



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

# В Е С Т Н И К ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2021 ТОМ VOLUME 104 ВЫПУСК ISSUE 3



Санкт-Петербург  
St. Petersburg, Russia

Для оформления обложки использованы изображения арбускулярной микоризы (сканирующая электронная микроскопия, © Jozsef Racsko, Mycorrhizal Applications, LLC) и золотарника канадского (© Сергей Удалов, ФГБНУ ВИЗР). Изображения иллюстрируют объекты, описываемые в рукописи Малыгина и др. стр. 144–152.

For the title page design, the images of arbuscular mycorrhiza (scanning electron microscopy, © Jozsef Racsko, Mycorrhizal Applications, LLC) and Canadian goldenrod (© Sergei Udalov, All-Russian Institute of Plant Protection) were used. The figures are given to illustrate objects, mentioned in the manuscript by Malygin et al., pp. 144–152.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
“Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений”  
(ФГБНУ ВИЗР)

All-Russian Institute of Plant Protection

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

# В Е С Т Н И К ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

---

PLANT PROTECTION NEWS

2021    TOM    104    ВЫПУСК    3  
          VOLUME            ISSUE

Санкт-Петербург  
St. Petersburg, Russia  
2021

# ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Научно-теоретический рецензируемый журнал

Основан в 1939 г.

Издание возобновлено в 1999 г.

Учредитель: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР)

Зарегистрирован в ГК РФ по печати № 017839 от 03 июля 1998 г.

Главный редактор: В.А. Павлюшин

Зам. гл. редактора: В.И. Долженко, Ю.С. Токарев

Ответственный секретарь: В.К. Моисеева

Технический секретарь: С.Г. Удалов

Технический помощник: А.Г. Конончук

**Журнал «Вестник защиты растений» (ISSN: 1727-1320) включен в «Перечень изданий ВАК РФ» по следующим научным специальностям и отраслям науки:**

**1.5.14** – Энтомология (биологические науки),

**1.5.18** – Микология (биологические науки),

**4.1.1** – Общее земледелие. Растениеводство (сельскохозяйственные и биологические науки),

**4.1.2** – Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные и биологические науки),

**4.1.3** – Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные и биологические науки),

**4.1.4** – Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (сельскохозяйственные и биологические науки)

**Индексируется в РИНЦ и CrossRef**

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

*Алёхин А.*, профессор, США

*Афанасенко О.С.*, дбн, академик РАН, ВИЗР

*Белоусов И.А.*, кбн, ВИЗР

*Белякова Н.А.*, кбн, ВИЗР

*Власенко А.Н.*, дсxn, академик РАН,

СибНИИЗиХ СФНЦА РАН

*Власов Д.Ю.*, дбн, СПбГУ

*Ганнибал Ф.Б.*, кбн, ВИЗР

*Гончаров Н.Р.*, ксxn, ВИЗР

*Гричанов И.Я.*, дбн, ВИЗР

*Дзянь Синьфу*, профессор, КНР

*Долженко В.И.*, дсxn, академик РАН, ВИЗР

*Егоров Е.А.*, дэн, академик РАН, СКФНЦСиВ

*Захаренко В.А.*, дсxn, академик РАН, МНИИСХ

*Игнатов А.Н.*, дбн, РУДН

*Косман Е.*, профессор, Израиль

*Каракотов С.Д.*, дхн, академик РАН,

ЗАО “Щелково Агрохим”

*Лаврищев А.В.*, дсxn, СПбГАУ

*Лаптиев А.Б.*, дбн, ООО “ИЦЗР”

*Левитин М.М.*, дбн, академик РАН, ВИЗР

*Лунева Н.Н.*, кбн, ВИЗР

*Лысов А.К.*, ктн, ВИЗР

*Мавроди Д.*, профессор, США

*Надыкта В.Д.*, дтн, академик РАН, ВНИИБЗР

*Намятова А.А.*, кбн, ЗИН

*Новикова И.И.*, дбн, ВИЗР

*Павлюшин В.А.*, дбн, академик РАН, ВИЗР

*Радченко Е.Е.*, дбн, ВИР

*Савченко И.В.*, дбн, академик РАН, ВИЛАР

*Санин С.С.*, дбн, академик РАН, ВНИИФ

*Сидельников Н.И.*, дсxn, член-корреспондент РАН,

ВИЛАР

*Синев С.Ю.*, дбн, ЗИН

*Соколова Ю.Я.*, дбн, США

*Сорока С.В.*, ксxn, Белоруссия

*Сухорученко Г.И.*, дсxn, ВИЗР

*Ули-Маттила Т.*, профессор, Финляндия

*Токарев Ю.С.*, дбн, ВИЗР

*Упадышев М.Т.*, дбн, член-корреспондент РАН, ВСТИСП

*Фролов А.Н.*, дбн, ВИЗР

*Хлесткина Е.К.*, дбн, ВИР

*Шамшев И.В.*, кбн, ЗИН

*Шпанев А.М.*, дбн, АФИ

*Эспевиг Т.*, PhD, Норвегия

### Ответственные редакторы выпуска:

Власов Д.Ю., Сухорученко Г.И., Токарев Ю.С.

Россия, 196608, Санкт-Петербург – Пушкин, шоссе Подбельского, 3, ВИЗР

Email: [vestnik@vizr.spb.ru](mailto:vestnik@vizr.spb.ru)

<http://plantprotect.ru>



Содержимое данного выпуска распространяется на условиях Creative Commons Attribution License 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

Полнотекстовые обзоры / Full-text reviews**Современные группы инсектицидов: диамиды и мета-диамиды****Т.А. Давлианидзе, О.Ю. Еремина**

Modern groups of insecticides: diamides and meta-diamides

Т.А. Davlianidze, O.Yu. Eremina . . . . . 132

Мини-обзоры / Mini-reviews**Does arbuscular mycorrhiza favor invasion of some Asteraceae tribes?****D.M. Malygin, M.N. Mandryk-Litvinkovich, S.V. Sokornova**

Способствует ли арбускулярная микориза инвазии видов Asteraceae?

Д.М. Малыгин, М.Н. Мандрик-Литвинкович, С.В. Сокорнова . . . . . 144

Полнотекстовые статьи / Full-text articles**Контаминация зерна в Западной Сибири грибами *Alternaria* и их микотоксинами****А.С. Орина, О.П. Гаврилова, Т.Ю. Гагкаева, Н.Н. Гогина**Contamination of grain in West Siberia by *Alternaria* fungi and their mycotoxins

А.С. Orina, O.P. Gavrilova, T.Yu. Gagkaeva, N.N. Gogina . . . . . 153

**Compatibility of the fungus *Lecanicillium muscarium* and the predatory mite *Amblyseius swirskii* for their combined application against the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum*****G.V. Mitina, L.P. Krasavina, O.V. Trapeznikova**Совместимость гриба *Lecanicillium muscarium* и хищного клеща *Amblyseius swirskii* для совместного применения против тепличной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum*

Г.В. Митина, Л.П. Красавина, О.В. Трапезникова . . . . . 163

Хроника / Chronicle**Памяти Людмилы Ивановны Трепашко**

In memory of Lyudmila I. Trepashko. . . . . 171

**Новые члены редколлегии журнала «Вестник защиты растений»**

New members of the Editorial Board of the journal «Plant Protection News» . . . . . 173

**Условия доступа и авторские права на материалы, публикуемые в журнале «Вестник защиты растений»**

Open access and copyright for the materials published in “Plant Protection News”. . . . . 175

**Шаблон лицензионного соглашения журнала «Вестник защиты растений»**

Copyright agreement form of the journal “Plant Protection News” . . . . . 179

**Система электронного редактирования журнала «Вестник защиты растений»**

Electronic Editing System of the Journal “Plant Protection News” . . . . . 180

**СОВРЕМЕННЫЕ ГРУППЫ ИНСЕКТИЦИДОВ: ДИАМИДЫ И МЕТА-ДИАМИДЫ****Т.А. Давлианидзе\*, О.Ю. Еремина***Научно-исследовательский институт Дезинфектологии, Москва**\* ответственный за переписку, e-mail: tdavlik@bk.ru*

В обзоре обобщены и проанализированы данные по эффективности применения, механизмам действия и резистентности насекомых, касающиеся инсектицидов двух классов – диамидов и мета-диамидов. Рассмотрены перспективы применения их в России в сельском хозяйстве и медицинской дезинсекции. Насекомые, резистентные к фосфорорганическим соединениям, карбаматам, пиретроидам, остаются чувствительными к диамидам и мета-диамидам. Подробно рассматривается бромфланилид – проинсектицид, который, благодаря превращению в организме членистоногих в дезметилбромфланилид, приобретает физико-химические свойства, улучшающие липофильность, растворимость в воде и стабильность. Благодаря этому изменяется системная активность, замедляется действие на вредных насекомых и повышается селективность инсектицида. В нескольких странах мира, где диамиды широко применяются в борьбе с сельскохозяйственными вредителями, установлена высокая резистентность к ним нескольких видов совок, капустной моли, огнёвки, томатной минирующей моли и др. Основными причинами, определившими устойчивость к диамиду в Таиланде, явились отсутствие ротации инсектицидов, минимальный севооборот, недостаточная норма расхода инсектицида, ирригация. Целесообразно вводить диамиды и мета-диамиды в схемы ротации инсектицидов для борьбы с насекомыми, резистентными к традиционно применяемым соединениям.

**Ключевые слова:** диамиды, мета-диамиды, флубендиамид, хлорантранилипрол, циантранилипрол, бромфланилид, резистентность, механизм действия

*Поступила в редакцию: 23.06.2021**Принята к печати: 07.09.2021***Введение**

В связи с развитием резистентности членистоногих к традиционно применяемым инсектицидам исследователи из многих стран мира синтезируют действующие вещества, принадлежащие к новым химическим группам и имеющие новые механизмы действия на членистоногих. Комитет по исследованию инсектицидов (IRAC) разрабатывает и публикует классификацию инсектицидов, основанную на механизме их действия (The IRAC mode..., 2021). В настоящее время описаны 32 группы соединений с разным механизмом действия на членистоногих, несколько соединений и групп, целевой сайт которых неизвестен (Lewis et al., 2016). Схема IRAC разработана для обеспечения руководства по стратегиям борьбы с резистентностью, облегчает чередование соединений, принадлежащих к разным группам, с целью отсрочить или избежать быстрого развития резистентности у насекомых-вредителей. Соединения класса диамидов и мета-диамидов – яркий пример достижений мировой науки. Несмотря на недавнее появление этих двух групп, по данным IRAC, они уже входят в пятёрку самых продаваемых инсектицидов по всему миру, что составляет около 3000

млн. долларов США. Самая большая часть рынка инсектицидов в настоящее время приходится на неоникотиноиды (Группа 4А, 24%), за ними следуют пиретроиды (Группа 3А, 15%) и диамиды (Группа 28, 12%), которые стремительно вытесняют традиционные соединения. Это резко контрастирует с мировыми продажами в 1970-х годах, когда 70% продаж пришлось на фосфорорганические соединения (ФОС) и карбаматы. В 2018 г. продажи этих 2 групп инсектицидов составили всего 11%. Такие изменения подчеркивают продолжающуюся эволюцию глобального изменения рынка инсектицидов. Многие старые действующие вещества заменяются как в связи с развивающейся резистентностью членистоногих, так и с ужесточением нормативных требований относительно безопасности человека и окружающей среды. Одним из результатов этой продолжающейся эволюции – это увеличивающееся разнообразие химических групп инсектицидов и механизмов действия, которые могут способствовать в борьбе с вредными насекомыми (Sparks et al., 2019, Sparks et al., 2020, Casida, Quistad, 1998).

**Диамиды**

Соединения группы диамидов согласно классификации IRAC (IRAC Mode of Action Classification Scheme. Version 9.4 3March 2020) относятся по механизму действия к группе 28 «Модуляторы рианодинных рецепторов» (The IRAC mode..., 2021). Соединения близкие по строению природным веществам алкалоиду рианодину и антраниламида, имеют оригинальный механизм действия, служат

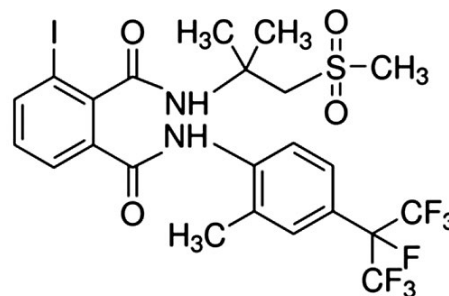
модуляторами рианодинового рецептора (RyR), регулирующего нервную и мышечную активность насекомых, связанную с изменением содержания кальция в клетках. При неконтролируемом выделении кальция у насекомого перестают сокращаться мышцы, затем следует паралич, и оно погибает через 2–4 дня (Zahn et al., 2019). Равновесие между состоянием покоя и открытым состоянием каналов

регулируется внутриклеточной концентрацией кальция. Диамиды обратимо и избирательно связываются с кальций-проводящим факторами, тем самым смещая равновесие в сторону конформации открытого канала. Инактивированная конформация была подтверждена структурными исследованиями RyR1 кролика (Ebbinghaus-Kintscher et al. 2019). Флубендиамид и хлорантранилипрол действуют путем избирательной активации RyR в эндоплазматическом ретикулуме насекомых. Функция этих специализированных каналов – быстрое высвобождение ионов  $\text{Ca}^{2+}$  из внутриклеточных запасов, что необходимо для сокращения мышц. Диамидные инсектициды индуцируют чувствительные к риадину рецепторы и переход цитозольных ионов  $\text{Ca}^{2+}$  независимо от их внеклеточной концентрации (Nauen, 2006, Ebbinghaus-Kintscher et al., 2006, Ebbinghaus-Kintscher et al., 2007, Cordova et al., 2006, Lahm et al., 2007). Эта активация рецептора RyR приводит к быстрому начальному действию на личинок насекомых с уникальной симптоматикой необратимого паралича сокращения мышц и характерного прекращения питания (Nauen, 2006).

Исследования связывания радио-лигандов, проведенные с диамидами — флубендиамидом, хлорантранилипролом и циантранилипролом, выявили видоспецифические различия в профилях их связывания с RyR у насекомых. В изолированных мышечных мембранах грудного отдела двукрылых *Musca domestica* и перепончатокрылых *Apis mellifera* сайт связывания RyR с высоким сродством был охарактеризован для антраниловых диамидов (хлорантранилипрол и циантранилипрол), но не для фталевого диамида (флубендиамид) (Isaacs et al., 2012, Qi et al., 2014). Прямое сравнение профилей связывания диамида с нативными мышечными мембранами комнатных мух *M. domestica*, совки *Heliothis virescens* и совки ипсилон *Agrotis ipsilon* показало, что у чешуекрылых и флубендиамид, и хлорантранилипрол конкурируют за один и тот же сайт связывания на RyR (Qi et al., 2014, Qi, Casida, 2013). Новые активные диамиды, содержащие сульфоксимины и сульфониламидные производные, демонстрируют такое же высокое сродство к RyR насекомых, как и уже имеющиеся в продаже соединения (Gnamm et al., 2012). Из этих исследований также ясно, что сайт связывания диамидов отличается от сайта связывания риадина на рецепторе. В настоящее время в состав группы входят флубендиамид, хлорантранилипрол, циантранилипрол, цикланилипрол и тетранилипрол.

**Флубендиамид** (NNI-0001) группа бензол-дикарбоксамидов или диамидов фталевой кислоты, № CAS 272451-65-7, N2-(1,1-диметил-2-(метилсульфонил)этил)-3-йодо-N1-(2-метил-4-(1,2,2,2-тетрафтор-1-(трифторметил)этил)фенил)-1,2-бензол-дикарбоксамид (рис.1). Производится фирмами «Nihon Nohyaku» и «Bayer CropScience AG». Флубендиамид был классифицирован как первый представитель группы 28 IRAC (Nauen, 2006). Зарегистрирован в 2007 г. Флубендиамид имеет уникальную структуру, отличную от других известных инсектицидов, и проявляет высокую инсектицидность в отношении различных видов чешуекрылых насекомых. Так, например, капустная моль, *Plutella xylostella* – один из самых вредоносных насекомых на крестоцветных культурах, на долю которого в настоящее время приходится 2.7 млрд долларов

США ежегодных потерь урожая во всем мире. Затраты на борьбу с этим вредителем составляют от 1.3 до 2.3 млрд долларов США в год (Zalucki et al., 2012). Флубендиамид является чрезвычайно эффективным инсектицидом против *P. xylostella*, особенно при использовании в качестве ларвицида (Tohnishi et al., 2005, Nauen, 2006, Hirooka et al., 2007). Флубендиамид имеет отличный биологический и экологический профиль (Hilder, Boulter, 1999, Hall, 2007) и благоприятный токсикологический профиль (Ebbinghaus-Kintscher et al., 2006) (табл. 1).

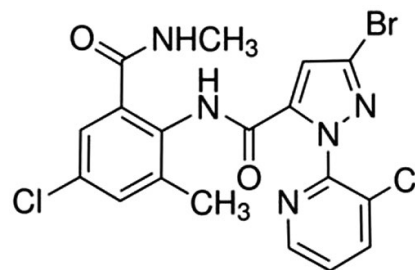


**Рисунок 1.** Структурная формула флубендиамида (<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/structure/1132.htm>)

**Figure 1.** Structural formula of flubendiamide

Флубендиамид — инсектицид широкого спектра действия, эффективен в виде 20% водорастворимых гранул («TATA Takumi», «Takibi», «Fluton» и др.) в отношении многих чешуекрылых на хлопчатнике, табаке и других культурах. В области сельского хозяйства России зарегистрировано средство «Белт» в виде 48% концентрата суспензии (КС) (недавно закончился срок регистрации) (Флубендиамид, 2017).

**Хлорантранилипрол** (DPX E2Y45, ринаксипир, IN-E2Y45) – антраниламид, № CAS 500008-45-7, 5-бром-N-[4-[хлор-2-метил-6-(метилкарбонил)фенил]-2-(3-хлорпиридин-2-ил)пиразол-3-карбоксамид] (рис.2). Инсектицид селективного действия. Синтезирован фирмой «DuPont» в 2002 г. Год официальной регистрации – 2009. Соединение обладает кишечным, контактным и трансламинарным действием, проникает через эпидермис и передвигается по проводящим сосудам растений.



**Рисунок 2.** Структурная формула хлорантранилипрола (<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/structure/1138.htm>)

**Figure 2.** Structural formula of chlorantraniliprole

Хлорантранилипрол как и флубендиамид, особенно эффективен для борьбы с насекомыми отряда Lepidoptera (Temple et al., 2009). Хлорантранилипрол относительно безвреден для полезных членистоногих и не обнаруживает перекрестной устойчивости с существующими инсектицидами (Lahm et al., 2009). В настоящее время продается под несколькими торговыми названиями (Acelepryn®, Altacor®, Coragen®, Dermacor® X-100, и др.). Хлорантранилипрол эффективен в отношении насекомых с



**Таблица 1.** Физико-химические и токсикологические характеристики инсектицидов групп диамидов и мета-диамидамов согласно схеме IRAC (<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>)

Название	CAS №	Растворимость в воде при 20 °С, мг/л	Коэффициент распределения в системе октанол/вода при pH 7, 20 °С	Log P	Давление паров при 20 °С, мПа	Токсичность для пчел ( <i>Apis spp.</i> ) мкг/особь перорально/ при контакте	LD <sub>50</sub> при пероральном введении, мг/кг	LD <sub>50</sub> при нанесении на кожу, мг/кг	ЛК <sub>50</sub> при ингаляции (крысы, 4 час), мг/л
Диамиды, группа 28									
Флубендиамид	272451-65-7	0.029	$1.38 \times 10^4$	4.14	0.10	> 200/> 200	2000	2000	0.069
Хлорантранилипрол	500008-45-7	0.88	$7.24 \times 10^2$	2.86	$6.30 \times 10^{-9}$	>104/>100	> 5000	5000	5.10
Циантранилипрол	736994-63-1	14.2	$1.05 \times 10^2$	2.02	$5.13 \times 10^{-13}$	-/> 0.0934	> 5000	5000	5.20
Цикланилипрол	1031756-98-5	0.15	$5.01 \times 10^2$	2.70	$1.65 \times 10^{-3}$	0.66/-	> 2000	2000	> 4.62
Тетранилипрол	1229654-66-3	1.0	$3.98 \times 10^2$	2.60	$3.20 \times 10^{-3}$	-	> 200	2000	> 4.50
Цигалодиаמיד	1262605-53-7	0.28	$4.90 \times 10^6$	6.69	-	-	-	-	-
Тетрахлорантранилипрол	1104384-14-6	-	-	5.72	-	-	-	-	-
Мета-диамиды, группа 30									
Брофланилид	1207727-04-5	0.71	$1.58 \times 10^5$	5.20	$9.00 \times 10^{-6}$	0.015/0.010	> 5000	5000	> 2.20

**Table 1.** Physicochemical and toxicological characteristics of insecticides of the diamide and meta-diamide groups according to the IRAC scheme (<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>)

Name	CAS No	Solubility in water at 20 °C mg l <sup>-1</sup>	Octanol-water partition coefficient at pH 7, 20 °C	Log P	Vapor pressure at 20 °C, mPa	Contact acute / oral acute toxicity for honey bees ( <i>Apis spp.</i> ), µg bee <sup>-1</sup>	Oral acute LD <sub>50</sub> , mg kg <sup>-1</sup>	Dermal LD <sub>50</sub> , mg kg <sup>-1</sup> body weight	Inhalation (rats, 4 hours) LC <sub>50</sub> , mg l <sup>-1</sup>
Diamides, group 28 IRAC									
Flubendiamide	272451-65-7	0.029	$1.38 \times 10^4$	4.14	0.10	> 200/> 200	2000	2000	0.069
Chlorantraniliprol	500008-45-7	0.88	$7.24 \times 10^2$	2.86	$6.30 \times 10^{-9}$	>104/>100	> 5000	5000	5.10
Cyantraniliprol	736994-63-1	14.2	$1.05 \times 10^2$	2.02	$5.13 \times 10^{-13}$	-/> 0.0934	> 5000	5000	5.20
Cyclaniliprol	1031756-98-5	0.15	$5.01 \times 10^2$	2.70	$1.65 \times 10^{-3}$	0.66/-	> 2000	2000	> 4.62
Tetraniliprol	1229654-66-3	1.0	$3.98 \times 10^2$	2.60	$3.20 \times 10^{-3}$	-	> 200	2000	> 4.50
Cyhalodiamide	1262605-53-7	0.28	$4.90 \times 10^6$	6.69	-	-	-	-	-
Tetrachlorantraniliprole	1104384-14-6	-	-	5.72	-	-	-	-	-
Meta-diamides, group 30 IRAC									
Broflanilide	1207727-04-5	0.71	$1.58 \times 10^5$	5.20	$9.00 \times 10^{-6}$	0.015/0.010	> 5000	5000	> 2.20

грызущим ротовым аппаратом из отрядов чешуекрылых, жесткокрылых, а также двукрылых и термитов. Его действие на насекомых характеризуется остановкой питания.

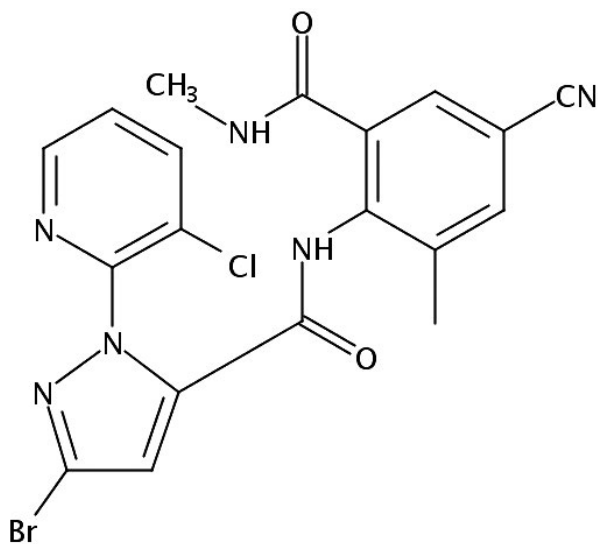
Зарегистрирован в России как инсектицид для сельского хозяйства в виде 20% КС «Кораген», 15% микрокапсулированной суспензии «Амплиго» (5% лямбда-цигалотрина и 10% хлорантранилипрола), 30% КС «Волиам Флекси» (смесь 20% тиаметоксама и 10% хлорантранилипрола). Хлорантранилипрол рекомендован к применению для борьбы с колорадским жуком, яблонной плодовой жоркой, листовёртками и др. (Галлямова, 2014).

Это соединение характеризуется низкой токсичностью для млекопитающих: (табл. 1). В России установлены следующие санитарные показатели ДСД – 2.0 мг/кг массы тела человека, ОДК в почве – 0.2 мг/кг, ПДК в воде водоемов (общесанитарная) – 0.2 мг/м<sup>3</sup>, ОБУВ в воздухе рабочей зоны – 1.5 мг/м<sup>3</sup>, ОБУВ в атмосферном воздухе – 0.007 мг/м<sup>3</sup>. Не обладает раздражающим действием на слизистые оболочки и кожу, не вызывает аллергию, не проявляет мутагенное действие (Справочник пестицидов..., 2021).

**Циантранилипрол** (DPX-HGW86, Суазуруг) – антрамида, № CAS 736994-63-1, 3-бром-1-(3-хлор-2-пиридинил)-N-(4-циано-2-метил-6((метиламино)карбонил)фенил)-1H-пиразол-5-карбоксимид (рис.3). Инсектицид широкого спектра действия, эффективный против многих основных листогрызущих и сосущих вредителей. Год официальной регистрации – 2014.

Циантранилипрол, второй антрамиловый диамида, синтезированный фирмой «DuPont» и изученный совместно с фирмой «Syngenta» (Wiles et al., 2011), по химическому строению похож на хлорантранилипрол, но обладает более широким спектром инсектицидной активности и обеспечивает высокую эффективность в борьбе с сосущими вредителями, такими как тля и белокрылка (Foster et al., 2012, Gravalos et al., 2015). Считается, что широкий спектр активности этого антрамилового диамида обусловлен его физическими свойствами, то есть более низким logP и более высокой растворимостью в воде по сравнению с другими диамидными инсектицидами, что увеличивает его системные и трансламинарные свойства (табл. 1) (Selby et al., 2013). Препараты, содержащие циантранилипрол, разрешены к применению в некоторых странах с





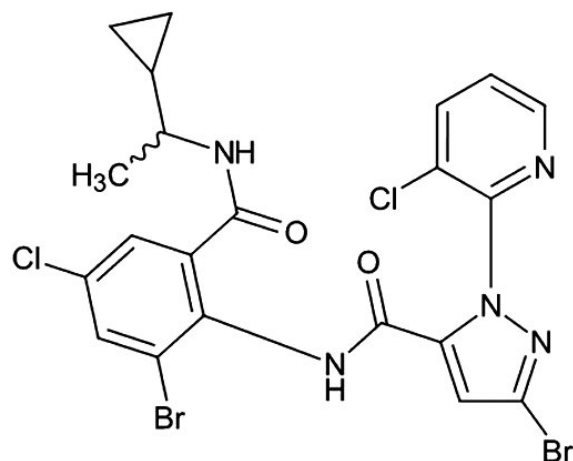
**Рисунок 3.** Структурная формула циантранилипрола (<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/structure/1662.htm>)

**Figure 3.** Structural formula of cyantraniliprol

2012 года под торговыми названиями Exirel®, Verimark®, Ference®, и др. Они обладают высокой эффективностью против различных сосущих вредителей и трипсов, а также чешуекрылых насекомых. В сельском хозяйстве США применяются: смесевой препарат в виде 40% водорастворимых гранул «Minecto Duo» (20% циантранилипрола и 20% тиаметоксама); 10% суспо-эмульсия «Exirel»; 20% КС «Verimark»; 62.4% флоу «Dermacor Z-103».

В России на основе циантранилипрола разрешены к применению 7.8% КС «Лирум» (1.8% абамектина и 6% циантранилипрола), 20% СК «Веримарк» и 10% масляная дисперсия «Биневия», рекомендованные для защиты от чешуекрылых, двукрылых, белокрылок, трипсов, тлей и клещей. 62.5% текучая суспензия «Люмипоса» предназначена для защиты сельскохозяйственных культур от блошек, белокрылки, тли, минирующих молей, жуков листоедов, трипсов и др. Установлены следующие санитарные показатели ДСД – 0.03 мг/кг массы тела человека (Справочник пестицидов ..., 2021).

