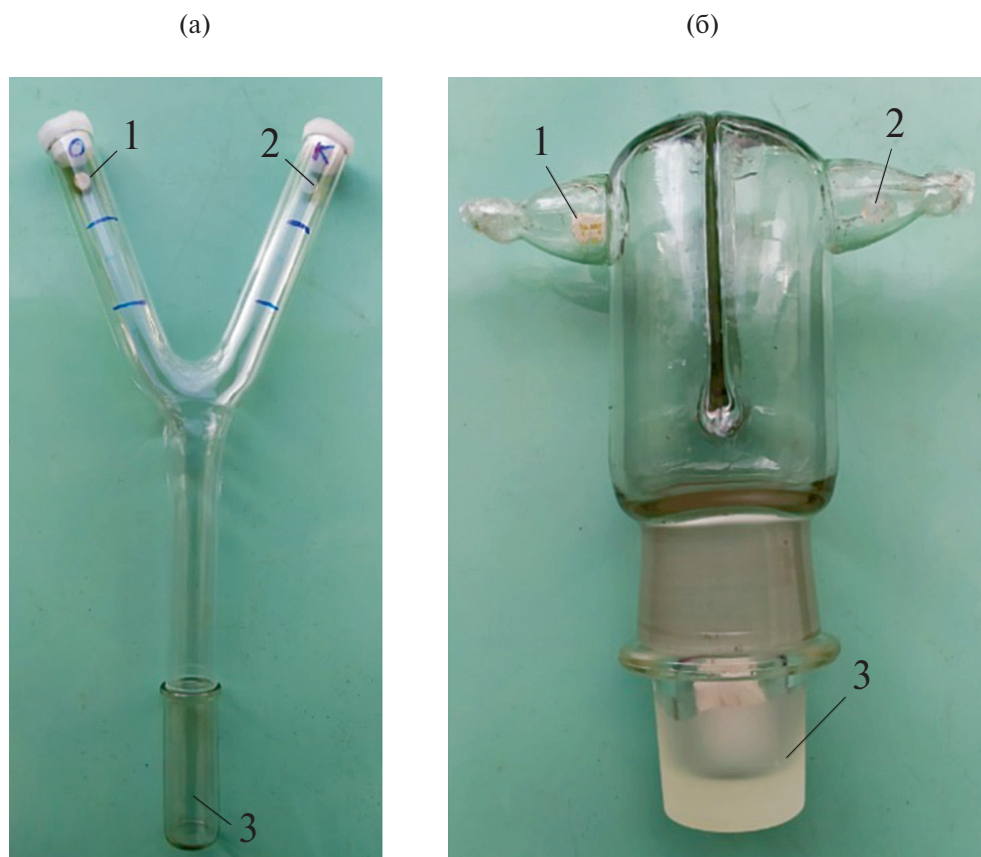
Штаммы ЭПГ рода *Lecanicillium* отобраны из Государственной коллекции патогенных микроорганизмов ВИЗР WFCC WDCM № 760 (УНУ), которые оказывали существенное влияние на поведение оранжерейной белокрылки в опытах на вегетирующих растениях [19]: V1 13 (*L. longisporum*, выделен из тли (Hemiptera: Aphididae); V1 21 (*L. muscarium*, выделен из личинок оранжерейной белокрылки *T. vaporariorum*); штаммы V1 29 и V1 72 (*L. muscarium*), выделены из жимолостной белокрылки *Aleurodes lonicerae* Walker; V1 61 (*L. muscarium*, выделен из урединиопустул возбудителя ржавчины *Phragmidium* sp.); V1 79 (*L. dimorphum*, выделен из почвы); 8057 (*L. pisso-dis*, выделен из Coleoptera: Curculionidae); V1 71 (*L. attenuatum*, выделен из большого елового короеда *Ips typographus* (Coleoptera: Curculionidae); F 14 (*L. muscarium*, выделен из поденки). Штаммы выращивали в чашках Петри на агаризованной среде Чапека

при 26°C и на 10-е сут после посева вырезали блок спорующего мицелия диаметром 9 мм для анализа влияния ЛОС грибов.