**Цикланилипрол** (IKI-3106) – № CAS 1031756-98-5, 3-бром-N-[2-бром-4-хлор-6-[[1-(циклопропилэтил)амино]карбонил]фенил]-1-(3-хлор-2-пиридинил)-1H-3-пирозол-5-карбоксимид (рис. 4). Зарегистрирован фирмой «Ishihara Sangyo Kaisha» в 2017 г. Представляет собой рацемическую смесь двух изомеров R и S в соотношении 50:50. Физико-химические и токсикологические свойства приведены в таблице 1. Характеризуется низкой токсичностью для млекопитающих. Цикланилипрол в виде 5–10% водорастворимого концентрата или 5% КС (торговые марки «Harvanta®», «Verdepryn®», «Sarisa®») применяют преимущественно на винограде, плодовых, овощных культурах и в защищенном грунте и в питомниках. Преимущества этого действующего вещества состоит в его инсектицидности в отношении широкого спектра вредных насекомых. Имеет сниженные нормы расхода в сравнении с другими диамидами инсектицидами. Может применяться в программах комплексной борьбы с вредителями. Быстро действует на листогрызущих насекомых, имеет длительное остаточное действие. Установлена его и ларвицидная,



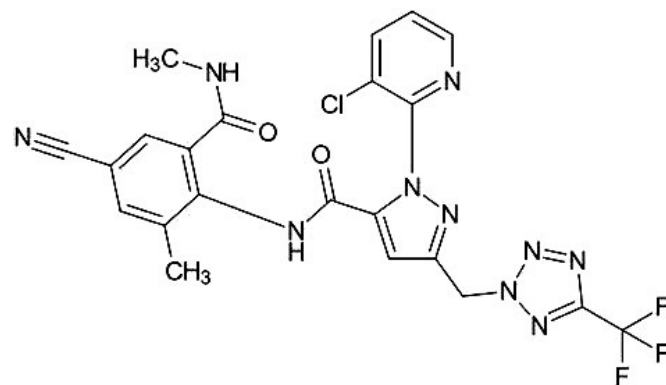
**Рисунок 4.** Структурная формула цикланилипрола (<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/structure/2632.htm>)

**Figure 4.** Structural formula of cyclaniliprol

и имагоцидная активность. В концентрате «Pradia®» 5% цикланилипрол находится в смеси с 6% флонирамидом (пиридин карбоксамид, группа 29 IRAC, это системный инсектицид, афицид с длительным сроком действия, нарушающий питание насекомых).

**Тетранилипрол** – № CAS 1229654-66-3, 1-(3-хлор-2-пиридинил)-N-[4-циано-2-метил-6-[(метиламино)карбонил]фенил]-3-[[5-(трифторметил)-2H-тетразол-2-ил]метил]-1H-пирозол-5-карбоксимид (рис. 5). Зарегистрирован фирмой «Bayer» в 2014 г. Инсектицид, предназначенный для борьбы с широким спектром сельскохозяйственных вредителей семечковых и косточковых культур, орехов, виноградных лоз, овощей, табака, сои, кукурузы и др. Действует на насекомых при поедании ими обработанных растений. Он мешает чувствительным к рианодину каналам высвобождения ионов кальция, что приводит к прекращению мышечной регуляции и последующей неподвижности насекомых. Выпускается в виде 20% КС «Tetrino™» и 48% КС «Vayego», для борьбы с широким спектром насекомых, повреждающих дерн, для инъекций в почву рядом с бананом.

Еще 2 перспективных диамида находятся в стадии разработки и в сельском хозяйстве они пока не применяются. Для этих инсектицидов нами не найдено показателей их токсичности для теплокровных животных.



**Рисунок 5.** Структурная формула тетранилипрола (<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/structure/3190.htm>)

**Figure 5.** Structural formula of tetraniliprol

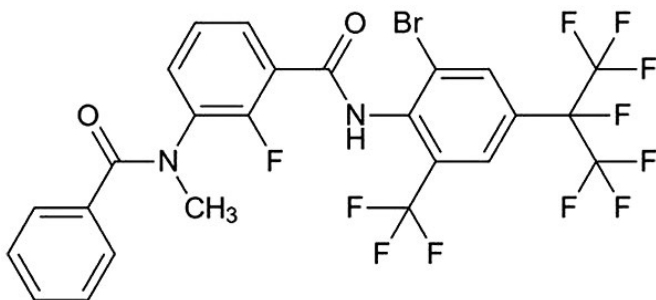
**Цигалодиамид** № CAS - 1262605-53-7, группа фталевых диамидов, 3-хлор-N2-(1-циано-1-метилэтил)-N1-(2-метил-4-(1,2,2,2-тетрафтор-1-(трифторметил)этил)фенил)-1,2-бенздикабоксамида. Зарегистрирован фирмой «Sinochem» в 2015 г. (Umetsu, Shirai, 2020). Ингибитор риаинодиновых рецепторов, приводит к прекращению кормления, рвоте, голоду, обезвоживанию и смерти (Xing et al. 2014). Разработан в Китае Чжэцзянским научно-исследовательским институтом химической промышленности. Инсектицидность цигалодиамида оценена в лабораторных и полевых испытаниях в отношении капустной моли *Plutella xylostella*, совки малой *Spodoptera exigua*, азиатской хлопковой совки *Spodoptera (Prodenia) litura* и огневки желтой рисовой *Chilo suppressalis* и

огнёвок-травянок *Snaphalocrocis medinalis*. Показано, что по инсектицидности цигалодиамида не уступает флубендиамиду и хлорантранилипролу (Xing et al. 2014). **Тетрахлорантранилипрол** № CAS 1104384-14-6. 3-бром-N-[2,4-дихлор-6-[(метиламино)карбонил]фенил]-1-(3,5-дихлор-2-пиридинил)-1H-пиразол-5-карбоксамида. Зарегистрирован фирмой «Sinochem» в 2015 г. (Umetsu, Shirai, 2020). Эффективен в отношении ряда чешуекрылых, в том числе совки *Spodoptera exigua*. Показано, что он может быть использован в качестве нового и многообещающего компонента комплексной программы борьбы с вредителями против *S. exigua* в связи с высокой целевой эффективностью и незначительных нецелевых рисков (Teng et al., 2020).

### Мета-диамиды

Мета-диамиды, такие как брофланилид (Yoshihisa et al., 2013), были обнаружены путем структурной модификации модулятора риаинодинового рецептора (RyR) флубендиамида. Изменение амидной группы флубендиамида из орто-положения в мета-положение привело к изменению механизма действия (от модулятора RyR к аллостерическому модулятору хлорного канала, управляемого ГАМК) и появлению новой химической группы (Ebbinghaus-Kintscher et al., 2019). Соединения группы мета-диамидов, согласно классификации IRAC, относятся по механизму действия к группе 30 «ГАМК-зависимые аллостерические модуляторы хлор-ионного канала» (The IRAC mode..., 2021). Обладают нейротоксическим действием. Мишень — рецепторы в нервно-мышечном синапсе. Мета-диамиды ингибируют ферменты ГАМК-трансферазы, что приводит к увеличению содержания ГАМК в ЦНС. Аллостерически подавляют ГАМК-активированный хлор-ионный канал, вызывая гипервозбуждение и судороги (Casida, Durkin, 2013). В состав группы входят ципрофланилид и брофланилид. Если о применении **ципрофланилида** (№ CAS 2375110-88-4, N-[3-[[[2-бром-4-[1,2,2,2-тетрафтор-1-(трифторметил)этил]-6-(трифторметил)фенил]амино]карбонил]-2-фторфенил]-N-(циклопропилметил)-4-фторбензамид) практически ничего неизвестно, то второй представитель группы используется в сельском хозяйстве довольно широко.

**Брофланилид** (MCI-8007, Tenebena), № CAS 1207727-04-5, 3-(бензоилметиламино)-N-(2-бром-4-(1,2,2,2-тетрафтор-1-(трифторметил)этил)-6-трифтор-метил)фенил)-2-фторбензамид (рис. 6). Брофланилид, синтезированный фирмой «Mitsui Chemicals Agro, Inc.» и разработанный совместно с фирмой «BASF», имеет уникальную



**Рисунок 6.** Структурная формула брофланилида (<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/structure/3091.htm>)

**Figure 6.** Structural formula of broflanilide

химическую структуру, характеризующую как мета-диамида, и проявляет высокую активность против различных вредителей, включая чешуекрылых, жесткокрылых, трипсов и паутиного клеща (Katsuta et al., 2019, Shen et al., 2021). Зарегистрирован в Австралии в 2020 г. В 2017 году IRAC классифицировал брофланилид как члена группы 30 включающей мета-диамиды и изоксазолины.

Брофланилид представляет собой проинсектицид, метаболизируется в организме насекомых до дезметилброфланилида и действует как неконкурентный резистентный к дилдрину (resistant to dieldrin, *Rdl*) антагонист рецептора  $\gamma$ -аминомасляной кислоты (ГАМК). В ряде работ показано, что сайт связывания дезметилброфланилида отличается от сайта традиционных неконкурентных антагонистов, таких как фипронил (Nakao, Banba, 2016).

Эксперименты по выяснению зависимости структура-активность мета-диамидов продемонстрировали, что активность против азиатской хлопковой совки *Spodoptera litura* и капустной моли *P. xylostella* выше, если фтор находится во 2-м положении. И, наоборот, для активности против хлопковой совки *Helicoverpa armigera* должна присутствовать комбинация брома, трифторметильной группы и сильного липофильного гептафторизопропильного заместителя (Katsuta et al., 2019).

В обзоре П. Джешке «Состояние и перспективы открытия акарицидов и инсектицидов» (Jeschke, 2021) описан механизм действия брофланилида. Брофланилид, классифицируется как негативный аллостерический модулятор (NAM) рецепторов  $\gamma$ -аминомасляной кислоты (ГАМК) насекомых, поскольку дезметилброфланилид (DMBF) аллостерически ингибирует ГАМК-индуцированные ответы. Сообщалось, что мутация G277M субъединицы рецептора ГАМК (GABAR) *Drosophila melanogaster* устраняет ингибирующую активность DMBF. Способ связывания DMBF с GABAR насекомых пока неизвестен, но есть предположения, что водородная связь, образованная между DMBF и G277 в модели *D. melanogaster* GABAR, может быть ключевым взаимодействием для антагонизма DMBF и GABAR. Увеличение объема, вызванное мутацией G277M, блокирует вход в карман связывания, затрудняя попадание DMBF в него и тем самым снижая активность инсектицида (Jeschke, 2021).

Брофланилид обладает широким спектром инсектицидного действия и может использоваться на различных культурах для борьбы с чешуекрылыми, жесткокрылыми,

термитами, муравьями, тараканами и мухами. Биоактивация проинсектицидов, как правило, представляет собой процесс, контролируемый ферментами, при котором насекомое-мишень метаболизирует проформу в активное соединение. Этот подход имеет несколько потенциальных преимуществ, включая улучшенные биокинетические свойства и характеристики безопасности проинсектицида по сравнению с активной формой (David, 2021, Das, Mukherjee, 2018). Проинсектицид брофланилид, вероятно, метаболизируется посредством CYP450-опосредованной биоактивации его активного метаболита — дезметилброфланилида (расщепление N-метильной группы) (Jeschke, 2016). Он действует как неконкурентный антагонист рецептора ГАМК на новом сайте в рецепторах ГАМК *Rdl* дрозофилы. Этот сайт находится рядом с G336 в области M3 RDL GABA рецепторов *Drosophila* (Nakao, Banba, 2016). Хотя сайт действия мета-диамидов, по-видимому, совпадает с местом действия аллостерических модуляторов глутамат-активируемых хлорных каналов, таких как авермектины и милбемицины, механизмы действия могут различаться (French-Constant et al., 2016).

Высокая селективность метаболита дезметилброфланилида, вероятно, служит причиной того, что брофланилид эффективен против вредителей, у которых развилась устойчивость к антагонистам типа блокаторов каналов ГАМК, таким как циклодиены и фенилпиразолы. Инсектицидная активность брофланилида не различалась между чувствительными и устойчивыми биотипами насекомых, несущими мутации A20S, A20G и A20N в канале рецептора ГАМК. Активный метаболит дезметилброфланилид проявляет более высокую селективность в отношении рецепторов *Rdl* GABA насекомых, например у табачной совки *S. litura*, по сравнению с рецептором ГАМК типа A человека (GABA<sub>A</sub>R)  $\alpha 1\beta 2\gamma 2$ , млекопитающих (GABA<sub>A</sub>R)  $\alpha 1\beta 3\gamma 2$  и рецептором глицина человека (GlyR)  $\alpha 1\beta$  (Zhao et al., 2003).

За рубежом в сельском хозяйстве применяются несколько концентратов суспензии, содержащие брофланилид: «Nurizma™ SC Insecticide» (30% КС) применяется в США на посевах культур от проволочника, западного кукурузного корневого жука; «Cimegra™ SC Insecticide» (10% КС) для защиты кукурузы и клубневых овощных культур от почвенных вредителей; «Teraxxa™ Insecticide Seed Treatment» (35%) для предпосевной обработки семян (пшеница, ячмень, овес и т.д.); «Teraxxa™ F4 Insecticide and Fungicide Seed Treatment» (1.55% брофланилид, 0.78% флуксапироксад, 1.55% пираклостробин, 1.55% трифлюназол, 0.93% металаксил) — комплексный препарат, содержащий смесь инсектицида с четырьмя фунгицидами широкого спектра действия. Под торговой маркой TERINDA® предложено два термитицида: 0.0045% пена для уничтожения термитов и муравьев и 9.47% КС, которые предназначены для обработки подземных термитов — деревьев, термитников и муравейников муравьев-плотников

(*Camponotus*, *Reticulitermes* spp. и др.). Кроме того, фирма «Mitsui Chemicals Agro, Inc.» заявила в сентябре 2020 г. о регистрации в Японии нового КС на основе брофланилида «BROFREYA™ SC» для применения в сельском хозяйстве для борьбы с насекомыми-вредителями на таких культурах, как капуста, пекинская капуста, брокколи, салат и т.д. (Registration of new ..., 2017).

Австралийское управление по пестицидам и ветеринарным лекарствам (APVMA) рассмотрело токсикологические характеристики всех средств, содержащих брофланилид и определило, что они не вызывают опасений ни при остром, ни при хроническом отравлении. Несколько средств под торговой маркой VEDIRA® в виде приманок для мух, тараканов и других синантропных насекомых разрешены для использования населением. Они могут использоваться в закрытых жилых помещениях в виде 0.025% гранулированной приманки для мух и 0.005% — для муравьев. Предложены приманки, содержащие 0.125–0.25% брофланилида для уничтожения разных видов мух и рыжих тараканов, и 0.02% для подавления рыжих домовых муравьев. Эффективность подтверждена на видах муравьев, питающихся как сахаросодержащей, так и белковой пищей, в том числе на черных муравьях-плотниках *Camponotus pennsylvanicus*, аргентинских муравьях *Linepithema humile* и пахучих домашних муравьях *Tapinoma sessile*. Также рекомендовано смесевое средство в беспропеллентной аэрозольной упаковке (0.2% брофланилида и 0.05% альфа-циперметрина), обеспечивающее быстрое уничтожение насекомых и имеющее длительное остаточное действие. Оно рекомендуется для борьбы с муравьями, тараканами, вредителями запасов, постельными клопами, мухами, домашними сверчками, чешуйницей, пауками и бумажными осами (обработка гнезд) в быту и медицинской дезинсекции (Public release summary ..., 2019).

Брофланилид — мета-диамид с потенциалом использования в качестве инсектицида нового типа, рекомендованный для применения в общественном здравоохранении с целью борьбы с имаго комаров *Aedes* и *Anopheles*, включая популяции, устойчивые к пиретроидам, ФОС и др. группам инсектицидов, которые в настоящее время используются для борьбы с переносчиками. Соединение показало высокую активность в лабораторных и полевых исследованиях и требует дальнейших исследований в целях борьбы с устойчивыми к пиретроидам комарами (Lees et al., 2020; Ngufor et al., 2021; Snetselaar et al., 2021). В Бенине показана высокая и продолжительная активность средства в форме 50% смачивающегося порошка «VECTRON T500» против *Anopheles gambiae* s.l. — переносчиков малярии, резистентных к пиретроидам. В лабораторных условиях смертность комаров при контакте с обработанными этим средством поверхностями составляла > 80% в течение 6–14 месяцев (Ngufor et al., 2021).

#### Развитие резистентности насекомых к диамидам

В Китае хлорантранилипрол был впервые введен в 2007 году для борьбы с вредными видами чешуекрылых. Однако несколько неудачных попыток борьбы с малой совкой *Spodoptera exigua* произошли всего через несколько лет после его появления в нескольких провинциях Китая.

Отмечены случаи устойчивости к хлорантранилипролу (показатель резистентности (ПР) составил от 10 до 17) в некоторых популяциях, собранных в полевых условиях в течение 2008–2010 годов (Lai et al., 2011). Затем, в течение 2009–2012 гг. ПР увеличились до 10–44, и в 2018 г. — до

150 (Zuo et al., 2020). В Бразилии частоты аллелей хлопковой совки *Helicoverpa armigera*, связанных с устойчивостью к хлорантранилипролу, составляли 0.00694 в 2014 г. и 0.04348 в 2015 г. Кроме того, в полевых популяциях в течение всего сезона наблюдалось значительное снижение чувствительности к хлорантранилипролу, при этом показатели выживаемости увеличивались с 0% в 2014 г. до 29.59% в 2018 г. (Pereira et al., 2020). Таким образом, неправильное использование хлорантранилипрола, по-видимому, привело к развитию резистентности. Значения ПР к хлорантранилипролу у малой совки *S. exigua* варьировали от 8 до 12 в 2019 г. (Tang et al., 2021), что было значительно ниже, чем 630–кратная устойчивость этого вида в США (Rabelo et al., 2020).

Частое применение диамидных инсектицидов привело к селекции устойчивости к диамидам (флубендиамиду, хлорантранилипролу и циантранипролу) полевых популяций хлопковой совки *H. armigera* в Бразилии (Pereira et al., 2020), малой совки *S. exigua* в Китае и США (Che et al., 2013, Rabelo et al., 2020), капустной моли *P. xylostella* в Корее и Китае (Cho, et al., 2018, Wang, et al., 2020), жёлтой рисовой огнёвки *Chilo suppressalis* в Китае (Yao et al., 2017) и томатной минирующей моли *Tuta absoluta* в Великобритании (Grant et al., 2019). Например, М. Ахмад с соавт. сообщает, что хлопковая совка *H. armigera* в Пакистане имела толерантность к хлорантранилипролу (1.8–6.8 ×) и к флубендиамиду (1.5–8.2 ×) в течение 2009–2016 гг. (Ahmad et al., 2019).

Гусеницы капустной моли *P. xylostella* известны своей скоростью, с которой они могут развивать устойчивость к новым инсектицидам. Вероятно, это связано с их генетической пластичностью, коротким временем развития генерации, высокой плодовитостью и высоким давлением отбора инсектицидами в полевых условиях. Известно, что *P. xylostella* выработала устойчивость к 93 инсектицидам (Whalon et al., 2016). Популяция капустной моли *P. xylostella* в Таиланде впервые оказалась устойчивой к флубендиамиду (и перекрестно устойчивой к хлорантранилипролу) всего через 18 месяцев после начала его применения. ПР к этим инсектицидам увеличились и составили 66 и 35 соответственно. В 2011 г. в Таиланде резистентность составила: к флубендиамиду (407 ×) и хлорантранилипролу (152 ×). В других провинциях Таиланда, одна популяция капустной моли показала очень высокий рост устойчивости к флубендиамиду (4817 ×) и высокую устойчивость к хлорантранилипролу (88 ×), в то время как другая – исключительно высокую устойчивость к флубендиамиду (26602 ×) и высокую устойчивость (775 ×) к хлорантранилипролу. Некоторыми из ключевых факторов, определивших устойчивость к диамиду в Таиланде, явились отсутствие ротации инсектицидов, минимальный севооборот (из-за непрерывных посевов крестоцветных), недостаточная дозировка инсектицида (для экономии средств), ирригация, отсутствие каких-либо согласованных стратегий управления устойчивостью к инсектицидам (Sukonthabhirom et al., 2011). Обнаружено, что тайские фермеры использовали флубендиамид более 4–5 раз в сезон на одну культуру в баковых смесях с другими инсектицидами для одновременной борьбы с *P. xylostella* и другими вредителями, чтобы снизить трудозатраты, связанные с опрыскиванием (цит. по Troczka et al., 2017).

В 2011 г. сообщалось о резистентности капустной моли *P. xylostella* к диамидам в Тайване, в Индии и Китае (Wang et al., 2012, Wang, Wu, 2012). В последующие годы сообщения о случаях резистентности поступали из множества других мест в Азии и были также задокументированы в Бразилии и США (Diamide insecticide ..., 2014). По-видимому, стабильность устойчивости к диамиду у *P. xylostella* различается между различными полевыми популяциями. У популяции, собранной в Китае, начальный высокий уровень устойчивости к хлорантранилипролу (2040 ×) быстро упал до 25 ×, когда давление инсектицидного отбора было снято (Wang et al., 2013a). Быстрое снижение устойчивости (от > 27000 × до 4000 ×) также наблюдалось у собранной в Бразилии популяции (Самосим–РЕ) всего за три поколения при отсутствии отбора (Ribeiro et al., 2014). В то же время показано, что Филиппинская популяция (Sudlon) поддерживает высокий уровень устойчивости без какого-либо дальнейшего отбора диамидами (Steinbach et al., 2015).

В обзоре Б. Троцка с соавт. (Troczka et al., 2017) описаны некоторые мутации, которые соотнесены с резистентностью к диамидам. Секвенирование рианодинового рецептора *P. xylostella* (PxRyR) этих рас выявило несинонимичные мутации, приводящие к замене глутаминовой кислоты на глицин (G4946E) (Troczka et al., 2012, Steinbach et al., 2015). Интересно, что кодирующие тройки для этого положения у двух устойчивых рас были разными (GAG для тайской популяции и GAA для популяции Sudlon), что свидетельствует о независимой эволюции полиморфизма, а не о распространении, связанном с миграцией вредителя между двумя странами (Troczka et al., 2012). Впоследствии сообщалось, что мутация G4946E в PxRyR присутствует у *P. xylostella* по крайней мере в 9 странах, распространенных на 3 континентах (Steinbach et al., 2015, Sonoda, Kataoka, 2016).

Последующие исследования подтвердили ключевую функциональную роль G4946E в обеспечении устойчивого фенотипа (Steinbach et al., 2015, Troczka et al., 2015a). Функциональная экспрессия рекомбинантного PxRyR в культуре клеток кукурузной листовой совки *Spodoptera frugiperda* (Sf9) позволила сравнить рецептор дикого типа (WT) и модифицированную версию G4946E. Экспрессированный WT PxRyR был чувствителен к кофеину и диамидам и был способен связывать [3H] рианодин на уровнях, сопоставимых с другими изоформами RyR насекомых и млекопитающих.

Напротив, вариант G4946E показал значительно сниженную чувствительность к диамидам, в то время как его сродство к другим лигандам, таким как кофеин и рианодин, оставалось сопоставимым с уровнями дикого типа (Troczka et al., 2015a). Сходные результаты были получены, когда препараты нативных микросомальных мембран чувствительной расы BCS-S и устойчивой расы Sudlon были использованы в экспериментах по связыванию лиганда. Аффинность связывания диамида с мембранами расы Sudlon была снижена более чем в 450 раз для флубендиамида и в 159 раз для хлорантранилипрола по сравнению с лабораторной чувствительной расой BCS-S (Steinbach et al., 2015).

Наследование G4946E у расы Sudlon было определено как аутосомное, моногенное и рецессивное (Steinbach et

al., 2015), тогда как наследование фенотипа устойчивости у высокорезистентной китайской расы Zengcheng, считается аутосомным, не полностью рецессивным и полигенным (Wang et al., 2013a, Liu et al., 2015a). Последующее секвенирование расы Zengcheng подтвердило присутствие мутации G4946E (Gong et al., 2014).

Дополнительные мутации E1338D, Q4594L, I4790M связанные с устойчивостью к диамиду, недавно были обнаружены в RyR популяции *P. xylostella*, собранной в Китае (Guo et al., 2014). Частотный анализ мутаций, присутствующих в этой полевой популяции, показал, что три замены присутствовали во всех образцах, при этом 86% популяции были гомозиготными по трем мутациям, в то время как мутация G4946E присутствовала только в гетерозиготной форме и была обнаружена только в 20% проанализированных особях. Функциональное значение этих дополнительных мутаций в отношении связывания диамида и их потенциальное влияние на кинетику RyR каналов в настоящее время неясно.

До сих пор не было однозначно выявлено метаболической устойчивости к диамидным инсектицидам у *P. xylostella*. Сообщалось о более высокой активности ферментов цитохрома P450 (в 4.26 раза) у лабораторной расы Shan-dong, селектированной хлорантранилипролом в течение 50 поколений, по сравнению с таковым чувствительной расы. Однако ни один ген цитохрома P450 не был идентифицирован как ответственный за устойчивый фенотип (Liu et al., 2015b). Небольшие коэффициенты синергического действия (2.2–2.9) наблюдались при

применении синергистов пиперонилбутоксид (ППБ), диэтилмалеата (ДЭМ) и S,S,S-трибутилтрифосфата (ТБТФ), на полевой устойчивой к хлорантранилипролу расе *P. xylostella* (Wang et al., 2013b) Сравнение трех рас имеющих разную устойчивость к хлорантранилипролу (низкую 5.87 ×, умеренную 34.65 × и высокую 1749.96 ×) выявило дифференциально экспрессируемые транскрипты, связанные с устойчивостью к инсектицидам, включая глутатион-S-трансферазы (GST) и монооксигеназы P450; однако не было установлено четкой функциональной ассоциации между этими генами и устойчивым фенотипом (Lin et al., 2013).

Резистентность насекомых к мета-диамидам (брофланилид) в полевых условиях пока не выявлено (Tang et al., 2021). Следует отметить, что при лабораторной селекции брофланилидом в течение 10 поколений у капустной моли *P. xylostella* реализованная наследуемость h<sup>2</sup> составила 0.033, что свидетельствует о низком риске развития резистентности у этой расы. Поколение F10 не имело перекрестной устойчивости к инсектицидам абамектину и эндосульфату и хлорантранилипролу. Отмечено, что удельная активность важных ферментов детоксикации (монооксигеназ цитохрома P450, эстераз и GST), в течение селекции не изменилась. Однако чистая репродуктивная скорость R<sub>0</sub> и среднее время генерации T были значительно ниже, а значение приспособленности R<sub>f</sub> (0.68) было немного ниже для поколения F11, чем для поколения F0 (Sun et al., 2021).

### Заключение

Инсектициды группы диамидов заняли свой сегмент рынка инсектицидов, применяемых в сельском хозяйстве и медицинской дезинсекции. Агентство по охране природных ресурсов США придало диамиду циантранилипролу статус действующего вещества, использование которого уменьшает риски для окружающей среды. Следует отметить, что насекомые, резистентные к ФОС, карбаматам, пиретроидам, остаются чувствительными к диамидам.

Потенциальные преимущества мета-диамида брофланилида как проинсектицида, можно представить как изменение физико-химических свойств, ведущие к улучшенной липофильности, растворимости, стабильности, влияющие на системную активность, замедленное действие на насекомых и повышенная селективность для нецелевых видов, в связи с различными путями метаболизма. Менее распространенное преимущество проинсектицидов – повышенная активность в отношении метаболически устойчивых популяций насекомых. Конкретные случаи, когда проинсектицид демонстрирует отрицательную перекрестную резистентность к метаболически устойчивой популяции

из-за повышенной биоактивации проинсектицида, неоднократно отмечались за последние 50 лет (Salgado, David, 2017, Das, Mukherjee, 2018, David, 2021). Так, например, показана большая инсектицидность проинсектицида хлорфенапира (группа пирролов) для резистентных к пиретроидам комаров рода *Culex* (Yuan et al., 2015, Raghavendra et al., 2011) и мух-жигалок *Haematobia irritans* (Sheppard, Joyce 1998). Авторы связывают этот факт с повышенным уровнем цитохром P450 зависимых монооксигеназ у резистентных популяций, которые участвуют в превращении проинсектицида в активный метаболит.

В связи с высокой резистентностью к традиционно применяемым инсектицидам как вредителей сельского хозяйства так и синантропных насекомых – объектов медицинской дезинсекции необходимо соблюдать схемы ротации инсектицидов, включая в них как можно больше соединений, обладающих различными механизмами действия. Препараты на основе диамидов и мета-диамидов должны занять в разрабатываемых схемах ротации достойное место.