Ольфакторные реакции насекомых определяли в ольфактометрах 2-х видов: Y-образном и 2-камерном. Тестирование в Y-образном ольфактометре проводили с помощью стеклянной трубки с 2-мя рукавами длиной 14 см и внутренним диаметром 2.5 см, которые расположены под углом 45° (рис. 1а).

Имаго белокрылки (независимо от пола) отбирали экстаустером по одной особи в стеклянные стаканчики (длиной 7 см, диаметром 2.5 см) и выдерживали в течение 30 мин. В один из рукавов ольфактометра помещали блок агара с мицелием гриба (опыт), в другой — блок агара без мицелия (контроль). Трубку располагали горизонтально, выходы закрывали пробками. Стаканчик с имаго белокрылки прикрепляли к входу трубки с помощью липкой ленты. Факт выбора рукава фиксировали, когда насекомое проходило 2/3 его длины. Если в течение 5 мин особь не делала выбора, ее заменяли на другую. Однако такие особи были единичными, в опытах реагировали практически все из тестированных насекомых. После последовательного тестирования 5-ти особей белокрылки (что составляло одну повторность) позицию рукавов (опыт и контроль) меняли на противоположную (при этом Y-образную трубку поворачивали на 180°) и тестировали следующие 5 особей. После 2-х повторностей агаровые блоки убирали, трубку протирали 70%-ным этиловым спиртом и высушивали. Затем в рукава помещали новые блоки, поменяв при этом позицию опыта и контроля на противоположную в сравнении с предыдущей повторностью.

Тестирование энкарзии в данном виде ольфактометра проводили по той же методике, что и имаго белокрылки. Количество особей энкарзии на повторность составляло 3–5 экз. Температура в помещении составляла 23–25°C. Тестирование насекомых осуществляли при дневном рассеянном свете (100 лк) без активной подачи воздуха в ольфактометр. Двухкамерные ольфактометры представляли собой стеклянные цилиндрические сосуды длиной 20 см и шириной 7 см с притертой стеклянной пробкой высотой 5 см. Внутри сосуд разделен продольной перегородкой на две камеры, сообщающиеся между собой в передней его части, что позволяло тестируемому насекомому перемещаться из одной камеры в другую. Длина неразделенного перегородкой пространства — 10 см (рис. 1б). В боковые выступы камер помещали блоки грибной культуры и питательной среды без ЭПГ (опыт и контроль). Имаго белокрылки собирали с помощью экстаустера и переносили в пробку сосуда, накрывали крышкой и выдерживали в течение 30 мин, затем белокрылку выпускали в сосуд, устанавливая его вертикально на пробку. Учеты распределения насекомых по камерам



**Рис. 1.** Схема оценки ольфакторных реакций насекомых на ЛОС энтомопатогенных грибов: (а) – в Y-образном ольфактометре, (б) – в двухкамерном ольфактометре; 1 – блок с мицелием, 2 – блок агара, 3 – камера для выпуска тест-насекомых.

проводили через 1 ч после выпуска. Одновременно использовали несколько сосудов (один сосуд – одна повторность), в каждый сосуд выпускали по  $15 \pm 2$  особей имаго белокрылки. Количество повторностей для большинства вариантов было равно 16.

Реакцию насекомых на субстрат оценивали по показателю “индекс агрегации” [20, 21]:  $ИА = (О - К / О + К) \times 100 (\%)$ , где О – число особей в опытной зоне, К – число особей, находящихся в контрольной зоне. При  $ИА > 0$  реакция аттрактивная, если  $ИА < 0$  – реакция репеллентная при статистически значимых различиях между вариантами.

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Тестирование имаго белокрылки в Y-образном ольфактометре показало, что мицелий 3-х из 9-ти штаммов оказывал существенное влияние на поведение фитофага.

Мицелий штамма VI 72 вида *L. muscarium* проявил аттрактивное действие ( $ИА = 16$ ), для штамма VI 61

этого же вида обнаружено репеллентное действие в отношении вредителя ( $ИА = -28$ ), как и в случае штамма Vit 71 вида *L. attenuatum* ( $ИА = -20$ ). В остальных случаях в реакциях белокрылки наблюдали различные тенденции, которые не были статистически достоверными (табл. 1).

Эксперименты в 2-камерных ольфактометрах, где *T. vaporariorum* тестировали не индивидуально, а группами (по 15 особей), показали, что все изученные штаммы вызывали нейтральные реакции фитофага. Исключение составил мицелий штамма 8057 (*L. pissodis*), для которого была обнаружена тенденция к репеллентному действию на фитофага ( $ИА = -9.05$ , при  $p = 0.076$ ) (табл. 2).

Штамм Vit 71, проявивший в Y-образном ольфактометре репеллентное действие на белокрылку, в процессе тестирования в двухкамерном ольфактометре показал неоднозначные результаты – распределение насекомых было зачастую диаметрально противоположным. В 30% случаев отмечено аттрактивное действие патогена на имаго белокрылки, еще в 30% – выраженное репеллентное. С этим штаммом было проведено дополнительное исследование, в котором имаго белокрылки тестировали в двухкамерных сосудах по одной особи, а также уменьшили диаметр

**Таблица 1.** Реакция имаго оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* на ЛОС мицелия грибов рода *Lecanicillium* в Y-образном ольфактометре

| Штамм   | Количество насекомых в опыте, экз. | Количество особей, (среднее $\pm$ ст. ошибка), экз. |               | Критерий Фишера, <i>F</i> | <i>p</i> , вероятность | ИА, % |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------|---------------------------|------------------------|-------|
|         |                                    | Опыт                                                | Контроль      |                           |                        |       |
| VI 13   | 45                                 | 3.0 $\pm$ 0.4                                       | 2.0 $\pm$ 0.4 | 3.60                      | 0.076                  | +20.0 |
| VI 21   | 45                                 | 2.1 $\pm$ 0.3                                       | 2.9 $\pm$ 0.3 | 3.16                      | 0.094                  | –15.6 |
| VI 29   | 75                                 | 2.6 $\pm$ 0.3                                       | 2.4 $\pm$ 0.3 | 0.269                     | 0.608                  | +4.0  |
| VI 61*  | 75                                 | 1.8 $\pm$ 0.3                                       | 3.2 $\pm$ 0.3 | 9.188                     | 0.005                  | –28.0 |
| VI 72*  | 70                                 | 2.9 $\pm$ 0.2                                       | 2.1 $\pm$ 0.2 | 10.51                     | 0.003                  | +16.0 |
| VI 79   | 60                                 | 2.8 $\pm$ 0.3                                       | 2.2 $\pm$ 0.3 | 1.87                      | 0.185                  | +13.2 |
| 8057    | 60                                 | 2.5 $\pm$ 0.4                                       | 2.5 $\pm$ 0.4 | 0.00                      | 1.000                  | 0.0   |
| Vit 71* | 105                                | 2.0 $\pm$ 0.3                                       | 3.0 $\pm$ 0.3 | 5.55                      | 0.023                  | –20.0 |
| F 14    | 75                                 | 2.7 $\pm$ 0.3                                       | 2.3 $\pm$ 0.3 | 0.917                     | 0.346                  | +9.3  |

\*Варианты, достоверно отличавшиеся от контроля при  $p \leq 0.05$ . То же в табл. 3, 4.

**Таблица 2.** Реакция имаго оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* на ЛОС мицелия грибов рода *Lecanicillium* в двухкамерном ольфактометре