### Библиографический список (References)

- Флубендиамид (2017) Пестициды.ру. [https://www.pesticidy.ru/active\\_substance/flubendiamid](https://www.pesticidy.ru/active_substance/flubendiamid) (14.09.2021)
- Галлямова ОВ (2014). Хлорантранилипрол. Пестициды.ру. [https://www.pesticidy.ru/active\\_substance/chlorantraniliprole](https://www.pesticidy.ru/active_substance/chlorantraniliprole) (14.09.2021)
- Справочник пестицидов и агрохимикатов (2021) Агропромышленный портал «Агро XXI». <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (14.09.2021)
- Ahmad M, Rasool B, Ahmad M, Russell DA (2019) Resistance and synergism of novel insecticides in field populations of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Pakistan. *J Econ Entomol* 112: 859–871. <https://doi.org/10.1093/jee/toy409>
- Casida JE, Quistad GB (1998) Golden age of insecticide research: past, present, or future? *Ann Rev Entomol* 43(1):1–16

- Casida JE, Durkin KA (2013). Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects. *Ann Rev Entomol* 58:99–117. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153645>
- Che W, Shi T, Wu Y, Yang Y (2013) Insecticide resistance status of field populations of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) from China. *J Econ Entomol* 106:1855–1862. <https://doi.org/10.1603/EC13128>
- Cho S-R, Kyung Y, Shin S, Kang W-J, Jung DH, et al. (2018) Susceptibility of field populations of *Plutella xylostella* and *Spodoptera exigua* to four diamide insecticides. *Korean J Appl Entomol* 57:43–50. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2018.02.0.009>
- Cordova D, Benner EA, Sacher MD, Rauh JJ, Sopa JS, et al. (2006) Anthranilic diamides: a new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. *Pestic Biochem Physiol* 84:196–214. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2005.07.005>
- Das SK, Mukherjee I (2018) Propesticides and their implications / in: «Insecticides – agriculture and toxicology», Chapter 6. P. 107–116.
- David MD (2021) The potential of pro-insecticides for resistance management. *Pest Manag Sci* Mar 17. <https://doi.org/10.1002/ps.6369>
- Diamide Insecticide Resistance Update: February, 2014 (2014) *IRAC Newsletter Issue*. 33:5–6
- Ebbinghaus-Kintscher U, Luemmen P, Lobitz N, Schulte T, Funke C, et al. (2006) Phthalic acid diamides activate ryanodine-sensitive Ca<sup>2+</sup> release channels in insects. *Cell Calcium* 39 (1):21–33. <https://doi.org/10.1016/j.ceca.2005.09.002>
- Ebbinghaus-Kintscher U, Lummen P, Raming K, Masaki T, Yasokawa N (2007) Flubendiamide, the first insecticide with a novel mode of action on insect ryanodine receptors. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 60:117–140
- Ebbinghaus-Kintscher U, Lümmern P, Hamaguchi H, Hirooka T (2019) in *Modern Crop Protection Compounds*, Vol. 3, Insecticides, 3rd edn, ed. by Jeschke P, Witschel M, Krämer W and Schirmer U. VCH-Wiley, Weinheim, 3:1549–1562. ISBN:3527314962
- French-Constant RH, Williamson MS, Davis TGE, Bass C (2016) Ion channels as insecticide targets. *J Neurogenet* 30:163–177. <https://doi.org/10.1080/01677063.2016.1229781>
- Foster SP, Denholm I, Rison J-L, Portillo HE, Margaritopoulos J, et al. (2012) Susceptibility of standard clones and European field populations of the green peach aphid, *Myzus persicae*, and the cotton aphid, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae), to the novel anthranilic diamide insecticide cyantraniliprole. *Pest Manag Sci* 68:629–633. <https://doi.org/10.1002/ps.2306>
- Gnam C, Jeanguenat A, Dutton AC, Grimm C, Kloer DP, et al. (2012) Novel diamide insecticides: sulfoximines, sulfonimidamides and other new sulfonimidoyl derivatives. *Bioorg Med Chem Lett* 22:3800–3806. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2012.03.106>
- Gong W, Yan HH, Gao L, Guo YY, et al. (2014) Chlorantraniliprole resistance in the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J Econ Entomol* 107(2):806–814. <https://doi.org/10.1603/EC13456>
- Grant C, Jacobson R, Ilias A, Berger M, Vasakis E, et al. (2019) The evolution of multiple-insecticide resistance in UK populations of tomato leafminer, *Tuta absoluta*. *Pest Manag Sci* 75(8):2079–2085. <https://doi.org/10.1002/ps.5381>
- Gravalos C, Fernández E, Belando A, Moreno I, Ros C, et al. (2015) Cross-resistance and baseline susceptibility of Mediterranean strains of *Bemisia tabaci* to cyantraniliprole. *Pest Manag Sci* 71:1030–1036. <https://doi.org/10.1002/ps.3885>
- Guo L, Liang P, Zhou X, Gao X (2014) Novel mutations and mutation combinations of ryanodine receptor in a chlorantraniliprole resistant population of *Plutella xylostella* (L.). *Sci Rep UK* 4:6924. <https://doi.org/10.1038/srep06924>
- Hall T (2007) Ecological effects assessment of flubendiamide. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 16:7–182
- Hilder VA, Boulter D (1999) Genetic engineering of crop plants for insect resistance—a critical review. *Crop Prot* 18:177–191. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(99\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00028-9)
- Hirooka T, Nishimatsu T, Kodama H, Reckmann U, Nauen R (2007) The biological profile of flubendiamide, a new benzenedicarboxamide insecticide. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 183–202
- Isaacs AK, Qi S, Sarpong R, Casida JE (2012) Insect ryanodine receptor: distinct but coupled insecticide binding sites for N-C(3)H(3) chlorantraniliprole, flubendiamide, and (3) H ryanodine. *Chem Res Toxicol* 25:1571–1573. <https://doi.org/10.1021/tx300326m>
- Jeschke P (2016) Propesticides and their use as agrochemicals. *Pest Manag Sci* 72:210–225. <https://doi.org/10.1002/ps.4170>
- Jeschke P (2021) Status and outlook for acaricide and insecticide discovery. *Pest Manag Sci* 77: 64–76. <https://doi.org/10.1002/ps.6084>
- Katsuta H, Nomura M, Wakita T, Daido H, Kobayashi Y, et al. (2019) Discovery of broflanilide, a novel insecticide. *J Pestic Sci* 44(2):120–128. <https://doi.org/10.1584/jpestics.D18-088>
- Lahm GP, Cordova D, Barry JD (2009) New and selective ryanodine receptor activators for insect control. *Bioorg Med Chem* 17:4127–4133. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.01.018>
- Lahm GP, Stevenson TM, Selby TP, Freudenberger JH, Cordova D et al. (2007) Rynaxypyr (™): a new insecticidal anthranilic diamide that acts as a potent and selective ryanodine receptor activator. *Bioorg Med Chem Lett* 17(22):6274–6279. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2007.09.012>
- Lai T, Li J, Su J (2011) Monitoring of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to chlorantraniliprole in China. *Pestic Biochem Physiol* 101(3):198–205. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.09.006>
- Lees RS, Ambrose P, Williams J, Morgan J, Praulins G, et al. (2020) Tenebenal: a meta-diamide with potential for use as a novel mode of action insecticide for public health. *Malar J* 19:398. <https://doi.org/10.1186/s12936-020-03466-4>
- Lewis KA, Tzilivakis J, Warner D, Green A (2016) An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An Inter J* 22(4): 1050–1064. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>

- Lin Q, Jin F, Hu Z, Chen H, Yin F, et al. (2013) Transcriptome analysis of chlorantraniliprole resistance development in the diamondback moth *Plutella xylostella*. *PLoS One* 8:e72314. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072314>
- Liu X, Ning Y, Wang H, Wang K (2015a) Cross-resistance, mode of inheritance, synergism, and fitness effects of cyantraniliprole resistance in *Plutella xylostella*. *Entomol Exp Appl* 157:271–278. <https://doi.org/10.1111/eea.12361>
- Liu X, Wang H Y, Ning Y B, Qiao K, Wang K Y (2015b) Resistance selection and characterization of chlorantraniliprole resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *J Econ Entomol* 108(4):1978–1985. <https://doi.org/10.1093/jee/tov098>
- Nakao T, Banba S (2016) Broflanilide: A meta-diamide insecticide with a novel mode of action. *Bioorg Med Chem* 24(3):372–377. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2015.08.008>
- Nauen R (2006) Insecticide mode of action: return of the ryanodine receptor. *Pest Manage Sci* 62:690–692. <https://doi.org/10.1002/ps.1254>
- Ngufor C, Govoetchan R, Fongnikin A, Vigninou E, Syme T, et al. (2021) Efficacy of broflanilide (VECTRON T500), a new meta-diamide insecticide, for indoor residual spraying against pyrethroid-resistant malaria vectors. *Sci Rep* 11(1):7976. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86935-3>
- Pereira RM, Neto DA, Amado D, Durigan MR, Franciscatti RA, et al. (2020) Baseline susceptibility and frequency of resistance to diamide insecticides in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. *Crop Prot* 137:105266. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105266>
- Public release summary on the evaluation of the new active Broflanilide (2019) Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. <https://apvma.gov.au/node/57021> (14.09.2021)
- Qi SZ, Casida JE (2013) Species differences in chlorantraniliprole and flubendiamide insecticide binding sites in the ryanodine receptor. *Pestic Biochem Physiol* 107(3):321–326. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.09.004>
- Qi SZ, Lummen P, Nauen R, Casida JE (2014) Diamide insecticide target site specificity in the *Heliothis* and *Musca* ryanodine receptors relative to toxicity. *J Agric Food Chem* 62:4077–4082. <https://doi.org/10.1021/jf501236h>
- Rabelo MM, Paula-Moraes SV, Pereira EJG, Siegfried BD (2020) Contrasting susceptibility of lepidopteran pests to diamide and pyrethroid insecticides in a region of overwintering and migratory intersection. *Pest Manage Sci* 76(12):4240–4247. <https://doi.org/10.1002/ps.5984>
- Raghavendra K, Barik TK, Sharma P, Bhatt RM, Srivastava HC, et al. (2011) Chlorfenapyr: a new insecticide with novel mode of action can control pyrethroid resistant malaria vectors. *Malar J* 10:16. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-16>
- Registration of new crop-use insecticide, BROFREYA™ SC, Japan (2017) Mitsui Chemicals. [https://jp.mitsuichemicals.com/en/release/2020/2020\\_0917.htm](https://jp.mitsuichemicals.com/en/release/2020/2020_0917.htm) (14.09.2021)
- Ribeiro LMS, Wanderley-Teixeira V, Ferreira HN, Teixeira AAC, Siqueira HAA (2014) Fitness costs associated with field-evolved resistance to chlorantraniliprole in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bull Entomol Res* 104:88–96. <https://doi.org/10.1017/S0007485313000576>
- Salgado VL, David MD (2017) Chance and design in proinsecticide discovery. *Pest Manage Sci* 73(4):723–730. <https://doi.org/10.1002/ps.4502>
- Selby TP, Lahm GP, Stevenson TM, Hughes KA, Cordova D, et al. (2013) Discovery of cyantraniliprole, a potent and selective anthranilic diamide ryanodine receptor activator with cross-spectrum insecticidal activity. *Bioorg Med Chem Lett* 23:6341–6345. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2013.09.076>
- Shen N, Li Y, Leviticus K, Chang XL, Tang T, et al. (2021) Effect of broflanilide on the phytophagous mite *Tetranychus urticae* and the predatory mite *Typhlodromips swirskii*. *Pest Manage Sci* 77(6):2964–2970. <https://doi.org/10.1002/ps.6335>
- Sheppard CD, Joyce JA (1998) Increased susceptibility of pyrethroid-resistant horn flies (Diptera: Muscidae) to chlorfenapyr. *J Econ Entomol* 91(2):398–400. <https://doi.org/10.1093/jee/91.2.398>
- Snetselaar J, Rowland MW, Manunda BJ, Kisengwa EM, Small GJ, et al. (2021) Efficacy of indoor residual spraying with broflanilide (TENE BENAL), a novel meta-diamide insecticide, against pyrethroid-resistant anopheline vectors in northern Tanzania: An experimental hut trial. *PLoS One* 16(3):e0248026. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248026>
- Sonoda S, Kataoka Y (2016) Genotyping for the G4946E site of ryanodine receptor gene in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) considering gene duplication. *Appl Entomol Zool* 51:195–204. <https://doi.org/10.1007/s13355-015-0385-0>
- Sparks TC, Crossthwaite AJ, Nauen R, Banba S, Cordova D, et al. (2020). Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification—a tool for resistance management. *Pestic Biochem Phys*, 167, 104587. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587>
- Sparks TC, Wessels FJ, Lorschbach BA, Nugent BM, Watson GB (2019). The new age of insecticide discovery—the crop protection industry and the impact of natural products. *Pestic biochem physiol*, 161, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.09.002>
- Steinbach D, Gutbrod O, Lümmer P, Matthiesen S, Schorn C, et al. (2015) Geographic spread, genetics and functional characteristics of ryanodine receptor based target-site resistance to diamide insecticides in diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Insect Biochem Mol Biol* 63:14–22. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2015.05.001>
- Sukonthabhirom S, Dumrongsak D, Jumroon S et al. (2011) Update on DBM diamide resistance from Thailand: causal factors and learnings. In: Srinivasan R, Shelton AM, Collins HL (eds). The World Vegetable Center. 202–212.
- Sun X, Wei R, Li L, Zhu B, Liang P, et al. (2021) Resistance and fitness costs in diamondback moths after selection using broflanilide, a novel meta-diamide insecticide. *Insect Sci* Apr 16. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12917>
- Tang T, Hu F, Wang P, Fu W, Liu X (2021) Broflanilide effectively controls *Helicoverpa armigera* and *Spodoptera exigua* exhibiting diverse susceptibilities to chlorantraniliprole and emamectin benzoate. *Pest Manage Sci* 77(3):1262–1272. <https://doi.org/10.1002/ps.6139>



- Temple JH, Pommireddy PL, Cook DR, Marçon P, Leonard BR (2009) Susceptibility of selected lepidopteran pests to рynaхуpыр®, a novel insecticide. *J Cotton Sci* 13(1):23–31
- Teng H, Yuan Y, Zhang T, Chang X, Wang D (2020) Evaluation of the sublethal effect of tetrachlorantraniliprole on *Spodoptera exigua* and its potential toxicity to two non-target organisms. *PLoS ONE* 15(11): e0242052. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242052>
- The IRAC mode of action classification online (2021) IRAC. <https://irac-online.org/modes-of-action/> (14.09.2021)
- Tohnishi M, Nakao H, Furuya T, Seo A, Kodama H, et al. (2005) Flubendiamide, a novel insecticide highly active against lepidopterous insect pests. *J Pestic Sci* 30:354–360. <https://doi.org/10.1584/jpestics.30.354>
- Trocza B, Zimmer CT, Elias J, Schorn C, Bass C, et al. (2012) Resistance to diamide insecticides in diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) is associated with a mutation in the membrane-spanning domain of the ryanodine receptor. *Insect Biochem Mol Biol* 42:873–880. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2012.09.001>
- Trocza BJ, Williams AJ, Williamson MS, Field LM, Lüemmen P, et al. (2015a) Stable expression and functional characterisation of the diamondback moth ryanodine receptor G4946E variant conferring resistance to diamide insecticides. *Sci Rep* 5:14680. <https://doi.org/10.1038/srep14680>
- Trocza BJ, Williamson MS, Field LM, Davies TGE (2017) Rapid selection for resistance to diamide insecticides in *Plutella xylostella* via specific amino acid polymorphisms in the ryanodine receptor. *Neurotoxicology* 60:224–233. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2016.05.012>
- Umetsu N, Shirai Y Development of novel pesticides in 21<sup>st</sup> century. *J Pestic Sci* 45(2):54–74. <https://doi.org/10.1584/jpestics.D20-201>
- Wang J, Liu Y, Gao J, Xie Z, Huang L, et al. (2013a) Molecular cloning and mRNA expression of a ryanodine receptor gene in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Pestic Biochem Physiol* 107(3):327–333. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.09.006>
- Wang N-M, Li J-J, Shang Z-Y, Yu Q-T, Xue C-B (2020) Increased responses of phenoloxidase in chlorantraniliprole resistance of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *J Insect Sci* 20(2):1–6. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa066>
- Wang X, Khakame SK, Ye C, Yang Y, Wu Y (2013b) Characterisation of field-evolved resistance to chlorantraniliprole in the diamondback moth *Plutella xylostella*, from China. *Pest Manage Sci* 69(5):661–665. <https://doi.org/10.1002/ps.3422>
- Wang X, Wu S, Yang Y, Wu Y (2012) Molecular cloning, characterization and mRNA expression of a ryanodine receptor gene from diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Pestic Biochem Physiol* 102:204–212. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.01.009>
- Wang X, Wu Y (2012) High levels of resistance to chlorantraniliprole evolved in field populations of *Plutella xylostella*. *J Econ Entomol* 105(3):1019–1023. <https://doi.org/10.1603/EC12059>
- Whalon ME, Mota-Sanchez D, Hollingworth RM (2016). Arthropod pesticide resistance database, <http://www.pesticideresistance.org/index.php>
- Wiles JA, Annan IB, Portillo HE, Rison JL, Dinter A, et al. (2011) Cyantraniliprole (DuPont™ Cyazypyr™) a novel, substituted anthranilic diamide insecticide for cross-spectrum control of sucking & chewing pests. Association Francaise de Protection des Plantes (AFPP); SupAgro, Montpellier, France: Les Cochenilles: ravageur principal ou secondaire. 9ème Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture. pp. 698–705. ISBN: 9782905550255
- Xing J, Zhu B, Yuan J, Yu J, Dong D et al. (2014) Insecticidal activity and field efficacy of novel insecticide cyhalodiamide against different lepidoptera pests. *Plant Diseases and Pests Cranston* 5(4):39–42.
- Yao R, Zhao D-D, Zhang S, Zhou L-Q, Wang X, et al. (2017) Monitoring and mechanisms of insecticide resistance in *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae), with special reference to diamides. *Pest Manag Sci* 73(6):1169–1178. <https://doi.org/10.1002/ps.4439>
- Yoshihisa O, Tomo K, Fumiyo O, Toshifumi N, Kazuyuki S, et al. (2013) Insecticidal 3-benzamido-N-phenylbenzamidés specifically bind with high affinity to a novel allosteric site in housefly GABA receptors. *Pestic Biochem Physiol* 107(3):285–292. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.09.005>
- Yuan JZ, Huang JB, Gao JF (2015) Effect of chlorfenapyr on cypermethrin-resistant *Culex pipiens pallens* Coq mosquitoes. *Acta Tropica* 143:13–17. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2014.12.002>
- Zahn LK, Cox DL, Gerry AC (2019) Mortality rate of house flies (Diptera: Muscidae) exposed to insecticidal granular fly baits containing indoxacarb, dinotefuran, or cyantraniliprole. *J Econ Entomol* 112(5):2474–2481. <https://doi.org/10.1093/jee/toz170>
- Zalucki MP, Shabbir A, Silva R, Adamson D, Shu-Sheng L, et al. (2012) Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string? *J Econ Entomol* 105(4):1115–1129. <https://doi.org/10.1603/EC12107>
- Zhao X, Salgado VL, Yeh JZ, Narahashi T (2003) Differential actions of fipronil and dieldrin insecticides on GABA-gated chloride channels in cockroach neurons. *J Pharmacol Exp Ther* 306:914–924. <https://doi.org/10.1124/jpet.103.051839>
- Zuo Y-Y, Ma H-H, Lu W-J, Wang X-L, Wu S-W, et al. (2020) Identification of the ryanodine receptor mutation I4743M and its contribution to diamide insecticide resistance in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insect Sci* 27:791–800. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12695>

#### Translation of Russian References

- Flubendiamide (2017) Pesticidy.ru. [https://www.pesticidy.ru/active\\_substance/flubendiamid](https://www.pesticidy.ru/active_substance/flubendiamid) (14.09.2021)
- Gallyamova OV (2014) Chlorantraniliprole. Pesticidy.ru. [https://www.pesticidy.ru/active\\_substance/chlorantraniliprole](https://www.pesticidy.ru/active_substance/chlorantraniliprole) (14.09.2021)
- Handbook of pesticides and agrochemicals (2021) Agroindustrial portal «Agro XXI». <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (14.09.2021)

## MODERN GROUPS OF INSECTICIDES: DIAMIDES AND META-DIAMIDES

T.A. Davlianidze\*, O.Yu. Eremina

*Scientific Research Institute of Disinfectology, Moscow, Russia*

*\*corresponding author, e-mail: tdavlik@bk.ru*

The review summarizes and analyzes the data on the practical efficacy, mechanisms of action and insect resistance to insecticides belonging to the groups of diamides and meta-diamides. The prospects of their application in Russia in agriculture and medical disinsection are considered. Insects resistant to organophosphorous compounds, carbamates and pyrethroids remain susceptible to diamides and meta-diamides. Broflanilide is described in detail as a pro-insecticide which is transformed into desmethylbroflanilide within arthropods' organism and acquire physicochemical properties which provide improved lipophilicity, water solubility and stability. As a result, systemic activity is modulated, action against harmful insects is slowed down and selectivity of the insecticide is increased. In several countries of the world where diamides are widely used to control agricultural pests, high resistance of several species of noctuids, diamondback moth, pyralid moths, tomato leafminer, etc. has been established. The key factors that determined the resistance to diamide in Thailand are the lack of insecticide rotation, minimal crop rotation, insufficient insecticide dosing, and irrigation. It is necessary to introduce diamides and meta-diamides into the insecticide rotation schemes in order to control the insects resistant to traditionally applied compounds.

**Keywords:** diamides, meta-diamides, flubendiamide, chloranthraniliprole, cyantraniliprole, broflanilide, resistance, mode of action

*Submitted: 23.06.2021*

*Accepted: 07.09.2021*

**DOES ARBUSCULAR MYCORRHIZA FAVOR INVASION OF SOME ASTERACEAE TRIBES?****D.M. Malygin<sup>1</sup>, M.N. Mandryk-Litvinkovich<sup>2</sup>, S.V. Sokornova<sup>1\*</sup>**<sup>1</sup>*Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia*<sup>2</sup>*Institute of Microbiology, National Academy of Science, Minsk, Belarus*\*corresponding author, e-mail: [svsokornova@vizr.spb.ru](mailto:svsokornova@vizr.spb.ru)

Invasive species, including more than three dozen Asteraceae, such as *Solidago canadensis*, *Leucanthemum vulgare*, *Senecio inaequidens* etc, pose serious threat to ecosystem health. Arbuscular mycorrhizal symbiosis is a key factor for distribution of invasive species of some Asteraceae tribes, including Astereae, Anthemideae, Senecioneae, Gnaphalieae, Cardueae, and Cichorieae. The formation of invasion-friendly plant communities has occurred through increasing nutrient and water availability, hormonal regulation, production of bioactive compounds, and mycorrhiza-induced resistance of host plants. Native species are displaced through the influence on soil microbiota, mycorrhizal and nutrient status of neighboring plants, and several other parameters. Allelopathic influences and symbiotic interactions with bacteria and other fungi can inhibit these processes. Understanding the mycorrhizal status of invasive weeds, in our opinion, is a necessary condition for their successful control.

**Keywords:** common mycorrhizal networks, invasive weeds, Cardueae, Astereae, Anthemideae, Senecioneae, Cichorieae

Submitted: 17.04.2021

Accepted: 05.09.2021

Invasive weeds, including more than three dozen species of Asteraceae, pose serious threat to ecosystem health (Medve, 1984; Mehraj et al., 2021). An important feature of Asteraceae, which often manifests itself alongside allelopathic effects, is the ability to form arbuscular mycorrhiza (AM) and common mycorrhizal networks (CMN) (Bongard et al., 2013; Yuan et al., 2014; Li et al., 2016; Chagnon et al., 2019; Qin, Yu, 2019). For invasive species like *Solidago canadensis* (Astereae), *Helianthus tuberosus* (Heliantheae), and *Echinops sphaerocephalus* (Cardueae), it was shown that AM and CMN contribute to their distribution and introduction successes (Bongard et al., 2013; Dong et al., 2015, 2021, Awaydul et al., 2018, Řezáčová et al., 2020, Nacoon et al., 2021). Analysis of scientific literature has established four tribes (Anthemideae, Astereae, Cardueae and Senecioneae) that rely on AM in their distribution (Table 1, Fig. 1). In addition, the analysis of about 40 thousand nucleotide DNA sequences of fungi from 32 genera in Asteraceae family contained in NCBI database and including the most noxious weeds was carried out. The percentage of AMF occurrence among all fungi associated with these plants was calculated. The soil mycobiota of Senecioneae, Anthemideae, Astereae, Gnaphalieae, Cichorieae, and Cardueae tribes was represented by AMF in more than 50% of the cases. It was also revealed that the mycobiota of monophyletic Senecioneae, Anthemideae, Astereae, and Gnaphalieae tribes contain AMF species belonging to four orders (Paraglomerales, Archaeosporales, Diversisporales, and Glomerales). In contrast, the Cichorieae and Cardueae tribes are associated mainly with Glomerales (Malygin, Sokornova, 2021). We believe that AM is the key factor for invasion of the species belonging to these tribes.

Senecioneae, Anthemideae, Astereae, and Gnaphalieae tribes originated in South Africa (Mandel et al., 2019). It is

possible that mycorrhiza helped them to spread around the world.

AM is the most ancient and frequent type of mycorrhiza. It is suggested that mycorrhiza helped first plants to leave water and adapt to the aridity of land about 450 million years ago (Provorov, Shtark, 2014; Redecker et al., 2000; Rich et al., 2021).

Assessment of host specificity in mycorrhizal communities is difficult due to the large phylogenetic diversity of plants and fungi that can form AM. Earlier, it was believed that AMF are associated with a wide range of plants (Molina et al., 1992). However, more and more data are now emerging that reveal the association of different genotypes of AMF with geographic regions or/and host-plant species (Alguacil et al., 2019). Changes in AMF composition of the soil biome occur simultaneously with the development of plant communities (Öpik et al., 2013; Mony et al., 2021).