| Штамм  | Количество насекомых в опыте, экз. | Количество особей, (среднее $\pm$ ст. ошибка), экз. |               | Критерий Фишера, <i>F</i> | Вероятность, <i>p</i> | ИА, % |
|--------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------|---------------------------|-----------------------|-------|
|        |                                    | Опыт                                                | Контроль      |                           |                       |       |
| VI 13  | 216                                | 7.1 $\pm$ 0.7                                       | 6.4 $\pm$ 0.6 | 0.66                      | 0.422                 | +5.55 |
| VI 21  | 253                                | 7.9 $\pm$ 0.6                                       | 7.9 $\pm$ 0.5 | 0.01                      | 0.941                 | +0.38 |
| VI 72  | 201                                | 6.9 $\pm$ 0.8                                       | 5.7 $\pm$ 0.4 | 1.81                      | 0.189                 | +9.46 |
| VI 79  | 210                                | 8.2 $\pm$ 0.8                                       | 6.8 $\pm$ 0.6 | 1.93                      | 0.177                 | +9.47 |
| 8057   | 378                                | 5.7 $\pm$ 0.5                                       | 6.9 $\pm$ 0.4 | 3.26                      | 0.076                 | –9.05 |
| Vit 71 | 264                                | 5.8 $\pm$ 0.7                                       | 6.2 $\pm$ 0.8 | 0.13                      | 0.722                 | –3.00 |

агарового блока в 4 раза для снижения количества выделяемых мицелием ЛОС. Результаты тестирования белокрылки показали, что уменьшение в 4 раза агарового диска с мицелием способствовало привлечению к нему фитофага (ИА = +15, при  $p = 0.036$ ). При тестировании по одной особи в повторности распределение фитофага между опытом и контролем было практически одинаковым, а различия несущественными (табл. 3).

Оценка влияния летучих соединений мицелия энтомопатогенных грибов рода *Lecanicillium* на энкарзию показала, что штамм Vit 71 (*L. attenuatum*) проявил небольшое, но статистически достоверное аттрактивное действие на энтомофага (ИА = 16,  $p = 0.013$ ). Причем некоторые особи подходили вплотную к блокам с мицелием данного патогена. Остальные штаммы, за исключением VI 13 и VI 61, проявили только тенденцию к привлечению энтомофага, которая была наиболее выражена у VI 79 (*L. dimorphum*) (ИА = 33,  $p = 0.082$ ) (табл. 4).

Сопоставление полученных данных с результатами ранее проведенных исследований показало, что характер реакций насекомых на ЛОС *Lecanicillium* spp., выявленных в ольфактометрах и на вегетирующих растениях, отличался. Например, результатом обработки растений суспензиями конидий *L. longisporum* (штамм VI 13) [19], *L. muscarium* (штамм VI 21), *L. dimorphum* (штамм VI 79) [18] было снижение привлечения оранжерейной белокрылки. В нашем исследовании при тестировании ЛОС мицелия данных штаммов в ольфактометрах реакция *T. vaporariorum* на них была нейтральной.

Аттрактивное действие ЛОС мицелия *L. muscarium* (штамм VI 72) на оранжерейную белокрылку было отмечено в Y-образном ольфактометре, где каждую особь тестировали индивидуально, тогда как при групповом тестировании в двухкамерных сосудах данный патоген не вызывал существенного влияния на реакцию насекомых. Известно, что *T. vaporariorum* может формировать колонии с высокой плотностью, в которых особи находятся в тесном

**Таблица 3.** Реакция *Trialeurodes vaporariorum* на ЛОС мицелия *L. attenuatum* (штамм Vit 71) при тестировании в 2-камерном ольфактометре

| Вариант                   |                  | Количество насекомых в опыте, экз. | Количество особей (среднее ± ст. ошибка), экз. |           | Критерий Фишера, F | Вероятность, p | ИА, % |
|---------------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|-----------|--------------------|----------------|-------|
|                           |                  |                                    | опыт                                           | контроль  |                    |                |       |
| Тестирование по 15 особей | целый диск агара | 264                                | 5.8 ± 0.7                                      | 6.2 ± 0.8 | 0.128              | 0.722          | –3.0  |
|                           | ¼ диска агара    | 290                                | 7.0 ± 0.6                                      | 5.2 ± 0.6 | 4.68               | 0.036*         | +15.0 |
| Тестирование по 1 особи   | целый диск агара | 25                                 | 2.0 ± 0.7                                      | 3.0 ± 0.7 | 1.000              | 0.347          | –20.0 |
|                           | ¼ диска агара    | 25                                 | 2.8 ± 0.4                                      | 2.2 ± 0.4 | 1.286              | 0.29           | +12.0 |