AM can significantly improve plant nutrition, water availability, soil structure and fertility, as well as stress resistance and tolerance (Augé, 2001). For example, AM reduces stress consequences caused by pathogens, heavy metals, and soil salinization (Jentschke, Godbold, 2000; Harrier, Watson, 2004; Whipps, 2004; Smith, Read, 2008). Plants do not receive large benefits from AM when there is high availability of nutrients, but AM enhances plant development under conditions of nutrient deficiency (Höpfner et al., 2015). Depending on the timing of *S. canadensis* invasion in arid habitats, the relative abundance of the two dominant AMF species significantly varied. For example, on the Chongming island, China, in dry habitats AMF colonization rate increased with distribution of *S. canadensis* but in lowland habitats there was no such effect (Jin et al., 2004). AMF can stimulate seed germination, enhance growth, and improve the synthesis of biologically active compounds of plants. For example,

**Table 1.** Distribution and proven ability to form AM of some species of Asteraceae family

Species	Tribe	Geographic origin	Establishment and spread of invasive species	AM	Reference
<i>Anthemis arvensis</i>	Anthemideae	Europe, Northern Africa	North and South Americas, Australia, New Zealand, Africa	+	Symbio data
<i>Anthemis cotula</i>	Anthemideae	Mediterranean Europe, Northern Africa	North and South Americas, Australia, North-East Asia, Europe, Siberia	+	Shah et al., 2008
<i>Anthemis tinctoria</i>	Anthemideae	Northern part of Eurasia	Southern Europe, Eastern Asia, North America	+	Symbio data
<i>Artemisia campestris</i>	Anthemideae	Eurasia, North America	—	+	Symbio data
<i>Artemisia maritima</i>	Anthemideae	Europe, Siberia	—	+	Symbio data
<i>Artemisia verlotiorum</i>	Anthemideae	China	Eurasia, Africa, Australia, New Zealand, North America	+	Kempel et al., 2013
<i>Artemisia vulgaris</i>	Anthemideae	Eurasia, Northern Africa	North America	+	Symbio data
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Anthemideae	Europe, Central Asia	China, India, North America, southern part of South America, South Africa, Australia, New Zealand	+	Noori et al., 2014
<i>Tanacetum vulgare</i>	Anthemideae	Eastern and Central Europe	Western Europe, Eastern Asia, Australia, New Zealand, North America, southern part of South America	+	Lucero et al., 2020
<i>Tanacetum cinerariifolium</i>	Anthemideae	Balkan Peninsula	—	+	Waceke et al., 2002
<i>Tanacetum parthenium</i>	Anthemideae	South-West Europe	Europe, North America, Chile	–	Symbio data
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	Anthemideae	Eurasia	North America	+	Symbio data
<i>Tripleurospermum maritimum</i>	Anthemideae	Northern Europe	—	+	Symbio data
<i>Erigeron annuus</i>	Astereae	North America	Western Europe, China	+	Gucwa-Przepióra et al., 2016
<i>Erigeron canadensis</i>	Astereae	North America	Eurasia, Australia, New Zealand, North Africa	+	Řezáčová, 2020
<i>Erigeron karvinskianus</i>	Astereae	Central America	North America, northern and eastern parts of South America, Africa, South-West Asia, Australia, New Zealand	+	Oliveira et al., 2005
<i>Solidago canadensis</i>	Astereae	North America	Europe, Russia, China, India, Australia, New Zealand, Brazil	+	Awaydul et al., 2018
<i>Solidago gigantea</i>	Astereae	North America	Europe, Asia	+	Harkes et al., 2021
<i>Solidago nemoralis</i>	Astereae	North America	—	+	Cumming, Kelly, 2009
<i>Solidago virgaurea</i>	Astereae	Europe	—	+	Betekhtina et al., 2016
<i>Symphyotrichum x salignum</i>	Astereae	Europe	Western Siberia, Far East of Russia, Japan	+*	Pendergast IV et al., 2013
<i>Symphyotrichum subulatus</i>	Astereae	Southern USA, Mexico, South America	China, Iran, South Korea	+	Wang et al., 2021
<i>Arctium lappa</i>	Cardueae	Eurasia	North America, Australia, New Zealand	+	Symbio data
<i>Carduus nutans</i>	Cardueae	Eurasia	North America, Argentina, Australia, New Zealand	–	Wardle et al., 1998
<i>Centaurea cyanus</i>	Cardueae	Central Europe	Eurasia, North America, Australia	+	Symbio data
<i>Centaurea maculosa</i>	Cardueae	Eastern Europe	North America, New Zealand, Western Europe	+	Mummey et al., 2006
<i>Centaurea melitensis</i>	Cardueae	Northern Africa, Southern Europe	USA, New Zealand, Australia, South America	+	Callaway et al., 2001
<i>Centaurea solstitialis</i>	Cardueae	Mediterranean Europe, Northern Africa	Eurasia, North America, Southern South America, Australia, New Zealand	+	Waller et al., 2016
<i>Cirsium arvense</i>	Cardueae	Southeastern Europe	Eurasia, Australia, New Zealand, South Africa, North America	+	Eschen et al., 2010
<i>Echinops sphaerocephalus</i>	Cardueae	Southeastern Europe	Europe, USA	+	Řezáčová et al., 2020
<i>Cichorium intybus</i>	Cichorieae	Eurasia, North Africa	Australia, New Zealand, South Africa, North and South America	+	Awaydul et al., 2018
<i>Hieracium alpinum</i>	Cichorieae	Europe	—	+	Symbio data
<i>Hieracium bifidum</i>	Cichorieae	Europe	—	+	Symbio data
<i>Hieracium lachenalii</i>	Cichorieae	Europe	North America, Australia	+	Symbio data

Table 1 continued

Species	Tribe	Geographic origin	Establishment and spread of invasive species	AM	Reference
<i>Hieracium oistophyllum</i>	Cichorieae	Europe	—	+	Symbio data
<i>Hieracium umbellatum</i>	Cichorieae	Eurasia, North America	—	+	Symbio data
<i>Pilosella aurantiacum</i>	Cichorieae	Europe	North America, Russia, Mongolia, Japan, Australia, New Zealand	+	Weed Control..., 2013
<i>Pilosella officinarum</i>	Cichorieae	Europe, South-West Asia	North America, Argentina, New Zealand	+	Höpfner et al., 2015
<i>Sonchus arvensis</i>	Cichorieae	Europe	Asia, Australia, New Zealand, North America, few regions of Africa	+	Symbio data
<i>Taraxacum officinale</i>	Cichorieae	Greece	Eurasia, North and South America, South Africa, Australia, New Zealand	+	Mariotte et al., 2012
<i>Bidens frondosa</i>	Coreopsideae	North America	Eurasia, New Zealand, Morocco	+	Stevens et al., 2010
<i>Bidens pilosa</i>	Coreopsideae	South and Central America	North America, Africa, Western Europe, South-West Asia, Australia, New Zealand and islands across Indian and Pacific oceans	+	Zhang et al., 2018
<i>Coreopsis drummondii</i>	Coreopsideae	North America	North and South Korea, Japan	+	Chen et al., 2007
<i>Coreopsis grandifolia</i>	Coreopsideae	North America	Europe	+	Yanfang et al., 2012
<i>Ageratina adenophora</i>	Eupatorieae	Central Mexico	South and South-East Asia, Australia, New Zealand, Western Europe, few regions of Africa	+	Li et al., 2016
<i>Praxelis clematidea</i>	Eupatorieae	South America	China, Thailand, Australia	–	Intanon et al., 2020
<i>Gnaphalium californicum</i>	Gnaphalieae	USA	—	+	Vogelsang, Bever, 2009
<i>Gnaphalium supinum</i>	Gnaphalieae	Eurasia, North America	—	+	Symbio data
<i>Gnaphalium sylvaticum</i>	Gnaphalieae	Europe, North America	—	+	Symbio data
<i>Gnaphalium uliginosum</i>	Gnaphalieae	Eurasia, North America	—	+	Symbio data
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Heliantheae	North and Central America	South America, Eurasia, Australia, New Zealand, North and South Africa	+	Fumanal et al., 2006; Zhang et al., 2018
<i>Ambrosia psilostachya</i>	Heliantheae	Western North America	Europe, India, Japan, Australia, South Africa	+	Montagnani et al., 2017
<i>Helianthus annuus</i>	Heliantheae	North America	—	+	Symbio data
<i>Helianthus tuberosus</i>	Heliantheae	North America	Eurasia, southern part of South America, Australia, New Zealand	+	Nacoon et al., 2021
<i>Senecio jacobaea</i>	Senecioneae	Eurasia	North America, Brazil, Australia, New Zealand	+	Symbio data
<i>Senecio vulgaris</i>	Senecioneae	Eurasia, northern Africa	North America, southern part of South America, Australia, New Zealand	+	Symbio data

\* AM was detected in the parental form *Symphyotrichum novae-angliae*.

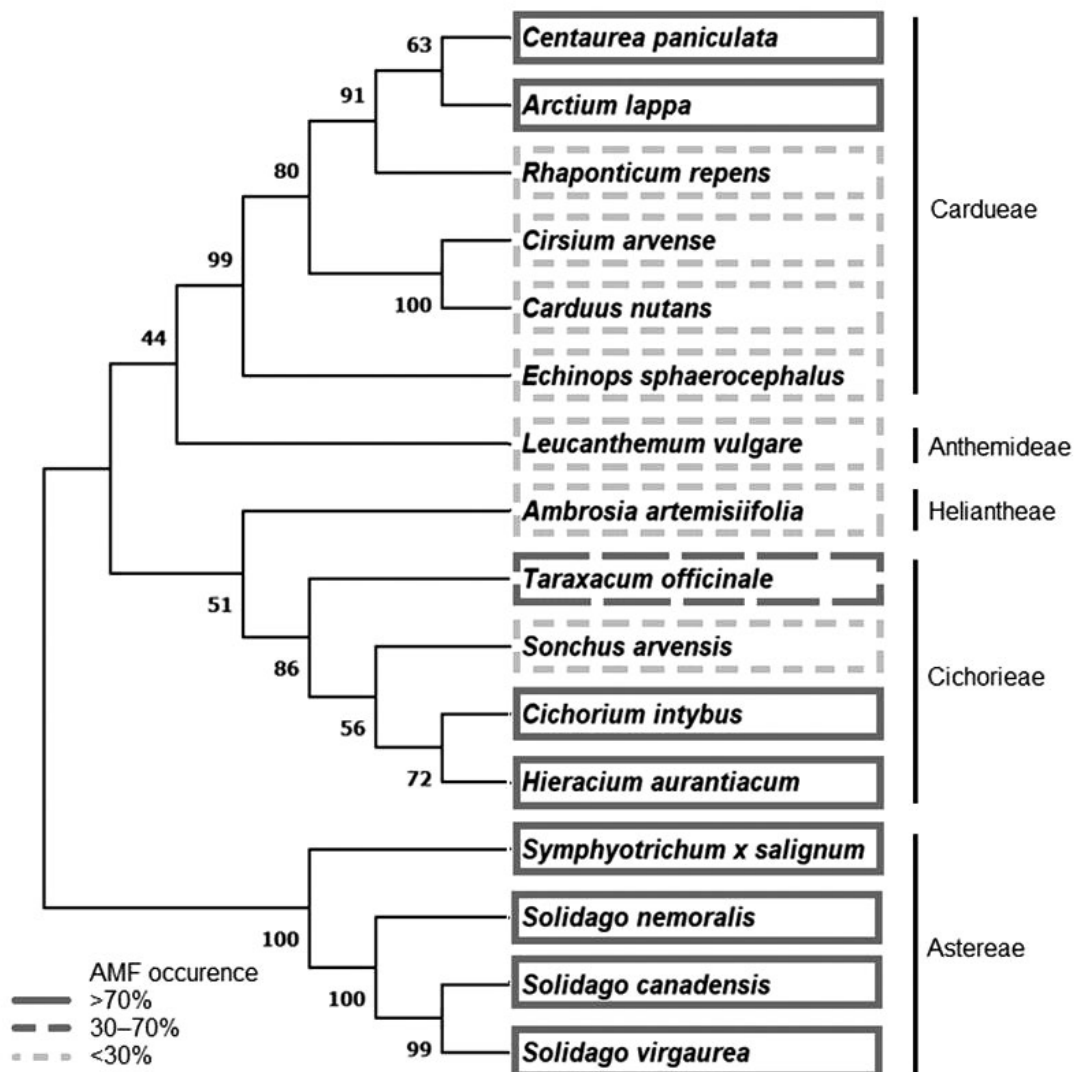
multifaceted effects on herbivores and growth of host plants were demonstrated (van der Heijden et al., 1998; Bennett, Bever, 2007; Smith, Read, 2008).

Success of mycorrhizal colonization of plants may also depend on the soil state. In the case of invasive *Ambrosia artemisiifolia*, for example, the most intensive mycorrhizal colonization was observed in disturbed areas such as roadsides and wastelands while the minimal percentage of mycorrhizal colonization occurred in cultivated areas. This may be due to the differences in physicochemical properties of soils (soil texture, moisture, pH, nutrients) or to the cessation of agricultural methods such as application of fungicides or soil tillage (Fumanal et al., 2006). Moreover, the unfavorable ecological factors (acid precipitation, soil contamination by heavy metal ions, herbicides, etc.) can promote an invasion enhanced by AM (Richardson, Pyšek, 2012).

AM can inhibit soil pathogens such as *Aphanomyces*, *Cylindrocladium spathiphylli*, *Fusarium*, *Macrophomina phaseolina*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinium*, *Verticillium*, and *Thielaviopsis basicol*, as well as nematodes

such as *Heterodera*, *Meloidogyne*, *Pratylenchus* and *Radopholus* (Harrier, Watson, 2004; Zhang et al., 2009; 2011). The soil microbiota in this case depends on the plant species and AM genotype. AMF are also able to induce nonspecific immune responses in their host plants (Qu et al., 2021). In turn, bacterial soil community can inhibit the development of AMF. For example, analysis of microbial community of *Arctium lappa* (Asteraceae) rhizosphere showed exceptionally low level (0.05%) of AMF in presence of a diverse bacterial community (Xing et al., 2020).

There is a relationship between AM and the synthesis of plant phytohormones (Hanlon, Coenen, 2011). Sometimes, allelopathic effects on native flora were observed along with AM. Classic examples of such Asteraceae plant invasions are those of *Solidago canadensis* (Astereae) and *Centaurea maculosa* (Cardueae) (Yang et al., 2007; Abhilasha et al., 2008; Zhang et al., 2009; Yuan et al., 2013). However, there are also examples of invasions that rely on allelopathic effect only, including *Carduus nutans* (Cardueae), *Praxelis clematidea* (Eupatorieae), and *Mikania micrantha* (Eupatorieae) (Wardle



**Figure 1.** The occurrence of AMF among Asteraceae tribes. Phylogenetic relations of weed species representing the respective tribes are inferred from a 342 bp long rDNA sequence dataset (18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence) using the Maximum Likelihood method based on the Tamura-Nei model. The bootstrap consensus tree is obtained using 400 replicates in MEGA7 (Kumar et al., 1993). Branches corresponding to partitions reproduced in less than 40% bootstrap replicates are collapsed

et al., 1998; Chen et al., 2017; Intanon et al., 2020). AM can influence foliar fungal endophyte community, as it was shown *in vitro* for *Cirsium arvense* (Eschen et al., 2010).

Competitiveness of invasive and native plants can be influenced by CMN, which simultaneously colonize root systems of several plants, affecting ecosystem processes and dynamics of plant communities (Selosse et al., 2006; Horton, van der Heijden, 2008; van der Heijden, Horton, 2009; Horton, 2015). A necessary condition for the formation and functioning of a mycorrhizal network is the ability of neighboring plants to be colonized by CMN (Lucero et al., 2020). Structures of mycorrhizal networks depend on the composition of plant species in a given area (Chagnon et al., 2019). The formation of mycorrhizal network was demonstrated for *Tanacetum vulgare*, *S. canadensis*, and *Cichorium intybus* (Awaydul et al., 2018; Lucero et al., 2020).

CMN serve as conductor of various signaling and allelochemical compounds (Barto et al., 2011; Babikova et al., 2013; Johnson and Gilbert, 2015). They also participate in the

distribution of mineral nutrients between the plants (Walder et al., 2012; Merrild et al., 2013; Weremijewicz, Janos, 2013; Fellbaum et al., 2014; Jakobsen, Hammer, 2015; Walder, van der Heijden, 2015; Weremijewicz et al., 2016, 2017). For example, CMN promotes the growth of *Linum usitatissimum* (Linaceae) by transferring nitrogen, phosphorus, and carbon from *Sorghum bicolor* (Poaceae) (Walder et al., 2012). It is interesting to note that the functioning of the CMN depends on physiological characteristics of participating plants as well. For example, some AM fungi supply nitrogen preferentially to large light-loving plants (Weremijewicz et al., 2016). CMN of the invasive *S. canadensis* enhances the uptake of nitrogen and phosphorus and, consequently, enhances the growth of this plant by decreasing the uptake of these elements by *Kummerowia striata* (Fabaceae). Thus, CMN influence on intraspecific and interspecific competition via unequal distribution of mineral nutrients between plants.

Plants connected through CMN can quickly change their behavior in response to external factors. This is manifested

by a change in the growth rate of roots and shoots, in the processes of photosynthesis and nutrition, and in the plant defense reactions. It was shown that *Tanacetum vulgare* in association with *Solidago canadensis* was less attacked by insects and tolerated losses of biomass to a greater extent than the association-free plants (Lucero et al., 2020). The process of CMN development by an invasive plant can affect plant communities, including intra- and interspecific interactions, species coexistence, and biodiversity. These changes are wave-like (Gorzela et al., 2015).

AM is formed by fungi of the subphylum Glomeromycotina (phylum Mucoromycota) (Spatafora et al. 2016). Currently, species of Glomeromycotina are arranged in three classes, five orders, 16 families, and 41 genera (Goto, Jobim, 2018). The largest order is Glomerales, comprised by about 230 species (Bagyaraj, 2014; Spatafora et al., 2016). According to NCBI, plants in the subfamily Asteroideae are frequently associated with *Glomus*, *Claroideoglomus*, *Rhizophagus*, *Septoglomus*, *Funneliformis*, *Paraglomus*, *Diversispora*, *Acaulospora*, *Achaespora*, *Scutellospora*, and *Pacispora*.

There are certain difficulties associated with the identification of these fungi. AMF do not grow on artificial media. Therefore, traditional method for detecting AM is microscopic identification. There are many morphological types of mycorrhizas (Beck et al., 2007). Molecular research methods used for detection of AMF include nucleic acid amplification techniques, DNA sequencing, and next-generation sequencing (NGS). As many as ten pairs of primers are designed on the base of the LSU-ITS-SSU rDNA to perform phylogenetic analysis with species level resolution (Schwarzott, Schüßler, 2001; Da Silva et al., 2006; Walker et al., 2007; Gamper, Leuchtmann, 2007; Krüger et al., 2009;

Kohout et al., 2014; Morgan, Egerton-Warburton, 2017; Higo et al., 2020). By a high coverage reference transcriptome assembly of pea *Pisum sativum* mycorrhizal roots, gene markers of AM development were discovered (Afonin et al., 2020). The study of homologous genes can be used to develop methods for assessing the development of weed AM.

To explain the relationship between AM and invasive plants, two hypotheses have been proposed: the enhanced mutualism (Reinhart, Callaway, 2006) and the degraded mutualism (Vogelsang, Bever, 2009). The first one suggests that invasive plants enhance their competitiveness in the presence of AM. The second one assumes that invasive plants do not form AM, but disrupt mycorrhizal associations among native plants, thereby weakening them and facilitating the process of invasion. Even though researchers contrast the hypotheses of enhanced and degraded mutualism (Shah et al., 2009; Bunn et al., 2015), in our opinion, these are two sides of the same coin. We assume that both scenarios are realized in nature and the prevalence of one over another is determined by the host-plant species and features of ecosystem. Invasive plants of some Asteraceae tribes implement the enhanced mutualism scenario.

Thus, we suggest that AM and CMN favor invasion of Cardueae, Astereae, Anthemideae, and Senecioneae tribes of Asteraceae family. Benefits provided by AM and CMN allows alien species to successfully invade to new areas. Therefore, it is necessary to take this into account when developing measures to control the invasion of Asteraceae weeds. Suppression of AMF in soil may possibly help to control invasive plants of the Asteraceae family without affecting plants that are independent of AM.

## References

- Abhilasha D, Quintana N, Vivanco J, Joshi J (2008) Do allelopathic compounds in invasive *Solidago canadensis* s.l. restrain the native European flora? *J Ecol* 96:993–1001. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01413.x>
- Afonin AM, Leppyanen IV, Kulaeva OA, Shtark OY et al. (2020) A high coverage reference transcriptome assembly of pea (*Pisum sativum* L.) mycorrhizal roots. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding* 24(4):331-339. <https://doi.org/10.18699/VJ20.625>
- Alguacil MM, Díaz G, Torres P, Rodríguez-Caballero G, Roldán A. (2019) Host identity and functional traits determine the community composition of the arbuscular mycorrhizal fungi in facultative epiphytic plant species. *Fungal Ecology* 39:307–315. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.02.002>
- Augé RM (2001) Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11(1):3–42. <https://doi.org/10.1007/s005720100097>
- Awaydul A, Zhu W, Yuan Y, Xiao J et al. (2018) Common mycorrhizal networks influence the distribution of mineral nutrients between an invasive plant, *Solidago canadensis*, and a native plant, *Kummerowia striata*. *Mycorrhiza* 29:29–38. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0873-5>
- Babikova Z, Gilbert L, Bruce TJA, Birkett M et al. (2013) Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. *Ecol Lett* 16(7):835–843. <https://doi.org/10.1111/ele.12115>
- Bagyaraj DJ (2014) Mycorrhizal fungi. *Proc Indian Natn Sci Acad* 80(2):415–428. <https://doi.org/10.16943/ptinsa/2014/v80i2/55118>
- Barto EK, Antunes PM, Stinson K, Koch AM et al. (2011) Differences in arbuscular mycorrhizal fungal communities associated with sugar maple seedlings in and outside of invaded garlic mustard forest patches. *Biol Invasions* 13(12):2755–2762. <https://doi.org/10.1007/s10530-011-9945-6>
- Beck A, Haug I, Oberwinkler F, Kottke I (2007) Structural characterization and molecular identification of arbuscular mycorrhiza morphotypes of *Alzatea verticillata* (*Alzateaceae*), a prominent tree in the tropical mountain rain forest of South Ecuador. *Mycorrhiza* 17:607–625. <https://doi.org/10.1007/s00572-007-0139-0>
- Bennett AE, Bever JD (2007) Mycorrhizal species differentially alter plant growth and response to herbivory. *Ecology* 88(1):210–218. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2007\)88\[210:MSDAPG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2007)88[210:MSDAPG]2.0.CO;2)
- Betekhtina AA, Mukhacheva TA, Kovalev SY, Gusev AP et al. (2016) Abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in invasive *Solidago canadensis* and indigenous *S. virgaurea*. *Russian Journal of Ecology* 47(6):575–579. <https://doi.org/10.1134/s1067413616060035>
- Bongard C, Butler K, Fulthorpe R (2013) Investigation of fungal root colonizers of the invasive plant *Vincetoxicum rossicum* and co-occurring local native plants in a field and



- woodland area in Southern Ontario. *Nat Conserv* 4:55–76. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.4.3578>
- Bunn RA, Ramsey PW, Lekberg Y (2015) Do native and invasive plants differ in their interactions with arbuscular mycorrhizal fungi? A meta-analysis. *J Ecol* 103(6):1547–1556. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12456>
- Callaway RM, Newingham B, Zabinski CA, Mahall BE (2001) Compensatory growth and competitive ability of an invasive weed are enhanced by soil fungi and native neighbours. *Ecol Lett* 4(5):429–433. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00251.x>
- Chagnon PL, Bradley RL, Klironomos JN (2019) Mycorrhizal network assembly in a community context: the presence of neighbours matters. *J Ecol* 00:1–12. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13230>
- Chen BD, Zhu Y-G, Duan J, Xiao XY, Smith SE (2007) Effects of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on growth and metal uptake by four plant species in copper mine tailings. *Environ Pollut*, 147(2):374–380. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.04.027>
- Chen B, Liao H, Chen W, Wei H et al. (2017) Role of allelopathy in plant invasion and control of invasive plants. *Allelopathy J*, 41(2):155–166.
- Cumming JR, Kelly CN (2007) *Pinus virginiana* invasion influences soils and arbuscular mycorrhizae of a serpentine grassland1. *J Torrey Bot Soc* 134(1):63–73. [https://doi.org/10.3159/1095-5674\(2007\)134\[63:PVIISA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3159/1095-5674(2007)134[63:PVIISA]2.0.CO;2)
- Da Silva GA, Lumini E, Maia LC, Bonfante P et al. (2006) Phylogenetic analysis of *Glomeromycota* by partial LSU rDNA sequences. *Mycorrhiza* 16(3):183–189. <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0030-9>
- DiTomaso JM et al. (2013) Weed control in natural areas in the western United States. Davis: University of California Weed Research and Information Center. 544 p.
- Dong LJ, Yu HW, He WM (2015) What determines positive, neutral and negative impacts of *Solidago canadensis* invasion on native plant species richness? *Sci Rep* 5(1):1–9. <https://doi.org/10.1038/srep16804>
- Dong LJ, Ma LN, He WM (2021) Arbuscular mycorrhizal fungi help explain invasion success of *Solidago canadensis*. *Appl Soil Ecol* 157:103763. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103763>
- Eschen R, Hunt S, Mykura C, Gange AC et al. (2010) The foliar endophytic fungal community composition in *Cirsium arvense* is affected by mycorrhizal colonization and soil nutrient content. *Fungal Biol* 114(11-12):991–998. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2010.09.009>
- Fellbaum CR, Mensah JA, Cloos AJ, Strahan GE et al. (2014) Fungal nutrient allocation in common mycorrhizal networks is regulated by the carbon source strength of individual host plants. *New Phytol* 203(2):646–656. <https://doi.org/10.1111/nph.12827>
- Fumanal B, Plenchette C, Chauvel B, Bretagnolle F (2006) Which role can arbuscular mycorrhizal fungi play in the facilitation of *Ambrosia artemisiifolia* L. invasion in France? *Mycorrhiza* 17(1):25–35. <https://doi.org/10.1007/s00572-006-0078-1>
- Gamper H, Leuchtman A. (2007) Taxon-specific PCR primers to detect two inconspicuous arbuscular mycorrhizal fungi from temperate agricultural grassland. *Mycorrhiza* 17:145–152. <https://doi.org/10.1007/s00572-006-0092-3>
- Goto BT, Jobim K (2018) Laboratório de Biologia de Micorrizas. <https://glomeromycota.wixsite.com/lbmicorrizas/sistema-de-classificacao> (14.04.2021)
- Gozelak MA, Asay AK, Pickles BJ, Simard SW (2015) Inter-plant communication through mycorrhizal networks mediates complex adaptive behaviour in plant communities. *AoB PLANTS* 7(1):plv050. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv050>
- Gucwa-Przepióra E, Chmura D, Sokołowska K (2016) AM and DSE colonization of invasive plants in urban habitat: a study of Upper Silesia (southern Poland). *J Plant Res* 129(4):603–614. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0802-7>
- Hanlon MT, Coenen C (2010) Genetic evidence for auxin involvement in arbuscular mycorrhiza initiation. *New Phytol* 189(3):701–709. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03567.x>
- Harkes P, van Heumen LJM, van den Elsen SJJ, Mooijman PJW et al. (2021) Characterization of the habitat- and season-independent increase in fungal biomass induced by the invasive giant goldenrod and its impact on the fungivorous nematode community. *Microorganisms* 9(2):2–16. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9020437>
- Harrier LA, Watson CA (2004) The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. *Pest Manag Sci* 60(2):149–157. <https://doi.org/10.1002/ps.820>
- Helgason T, Daniell TJ, Husband R, Fitter AH, Young JPW. (1998) Ploughing up the wood-wide web? *Nature* 394: 431–443. <https://doi.org/10.1038/28764>
- Higo M, Tatewaki Y, Iida K, Yokota K, Isobe K. (2020) Amplicon sequencing analysis of arbuscular mycorrhizal fungal communities colonizing maize roots in different cover cropping and tillage systems. *Sci Rep* 10:6039. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58942-3>
- Höpfner I, Beyschlag W, Bartelheimer M, Werner C et al. (2015) Role of mycorrhization and nutrient availability in competitive interactions between the grassland species *Plantago lanceolata* and *Hieracium pilosella*. *Plant Ecol* 216(6):887–899. <https://doi.org/10.1007/s11258-015-0476-6>
- Horton TR, van der Heijden MGA (2008) The role of symbioses in seedling establishment and survival. In: Leck MA, Parker VT, Simpson RL (eds) *Seedling ecology and evolution*. Cambridge: Cambridge University Press. 189–213. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511815133.011>
- Horton TR (2015) *Mycorrhizal Networks*. First Edition. Dordrecht: Springer Netherlands. 286 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7395-9>
- Intanon S, Wiengmoon B, Mallory-Smith CA (2020) Seed morphology and allelopathy of invasive *Praxelis clematidea*. *Not Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca* 48(1):261–272. <https://doi.org/10.15835/nbha48111831>
- Jakobsen I, Hammer EC (2015) Nutrient dynamics in arbuscular mycorrhizal networks. In: Horton T (ed) *Mycorrhizal Networks*. Dordrecht: Springer. 91–131. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7395-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7395-9_4)
- Jentschke G, Godbold DL (2000) Metal toxicity and ectomycorrhizas. *Physiol Plant* 109(2):107–116. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2000.100201.x>