**Таблица 4.** Реакция имаго *Encarsia formosa* на ЛОС мицелия грибов рода *Lecanicillium* в Y-образном ольфактометре

| Штамм   | Количество прореагировавших особей, экз. | Количество особей (среднее ± ст. ошибка), экз. |           | Критерий Фишера, F | Вероятность, p | ИА, % |
|---------|------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------|--------------------|----------------|-------|
|         |                                          | опыт                                           | контроль  |                    |                |       |
| VI 13   | 15                                       | 1.4 ± 0.5                                      | 1.6 ± 0.5 | 0.008              | 0.789          | –6.7  |
| VI 21   | 40                                       | 2.9 ± 0.4                                      | 2.1 ± 0.4 | 1.450              | 0.249          | +25.0 |
| VI 29   | 75                                       | 2.5 ± 0.4                                      | 2.5 ± 0.4 | 0.016              | 0.898          | –1.3  |
| VI 61   | 75                                       | 2.4 ± 0.2                                      | 2.6 ± 0.2 | 0.362              | 0.552          | –4.0  |
| VI 72   | 15                                       | 1.8 ± 0.4                                      | 1.2 ± 0.4 | 1.290              | 0.290          | +20.0 |
| VI 79   | 18                                       | 2.0 ± 0.4                                      | 1.0 ± 0.4 | 3.750              | 0.082          | +33.3 |
| 8057    | 40                                       | 2.9 ± 0.4                                      | 2.1 ± 0.4 | 2.290              | 0.152          | +25.0 |
| Vit 71* | 85                                       | 2.9 ± 0.9                                      | 2.1 ± 0.2 | 6.710              | 0.013          | +16.0 |
| F 14    | 75                                       | 2.1 ± 0.3                                      | 2.9 ± 0.3 | 2.379              | 0.134          | –14.7 |

контакте. Также известно, что в социальных взаимодействиях *T. vaporariorum* использует вибрационные сигналы [22–24], которые обеспечивают коммуникацию насекомых и могут в данном случае влиять на их поведение при оценке реакции на ЭПГ.

Влияние плотности популяции фитофага на его поведение, вероятно, имело место и при оценке действия ЛОС мицелия штамма Vit 71 (*L. attenuatum*): репеллентное действие на белокрылку ЛОС мицелия данного штамма выявлено при тестировании насекомых по отдельности, тогда как нейтральная реакция фитофага на патоген была при тестировании особей в группах (табл. 1, 2). Кроме того, в данном случае очевидно также влияние на реакцию белокрылки концентрации летучих соединений данного энтомопатогена: обнаружено привлечение насекомых при уменьшении размера мицелиального блока в 4 раза. Известно, что на одно и то же соединение в разных концентрациях членистоногие могут реагировать по-разному [25, 26]. Например, показано, что (E)-2-гексенал в низких дозах, в отличие от высоких, оказывал отпугивающее действие на тлю *Aphis fabae* Scopoli и самок фасолевого цветочного трипса *Megalurothrips sjostedti* Trybom [27, 28].

Влияние ЛОС мицелия ЭПГ рода *Lecanicillium* на энкарзию было изучено впервые. В литературе имеются данные о способности самок паразитоида избегать инфицированного грибом *L. longisporum* хозяина и откладывать яйца в незараженные особи [29]. Показано, что обработка спорами *L. longisporum* в зависимости от их концентрации снижала количество особей энкарзии, вышедших из обработанных личинок белокрылок, при этом ранние стадии развития паразитоида были более чувствительными к действию патогена. В то же время *L. longisporum* не влиял на репродуктивную способность и продолжительность жизни самок *E. formosa*, вышедших из обработанных грибом хозяев [30]. Способность энтомофага при поиске хозяина ориентироваться на химические сигналы [31] может снижать риск

заражения при совместном применении с ЭПГ для биологического контроля *T. vaporariorum*. В нашей работе большинство видов энтомопатогенных грибов, в том числе и *L. longisporum* (штамм VI 13), проявили только тенденцию к аттрактивному действию на энкарзию, а ЛОС мицелия *L. attenuatum* (штамм Vit 71) показали достоверное привлечение паразитоида. Необходимы дополнительные исследования оценки вирулентности штаммов *Lecanicillium* в отношении *E. formosa*, а также влияния данных ЭПГ на поведение паразитоида на вегетирующих растениях.

Выявленные в ходе исследования различия в характере реакции насекомых на исследованные ЭПГ могут быть связаны с качественными особенностями и количественным соотношением компонентов в смесях летучих соединений, выделяемых мицелием изученных штаммов. В отношении рода *Lecanicillium* показано, что ЛОС мицелия исследованных штаммов отличались количественным и качественным составом. Основными обнаруженными компонентами газовой фазы над мицелием ЭПГ были диоксид углерода, кислород, ацетон, пентан, уксусная кислота. Летучие соединения штаммов VI 72 и Vit 71, показавших в данном исследовании статистически достоверное влияние на реакцию оранжерейной белокрылки и энкарзии (Vit 71), имели явные различия в количественном составе основных летучих соединений газовой среды над мицелием, особенно в соотношении ацетона и уксусной кислоты [32]. Уксусная кислота, испытанная в дозах, соответствующих ее содержанию в составе ЛОС грибов над растущим мицелием, вызывала различные реакции у самок западного цветочного трипса в зависимости от концентрации [33]. Таким образом, особенности состава ЛОС грибов могут отвечать за выявленные в данном исследовании различия в характере их влияния на поведение насекомых.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка влияния летучих органических соединений (ЛОС) мицелия исследованных штаммов энтомопатогенных грибов (ЭПГ) рода *Lecanicillium* на поведение имаго *T. vaporariorum* показала, что некоторые штаммы могут проявлять как репеллентные, так и аттрактивные свойства, что важно учитывать при выборе штамма для контроля вредителя. Влияние ЭПГ на паразитоида белокрылки энкарзию было менее выражено. Выявленное в Y-образном ольфактометре привлечение энкарзии ЛОС мицелия штамма Vit 71, а также тенденции к аттрактивному действию на энтомофага у остальных штаммов *Lecanicillium* может оказать положительный эффект при их совместном использовании, однако влияние таких штаммов на развитие энкарзии следует изучить более детально.

Авторы выражают благодарность Степаныховой Е.А. за методическую помощь и ценные советы по тестированию белокрылки в ольфактометрах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Avilla J., Albajes R., Alomar O., Castañe C., Gabarra R. Biological control of whiteflies on vegetable crops // Biocontrol in protected culture / Eds. Heinz K.M., Van Driesche R.G. and Parrella M.P. Batavia, IL: Ball Publishing, 2004. P. 171–184.
2. Zhang G.F., Lövei G.L., Hu M., Wan F.H. Asymmetric consequences of host plant occupation on the competition between the whiteflies *Bemisia tabaci* cryptic species MEAM1 and *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) // Pest Manag. Sci. 2014. V. 70. P. 1797–1807.
3. Jones D.R. Plant viruses transmitted by whiteflies // Eur. J. Plant Pathol. 2003. V. 109. P. 195–219.
4. Яркулов Ф.Я. Методы учета и биологическое подавление тепличной белокрылки в защищенном грунте // Дальневост. аграрн. вестн. 2011. Т. 1. № 17. С. 16–21.
5. De Vis R.M.J., Van Lenteren J.C. Biological control of *Trialeurodes vaporariorum* by *Encarsia formosa* on tomato in unheated greenhouses in the high altitude tropics // Bul. Insectol. 2008. V. 61. P. 43–57.
6. Liu T.-X., Stansly P.A., Gerling D. Whitefly parasitoids: distribution, life history, bionomics, and utilization // Annu Rev. Entomol. 2015. V. 60. P. 1–15.
7. Чалков А.А. Биологическая борьба с вредителями овощных культур защищенного грунта. М.: Россельхозиздат, 1986. 94 с.
8. Hoddle M., van Driesche R., Sanderson J. Biology and use of the whitefly parasitoid *Encarsia Formosa* // Annu Rev. Entomol. 1998. V. 43. P. 645–669.
9. Hall R.A. The fungus *Verticillium lecanii* as a microbial insecticide against aphids and scales // Microbial control of pests and plant diseases 1970–1980. London: Academic Press, 1981. P. 483–498.
10. Goettel M.S., Koike M., Kim J.J., Aiuchi D., Shinya R., Brodeur J. Potential of *Lecanicillium* spp. for management of insects, nematodes and plant diseases // J. Invertebr. Pathol. 2008. V. 98. P. 25.
11. Faria M.R., Wraight S.P. Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types // Biol. Control. 2007. V. 43. № 3. P. 237–256.
12. Ren S.X., Ali S., Huang Z., Wu J.H. *Lecanicillium muscarium* as microbial insecticide against whitefly and its interaction with other natural enemies // Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology. 2010. V. 1. P. 339–348.