- Jin L, Gu Y, Xiao M, Chen J et al. (2004) The history of *Solidago canadensis* invasion and the development of its mycorrhizal associations in newly-reclaimed land. *Funct Plant Biol* 31(10):979–976. <https://doi.org/10.1071/FP04061>
- Johnson D, Gilbert L (2015) Interplant signalling through hyphal networks. *New Phytol* 205(4):1448–1453. <https://doi.org/10.1111/nph.13115>
- Kempel A, Nater P, Fischer M, van Kleunen M (2013) Plant-microbe-herbivore interactions in invasive and non-invasive alien plant species. *Funct Ecol* 27(2):498–508. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12056>
- Kohout P, Sudová R, Janoušková M, Ctvrtlíková M, Hejda M et al. (2014) Comparison of commonly used primer sets for evaluating arbuscular mycorrhizal fungal communities: Is there a universal solution? *Soil Biol Biochem* 68:482–493. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.08.027>
- Krüger M, Stockinger H, Krüger C, Schüßler A. (2009) DNA-based species level detection of Glomeromycota: one PCR primer set for all arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol* 183:212–223. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.02835.x
- Kumar S, Stecher G, Tamura K. (1993) MEGA7: Molecular evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution*. 33:1870–1874.
- Li YP, Feng YL, Kang ZL, Zheng YL et al. (2017) Changes in soil microbial communities due to biological invasions can reduce allelopathic effects. *J Appl Ecol* 54(5):1281–1290. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12878>
- Lucero JE, Arab NM, Meyer ST, Pal RW et al. (2020) Escape from natural enemies depends on the enemies, the invader, and competition. *Ecol Evol* 10(19):10818–10828. <https://doi.org/10.1002/ece3.6737>
- Mandel J, Dikow R, Siniscalchi C, Thapa R et al. (2019) A fully resolved backbone phylogeny reveals numerous dispersals and explosive diversifications throughout the history of *Asteraceae*. *PNAS* 116(28):14083–14088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1903871116>
- Mariotte P, Meugnier C, Johnson D, Thébault A et al. (2012) Arbuscular mycorrhizal fungi reduce the differences in competitiveness between dominant and subordinate plant species. *Mycorrhiza* 23(4):267–277. <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0465-8>
- Medve RJ (1984) The mycorrhizae of pioneer species in disturbed ecosystems in Western Pennsylvania. *Am J Bot* 71(6):787–794. <https://doi.org/10.2307/2443469>
- Mehraj G, Khuroo AA, Hamid M, Muzafar I et al. (2021) Floristic diversity and correlates of naturalization of alien flora in urban green spaces of Srinagar city. *Urban Ecosyst* <https://doi.org/10.1007/s11252-021-01105-7>
- Merrild MP, Ambus P, Rosendahl S, Jakobsen I (2013) Common arbuscular mycorrhizal networks amplify competition for phosphorus between seedlings and established plants. *New Phytol* 200(1):229–240. <https://doi.org/10.1111/nph.12351>
- Molina R, Massicotte H, Trappe JM (1992) Specificity phenomena in mycorrhizal symbioses: community-ecological consequences and practical implications. In: Allen MF (ed) *Mycorrhizal functioning: an integrative plant-fungal process*. New York: Chapman and Hall. 357–423.
- Montagnani C, Gentili R, Smith M, Guarino MF, Citterio S (2017) The Worldwide spread, success, and impact of ragweed (*Ambrosia* spp.). *Crit Rev Plant Sci* 36(3):139–178. <https://doi.org/10.1080/07352689.2017.1360112>
- Mony C, Gaudu V, Ricono C, Jambon O, Vandenkoornhuysen P (2021) Plant neighbours shape fungal assemblages associated with plant roots: A new understanding of niche-partitioning in plant communities. *Funct Ecol* 00:1–15. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13804>
- Morgan BST, Egerton-Warburton LM. (2017) Barcoded NS31/AML2 primers for sequencing of arbuscular mycorrhizal communities in environmental samples. *Appl Plant Sci*. 5(8):apps.1700017. <https://doi.org/10.3732/apps.1700017>
- Mummey DL, Rillig MC (2006) The invasive plant species *Centaurea maculosa* alters arbuscular mycorrhizal fungal communities in the field. *Plant and Soil* 288(1–2):81–90. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9091-6>
- Nacoos S, Jogloy S, Riddech N, Mongkolthanasarak W, Ekprasert J et al. (2021) Combination of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria on growth and production of *Helianthus tuberosus* under field condition. *Sci Rep* 11(6501). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86042-3>
- National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov> (06.06.2021)
- Noori AS, Zare MH, Alaie E (2014) *Leucanthemum vulgare* Lam. germination, growth and mycorrhizal symbiosis under crude oil contamination. *Int J Phytoremediat* 16(9):962–970. <https://doi.org/10.1080/15226514.2013.810577>
- Oliveira RS, Vosátka M, Dodd JC, Castro PML (2005) Studies on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and the efficacy of two native isolates in a highly alkaline anthropogenic sediment. *Mycorrhiza* 16(1):23–31. <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0010-0>
- Öpik M, Zobel M, Cantero JJ, Davison J (2013) Global sampling of plant roots expands the described molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 23:411–430. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0482-2>
- Pendergast IV TH, Burke DJ, Carson WP (2013) Belowground biotic complexity drives aboveground dynamics: a test of the soil community feedback model. *New Phytol* 197(4):1300–1310. <https://doi.org/10.1111/nph.12105>
- Provorov NA, Shtark O. Yu (2014) Directed evolution of fungi and plants in symbiotic systems *Mikol. Fitopatol* 48(3):151–160.
- Qin F, Yu S (2019) Arbuscular mycorrhizal fungi protect native woody species from novel weapons. *Plant Soil* 440:39–52. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04063-4>
- Qu L, Wang M, Biere A (2021) Interactive effects of mycorrhizae, soil phosphorus, and light on growth and induction and priming of defense in *Plantago lanceolata*. *Front Plant Sci* 12:647372. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.647372>
- Redecker D, Kodner R, Graham LE (2000). Glomalean fungi from the Ordovician. *Science* 289(5486):1920–1921. <https://doi.org/10.1126/science.289.5486.1920>
- Reinhart KO, Callaway RM (2006) Soil biota and invasive plants. *New Phytol* 170(3):445–457. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01715.x>
- Řezáčová V, Řezáč M, Gryndlerová H, Wilson GWT et al. (2020) Arbuscular mycorrhizal fungi favor invasive *Echinops sphaerocephalus* when grown in competition with native *Inula conyzae*. *Sci Rep* 10:20287. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77030-0>

- Rich MK, Vigneron M, Libourel C, Keller J et al. (2021) Lipid exchanges drove the evolution of mutualism during plant terrestrialization. *Science* 372(6544):864–868. <https://doi.org/10.1126/science.abg0929>
- Richardson DM, Pyšek P, Rejmanek M, Barbour MG et al. (2000) Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Divers Distrib* 6(2):93–107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
- Selosse MA, Richard F, He X, Simard SW (2006) Mycorrhizal networks: des liaisons dangereuses? *Trends Ecol Evol* 21(11):621–628. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.07.003>
- Shah M, Reshi ZA, Rashid I (2008) Mycorrhizal source and neighbour identity differently influence *Anthemis cotula* L. invasion in the Kashmir Himalaya, India. *Appl Soil Ecol* 40(2):330–337. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.002>
- Shah MA, Reshi ZA, Khasa DP (2009). Arbuscular Mycorrhizas: Drivers or passengers of alien plant invasion. *Bot Rev* 75(4):397–417. <https://doi.org/10.1007/s12229-009-9039-7>
- Smith SE, Read DJ (2008) Microbial Symbiosis. 3rd Edition. Academic Press. London. 800 p.
- Spatafora JW, Chang Y, Benny GL, Lazarus K et al. (2016) A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia* 108(5):1028–1046. <https://doi.org/10.3852/16-042>
- Stevens KJ, Wall CB, Janssen JA (2010) Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on seedling growth and development of two wetland plants, *Bidens frondosa* L., and *Eclipta prostrata* (L.) L., grown under three levels of water availability. *Mycorrhiza* 21(4):279–288. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0334-2>
- Schwarzott D, Schüßler A. (2001) A simple and reliable method for SSU rRNA gene DNA extraction, amplification, and cloning from single AM fungal spores. *Mycorrhiza* 10:203–207. <https://doi.org/10.1007/PL00009996>
- Symbio (2013) Mycorrhizal plant in the UK. <https://www.yumpu.com/it/document/view/6610367/mychorrhizal-plant-in-the-uk-symbio> (06.06.2021)
- van der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, Moutoglis P et al. (1998) Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396:69–72.
- van der Heijden MGA, Horton TR (2009) Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *J Ecol* 97(6):1139–1150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01570.x>
- Vogelsang KM, Bever JD (2009) Mycorrhizal densities decline in association with nonnative plants and contribute to plant invasion. *Ecology* 90(2):399–407. <https://doi.org/10.1890/07-2144.1>
- Waceke JW, Waudu SW, Sikora R (2002) Effect of inorganic phosphatic fertilizers on the efficacy of an arbuscular mycorrhiza fungus against a root-knot nematode on pyrethrum. *Int J Pest Manag* 48(4):307–313. <https://doi.org/10.1080/09670870210149862>
- Walder F, Niemann H, Mathimaran N, Lehmann MF et al. (2012) Mycorrhizal networks: common goods of plants shared under unequal terms of trade. *Plant Physiol* 159(2):789–797. <https://doi.org/10.1104/pp.112.195727>
- Walder F, van der Heijden MGA (2015) Regulation of resource exchange in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Nat Plants* 1(15159). <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.159>
- Waller LP, Callaway RM, Klironomos JN, Ortega YK et al. (2016) Reduced mycorrhizal responsiveness leads to increased competitive tolerance in an invasive exotic plant. *J Ecol* 104(6):1599–1607. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12641>
- Walker C, Vestberg M, Demircik F, Stockinger H, Saito M, Sawaki H, Nishmuar I, Schüßler A. (2007) Molecular phylogeny and new taxa in the Archaeosporales (Glomeromycota): *Ambispora fennica* gen. sp. nov., *Ambisporaceae* fam. nov., and emendation of *Archaeospora* and *Archaeosporaceae*. *Mycological Research* 111: 137–153. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.11.008>
- Wardle DA, Nilsson MC, Gallet C, Zackrisson O (1998) An ecosystem-level perspective of allelopathy. *Biol Rev* 73(3):305–319. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1998.tb00033.x>
- Weremijewicz J, Janos DP (2013) Common mycorrhizal networks amplify size inequality in *Andropogon gerardii* monocultures. *New Phytol* 198(1):203–213. <https://doi.org/10.1111/nph.12125>
- Weremijewicz J, Sternberg LSLOR, Janos DP (2016) Common mycorrhizal networks amplify competition by preferential mineral nutrient allocation to large host plants. *New Phytol* 212(2):461–471. <https://doi.org/10.1111/nph.14041>
- Weremijewicz J, Sternberg LSLOR, Janos DP (2017) Arbuscular common mycorrhizal networks mediate intra- and interspecific interactions of two prairie grasses. *Mycorrhiza* 28(1):71–83. <https://doi.org/10.1007/s00572-017-0801-0>
- Whipps JM (2004) Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. *Can J Bot* 82(8):1198–1227. <https://doi.org/10.1139/b04-082>
- Xing Y, Yang Y, Xu L, Hao N et al. (2020) The diversity of associated microorganisms in different organs and rhizospheric soil of *Arctium lappa* L. *Curr Microbiol* 77:746–754. <https://doi.org/10.1007/s00284-019-01864-9>
- Yanfang B, Min L, Shaoxia G (2012) Development status of *Arbuscular mycorrhizal fungi* associated with invasive plant *Coreopsis grandiflora* Hogg. *Afr J Microbiol Res* 6(11):2779–2784. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.1456>
- Yang RY, Mei LX, Tang JJ, Chen X (2007) Allelopathic effects of invasive *Solidago canadensis* L. on germination and root growth of native Chinese plants. *Allelopathy J* 19(1):241–248.
- Yuan Y, Wang B, Zhang S, Tang J et al. (2013) Enhanced allelopathy and competitive ability of invasive plant *Solidago canadensis* in its introduced range. *J of Plant Ecol* 6(3):253–263. <https://doi.org/10.1093/jpe/rts033>
- Yuan Y, Tang J, Leng D, Hu S et al. (2014) An invasive plant promotes its arbuscular mycorrhizal symbioses and competitiveness through its secondary metabolites: indirect evidence from activated carbon. *PLoS ONE* 9(5):e97163. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097163>
- Zhang F, Li Q, Yerger EH, Chen X et al. (2018) AM fungi facilitate the competitive growth of two invasive plant species, *Ambrosia artemisiifolia* and *Bidens pilosa*. *Mycorrhiza* 28(8):703–715. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0866-4>

Zhang S, Jin Y, Tang J, Chen X (2009) The invasive plant *Solidago canadensis* L. suppresses local soil pathogens through allelopathy. *Appl Soil Ecol* 41(2):215–222. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.11.002>

Zhang SS, Zhu WJ, Wang B, Tang JJ et al. (2011) Secondary metabolites from the invasive *Solidago canadensis* L. accumulation in soil and contribution to inhibition of soil pathogen *Pythium ultimum*. *Appl Soil Ecol* 48(3):280–286. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.04.011>

Вестник защиты растений, 2021, 104(3), с. 144–152

OECD+WoS: 1.06+RQ (Mycology)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-3-14993>

**Мини-обзор**

## СПОСОБСТВУЕТ ЛИ АРБУСКУЛЯРНАЯ МИКОРИЗА ИНВАЗИИ ВИДОВ ASTERACEAE?

Д.М. Малыгин<sup>1</sup>, М.Н. Мандрик-Литвинкович<sup>2</sup>, С.В. Сокорнива<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт микробиологии, Национальная академия наук, Минск, Беларусь

\* ответственный за переписку, e-mail: svsookornova@vizr.spb.ru

Более трех десятков видов семейства Asteraceae, таких как *Solidago canadensis*, *Leucanthemum vulgare*, *Senecio inaequidens* etc, являются инвазивными и представляют серьезную опасность для экосистем. Арбускулярная микориза является ключевым фактором распространения инвазивных растений некоторых триб семейства Asteraceae, включая Astereae, Anthemideae, Senecioneae, Gnaphalieae, Cardueae, и Cichorieae. Формирование дружественного для инвазивного растения фитоценоза происходит, в том числе, за счет увеличения доступа питательных веществ и воды, гормональной регуляции и стимулирования неспецифического иммунного ответа растения-хозяина, изменения микоризного статуса окружающих видов, перераспределения между ними питательных веществ, подавления почвенной микробиоты и т.д. Аллелопатические воздействия на АМ со стороны почвенных микроорганизмов и других видов растений могут сдерживать этот процесс. Понимание микоризного статуса нежелательной растительности, на наш взгляд, является необходимым условием для успешного борьбы с ней.

**Ключевые слова:** арбускулярные микоризные сети, инвазивные сорные растения, Cardueae, Astereae, Anthemideae, Senecioneae, Cichorieae

Поступила в редакцию: 17.04.2021

Принята к печати: 05.09.2021

## КОНТАМИНАЦИЯ ЗЕРНА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ГРИБАМИ *ALTERNARIA* И ИХ МИКОТОКСИНАМИ

А.С. Орина<sup>1\*</sup>, О.П. Гаврилова<sup>1</sup>, Т.Ю. Гагкаева<sup>1</sup>, Н.Н. Гогина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, Сергиев Посад

\* ответственный за переписку, e-mail: [orina-alex@yandex.ru](mailto:orina-alex@yandex.ru)

Впервые, с помощью реал-тайм ПЦР, подтверждена высокая повсеместная встречаемость грибов рода *Alternaria*, относящихся к двум секциям *Alternaria* и *Infectoriae*, в зерне пшеницы, ячменя и овса, выращенных в Западной Сибири в 2018–2019 гг. Содержание ДНК грибов секции *Alternaria* варьировало от  $53 \times 10^{-4}$  до  $21731 \times 10^{-4}$  пг/нг и в среднем превышало содержание ДНК грибов секции *Infectoriae* в 4.5–14.6 раз, в зависимости от вида зерновой культуры и года урожая. В зерне овса количество ДНК грибов обеих секций в среднем было ниже, чем в зерне пшеницы и ячменя. Наиболее инфицированными грибами секции *Alternaria* являлись образцы из Алтайского края. С помощью ВЭЖХ-МС/МС микотоксины альтернариол (АОЛ), монометилвый эфир альтернариола (АМЭ), тентоксин (ТЕН) и тенуазоновая кислота (ТК), продуцируемые грибами рода *Alternaria*, были обнаружены соответственно в 23%, 6%, 85% и 83% проанализированных образцов зерна. Сочетание двух микотоксинов (преимущественно ТЕН и ТК) выявлено в 61% образцов, трех микотоксинов – в 19% образцов, и только один образец содержал все четыре микотоксина. В большинстве случаев, содержание альтернариотоксинов в зерне не превышало 100 мкг/кг, и только для ТК выявлены более высокие количества – от 113 до 14963 мкг/кг. Установлены различия зерновых культур по количеству накапливаемых альтернариотоксинов: в зерне овса обнаружено больше АОЛ, АМЭ, а в зерне ячменя меньше ТЕН. Выявлена высокая достоверная связь между количествами ДНК грибов секции *Alternaria* и ТК, что указывает на роль грибов этой секции как основных продуцентов этого микотоксина в зерне.

**Ключевые слова:** ДНК, *Alternaria*, *Infectoriae*, реал-тайм ПЦР, ВЭЖХ-МС/МС, микотоксины

Поступила в редакцию: 19.05.2021

Принята к печати: 10.09.2021

### Введение

Сибирский федеральный округ входит в число лидеров зернопроизводящих регионов России. Основной зерновой культурой, возделываемой в этом регионе, является яровая пшеница – её посевные площади ежегодно составляют 40–45% от общей посевной площади в стране. Также здесь широко выращивают овес (40% от общей посевной площади) и яровой ячмень (15%) (Федеральная служба государственной статистики, 2020). Качество зерна существенно влияет как на потребление полученного урожая в пищевых и кормовых целях на территории России, так и на объёмы экспорта.

Мониторинг зараженности зерна грибами всегда актуален, поскольку видовой состав микобиоты динамичен из-за влияния природных и антропогенных факторов. Особенное внимание исследователей привлекают грибы, способные образовывать вторичные токсичные метаболиты – микотоксины, негативно влияющие на организм потребителя зерна.

В последние годы, кроме традиционно используемых методов определения зараженности зерна на питательных агаризованных средах или в рулонах фильтровальной бумаги, начали активно применять молекулярные методы анализа (Гагкаева и др., 2017; Kulik et al., 2017; Каракозов и др., 2019; Орина и др., 2020). Метод реал-тайм ПЦР

позволяет быстро и объективно оценить количественное присутствие в зерне различных видов грибов по содержанию их ДНК, исключая ошибки идентификации таксонов, и кардинальным образом меняя многие сложившиеся представления о микобиоте зерна.

Исследования зараженности грибами зерновых культур, выращенных в Западной Сибири, демонстрируют преобладание грибов рода *Alternaria* Nees в микобиоте зерна (Торопова и др., 2015). Точная морфологическая идентификация этих грибов затруднена из-за расплывчатых границ видов и без привлечения молекулярных методов возможна только до уровня секций (Gannibal, 2018). Показано, что в микобиоте зерна преобладают представители секций *Alternaria* Lawrence, Gannibal, Peever & Pryor и *Infectoriae* Woudenb. & Crous (Ганнибал, 2014; Gannibal, 2018; Орина и др., 2020).

Кроме того, потенциал образования вторичных метаболитов у штаммов видов секций *Alternaria* и *Infectoriae* может существенно различаться (Tralamazza et al., 2018; Zwickel et al., 2018; Kononenko et al., 2020; Masiello et al., 2020; Jiang et al., 2021). Многие вторичные метаболиты грибов *Alternaria* являются фитотоксинами, способствующими колонизации растений грибами (Kang et al., 2017), и микотоксинами, оказывающими негативное влияние

на организм человека или животных (Lou et al., 2013; Tralamazza et al., 2018). К наиболее распространенным альтернариотоксинам в зерне относятся альтернариол (АОЛ), монометиловый эфир альтернариола (АМЭ), тентоксин (ТЕН) и тенуазоновая кислота (ТК) (Alexander et al., 2011; Fraeyman et al., 2017). Предполагается, что АОЛ и АМЭ могут оказывать генотоксическое, мутагенное и канцерогенное действие на людей и животных (Alexander et al., 2011). ТК является ингибитором синтеза белка и более токсична, чем АОЛ и АМЭ (Lou et al., 2013). Неспецифичный для хозяина фитотоксин ТЕН подавляет развитие хлоропластов, вызывая хлороз растений (Lou et al., 2013).

Мониторинговые исследования загрязнения зерновых культур альтернариотоксинами и их продуцентами на территории России начали проводиться сравнительно недавно (Gannibal, 2018; Кононенко и др., 2020; Орина и др., 2020). В первую очередь, это связано с отставанием адекватной приборной базы для проведения молекулярных и

хроматографических исследований, и отсутствием нормативной базы, регламентирующей содержание микотоксинов грибов рода *Alternaria* в зерне. На основе токсикологических исследований в Европейском Союзе было предложено ввести ограничение на содержание ТК в продуктах детского питания – не более 500 мкг/кг (Rychlik et al., 2016). В 2019 г. был выпущен проект рекомендаций комиссии Европейского Союза, предлагающих установить контрольные значения трех микотоксинов грибов *Alternaria* – АОЛ, АМЭ и ТК в пищевых продуктах на основе злаков для младенцев и детей младшего возраста на уровне 5, 5 и 500 мкг/кг, соответственно (Food Chemistry Institute..., 2020).

**Целью исследования** являлось определение загрязнения зерновых культур, выращиваемых в разных областях Западной Сибири в 2018–2019 гг., грибами *Alternaria* и продуцируемыми ими микотоксинами.

### Материалы и методы

Проанализировали 41 образец зерна урожая 2018 г. и 34 образца – 2019 г., собранных в различных областях Западной Сибири (Алтайский край, Кемеровская, Новосибирская, Омская области). Выборка включала 44 образца зерна яровой пшеницы, а также 24 – ячменя и 7 – овса (Приложение 1).

Зерно каждого образца (20 г) размалывали на мельнице Tube Mill Control (КА, Германия). Выделение ДНК из 200 мг зерновой муки проводили с помощью набора Genomic DNA Purification Kit (Thermo Fisher Scientific, Литва). Содержание ДНК грибов секций *Alternaria* и *Infectoriae* рода *Alternaria* выявляли методом реал-тайм ПЦР с красителем SYBR Green и специфичными молекулярными праймерами AAF2/AAR3 (Konstantinova et al., 2002) и AinfF3/AinfR4 (Gannibal, Yli-Mattila, 2007), соответственно, по адаптированным методикам (Орина и др., 2020). Реакции проводили на термоциклере CFX96 Real-Time System (BioRad, США) минимум в двух повторностях, обработку первичных данных – с помощью программного обеспечения Bio-Rad CFX Manager 1.6. Количество ДНК грибов выражали в виде доли от общей ДНК, выделенной из зерновой муки (пг/нг общей ДНК, далее – пг/нг) с нижним пределом обнаружения  $5 \times 10^{-4}$  пг/нг.

Экстракцию микотоксинов из 5 г зерновой муки проводили 20 мл раствора ацетонитрил:вода:уксусная кислота (79:20:1). Детектирование и количественное определение

четырёх микотоксинов, образуемых грибами *Alternaria*: АОЛ, АМЭ, ТЕН, ТК, выполняли методом высокоэффективной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС/МС) согласно общепринятым руководствам (Malachová et al., 2014) с применением комплекса оборудования, состоящего из хроматографа Agilent Infinity 1290 (Германия) и масс-спектрометра АВ SCIEX Triple Quad 5500 (США). Для хроматографического разделения применялась колонка, заполненная обращенно-фазовым сорбентом C18 с размером частиц не более 5 мкм, длиной 150 мм и внутренним диаметром 4.6 мм. (Gemini, Phenomenex, США). Для построения калибровочных графиков и в качестве внутренних стандартов были использованы стандартные растворы микотоксинов серии Biopure (Romer Labs, Австрия). Лимиты обнаружения АОЛ, АМЭ, ТЕН, и ТК составляли 2.0, 1.5, 2.0 и 6.3 мкг/кг, соответственно.

Расчёт средних значений и доверительного интервала проводили в программе Microsoft Excel 2010. Корреляционный анализ связей между количественными признаками с помощью коэффициента Пирсона ( $r$ ) и дисперсионный анализ (ANOVA) для определения влияния конкретного фактора на анализируемые параметры рассчитывали в программе STATISTICA 10.0. Достоверность различий и корреляционных связей принимали при уровне значимости  $p < 0.05$ .

### Результаты

Результаты реал-тайм ПЦР показали, что все проанализированные образцы зерна содержали ДНК грибов *Alternaria* секций *Alternaria* и *Infectoriae*. Количество ДНК грибов секции *Alternaria* варьировали от  $53 \times 10^{-4}$  до  $21731 \times 10^{-4}$  пг/нг и значительно превышали количества ДНК грибов секции *Infectoriae* (от  $35 \times 10^{-4}$  до  $1472 \times 10^{-4}$  пг/нг) во всех образцах зерна. Разница средних значений, в зависимости от вида зерновой культуры и года урожая, составляла 4.5–14.6 раз (рис. 1).

Результаты дисперсионного анализа показали достоверные различия между образцами по содержанию

ДНК грибов обеих секций в урожае зерна разных лет – в среднем, в 2019 г. их количества были ниже, чем в 2018 г. Кроме того, выявили существенное влияние факторов «географическое происхождение образца» на контаминацию зерна ДНК грибов секции *Alternaria* – образцы из Алтайского края содержали ДНК этих грибов в количестве  $(4265 \pm 849) \times 10^{-4}$  пг/нг, что в 1.7–2.5 раза больше, чем образцы из других областей, – а также «вид зерновой культуры» на контаминацию зерна ДНК грибов секции *Infectoriae* – в зерне овса ДНК грибов этой секции было ниже, чем в зерне двух других культур.

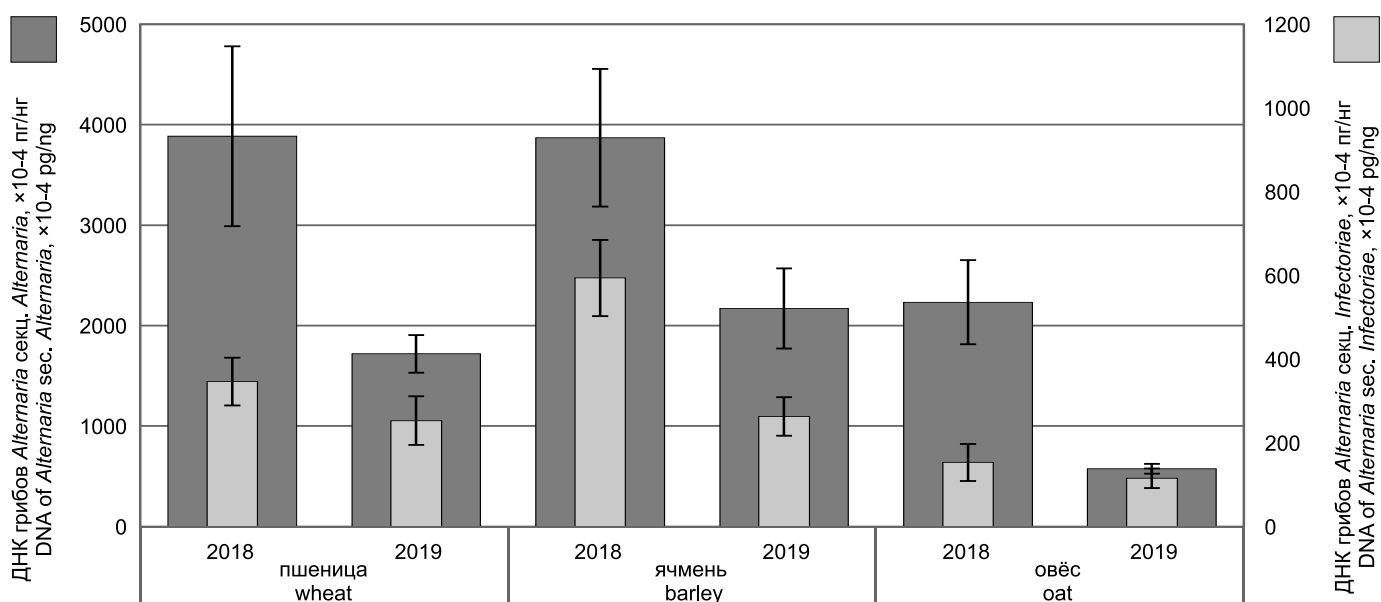


Рисунок 1. Среднее содержание ДНК грибов рода *Alternaria* в образцах зерна из Западной Сибири

Figure 1. The average amount of DNA of *Alternaria* fungi in grain samples from West Siberia

Микотоксины АОЛ, АМЭ, ТЕН и ТК обнаружены соответственно в 23%, 6%, 85% и 83% образцов зерна. Только два образца ячменя из Новосибирской области урожая 2018 г. не были загрязнены ни одним из четырёх анализируемых микотоксинов грибов *Alternaria*. Большинство (61%) образцов содержало в зерне два микотоксина (преимущественно ТЕН и ТК), 19% образцов – три микотоксина и только один образец (овёс из Новосибирской области урожая 2019 г.) – все четыре микотоксина совместно.

Различия между образцами пшеницы, ячменя и овса по встречаемости альтернариотоксинов в зерне представлены на рисунке 2. Наиболее загрязненными являлись образцы овса урожая 2019 г., в их зерне встречаемость АОЛ, ТЕН и ТК составила 100%, а наименее загрязненными оказались образцы зерна ячменя урожая 2018 г., в которых были выявлены только два микотоксина: ТЕН – в 87% образцов, а ТК – в 47%.