13. Reddy S.G.E. *Lecanicillium* spp. for the management of aphids, whiteflies, thrips, scales and mealy bugs // *Arthropods-Are They Beneficial for Mankind?* 2020. IntechOpen, 20 p.
14. Roy H.E., Pell J.K. Interactions between entomopathogenic fungi and other natural enemies: implications for biological control // *Biocontrol Sci. Tech.* 2000. V. 10. P. 737–752.
15. Fransen J.J., van Lenteren J.C. Host selection and survival of the parasitoid *Encarsia formosa* after treatment of parasitized greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, in the presence of hosts infected with the fungus *Ashersonia alyerodis* // *Entomol. Exp. Appl.* 1993. V. 69. P. 239–249.
16. Oreste M., Bubici G., Polisenio M., Tarasco E. Effect of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* on the *Trialeurodes vaporariorum* – *Encarsia formosa* system // *J. Pest. Sci.* 2016. V. 89. P. 153–160.
17. Pazyuk I.M., Chogloкова A.A., Mitina G.V. Effect of entomopathogenic fungi of the genus *Lecanicillium* on behavioral reactions and average per-day fecundity of the predatory bug *Orius laevigatus* Fieber (Heteroptera, Anthocoridae) // *BIO Web of Conf.* 2022. V. 43. 02003.
18. Митина Г.В., Степанычева Е.А., Чоглокова А.А. Влияние энтомопатогенных грибов *Akanthomyces* и *Lecanicillium* на поведенческие реакции и жизнеспособность оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* // *Вестн. защиты раст.* 2020. Т. 103. № 4. С. 265–268.
19. Митина Г.В., Степанычева Е.А., Чоглокова А.А., Черепанова М.А. Сравнительные реакции сосущих фитофагов на летучие вещества спор энтомопатогенных грибов // *Защита раст. от вредных организмов. Мат-лы X Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 100-летию КубанГАУ. Краснодар, 2021. С. 239–241.*
20. Закладной Г.А. *Защита зерна и продуктов его переработки от вредителей.* М.: Колос, 1983. 215 с.
21. Pascual-Villalobos M.J., Robledo A. Screening for anti-insect activity in mediterranean plants // *Ind. Crops Prod.* 1998. V. 8. P. 183–194.
22. Kanmiya K. Mating behaviour and vibratory signals in whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) // *Insect Sounds and Communication* / Eds. Drosopoulos S., Claridge M.F. Taylor & Francis, 2006. P. 365–379.
23. Fattoruso V., Anfora G., Mazzoni V. Vibrational communication and mating behavior of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae) // *Sci. Rep.* 2021. V. 11. № 1. P. 1–11.
24. Berardo A., Fattoruso V., Mazzoni V., Pugno N.M. Coupling computational vibrational models and experimental biotremology to develop a green pest control strategy against the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* // *J. R. Soc. Interface.* 2022. V. 19. № 195. 20220311.
25. Nyasemba V.O., Teal E.A.P., Mukabana W.R., Tumlinson J.H., Torto B. Behavioural response of the malaria vector *Anopheles gambiae* to host plant volatiles and synthetic blends // *Parasites Vectors.* 2012. V. 5. P. 234.
26. Deletre E., Schatz B., Bourguet D., Changre F., Williams L., Ratnadass A., Martin T. Prospects for repellent in pest control: current developments and future challenges // *Chemoecology.* 2016. V. 26. P. 127–142.
27. Webster B. The role of olfaction in aphid host location // *Physiol. Entomol.* 2012. V. 37. P. 10–18.
28. Diabate S., Deletre E., Murungi L.K., Fiaboe K.K., Subramanian S., Wesonga J., Martin T. Behavioural responses of bean flower thrips (*Megalurothrips sjostedti*) to vegetative and floral volatiles from different cowpea cultivars // *Chemoecology.* 2019. V. 29. № 2. P. 73–88.
29. Fazeli-Dinan M., Talaei-Hassanloui R., Allahyari H. Host preference of *Encarsia formosa* (Hym.: Aphelinidae) towards untreated and *Lecanicillium longisporum*-treated *Trialeurodes vaporariorum* (Hem.: Aleyrodidae) // *J. Asia-Pacific Entomol.* 2016. V. 19. № 4. P. 1145–1150.
30. Fazeli-Dinan M., Talaei-Hassanloui R., Goettel M. Virulence of the entomopathogenic fungus *Lecanicillium longisporum* against the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* and its parasitoid *Encarsia formosa* // *Inter. J. Pest. Manag.* 2016. V. 62. № 3. P. 251–260.
31. Baverstock J., Alderson P.G., Pell J.K. Influence of the aphid pathogen *Pandora neoaphidis* on the foraging behaviour of the aphid parasitoid *Aphidius ervi* // *Ecol. Entomol.* 2005. V. 30. № 6. P. 665–672.
32. Кузьмин А.Г., Титов Ю.А., Митина Г.В., Чоглокова А.А. Масс-спектрометрические исследования состава летучих органических соединений, выделяемых различными видами грибов рода *Lecanicillium* // *Науч. приборостроение.* 2021. Т. 31. № 4. С. 71–78.
33. Митина Г.В., Степанычева Е.А., Чоглокова А.А., Черепанова М. А. Влияние летучих органических соединений энтомопатогенных грибов рода *Lecanicillium* и их компонента, уксусной кислоты, на поведение самок западного цветочного трипса *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera, Thripidae) // *Энтомол. обозр-е.* 2023. Т. 102. № 2. С. 249–259.