Содержание анализированных альтернариотоксинов в большинстве случаев не превышало 100 мкг/кг зерна. Только ТК выявлена в 31% проанализированных образцов в значительных количествах (табл. 1), в том числе четыре образца из Алтайского края и Новосибирской области (три пшеницы и один овёс) содержали этот микотоксин в зерне в диапазоне 594–14963 мкг/кг.

Установлено, что содержание ТЕН и ТК в зерне варьировало существенно, в зависимости от года урожая и вида зерновой культуры. Для всех культур урожая 2019 г. содержание ТЕН в зерне было ниже, по сравнению с 2018 г. (рис. 3).

Количество АОЛ и АМЭ в зерне овса в среднем были достоверно выше, чем в пшенице и ячмене, а среднее количество ТЕН было достоверно ниже в зерне ячменя. Кроме того, на содержание ТЕН в зерне существенно влиял фактор «географическое происхождение образцов».

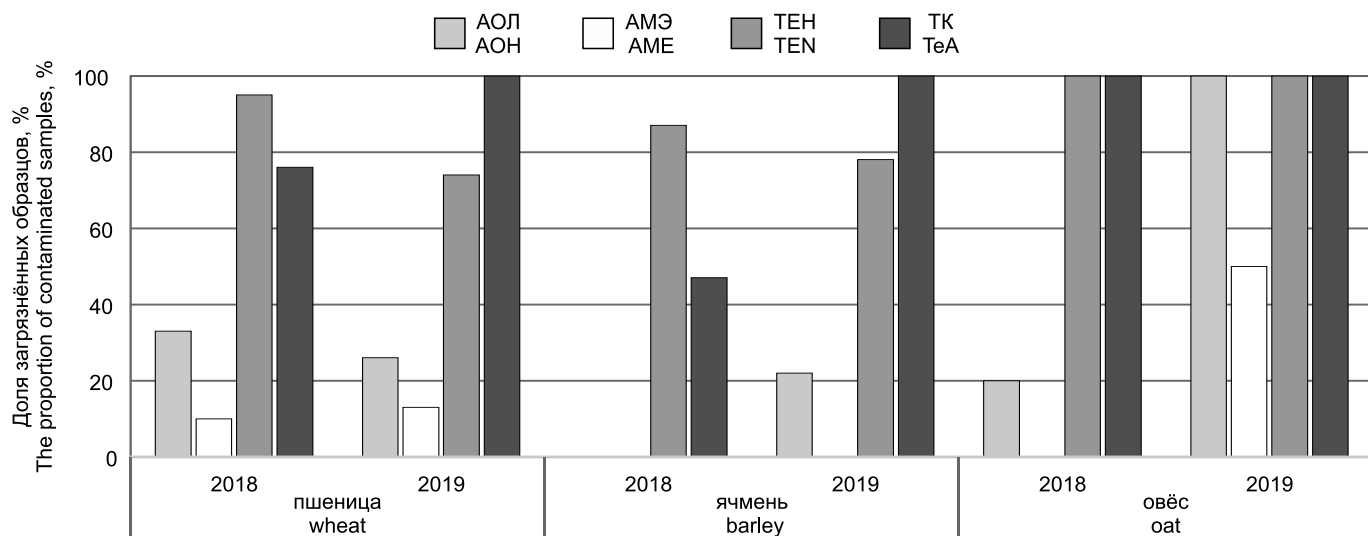


Рисунок 2. Встречаемость микотоксинов грибов рода *Alternaria* в зерне из Западной Сибири. АОЛ – альтернариол, АМЭ – монометилловый эфир альтернариола, ТЕН – тентоксин, ТК – тентуазоновая кислота

Figure 2. The occurrence of *Alternaria* mycotoxins in grain samples from West Siberia. AOH – alternariol, AME – alternariol monoethyl ether, TEN – tentoxin, TeA – tenuazonic acid



**Таблица 1.** Содержание микотоксинов грибов *Alternaria* в образцах зерна из Западной Сибири

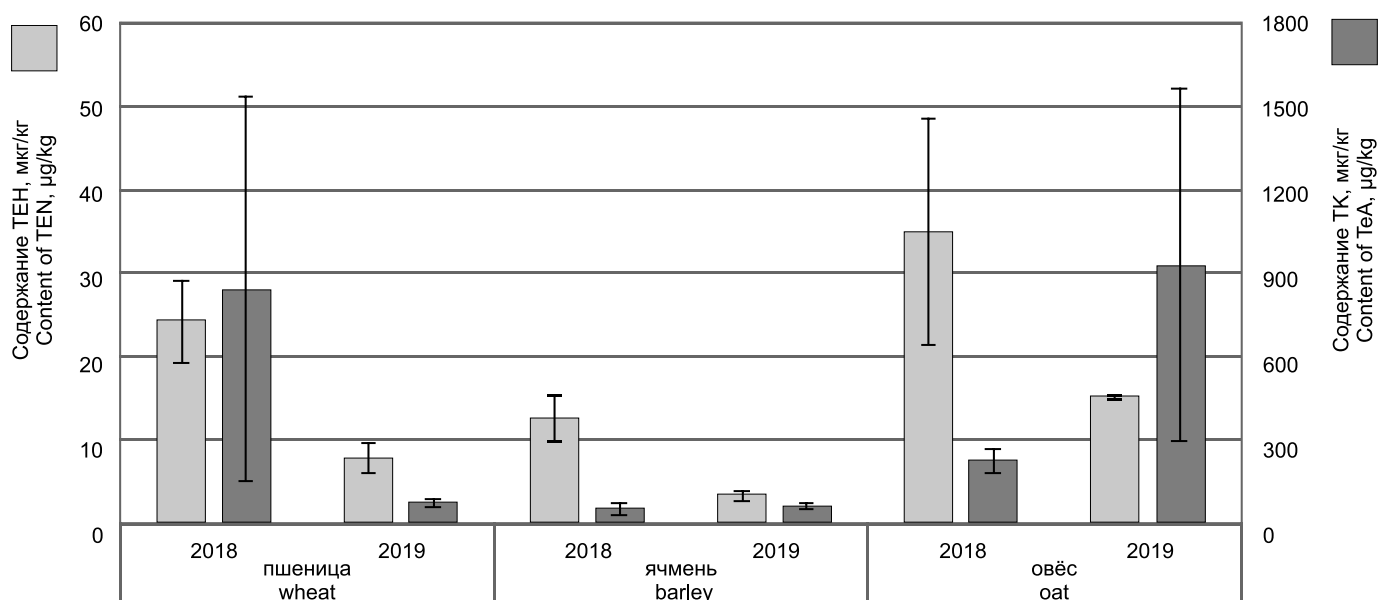
Зерновая культура	Год урожая (число образцов)	Диапазон выявленных количеств микотоксина, мкг/кг			
		АОЛ	АМЭ	ТЕН	ТК
Пшеница	2018 (21)	3–14	3; 4	4–83	34–14963
	2019 (23)	7–17	4–6	3–36	16–241
Ячмень	2018 (15)	0	0	5–38	30–349
	2019 (9)	4; 5	0	3–6	9–113
Овёс	2018 (5)	4	0	13–88	164–405
	2019 (2)	7; 53	0; 22	15; 15	280; 1579

АОЛ – альтернариол, АМЭ – монометиловый эфир альтернариола, ТЕН – тентоксин, ТК – тенуазоновая кислота.

**Table 1.** The content of *Alternaria* mycotoxins in grain samples from West Siberia

Cereal	Crop year (number of samples)	Range of mycotoxin amounts, µg/kg			
		АОН	АМЕ	ТЕН	ТеА
Wheat	2018 (21)	3–14	3; 4	4–83	34–14963
	2019 (23)	7–17	4–6	3–36	16–241
Barley	2018 (15)	0	0	5–38	30–349
	2019 (9)	4–5	0	3–6	9–113
Oat	2018 (5)	4	0	13–88	164–405
	2019 (2)	7–53	22	15	280–1579

АОН – alternariol, АМЕ – alternariol monoethyl ether, ТЕН – tentoxin, ТеА – tenuazonic acid.

**Рисунок 3.** Загрязненность микотоксинами грибов рода *Alternaria* зерна из Западной Сибири**Figure 3.** The contamination of grain samples from West Siberia by *Alternaria* mycotoxins

В образцах зерна из Алтайского края этот микотоксин встречался в количестве  $24 \pm 4$  мкг/кг – в 2.2–2.4 раза выше, чем в образцах зерна из других областей. Влияние

географического происхождения и вида зерновой культуры на содержание ТК в зерне не установлено.

### Обсуждение

Грибы *Alternaria* обильно представлены в микобиоте зерна (Ганнибал, 2014; Kulik et al., 2015; Gannibal, 2018; Орина и др., 2020), в т.ч. выращенного на территории Сибири (Торопова и др., 2015; Казакова и др., 2016). До настоящего времени существовало мнение, что представители секции *Infectoriae* часто встречаются в западной части России, редко – на Урале и в Сибири, и отсутствуют на востоке страны (Ганнибал, 2014). Однако полученные данные показали значительную представленность грибов секции *Infectoriae* в зерне из Западной Сибири, и согласуются с

результатами исследования зерна, выращенного на Урале (Орина и др., 2020).

Выявлено преобладание представителей секции *Alternaria* над представителями секции *Infectoriae* в анализированных образцах зерна: содержание ДНК грибов секции *Alternaria* в среднем составило  $2814 \pm 314 \times 10^{-4}$  пг/нг, что оказалось в 8.3 раз больше, чем среднее содержание ДНК грибов секции *Infectoriae* ( $338 \pm 34 \times 10^{-4}$  пг/нг). В этой связи интересно отметить, что грибы, относящиеся к секции *Alternaria*, быстрее растут, образуют более плотный

пигментированный воздушный мицелий, и, вероятно, оказываются более конкурентноспособными при колонизации зерна, чем представители секции *Infectoriae*. Между количеством в зерне образцов ДНК грибов, относящихся к двум секциям, выявлена достоверная положительная связь ( $r=0.57$ ). Ранее отмечалось, что зерно пшеницы и ячменя в Западной Сибири более подвержено заражению видами грибов секции *Alternaria*, чем грибами из других секций (Gannibal, 2018), также преобладающее содержание ДНК этих грибов установлено в зерне из Уральского региона (Орина и др., 2020) и из провинции Хубэй в Китае (Jiang et al., 2021). Соотношение представителей секций *Alternaria* и *Infectoriae* в микобиоте зерна может варьировать и, в значительной степени, зависит от климатических условий, а также от растения-хозяина (Kosiak et al., 2004; Gannibal, 2018).

Среди анализированных микотоксинов, в зерне из Западной Сибири ТК и ТЕН встречались в 3.7–14 раз чаще, чем АОЛ и АМЭ, что подтверждает статус ТК и ТЕН как наиболее распространённых микотоксинов в зерне, выращиваемом на территории Азии (Xu et al., 2016; Орина и др., 2020; Jiang et al., 2021).

В среднем за два года наиболее контаминированными были образцы овса, в их зерне встречаемость АОЛ, АМЭ, ТЕН и ТК составила 43%, 14%, 100% и 100%, соответственно. Тогда как наименее контаминированными оказались образцы зерна ячменя, в которых АМЭ не был найден, а АОЛ, ТЕН и ТК были выявлены в 8%, 83% и 67% образцов, соответственно. Сходные закономерности были установлены при анализе 76 образцов зерна из южной части Норвегии: встречаемость ТЕН и ТК в зерне овса была значительно выше, по сравнению с ячменем и пшеницей, хотя выявленные содержания микотоксинов были низкими (Uhlig et al., 2013).

Согласно нашим результатам, содержание анализированных альтернариотоксинов в большинстве случаев не превышало 100 мкг/кг зерна, что согласуется с опубликованной ранее информацией о выявленных уровнях микотоксинов грибов *Alternaria* (Fraeyman et al., 2017). Однако в 31% проанализированных образцов ТК выявлена в более значительных количествах, причем один образец пшеницы из Алтайского края содержал этот микотоксин

в экстремально высоких количествах – 14963 мкг/кг. По нашим сведениям, это максимальная выявленная естественная контаминация зерна ТК, опубликованная в научной литературе. Ранее этот микотоксин выявляли в количествах 4179 мкг/кг в зерне пшеницы в Германии (Müller, Korn, 2013) и 6432 мкг/кг в зерне пшеницы из Китая (Li, Yoshizawa, 2000). Между тем, ТК является остро токсичным веществом со значениями LD50 при пероральном приеме от 81 до 225 мг/кг массы тела для мышей (Cgudo et al., 2019).

Ожидаемо, между АОЛ и АМЭ, являющихся производными одного химического предшественника – дибензопирона, выявлена высокая достоверная положительная связь ( $r=0.93$ ). В нашем исследовании АМЭ встречался только в тех же образцах, где был выявлен АОЛ, но в более низких количествах. Число образцов зерна, где содержание хотя бы одного из этих микотоксинов превышало 5 мкг/кг, составило 15%. Также достоверная слабая положительная связь установлена между количествами АОЛ и ТК ( $r=0.26$ ). Совместная встречаемость пары АОЛ и АМЭ, так же, как и АОЛ и ТК в зерне отмечена неоднократно, и относительное содержание ТК было выше, чем других микотоксинов (Uhlig et al., 2013; Xu et al., 2016; Fraeyman et al., 2017; Jiang et al., 2021). Нельзя исключать синергетические или аддитивные взаимодействия между альтернариотоксинами, которые могут усиливать негативный эффект для здоровья потребителя (Zhao et al., 2015).

Грибы, относящиеся к видам секции *Alternaria*, широко распространённые в зерне пшеницы и ячменя на территории Азии, продуцируют основные альтернариотоксины – АОЛ, АМЭ и ТК (Nguyen et al., 2018; Jiang et al., 2021). В нашей работе выявлена высокая достоверная положительная связь между количествами ТК и ДНК грибов секции *Alternaria* ( $r=0.79$ ), что указывает на роль грибов этой секции как основных продуцентов ТК в зерне. В данном исследовании между содержанием ДНК грибов из секции *Infectoriae* и анализированными микотоксинами достоверные связи в зерне из Западной Сибири не установлены, однако ранее нами обнаружена достоверная связь между содержанием ДНК этих грибов и ТЕН в образцах зерна из Уральского региона (Орина и др., 2020).

### Заключение

Проведенные исследования демонстрируют повсеместное присутствие грибов *Alternaria* секций *Alternaria* и *Infectoriae* и продуцируемых ими микотоксинов в зерне пшеницы, ячменя и овса, выращенных на территории Западной Сибири. Установление факторов, оказывающих влияние на численность грибов *Alternaria* и их способность продуцировать вторичные токсичные метаболиты,

требует уточнения. Частая совместная контаминация зерна разными альтернариотоксинами и выявленные экстремально высокие количества ТК в зерне показывают необходимость дальнейших исследований этой проблемы, а также разработки мер контроля встречаемости этих микотоксинов и стратегий для снижения риска, связанного с загрязнением ими зерна.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 19-76-30005).

### Библиографический список (References)

- Гаргаева ТЮ, Гаврилова ОП, Орина АС, Казарцев ИА и др (2017) Сравнение методов выявления в зерне токсипродуцирующих грибов рода *Fusarium*. *Микология и фитопатология* 51(5):292–298
- Ганнибал ФБ (2014) Альтернариоз зерна – современный взгляд на проблему. *Защита и карантин растений* (6):11–15
- Казакова ОА, Торопова ЕЮ, Воробьева ИГ (2016) Взаимоотношения фитопатогенов семян ячменя в Западной Сибири. *АПК России* 23(5):931–934

- Каракотов СД, Аршава НВ, Башкатова МБ (2019) Мониторинг и контроль заболеваний пшеницы в Южном Зауралье. *Защита и карантин растений* (7):18–25
- Кононенко ГП, Буркин АА, Зотова ЕВ (2020) Микотоксикологический мониторинг. Сообщение 2. Зерно пшеницы, ячменя, овса, кукурузы. *Ветеринария сегодня* 2(33):139–145. <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145>
- Орина АС, Гаврилова ОП, Гагкаева ТЮ, Ганнибал ФБ (2020) Микромицеты *Alternaria* spp. и *Bipolaris sorokiniana* и микотоксины в зерне, выращенном в Уральском Федеральном Округе. *Микология и фитопатология* 54(5):365–377. <http://doi.org/10.31857/S0026364820050086>
- Торопова ЕЮ, Кириченко АА, Казакова ОА, Порсев ИН (2015) Альтернариоз зерна яровой пшеницы и ячменя в Западной Сибири и Восточном Зауралье. *Защита и карантин растений* (1):20–22
- Федеральная служба государственной статистики. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии). <https://www.gks.ru/compendium/document/13277> (17.05.2021)
- Alexander J, Benford D, Boobis A, Ceccatelli S et al (2011) Scientific opinion on the risks for animal and public health related to the presence of *Alternaria* toxins in feed and food. *EFSA Journal* 9(10):2407–2504. <http://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2407>
- Crudo F, Varga E, Aichinger G, Galaverna G et al (2019) Co-occurrence and combinatory effects of *Alternaria* mycotoxins and other xenobiotics of food origin: current scenario and future perspectives. *Toxins* 11(11):640. <http://doi.org/10.3390/toxins11110640>
- Food Chemistry Institute of the Association of the German Confectionery Industry (2020) *Alternaria* toxins: occurrence, toxicity, analytical methods, maximum levels. <https://www.lci-koeln.de/deutsch/veroeffentlichungen/lci-focus/alternaria-toxins-occurrence-toxicity-analytical-methods-maximum-levels> (17.05.2021)
- Fraeyman S, Croubels S, Devreese M, Antonissen G (2017) Emerging *Fusarium* and *Alternaria* mycotoxins: occurrence, toxicity and toxicokinetics. *Toxins* 9:228. <http://doi.org/10.3390/toxins9070228>
- Gannibal PhB (2018) Factors affecting *Alternaria* appearance in grains in European Russia. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* 53(3):605–615. <http://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.3.605eng>
- Gannibal PhB, Yli-Mattila T (2007) Morphological and UP-PCR analyses and design of a PCR assay for differentiation of *Alternaria infectoria* species-group. *Mikologiya i fitopatologiya* 41(4):313–322.
- Jiang D, Wei D, Li H, Wang L et al (2021) Natural occurrence of *Alternaria* mycotoxins in wheat and potential of reducing associated risks using magnolol. *J Sci Food Agric* 101:3071–3077. <http://doi.org/10.1002/jsfa.10901>
- Kang Y, Feng H, Zhang J, Chen S et al (2017) TeA is a key virulence factor for *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler infection of its host. *Plant Physiol Biochem* 115:73–82. <http://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.002>
- Kononenko GP, Piryazeva EA, Burkin AA (2020) Production of alternariol in the populations of grain feed-associated small spore *Alternaria* species. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya* 55(3):628–637. <http://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.3.628eng>
- Konstantinova P, Bonants PJM, van Gent-Pelzer MPE, van der Zouwen P et al (2002) Development of specific primers for detection and identification of *Alternaria* spp. in carrot material by PCR and comparison with blotter and plating assays. *Mycol Res* 106(1):23–33. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.021>
- Kosiak B, Torp M, Skjerve E, Andersen B (2004) *Alternaria* and *Fusarium* in Norwegian grains of reduced quality – a matched pair sample study. *Int J Food Microbiol* 93(1):51–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2003.10.006>
- Kulik T, Treder K, Załuski D (2015) Quantification of *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium* and *Penicillium verrucosum* in conventional and organic grains by qPCR. *J Phytopathol* 163:522–528. <https://doi.org/10.1111/jph.12348>
- Li FQ, Yoshizawa T (2000) *Alternaria* mycotoxins in weathered wheat from China. *J Agric Food Chem* 48(7):2920–2924. <http://doi.org/10.1021/jf0000171>
- Lou J, Fu L, Peng Y, Zhou L (2013) Metabolites from *Alternaria* fungi and their bioactivities. *Molecules* 18:5891–5935. <http://doi.org/10.3390/molecules18055891>
- Malachová A, Sulyok M, Beltrán E, Berthiller F et al (2014) Optimization and validation of a quantitative liquid chromatography–tandem mass spectrometric method covering 295 bacterial and fungal metabolites including all regulated mycotoxins in four model food matrices. *J Chromatogr A* 1362:145–156. <http://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.08.037>
- Masiello M, Somma S, Susca A, Ghionna V et al (2020) Molecular identification and mycotoxin production by *Alternaria* species occurring on durum wheat, showing black point symptoms. *Toxins* 12(4):275. <https://doi.org/10.3390/toxins12040275>
- Müller ME, Korn U (2013) *Alternaria* mycotoxins in wheat — a 10 years survey in the Northeast of Germany. *Food Control* 34:191–197. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.04.018>
- Nguyen TTT, Kim J, Jeon SJ, Lee CW et al (2018) Mycotoxin production of *Alternaria* strains isolated from Korean barley grains determined by LC-MS/MS. *Int J Food Microbiol* 268:44–52. <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.01.003>
- Rychlik M, Lepper H, Weidner C, Asam S (2016) Risk evaluation of the *Alternaria* mycotoxin tenuazonic acid in foods for adults and infants and subsequent risk management. *Food Control* 68:181–185. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.035>
- Tralamazza SM, Piacentini KC, Iwase CHT, de Oliveira Rocha L (2018) Toxigenic *Alternaria* species: impact in cereals worldwide. *Curr Opin Food Sci* 23:57. <http://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.05.002>
- Uhlig S, Eriksen G, Hofgaard I, Krska R et al (2013) Faces of a changing climate: semi-quantitative multi-mycotoxin analysis of grain grown in exceptional climatic conditions in Norway. *Toxins* 5:1682–1697. <http://doi.org/10.3390/toxins5101682>
- Xu W, Xiaomin H, Li F, Zhang L (2016) Natural occurrence of *Alternaria* toxins in the 2015 wheat from Anhui province, China. *Toxins* 8:308. <https://doi.org/10.3390/toxins8110308>

- Zhao K, Shao B, Yang D, Li F et al (2015) Natural occurrence of *Alternaria* toxins in wheat based products and their dietary exposure in China. *PLoS ONE* 10:e0132019. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0132019>
- Zwickel T, Kahl SM, Rychlik M, Müller MEH (2018) Chemotaxonomy of mycotoxigenic small-spored *Alternaria* fungi – do multitoxin mixtures act as an indicator for species differentiation? *Front Microbiol* 9:1368. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01368>

#### Translation of Russian References

- Gagkaeva TYu, Gavrilova OP, Orina AS, Kazartsev IA et al (2017) [Comparison of methods for identification of toxin-producing *Fusarium* fungi in the cereal grain] *Mikologiya i Fitopatologiya* 51(5):292–298 (in Russian)
- Gannibal PhB (2014) [*Alternaria* disease of grain – modern view of the problem] *Zashchita i karantin rasteniy* (6):11–15 (in Russian)
- Kazakova OA, Toropova EYu, Vorobyeva IG (2016) [The interrelations between phytopathogens of barley seeds in western Siberia] *APK Rossii* 23(5):931–934 (in Russian)
- Karakotov SD, Arshava NV, Bashkatova MB (2019) [Monitoring and control of wheat diseases in the Southern Trans-Urals] *Zashchita i karantin rasteniy* (7):18–25 (in Russian)
- Kononenko GP, Burkin AA, Zotova EV (2020) [Mycotoxological monitoring. Part 2. Wheat, barley, oat and maize grain] *Veterinariya segodnya* 2(33):139–145 (in Russian) <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145>
- Orina AS, Gavrilova OP, Gagkaeva TYu, Gannibal PhB (2020) [Micromycetes *Alternaria* spp. and *Bipolaris sorokiniana* and mycotoxins in the grain from the Ural region] *Mikologiya i Fitopatologiya* 54(5):365–377 (in Russian) <http://doi.org/10.31857/S0026364820050086>
- Toropova EYu, Kirichenko AA, Kazakova OA, Porsev IN (2015) [*Alternaria* disease of grain of spring wheat and barley in Western Siberia and Eastern Trans-Urals] *Zashchita i karantin rasteniy* (1):20–22 (in Russian)
- Federal State Statistics Service. Bulletins on the state of agriculture (electronic versions). <https://www.gks.ru/compendium/document/13277> (17.05.2021) (in Russian)

Plant Protection News, 2021, 104(3), p. 153–162

OECD+WoS: 1.06+RQ (Mycology)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-3-15019>

Full-text article

## CONTAMINATION OF GRAIN IN WEST SIBERIA BY *ALTERNARIA* FUNGI AND THEIR MYCOTOXINS

A.S. Orina<sup>1\*</sup>, O.P. Gavrilova<sup>1</sup>, T.Yu. Gagkaeva<sup>1</sup>, N.N. Gogina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>All-Russian Poultry Institute, Sergiev Posad, Russia

\*corresponding author; e-mail: orina-alex@yandex.ru

The ubiquitous occurrence of *Alternaria* fungi belonging to sections *Alternaria* and *Infectoriae* was confirmed using real-time PCR in wheat, barley and oat grain grown in West Siberia in 2018–2019. The DNA amount of *Alternaria* section *Alternaria* fungi varied from  $53 \times 10^{-4}$  to  $21731 \times 10^{-4}$  pg/ng and on average exceeded the DNA amount of *Alternaria* section *Infectoriae* fungi by 4.5–14.6 times, depending on the crop and harvest year. The average DNA amount of *Alternaria* fungi belonging to both sections in the oat grain was lower than in wheat and barley grain. The grain samples from Altay region were the most infected with *Alternaria* fungi. The alternariol (AOH), alternariol monomethyl ether (AME), tentoxin (TEN), and tenuazonic acid (TeA) mycotoxins produced by *Alternaria* fungi were detected by HPLC-MS/MS in 23 %, 6 %, 85 %, and 83 % of analyzed grain samples, respectively. The majority (61 %) of the samples contained two *Alternaria* mycotoxins in the grain (mainly TEN and TeA), 19% of the samples three mycotoxins, and only one sample all four together. In the most of samples the content of *Alternaria* mycotoxins did not exceed 100 µg/kg, and only TeA content was higher (from 113 to 14963 µg/kg) than others. The significant differences in grain crops by the *Alternaria* mycotoxins content were revealed: more amounts of AOH, AME, and less amount of TEN were found in oat grain than in barley grain. A high positive significant correlation between the DNA amount of *Alternaria* section *Alternaria* fungi and TeA was established that indicates the role of these fungi as the main producers of TeA in the grain.

**Keywords:** DNA, *Alternaria*, *Infectoriae*, real-time PCR, HPLC-MS/MS, mycotoxins

Submitted: 19.05.2021

Accepted: 10.09.2021

## Приложение 1. Образцы зерна, включенные в исследование

Регион	Год урожая	Культура	Содержание ДНК грибов рода <i>Alternaria</i> , $\times 10^{-4}$ пг/пг		Содержание микотоксинов, мкг/кг			
			Секц. <i>Alternaria</i>	Секц. <i>Infectoriae</i>	АОЛ	АМЕ	ТЕН	ТК
Алтайский край	2018	пшеница	1809	210	0	0	12	99
Алтайский край	2018	пшеница	3009	170	0	0	18	0
Алтайский край	2018	пшеница	3361	292	0	0	22	68
Алтайский край	2018	пшеница	3113	208	0	0	16	0
Алтайский край	2018	пшеница	2495	91	3	0	13	84
Алтайский край	2018	пшеница	4445	300	0	0	50	215
Алтайский край	2018	пшеница	3583	232	0	0	18	92
Алтайский край	2018	пшеница	3196	267	0	0	15	55
Алтайский край	2018	пшеница	2080	217	0	0	4	47
Алтайский край	2018	пшеница	21731	817	14	3	0	14963
Алтайский край	2018	пшеница	3472	310	0	0	46	594
Алтайский край	2018	пшеница	3415	278	0	0	78	165
Алтайский край	2018	овес	905	113	4	0	88	405
Алтайский край	2018	овес	1997	134	0	0	34	184
Алтайский край	2018	овес	2036	112	0	0	20	187
Алтайский край	2018	овес	3472	79	0	0	13	164
Алтайский край	2018	овес	2752	327	0	0	19	188
Алтайский край	2018	ячмень	3722	346	0	0	38	349
Алтайский край	2018	ячмень	10526	1176	0	0	18	90
Алтайский край	2018	ячмень	4359	706	0	0	5	0
Алтайский край	2018	ячмень	6696	551	0	0	22	48
Алтайский край	2018	ячмень	2349	452	0	0	6	0
Алтайский край	2018	ячмень	1161	262	0	0	6	0
Алтайский край	2018	ячмень	6667	810	0	0	19	38
Кемеровская обл.	2018	пшеница	3030	652	0	0	20	48
Кемеровская обл.	2018	пшеница	2861	349	0	0	19	50
Кемеровская обл.	2018	пшеница	2234	184	3	0	83	37
Кемеровская обл.	2018	ячмень	4802	1472	0	0	8	30
Кемеровская обл.	2018	ячмень	2260	281	0	0	14	0
Кемеровская обл.	2018	ячмень	3780	423	0	0	29	0
Новосибирская обл.	2018	пшеница	2106	278	12	0	10	0
Новосибирская обл.	2018	пшеница	1213	111	10	4	6	0
Новосибирская обл.	2018	пшеница	3652	627	4	0	4	0
Новосибирская обл.	2018	пшеница	5177	1187	0	0	6	801
Новосибирская обл.	2018	пшеница	3193	296	4	0	27	135
Новосибирская обл.	2018	пшеница	2404	183	0	0	42	222
Новосибирская обл.	2018	ячмень	2429	454	0	0	0	0
Новосибирская обл.	2018	ячмень	1285	366	0	0	0	0
Новосибирская обл.	2018	ячмень	2246	444	0	0	5	127
Омская обл.	2018	ячмень	53	252	0	0	8	83
Омская обл.	2018	ячмень	5731	923	0	0	9	0
Кемеровская обл.	2019	пшеница	915	137	7	0	0	26
Кемеровская обл.	2019	пшеница	1517	117	9	0	10	16
Кемеровская обл.	2019	пшеница	1655	124	0	0	6	59
Кемеровская обл.	2019	пшеница	1609	159	0	0	6	20
Кемеровская обл.	2019	пшеница	3323	394	0	0	3	21
Кемеровская обл.	2019	пшеница	2588	399	0	0	4	23
Кемеровская обл.	2019	пшеница	1859	152	11	0	3	185
Кемеровская обл.	2019	пшеница	2256	251	14	5	0	60
Кемеровская обл.	2019	пшеница	1809	191	17	4	0	47
Кемеровская обл.	2019	пшеница	2225	236	16	6	0	40
Кемеровская обл.	2019	овес	624	139	7	0	15	280
Кемеровская обл.	2019	ячмень	1662	318	0	0	3	59
Кемеровская обл.	2019	ячмень	2340	535	4	0	5	80
Кемеровская обл.	2019	ячмень	2146	333	0	0	6	66
Кемеровская обл.	2019	ячмень	2855	153	0	0	3	9
Кемеровская обл.	2019	ячмень	4776	388	5	0	5	43

## Продолжение приложения 1

Регион	Год урожая	Культура	Содержание ДНК грибов рода <i>Alternaria</i> , $\times 10^{-4}$ пг/нг		Содержание микотоксинов, мкг/кг			
			Секц. <i>Alternaria</i>	Секц. <i>Infectoriae</i>	АОЛ	АМЕ	ТЕН	ТК
Новосибирская обл.	2019	пшеница	1081	68	0	0	9	98
Новосибирская обл.	2019	пшеница	958	97	0	0	36	178
Новосибирская обл.	2019	пшеница	957	73	0	0	13	147
Новосибирская обл.	2019	пшеница	973	214	0	0	0	25
Новосибирская обл.	2019	пшеница	956	144	0	0	5	31
Новосибирская обл.	2019	пшеница	1724	217	0	0	12	30
Новосибирская обл.	2019	пшеница	2164	35	0	0	20	241
Новосибирская обл.	2019	пшеница	523	130	0	0	0	48
Новосибирская обл.	2019	пшеница	1023	86	0	0	3	129
Новосибирская обл.	2019	овес	526	91	53	22	15	1579
Новосибирская обл.	2019	ячмень	1052	133	0	0	0	60
Новосибирская обл.	2019	ячмень	1165	103	0	0	3	113
Новосибирская обл.	2019	ячмень	820	176	0	0	0	54
Омская обл.	2019	пшеница	3851	968	0	0	24	60
Омская обл.	2019	пшеница	1700	312	0	0	6	30
Омская обл.	2019	пшеница	426	116	0	0	3	113
Омская обл.	2019	пшеница	3454	1204	0	0	16	30
Омская обл.	2019	ячмень	2733	231	0	0	5	71

АОЛ – альтернариол, АМЕ – монометилловый эфир альтернариола, ТЕН – тентоксин, ТК – тенуазоновая кислота

## Appendix 1. Grain samples analyzed in the present study

Region	Crop year	Cereal	Content of DNA of <i>Alternaria</i> spp., $\times 10^{-4}$ pg/ng		Content of mycotoxins, $\mu\text{g}/\text{kg}$			
			sect. <i>Alternaria</i>	sect. <i>Infectoriae</i>	AOH	AME	TEN	TeA
Altay region	2018	wheat	1809	210	0	0	12	99
Altay region	2018	wheat	3009	170	0	0	18	0
Altay region	2018	wheat	3361	292	0	0	22	68
Altay region	2018	wheat	3113	208	0	0	16	0
Altay region	2018	wheat	2495	91	3	0	13	84
Altay region	2018	wheat	4445	300	0	0	50	215
Altay region	2018	wheat	3583	232	0	0	18	92
Altay region	2018	wheat	3196	267	0	0	15	55
Altay region	2018	wheat	2080	217	0	0	4	47
Altay region	2018	wheat	21731	817	14	3	0	14963
Altay region	2018	wheat	3472	310	0	0	46	594
Altay region	2018	wheat	3415	278	0	0	78	165
Altay region	2018	oat	905	113	4	0	88	405
Altay region	2018	oat	1997	134	0	0	34	184
Altay region	2018	oat	2036	112	0	0	20	187
Altay region	2018	oat	3472	79	0	0	13	164
Altay region	2018	oat	2752	327	0	0	19	188
Altay region	2018	barley	3722	346	0	0	38	349
Altay region	2018	barley	10526	1176	0	0	18	90
Altay region	2018	barley	4359	706	0	0	5	0
Altay region	2018	barley	6696	551	0	0	22	48
Altay region	2018	barley	2349	452	0	0	6	0
Altay region	2018	barley	1161	262	0	0	6	0
Altay region	2018	barley	6667	810	0	0	19	38
Kemerovo region	2018	wheat	3030	652	0	0	20	48
Kemerovo region	2018	wheat	2861	349	0	0	19	50
Kemerovo region	2018	wheat	2234	184	3	0	83	37
Kemerovo region	2018	barley	4802	1472	0	0	8	30
Kemerovo region	2018	barley	2260	281	0	0	14	0
Kemerovo region	2018	barley	3780	423	0	0	29	0
Novosibirsk region	2018	wheat	2106	278	12	0	10	0
Novosibirsk region	2018	wheat	1213	111	10	4	6	0

## Appendix 1 continued

Region	Crop year	Cereal	Content of DNA of <i>Alternaria</i> spp., ×10 <sup>-4</sup> pg/ng		Content of mycotoxins, µg/kg			
			<i>sect. Alternaria</i>	<i>sect. Infectoriae</i>	AOH	AME	TEN	TeA
Novosibirsk region	2018	wheat	3652	627	4	0	4	0
Novosibirsk region	2018	wheat	5177	1187	0	0	6	801
Novosibirsk region	2018	wheat	3193	296	4	0	27	135
Novosibirsk region	2018	wheat	2404	183	0	0	42	222
Novosibirsk region	2018	barley	2429	454	0	0	0	0
Novosibirsk region	2018	barley	1285	366	0	0	0	0
Novosibirsk region	2018	barley	2246	444	0	0	5	127
Omsk region	2018	barley	53	252	0	0	8	83
Omsk region	2018	barley	5731	923	0	0	9	0
Kemerovo region	2019	wheat	915	137	7	0	0	26
Kemerovo region	2019	wheat	1517	117	9	0	10	16
Kemerovo region	2019	wheat	1655	124	0	0	6	59
Kemerovo region	2019	wheat	1609	159	0	0	6	20
Kemerovo region	2019	wheat	3323	394	0	0	3	21
Kemerovo region	2019	wheat	2588	399	0	0	4	23
Kemerovo region	2019	wheat	1859	152	11	0	3	185
Kemerovo region	2019	wheat	2256	251	14	5	0	60
Kemerovo region	2019	wheat	1809	191	17	4	0	47
Kemerovo region	2019	wheat	2225	236	16	6	0	40
Kemerovo region	2019	oat	624	139	7	0	15	280
Kemerovo region	2019	barley	1662	318	0	0	3	59
Kemerovo region	2019	barley	2340	535	4	0	5	80
Kemerovo region	2019	barley	2146	333	0	0	6	66
Kemerovo region	2019	barley	2855	153	0	0	3	9
Kemerovo region	2019	barley	4776	388	5	0	5	43
Novosibirsk region	2019	wheat	1081	68	0	0	9	98
Novosibirsk region	2019	wheat	958	97	0	0	36	178
Novosibirsk region	2019	wheat	957	73	0	0	13	147
Novosibirsk region	2019	wheat	973	214	0	0	0	25
Novosibirsk region	2019	wheat	956	144	0	0	5	31
Novosibirsk region	2019	wheat	1724	217	0	0	12	30
Novosibirsk region	2019	wheat	2164	35	0	0	20	241
Novosibirsk region	2019	wheat	523	130	0	0	0	48
Novosibirsk region	2019	wheat	1023	86	0	0	3	129
Novosibirsk region	2019	oat	526	91	53	22	15	1579
Novosibirsk region	2019	barley	1052	133	0	0	0	60
Novosibirsk region	2019	barley	1165	103	0	0	3	113
Novosibirsk region	2019	barley	820	176	0	0	0	54
Omsk region	2019	wheat	3851	968	0	0	24	60
Omsk region	2019	wheat	1700	312	0	0	6	30
Omsk region	2019	wheat	426	116	0	0	3	113
Omsk region	2019	wheat	3454	1204	0	0	16	30
Omsk region	2019	barley	2733	231	0	0	5	71

AOH – alternariol, AME – alternariol monoethyl ether, TEN – tentoxin, TeA – tenuazonic acid.



## COMPATIBILITY OF THE FUNGUS *LECANICILLIUM MUSCARIUM* AND THE PREDATORY MITE *AMBLYSEIUS SWIRSKII* FOR THEIR COMBINED APPLICATION AGAINST THE GREENHOUSE WHITEFLY *TRIALEURODES VAPORARIORUM*

G.V. Mitina\*, L.P. Krasavina, O.V. Trapeznikova

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

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

The present study evaluated effects of the fungus *Lecanicillium muscarium* (Ascomycota: Hypocreales) and an organic extract from its mycelium on the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) and its predator, mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). Mites were exposed to fungal spores or organic extract prepared from *L. muscarium* mycelium. No negative effect was shown on the predator feeding on *T. vaporariorum* nymphs treated with fungal conidia at a concentration of  $5 \times 10^7$  spores/ml; by day six the number of mite eggs and nymphs was 18.7% higher than on leaves treated with Tween 80. In contrast, treatment of leaves with a 0.5% alcohol extract derived from *L. muscarium* mycelium caused 35% mortality of *A. swirskii* adults by day two. In a trial conducted in a commercial greenhouse on rose plants, the application of *L. muscarium* conidia followed by the release of *A. swirskii* suppressed *T. vaporariorum* more effectively than each of the control agents applied separately.

**Keywords:** entomopathogenic fungi, predatory mites, biocontrol agents, side effect, beneficial arthropods

Submitted: 02.06.2021

Accepted: 31.08.2021

### Introduction

Predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) is widely used in biological programs to control greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum*, tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), several species of thrips (Thysanoptera: Thripidae), and phytophagous mites (Tetranychidae) (Nomikou et al., 2001, 2002; Messelink et al., 2006; Cock et al., 2010). *A. swirskii* can be superior to other species of predatory mites because its wider prey range and its resistance to higher air temperatures (up to 25–32 °C) (Lee, Gillespie, 2011). The predator is now used in more than 50 countries, including the Russian Federation (Kozlova et al., 2018). *A. swirskii* selectively feeds on eggs and immature stages of whiteflies, and first instar nymphs of thrips (Swirski et al. 1967). To provide effective control of pests at all developmental stages, other biological agents (parasitoids, predatory bugs, soil predatory mites or entomopathogenic fungi) are often considered within a larger IPM program; knowledge on the compatibility of different control agents is required for their efficient use. Numerous studies indicate an often positive nature of the interactions between arthropod natural enemies and fungal pathogens, although in some cases, they can act as antagonists (Roy, Pell, 2000).

Entomopathogenic fungi of the genus *Lecanicillium* are natural pathogens of aphids and whiteflies (Hall, 1981; Goettel et al., 2008; Ansari et al., 2011), and some species have been successfully commercialized for use against sucking pests (De Faria, Wraight, 2007). *Lecanicillium muscarium* (Ascomycota: Hypocreales), for example, is commercially produced and used to control the tobacco whitefly (Cuthbertson et al., 2008; Ali et al., 2017). The activity of these commercial products is based on the fungal spores contained herein. Insecticidal metabolites are also produced by fungal mycelium; extracts prepared from mycelium containing these bioactive compounds have demonstrated efficacy against insects and mites (Mitina et al.,

2002, 2012; Wang et al., 2007).

The compatibility of *Lecanicillium* fungi with parasitoids and predators has been well studied (Kanagaratnam et al., 1979; Labbe et al., 2009; Ren et al., 2010; Aqueel, Leather, 2013). However, results of the studies of effects of entomopathogenic fungi on predatory mites are often contradictory. Some authors have established the ability of predatory mites *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae), *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae), and *A. swirskii* to use Ascomycetes, including phytopathogenic species, as an alternative food source (Zemek, Prenerov, 1997; Momen, Abdelkhalder, 2010, Ryo et al., 2012). Conidia of an entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) were not pathogenic when consumed by *N. barkeri* but caused a decrease in the mites' size (Wu et al., 2016). On the other hand, *B. bassiana* adversely affected longevity and fecundity of the mite *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) feeding on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) treated with the fungus (Seiedy et al., 2012).

Influence of *L. muscarium* on predatory mites has been explored to a much smaller extent. At high spore concentrations, this species has been found to be pathogenic for *Ph. persimilis* (Donka, Buttner, 2008). According to our preliminary data, when the predatory mites *A. swirskii* were released onto plant leaves with *T. vaporariorum* nymphs treated with conidia or an extract prepared from *L. muscarium* mycelium, they experienced no direct toxic effects. However, their fecundity decreased compared to the mites on untreated leaves (Mitina et al., 2019a).

The aim of this study was to evaluate effects of conidia and mycelial extract of *L. muscarium* on *A. swirskii* and to assess the compatibility and performance of a combined application of both biocontrol agents against the greenhouse whitefly *T. vaporariorum*.

## Material and methods

### Rearing of mites

Laboratory culture of *A. swirskii* was maintained on the dried fruit mite *Carpoglyphus lactis* (Acari: Carpoglyphidae) at the All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR, State Collection of Beneficial Arthropods). Rearing conditions were similar to those described previously for the predatory mite *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) (Krasavina et al., 2009). *C. lactis* was maintained on wheat bran with the addition of 10% apple flour and was standardized to the density of 120 mites/cm<sup>3</sup> of feed material.

### Fungal strains and cultivation

Two strains of *L. muscarium* used in these trials, G-033 VIZR and G-21 VIZR, were obtained from the Collection VIZR WFCC WDCM №760 (Saint-Petersburg). Suspensions of conidia for laboratory and field tests were prepared from G-033 VIZR, which has previously proved to be a highly promising biological control agent for controlling greenhouse whitefly, aphids, and spider mites using its spores (Mitina et al., 2016). The fungus was grown on Sabouraud dextrose agar medium in Petri dishes at 26 °C and conidia were harvested after nine days. Conidia were washed out of the sporulating cultures using a 0.01% Tween 80 solution and filtered through sterile cloth filter. The concentration of conidia was counted in hemacytometer. Conidial suspension containing 5x10<sup>7</sup> spores/ml 0.01% Tween 80 were prepared for the assays from the harvested fresh stock suspension.

A crude organic extract was prepared from the biomass of strain G-21 VIZR *L. muscarium* selected for its high levels of insecticidal metabolites in mycelium with high toxicity for *Hemiptera* (Mitina, unpublished data). The fungus was cultivated in a 750 ml Erlenmeyer flasks with 100 ml of Sabouraud medium at 28 °C on a shaker at 200 rpm for 3 days. The flasks with the medium were inoculated by an aliquot of 5 × 10<sup>8</sup> conidia, which were washed from the fresh sporulating cultures with sterile water after fungal growth during 9 days on SDA medium in Petri dishes at 26 °C. The biomass was concentrated by centrifugation and an ethanol extract prepared using previously published procedures (Mitina et al., 2019b). Dried extract was stored at 4 °C and dissolved in water prior to the bioassays to obtain a 0.5% w/v concentration. The extract in that concentration showed a high insecticidal activity against sucking pests (Mitina et al., 1998) and was safe for a number of beneficials (Mitina et al., 2018).

### Laboratory tests of fungi and mites

Greenhouse whitefly, *T. vaporariorum*, was obtained from a laboratory culture maintained on tobacco plants at VIZR. Plants of the common bean *Phaseolus vulgaris* with true leaves (14 days) were artificially infested with whitefly adults and left for two days for oviposition at 25 °C and 18-h light day. Then the adults were removed and plants maintained until appearance of the second and third instar nymphs of the whitefly. Each leaf of approximately the same size (leaf area of 15–17 cm<sup>2</sup>) carrying 20–40 nymphs was cut from the bean

plants and sprayed with 1 ml of conidial suspension or extract emulsion using a manual household sprayer and allowed to air dry for 20 minutes. The leaves were placed on a sponge in open Petri dishes (9 cm in diameter) filled with water. Treatments with water or with 0.05% Tween 80 were used as controls. Four adult female mites were placed on each treated leaf and maintained at 24–25 °C. Five replicates of each treatment were prepared, and the experiment was repeated twice. The number of mite adults, eggs, and nymphs, as well as of whitefly nymphs, were counted on each leaf under a stereomicroscope at a 16-fold magnification prior to treatment and on the 2nd, 3rd, 6th and 10th day after treatment. Additional food for the predators was provided by pouring 1 cm<sup>3</sup> of feed substrate (see above) containing 120 prey mites with a measuring spoon on each bean leaf on day five.

### Greenhouse experiment on combined application of *L. muscarium* and *A. swirskii*

Combined action of *L. muscarium* conidia and *A. swirskii* and individual action of mites alone and *L. muscarium* alone were tested in commercial greenhouses, located in Leningrad region near Saint-Petersburg on rose plants (var. Peach Avalanche) cultivated using the Dutch technology with automatic control of the main parameters for hydroponic growing method with mineral wool as a substrate (<https://www.dutchgreenhouses.com/en/technology>). Four experimental plots of 10 m<sup>2</sup>, were set up, each containing 15 plants. The plots were located at the distance of 20 m and isolated from each other by two rows of untreated rose plants. Three plants in each plot were selected randomly. Conidial suspensions containing 5x10<sup>7</sup> spores/ml and 0.01% Tween 80 were applied using a manual sprayer Solo 465 (Germany) until all leaves were coated. The efficiency of applications was checked using water-sensitive paper strips, which revealed 100% of efficiency. Predatory mites were released onto selected leaves 30 min after the treatment at a ratio of 1:5 (predator to prey). All stages of whiteflies (eggs, nymphs and adults) were counted on three leaves from the lower, middle and upper levels of the plant canopy. The leaves were marked and examined for insect presence directly on the plants (without tearing) before treatment and on days 2, 3, 5, 6, and 11 after treatment. Several leaves from each level were torn off from other plants in the same plot and examined under a stereomicroscope. The air temperature through the trials ranged from 18 °C at night and 27 °C during the daytime with an average of 22.5 °C, and relative air humidity was 60%.

### Statistical analysis

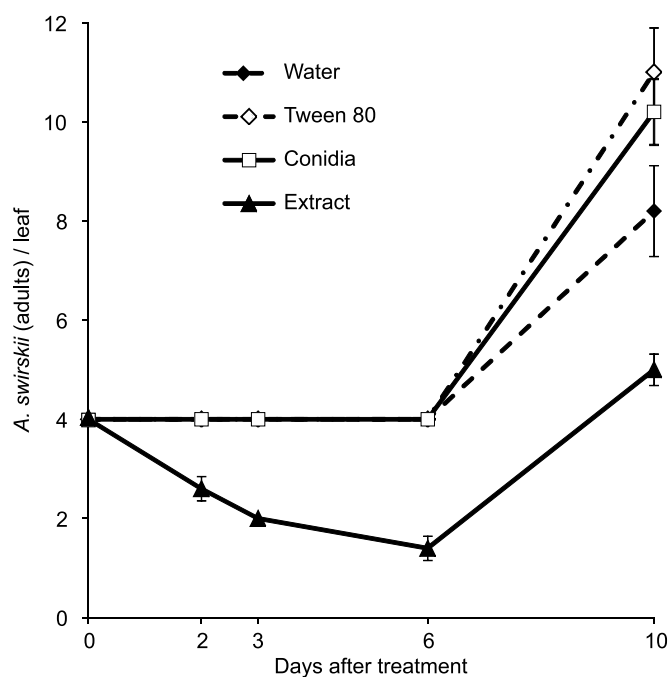
Statistics were performed using SigmaPlot version 12.5 Systat Software. The data were analyzed by one-way ANOVA, using Tukey's test to separate the means ( $\alpha=0.05$ ). Effectiveness of treatments (control-corrected mortality) was estimated with Henderson–Tilton's formula, which takes into account changes in the number of live individuals in both experimental and control variants.

## Results

### Laboratory experiments

The number of *A. swirskii* adults did not change during the first six days following their release on the bean leaves treated with *L. muscarium* conidia, as well as on the leaves

treated with water or Tween 80 (Figure 1). By the 10th day, the number of mites increased 2-, 2.75- and 2.5-fold after treatment with water, Tween 80 and fungal conidia, respectively. On the leaves treated with the mycelial extract,

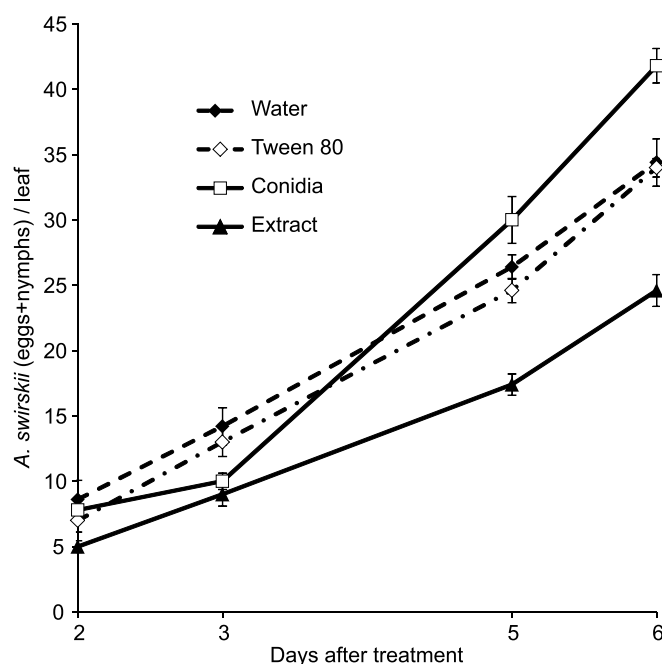


**Figure 1.** The survival of *A. swirskii* adults released onto bean leaves infested by *T. vaporariorum* nymphs and treated with *L. muscarium* conidia, mycelial extract, water, and 0.05% Tween 80

the density of mites decreased to 2.6 individuals per leaf by day two of the experiment, which was significantly lower than either of the control treatments ( $F = 9.521$ ;  $p = 0.015$ ). The highest levels of mite mortality (65%) in the mycelial extract treatment were reached by day six, and by day 10 the number of mites increased 1.25 times only.

Mite eggs were found in all treatments beginning from day two of the test, and their number increased over time. The first nymphs were observed on day five (Figure 2).

On the leaves treated with conidia and mycelial extract, the number of eggs laid by mites on day three was 23 and 36.6% lower than on leaves treated with Tween 80 (control for conidia) or water (control for extract), respectively. The differences between these treatments and their respective controls were significant ( $F = 7.230$ ;  $p = 0.028$ ). Further, by day five and six, the total number of eggs and nymphs was significantly higher on leaves treated with conidia as compared to all other



**Figure 2.** The number of eggs and nymphs of *A. swirskii* on bean leaves infested by *T. vaporariorum* nymphs after their treatment of leaves with *L. muscarium* conidia, mycelial extract, water, and 0.05% Tween 80

treatments. By day six, the total number of eggs and nymphs on leaves treated with conidia of *L. muscarium* was 18.7% higher than on leaves treated with Tween 80 only ( $F = 10.952$ ;  $p < 0.001$ ). In contrast, the number of *A. swirskii* eggs and juveniles on leaves treated with the extract were significantly lower than in all other treatments ( $F = 34.105$ ;  $p < 0.001$ ). The mites effectively reduced the number of whiteflies on bean leaves by day two in all experimental treatments (Table 1). Besides, an additional effect was found on leaves treated with the extract. By day two, the highest level of whitefly mortality (50%) was obtained on leaves treated with the extract, as opposed to an average of 27% in the control treatments. However, later in the study the mortality of whitefly in the controls increased faster and no whiteflies were found. On the contrary, several whitefly nymphs remained alive in the experimental treatments, although the difference between those treatments and the water control was significant.

**Table 1.** The number of whitefly *T. vaporariorum* per leaf and its mortality (percentage  $\pm$  SE) in each treatment and release *A. swirskii*

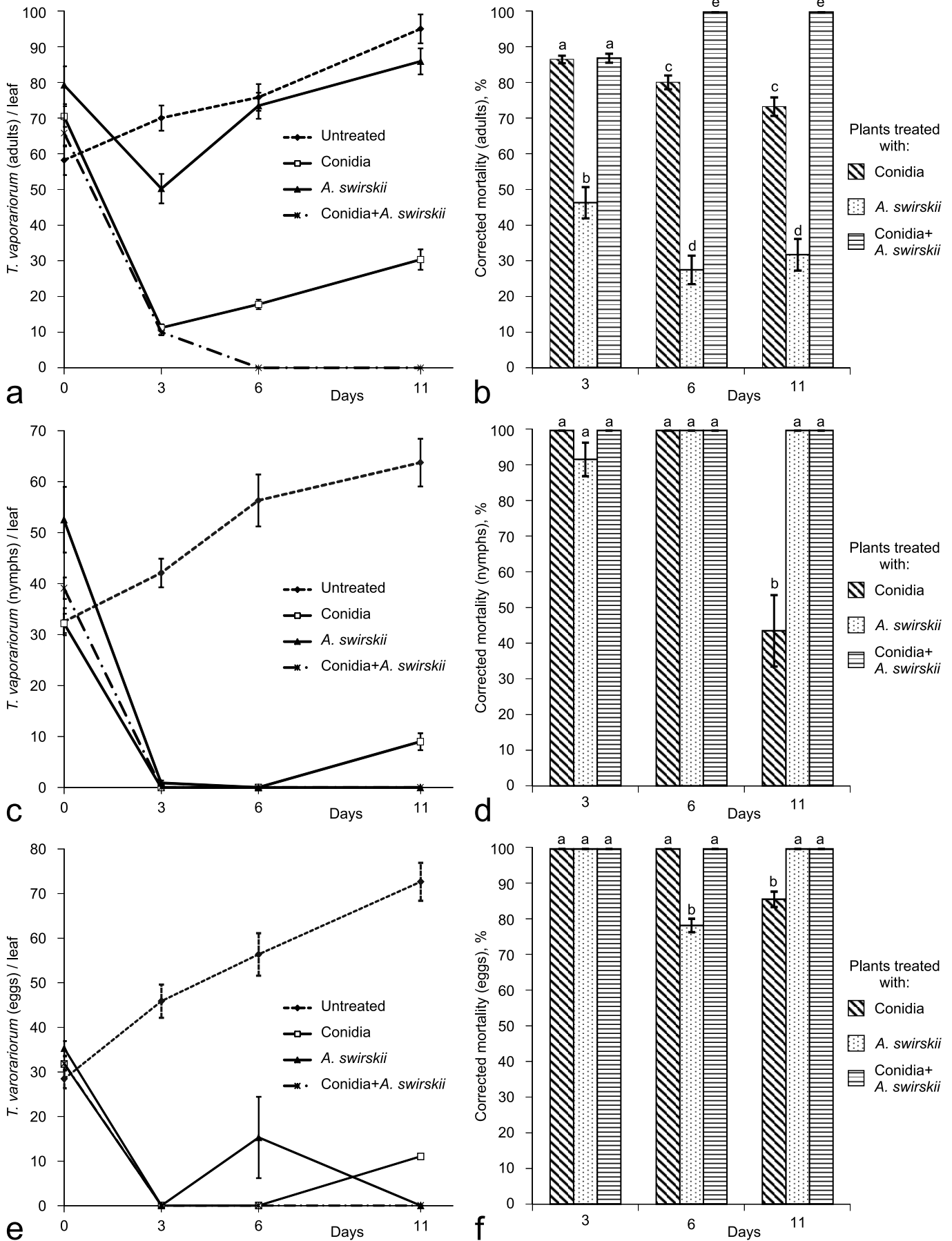
Treatment, concentration	Number of whiteflies per leaf			Mortality of whiteflies after treatment, %	
	Before treatment	2 days	3 days	2 days	3 days
Water	12.8 $\pm$ 1.20	9.2 $\pm$ 0.7	0	27.85 $\pm$ 1.87 <sup>a</sup>	100 $\pm$ 0 <sup>a</sup>
Tween 80, 0.01 %	22.0 $\pm$ 3.8	15.8 $\pm$ 3.4	0	27.26 $\pm$ 4.63 <sup>a</sup>	100 $\pm$ 0 <sup>a</sup>
Conidia, 5x10 <sup>7</sup> spores/ml	27.6 $\pm$ 4.6	19.0 $\pm$ 3.3	4.2 $\pm$ 2.6	33.42 $\pm$ 4.27 <sup>a</sup>	88.93 $\pm$ 6.81 <sup>a</sup>
Extract, 0.5 %	40.0 $\pm$ 7.9	21.2 $\pm$ 4.8	14.2 $\pm$ 3.6	50.27 $\pm$ 2.16 <sup>b</sup>	63.02 $\pm$ 2.74 <sup>b</sup>

Within each column, average values followed by the same letter are not significantly different ( $p > 0.05$ ; Tukey's HSD multiple comparison test).