## Olfactory Responses of the Greenhouse Whitefly *Trialeurodes vaporariorum* Westwood and Its Parasitoid *Encarsia formosa* Gahan to Volatile Compounds of Entomopathogenic Fungi of the Genus *Lecanicillium*

G. V. Mitina<sup>a, #</sup>, O. S. Kirillova<sup>a</sup>, A. A. Chogloкова<sup>a</sup>, M. A. Cherepanova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>All-Russian Institute of Plant Protection,  
Shosse Podbel'skogo 3, St. Petersburg—Pushkin 196608, Russia

<sup>#</sup>E-mail: galmit@rambler.ru

To assess the prospects for the joint use of entomopathogenic fungi (EPF) and entomophages in plant protection from greenhouse whitefly, the influence of volatile organic compounds (VOCs) of fungi on the behavior of the phytophage and its parasitoid encarsia in 2 types of olfactometers was studied. In the Y-shaped olfactometer, it was revealed that 3 out of 9 EPF strains had a significant effect on the behavior of the imago phytophagus. The mycelium of the VI 72 strain of the *L. muscarium* species showed an attractive effect (AE = +16), and for the VI 61 strain of the same species and the Vit 71 strain of the *L. attenuatum* has been found to have a repellent effect against the pest (AE = –28 and –20, respectively). Experiments in two-chamber olfactometers, where *T. vaporariorum* was tested not individually, but in groups (15 individuals each), showed that all the studied strains did not affect the reactions of the phytophage. The activity of VOCs fungi against encarsia was less pronounced compared to whitefly. In the Y-shaped olfactometer, it was shown that only Vit 71 (*L. attenuatum*) showed an attractive effect, the remaining strains did not cause reactions in the parasitoid or showed a tendency to attract it.

**Keywords:** behavioral reactions, volatile organic compounds, entomopathogenic fungi, *Lecanicillium*, *Trialeurodes vaporariorum*, *Encarsia formosa*.