**Effectiveness of the combined application of *L. muscarium* and *A. swirskii* for control *T. vaporariorum* in commercial greenhouses**

The average numbers of whitefly adults, nymphs and eggs on roses in the greenhouse before treatments was about 80, 40, and 30 individuals/leaf, respectively (Figure 3a, 3c, 3e). The

effectiveness of predatory mites and conidia of *L. muscarium* was different when applied separately and in a combined treatment against different stages of the whitefly. The mycelial extract was not used in the greenhouse test because it was shown to have a highly toxic effect on *A. swirskii* in the laboratory experiment.



**Figure 3.** Average density (number ± SE) of *T. vaporariorum* adults (a), nymphs (c), eggs (e) per leaf before and after treatment of plants with conidia of *L. muscarium*, with *A. swirskii*, and with their combination. Corrected mortality of the different stages of whitefly (percentage ± SE) (b, d, f) on day 3, 6 and 11 after treatment. Bars with the same letters were not significantly different from each other

**Whitefly adults.** By day three, the density of whitefly adults reached 50 individuals per leaf after the release of mites alone and 70 adults per leaf in the control (Figure 3a). The effectiveness (control-corrected mortality) of releasing predatory mites against whitefly adults reached only 46% (Figure 3b). The number of whitefly adults decreased to 11 individuals per leaf following the application of fungal conidia only (Figure 3a); the effectiveness was 87% on day three. The same result was obtained when mites were released onto the plants treated with conidia (Figure 3b). The differences between the effectiveness when mites were released alone and when the plants were treated with conidia were significant ( $F = 12.869$ ;  $p = 0.001$ ). By day six, the density of whitefly adults dropped to zero after combined application of conidia and mites; that level remained on day eleven, confirming the 100% adult mortality. By days six and eleven, the effectiveness of application of conidia alone was 80% and 73%, respectively. The effectiveness of releasing mites only against whitefly adults was 28% and 32% on the same days of the experiment (Figure 3b).

**Whitefly nymphs.** By day three, whitefly nymphs were absent in all treatments, except the application of mites alone (there was still 1 nymph left per leaf). In the control, the number of nymphs increased to 42 individuals per leaf by day three of the experiment (Figure 3c). The effectiveness of

mites, when conidia were applied separately and combined (mites after conidia), against whitefly nymphs was 100% by day six (Figure 3d), while the density of nymphs in the control increased. By day eleven, the nymphs were found only in the experiment with conidia alone (9 individuals per leaf), the efficiency of conidia was 86%. The density of whitefly nymphs increased up to 64 larvae per leaf in the control.

**Whitefly eggs.** Mortality of eggs was 100% in all treatments by day six, while the density of eggs in the control increased up to 46 eggs per leaf (Figure 3e, 3f). By day six, whitefly eggs remained only on the leaves where the mites were released alone (14 eggs per leaf); the efficiency of mites was 79%. The density of whitefly eggs increased up to 57 eggs per leaf in the control. The effectiveness of the combined application of predatory mites and conidia against whitefly eggs reached 100% by day eleven (Figure 3f). Whitefly eggs remained on the leaves after application of conidia alone (11 eggs per leaf); the efficiency of conidia application was 86%. The differences were significant when compared to the other treatments ( $F = 14.649$ ;  $p = 0.001$ ).

By the end of the experiment, we observed an increase in the density of whiteflies up to 95 adults, 64 nymphs and 73 eggs per leaf in the control, i.e. 1.6-, 2.0-, and 2.6-fold increase in the number of adults, nymphs and eggs, respectively.

## Discussion

Results of the laboratory experiments suggest that *A. swirskii* adults were not affected by *L. muscarium* applied to leaves at a concentration of  $5 \times 10^7$  conidia/ml. No infected mites were observed, and no mites died during the experiment. Moreover, the number of mites was 18.7% higher than on leaves treated with Tween 80 by the end of experiment. These results confirmed previous data indicating that *L. muscarium* does not infect *A. swirskii* when the latter is released onto leaves treated with the pathogen's conidia (Mitina et al., 2019a).

The influence of fungal conidia on predatory mites has been studied to a greater extent using *B. bassiana*. The fungus showed low to moderate virulence to *A. swirskii* when applied topically, with the response dependent on the concentration of conidia applied; offspring survival was not affected (Midthassel et al., 2016). Those data led to a conclusion that the two biocontrol agents are compatible. In field experiments, Jacobson et al. (2001) showed that the predatory mite *N. cucumeris* is compatible with *B. bassiana*, but their combined use did not increase the relative effectiveness of a thrips control strategy on cucumber. *Metarhizium brunneum* (Ascomycota: Hypocreales) and *Neozygites foridana* (Entomophthoromycota: Neozygitaceae) did not affect the behavior and feeding of the predator *P. persimilis*, allowing their concurrent use for control of *T. urticae* (Jacobsen et al., 2019).

Our results showed that mycelial extract of *L. muscarium* at a concentration of 0.5% had a significant toxic effect on *A. swirskii* when the mites were released onto treated leaves. High acaricidal activity of the extract was previously demonstrated against spider mite *Tetranychus urticae* (Mitina et al., 2016). The extract was not toxic to *Encarsia formosa* nymphs when topically applied to parasitized whitefly at a 0.5% rate; nor did it affect nymphs of the predatory midge *Aphidoletes*

*aphidimyza*, *P. persimilis* adults, and nymphs of the predatory bug *Orius laevigatus* (Mitina et al., 2018). The advantages of the extract from *L. muscarium* mycelium are its fast contact action and high insecticidal activity against greenhouse whitefly, various species of aphids, and spider mites (Mitina et al., 2002). Present work shows that initially the whitefly mortality was significantly higher when using the extract and mites (on day two), but later it became lower compared to the addition of mites alone. The number of mite offspring on leaves treated with the extract was significantly lower than in all other treatments. These results indicate the limited compatibility of the predatory mites *A. swirskii* and the extract from *L. muscarium* mycelium. For its use in IPM together with *A. swirskii*, further studies are needed to determine possible safe concentrations for the mite, safe release times on extract-treated leaves, and repellent and antifeeding properties for the predator.

In the commercial greenhouse trial on roses, higher efficacy against whitefly adults and eggs was obtained following the combined application of *L. muscarium* conidia and *A. swirskii* than from individual applications of each agent. A similar enhanced effect was obtained when *B. bassiana* was applied together with *P. persimilis* against *T. urticae* (Ullah, Lim, 2017), and when *Paecilomyces fumosoroseus* (= *Isaria fumosorosea*, Ascomycota: Hypocreales) and *B. bassiana* were combined with *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) against the spider mite (Numa Vergel et al., 2011). Entomopathogenic fungus *Cordyceps javanica* (Hypocreales: Cordycipitaceae) and whitefly parasitoid *Eretmocerus hayati* (Hymenoptera: Aphelinidae) also provided better control of *B. tabaci* when applied together than when applied separately (Ou et al., 2019).

In our greenhouse experiments, the efficacy of each biological agent when applied separately against whitefly

nymphs was very high, but the sequential treatment with fungal conidia followed by the release of predatory mites ensured a longer protective effect. Unlike under laboratory conditions, the predatory mites were not confined to a single leaf, and provided effective control of both whitefly eggs and nymphs on the entire plant.

For whitefly adults on rose leaves, conidia alone or in combination with mites induced significantly higher pest mortality as compared with releases of the predatory mites alone, as a result of their selective feeding on eggs and immature stages of whiteflies. Entomopathogenic fungi such

as *L. muscarium* are able to infect whitefly adults under favorable conditions, increasing the overall efficacy of combined applications of predatory mite and fungus against all life stages of the whitefly. Infective fungal propagules can also be spread by *A. swirskii* as it moves over leaves, as shown with the predatory bug *Dicyphus hesperus* (Hemiptera: Miridae) when applied against whitefly in a combination with *I. fumosorosea* (Alma et al., 2010).

Overall, the combined use of *L. muscarium* and the predatory mite *A. swirskii* appears to be a highly promising approach for the biological control of the greenhouse whitefly.

This research was supported by a grant of Russian Foundation for Basic Research (project no 20-016-00241).

We thank Ekaterina Kozlova and Vladimir Moor for their assistance throughout the experiment in the commercial greenhouses.

Igor Belousov and Yuri Tokarev (All-Russian Institute of Plant Protection) provided valuable advice on improving the earlier version of this manuscript.

## References

- Ali S, Zhang C, Wang Z, Wang XM, Wu JH, Cuthbertson AGS, Shao Z, Qiu BL (2017) Toxicological and biochemical basis of synergism between the entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* and the insecticide matrine against *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Sci Rep* 7:46558. <https://www.doi.org/10.1038/srep46558>
- Alma CR, Gillespie DR, Roitberg BD, Goettel MS (2010) Threat of infection and threat-avoidance behavior in the predator *Dicyphus hesperus* feeding on whitefly nymphs infected with an entomopathogen. *J Insect Behav* 23:90–99
- Ansari MA, Pope EC, Carpenter S, Scholte EJ (2011) Entomopathogenic fungus as a biological control for an important vector of livestock disease: the Culicoides biting midge. *PLOS One* 6:e16108
- Aqueel MA, Leather SR (2013) Virulence of *Verticillium lecanii* (Z.) against cereal aphids; does timing of infection affect the performance of parasitoids and predators? *Pest Manag Sci* 69:493–498
- Cock MJW, van Lenteren JC, Brodeur J, Barratt BIP, Bigler F, Bolckmans K, Consoli FL, Haas F, Mason PG, Parra JRP (2010) Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? *Biocontrol Sci Techn* 55:199–218
- Cuthbertson AS, Blackburn L, Northing P, Luo W, Raymond JC, Cannon KF, Walters A (2008) Further compatibility tests of the entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* with conventional insecticide products for control of sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* on poinsettia plants. *Insect Sci* 15(4):355–360. <https://www.doi.org/10.1111/j.1744-7917.2008.00221.x>
- De Faria MR, Wraight SP (2007) Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biol Control* 43(3):237–256. <http://www.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.001>
- Donka A, Sermann H, Buttner C (2008) Effect of the entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* on the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* as a non-target organism. *Commun Agric Appl Biol Sci* 73:395–404
- DutchGreenhouses. Technology. <https://www.dutchgreenhouses.com/en/technology> (16.09.2021)
- Goettel MS, Koike M, Kim JJ, Aiuchi D (2008) Potential of *Lecanicillium* spp. for management of insects, nematodes and plant diseases. *J Invertebr Pathol* 98:256–61
- Hall RA (1981) The fungus *Verticillium lecanii* as a microbial insecticide against aphids and scales. In HD Burges (Ed.), *Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970–1980*. London: Academic Press. 483–498
- Jacobsen SK, Klingen I, Eilenberg J, Markussen B, Sigsgaard L (2019) Entomopathogenic fungal conidia marginally affect the behavior of the predators *Orius majusculus* (Hemiptera: Anthracoridae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) foraging for healthy *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental Appl Acarol* 79:299–307. <https://doi.org/10.1007/s10493-019-00441-w>
- Jacobson RJ, Chandler D, Fenlon J, Russel KM (2001) Compatibility of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuilleman with *Amblyseius cucumeris* (Phytoseiidae) to control *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) on cucumber plants. *Biocontrol Sci Techn* 11:391–400
- Kanagaratnam P, Burges HD, Hall RA (1979) Integration of *Verticillium lecanii* and *Encarsia formosa* for whitefly control, The Glasshouse Crops Research Institute, Rustington Littlehampton. *Ann Rep* 133–134
- Kozlova EG, Anisimov AI, Moor VV (2018) Comparison of efficiency of different populations of predatory mite *Phytoseiulus persimilis* in conditions of production greenhouses. *Plant Protection News [Vestnik Zashchity Rasteniy]* 3(97):23–28. [http://doi.org/10.31993/2308-6459-2018-3\(97\)-23-28](http://doi.org/10.31993/2308-6459-2018-3(97)-23-28) (In Russian)
- Krasavina LP, Belyakova NA, Zueva LI, Osemezh NS, Yakovlev KI (2009) Method of breeding predatory mite *Amblyseius cucumeris* Ond. Invention patent RU 2351126.
- Labbe RM, Gillespie DR, Cloutier C, Brodeur J (2009) Compatibility of an entomopathogenic fungus with a predator and a parasitoid in the biological control of greenhouse whitefly. *Biocontrol Sci Techn* 19:429–446
- Lee H, Gillespie DR (2011) Life tables and development of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) at different temperatures. *Exp Appl Acarol* 53:17–27. <https://doi.org/10.1007/s10493-010-9385-5>
- Midthassel A, Leather SR, Wright DJ, Baxter IH (2016) Compatibility of *Amblyseius swirskii* with *Beauveria*

- bassiana*: two potentially complimentary biocontrol agents. *Biol control* 61:437–447. <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9718-3>
- Mitina GV, Sokornova SV, Pavlyushin VA (2002) Isolation and study of the spectrum of action of phospholipids with insecticidal activity from the entomopathogenic fungus *Lecanicillium lecanii*. *Mycology and phytopathology* [Mikologiya i fitopatologiya], 36(6):53–59 (In Russian).
- Mitina GV, Pavlyushin VA, Novikova II, Koniukhov VP (1998) Verticillin M, nouvelle preparation microbiologique. Protection biologique des cultures legumieres et fruiteres contre des ravageurs et maladies (entomophagas, preparations biologiques et equipements). Saint-Petersbourg: Poushkiine. 25–27.
- Mitina GV, Yuzikhin OS, Isangalin FS, Yakimov AP (2012) Isolation and study of the toxin chemical structure with insecticidal activity from the fungus *Lecanicillium muscarium*. *Scientific instrumentation* [Nauchnoye priborostroyeniye] 22(2):3–10 (In Russian).
- Mitina GV, Borisov AA, Choglokov AA, Pervushin AL, Pavlyushin VA (2016) *Lecanicillium muscarium* fungus strain having insecto-acaricidal and antibiotic activity for fighting against sucking pests, fungal and bacterial diseases. Invention patent RU 2598251 (In Russian).
- Mitina GV, Kozlova EG, Pazyuk IM (2018) Effect of biopreparation verticillin M based on the extract from entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* and its insecticidal metabolites on the entomophages in greenhouses. *Plant Protection News* [Vestnik zashchity rasteniy] 2(96):28–35. [http://www.doi.org/10.31993/2308-6459-2018-2\(96\)-28-35](http://www.doi.org/10.31993/2308-6459-2018-2(96)-28-35) (In Russian).
- Mitina GV, Krasavina LP, Trapeznikova OV (2019a) Effect of the entomopathogenic fungi *Lecanicillium muscarium* and its mycelial extract on the predatory mite *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot and its feed mites *Carpoglyphus lactis* L. *Plant Protection News* [Vestnik zashchity rasteniy] 1(99):18–24. [http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-1\(99\)-18-24](http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-1(99)-18-24) (In Russian).
- Mitina GV, Stepanycheva EA, Petrova MO (2019b) The effects of volatile compounds mycelium and extracts of the entomopathogenic fungal on the behavioral response and the viability of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Parasitology* [Parazitologiya] 5(3):230–240. <http://doi.org/10.1134/S0031184719030050> (In Russian).
- Momen F, Abdelkhalder M (2010) Fungi as food source for the generalist predator *Neoseiulus barkeri* (Hughes) (Acari: Phytoseiidae). *Acta Phytopathol Hun* 45(2):401–409. <http://www.doi.org/10.1556/APhyt.45.2010.2.18>
- Messelink GJ, van Steenpaal SEF, Ramakers PMJ (2006) Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *Biol control* 51:753–768
- Nomikou M, Janssen A, Schraag R, Sabelis MW (2001) Phytoseiid predators as potential biological control agents for *Bemisia tabaci*. *Exp Appl Acarol* 25:271–291. <https://doi.org/10.1023/A:1017976725685>
- Nomikou M, Janssen A, Schraag R, Sabelis MW (2002) Phytoseiid predators suppress populations of *Bemisia tabaci* on cucumber plants with alternative food. *Exp Appl Acarol* 27:57–68.
- Numa Vergel SJ, Bustos RA, Rodriguez CD, Cantor RF (2011) Laboratory and greenhouse evaluation of the entomopathogenic fungi and garlic-pepper extract on the predatory mites, *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus* and their effect on the spider mite *Tetranychus urtica*. *Biol control* 57:143–149.
- Ou D, Ren L-M, Liu Y, Ali S, Wang X-M, Ahmed M Z, Qiu B-L (2019) Compatibility and efficacy of the parasitoid *Eretmocerus hayati* and the entomopathogenic fungus *Cordyceps javanica* for biological control of whitefly *Bemisia tabaci*. *Insects* 10(12):425. <https://doi.org/10.3390/insects10120425>
- Ren SX, Ali S, Huang Z, Wu JH (2010) *Lecanicillium muscarium* as microbial insecticide against whitefly and its interaction with other natural enemies. In A. Méndez-Vilas (Ed.), *Current Research. Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology* 339–348
- Roy HE, Pell JK (2000) Interactions between entomopathogenic fungi and other natural enemies: implications for biological control. *Biocontrol Sci Techn* 10:737–752. <https://doi.org/10.1080/09583150020011708>
- Ryo T, Yositaka S, Katsuo T (2012) Development and oviposition of *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot fed on cucumber powdery mildew *Sphaerotheca cucurbitae* (Jaczewski) Zhao or sooty mold *Capnodium* sp. *Kyushu Plant Protection Research* 58:53–58. <http://www.doi.org/10.4241/kyubyochu.58.53>
- Seiedy M, Saboori A, Allahyari H (2012) Interactions of two natural enemies of *Tetranychus urticae*, the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* and the predatory mite, *Phytoseiulus persimilis*. *Biocontrol Sci Techn* 22:873–882.
- Swirski E, Amitai S, Dorzia N (1967) Laboratory studies on the feeding, development and oviposition of the predaceous mites *Amblyseius rubini* Swirski and Amitai and *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on various kinds of food substances. *J Agric Crop Res* 17:101–119
- Ullah MS, Lim UT (2017) Synergism of *Beauveria bassiana* and *Phytoseiulus persimilis* in control of *Tetranychus urticae* on bean plants. *Syst Appl Acarol-Uk* 22(11):1924–1935. <http://www.doi.org/10.11158/saa.22.11.11>
- Wang L, Huang J, You M, Guan X, Liu B (2007) Toxicity and feeding deterrence of crude toxin extracts of *Lecanicillium (Verticillium) lecanii* (Hyphomycetes) against sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Pest Manag Sci* 63(4):381–387. <http://www.doi.org/10.1002/ps.1359>
- Wu S, Zhang Y, Xu X, Lei Z (2016) Insight into the feeding behavior of predatory mites on *Beauveria bassiana*, an arthropod pathogen. *Sci Rep* 24062(6). <http://www.doi.org/10.1038/srep24062>
- Zemek R, Prenerov E (1997) Powdery mildew (Ascomycotina: Erysiphales) – an alternative food for the predatory mite *Typhlodromus pyri* Scheuten (Acari: Phytoseiidae). *Exp Appl Acarol* 21(6–7):405–414. <http://www.doi.org/10.1023/A:1018427812075>



СОВМЕСТИМОСТЬ ГРИБА *LECANICILLIUM MUSCARIUM* И ХИЩНОГО КЛЕЩА  
*AMBLYSEIUS SWIRSKII* ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ  
ПРОТИВ ТЕПЛИЧНОЙ БЕЛОКРЫЛКИ *TRIALEURODES VAPORARIORUM*

Г.В. Митина, Л.П. Красавина, О.В. Трапезникова

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

\* ответственный за переписку, e-mail: [galmit@rambler.ru](mailto:galmit@rambler.ru)

В работе изучено влияние гриба *Lecanicillium muscarium* (Ascomycota: Нурочреалес) и органического экстракта из его мицелия на оранжерейную белокрылку *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) и на хищного клеща *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). Клещи контактировали с грибными спорами или органическим экстрактом, полученным из мицелия *L. muscarium*. При посадке клещей *A. swirskii* на листья фасоли, заселенные личинками *T. vaporariorum* и обработанные суспензией конидий в концентрации  $5 \times 10^7$  спор/мл, не было обнаружено негативного влияния на имаго клеща; на 6-е сутки количество отложенных яиц и личинок клеща было на 18.7% выше по сравнению с контролем. Напротив, обработка листьев 0.5%-ным спиртовым экстрактом, полученным из мицелия *L. muscarium*, вызывала 35% смертности имаго клеща на 2-е сутки. В условиях производственных теплиц обработка конидиями *L. muscarium* с последующим выпуском хищного клеща *A. swirskii* против оранжерейной белокрылки на розах была более эффективна, чем раздельное применение этих биологических агентов.

**Ключевые слова:** энтомопатогенные грибы, хищные клещи, агенты биометода, побочный эффект, полезные членистоногие

Поступила в редакцию: 02.06.2021

Принята к печати: 31.08.2021



**ПАМЯТИ ЛЮДМИЛЫ ИВАНОВНЫ ТРЕПАШКО**

## IN MEMORY OF LYUDMILA I. TREPASHKO



**15 сентября 2021 года ушла из жизни Людмила Ивановна Трепашко – видный учёный-энтомолог, доктор наук, профессор, заведующая лабораторией энтомологии РУП «Институт защиты растений» НАН Беларуси.**

Людмила Ивановна родилась 4 февраля 1946 г. в д. Капустино Воложинского р-на Минской области. В 1972 г. она закончила Ленинградский сельскохозяйственный институт по специальности «Ученый агроном по защите растений». В 1973-1978 гг. занималась исследованиями по биологическому обоснованию системы защиты семенных посевов многолетних злаковых трав на мелиорированных почвах Белорусского Полесья, результаты которых легли в основу её кандидатской диссертации. С 1978 г. Л.И. Трепашко работала над усовершенствованием интегрированных систем защиты сельскохозяйственных культур от вредителей. С этой целью ею были усовершенствованы и адаптированы методы мониторинга энтомоценозов зерновых колосовых культур, обобщен большой экологический материал, выявлены биологические, эдафические и антропогенные факторы, влияющие на динамику численности популяций доминантных видов фитофагов. На основании полученного материала подготовлены система краткосрочного и многолетнего прогнозирования развития растений, численности и вредоносности фитофагов, логические и математические модели многолетнего прогноза изменения фитосанитарной ситуации агроценозов под воздействием антропогенных факторов. В 1980 году защитила кандидатскую диссертацию («Энтомология»), а в 1999 – докторскую («Защита растений»).

Людмилой Ивановной разработана концепция и раскрыта теоретическая сущность системы управления энтомоценозом, подготовлены методы экономической, энергетической эффективности и экологической безопасности технологий по защите растений от вредных организмов.

Созданы логические и математические модели, база данных по эколого-экономическим порогам целесообразности применения инсектицидов, методическое обеспечение по мониторингу злаковых щелкунов и западного кукурузного жука с помощью феромонов, синтезированных в Беларуси. Под ее руководством выполнялись совместные фундаментальные исследования с Калифорнийским университетом в Дэйвисе, институтом кукурузы Сербии и Черногории, Литовским институтом земледелия, с Польским институтом биологии и охраны окружающей среды. Также следует отметить ее плодотворное сотрудничество с Всероссийским институтом защиты растений и существенный вклад в изучение новых очагов размножения кукурузного мотылька.

Л.И. Трепашко активно осуществляла подготовку научных кадров по актуальным проблемам защиты растений, создана научная школа энтомологов. Под ее руководством было защищено 7 кандидатских диссертаций. Людмила Ивановна была председателем Совета по защите диссертаций К 01.53.01 по специальности 06.01.07, и членом Совета по защите диссертаций Д01.34.01 при Институте Микробиологии. Не менее важной была её работа в качестве вице-председателя энтомологического общества Беларуси, члена Совета ВПРС МОББ, члена экспертного совета Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в области аграрных наук, главного редактора «Сборника научных трудов: Защита растений» и члена редакционной коллегии журналов «Земляробства и ахова Раслін» и «Агрофорум». За свои научные успехи Людмила Ивановна была отмечена многочисленными

грамотами Министерства сельского хозяйства и продовольствия РБ, Национальной академии наук РБ и Высшей аттестационной комиссии РБ.

Как отмечают её коллеги, Трепашко Л.И. пользовалась заслуженным авторитетом и признанием среди ученых как в Беларуси, так и за ее пределами. Имея большой опыт

работы на руководящей должности, Людмила Ивановна всегда корректно и внимательно относилась к своим подчиненным, обладала высокой энергией мысли и действий.

Светлая память о Людмиле Ивановне Трепашко – блестящем ученом и прекрасном человеке, навсегда сохранится в сердцах её коллег и близких.

### Избранные труды Трепашко Л.И.

Selected papers by Trepashko L.I.

- Митрофанов ВИ, Трепашко ЛИ (1976) клещи, вызывающие белоколосость злаков в Белоруссии. *Зоологический журнал* 55(5):771
- Трепашко ЛИ, Александрович ОР (1981) Роль важнейших семейств жуков (Insecta, Coleoptera) в энтомоценозе семенников многолетних злаковых трав на торфяно-болотных почвах белорусского полесья. *Защита растений* 6:63
- Трепашко ЛИ, Сорока СВ, Пуренок МВ (2003) Проволочники — опасные вредители сельскохозяйственных культур. *Земляробства і ахова раслін* 4:28
- Trepashko L (2008) Change of entomocomplexes structure in agrocenosis of grain crops in Belarus. *Zemdirbyste* 95(3):209–214
- Трепашко ЛИ (2008) Экономическая эффективность и экологическая безопасность интегрированной защиты зерновых культур. *Защита и карантин растений* 8:35–37
- Трепашко ЛИ, Надточаева СВ, Майсеенко АВ (2010) Стеблевой мотылек (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) –новый вредитель кукурузы в Беларуси. *Белорусское сельское хозяйство* 11:24
- Трепашко ЛИ, Голунов ИА, Надточаева СВ (2010) Западный кукурузный жук обнаружен в Беларуси. *Защита и карантин растений* 2:42
- Трепашко Л, Надточаева С, Голунов И, Исааков В (2011) Синтетические феромоны для мониторинга западного кукурузного жука. *Наука и инновации* 3(97):17–19
- Trepashko L, Pyuk O (2012) Pheromone monitoring of click beetles as a basis of elaters harmfulness forecast and sustainable insecticide application. *Progress in Plant Protection* 52:859
- Трепашко ЛИ, Ильюк ОВ, Пуренок МВ, Головач ВВ (2013) Распространение, динамика численности и вредоносность жуков сем. Elateridae в Беларуси. *Защита растений* 37:216–227
- Трепашко ЛИ, Быковская АВ (2015) Целесообразность защиты кукурузы от стеблевого кукурузного мотылька в Беларуси. *Защита и карантин растений* 7:38–41
- Трепашко ЛИ, Ильюк ОВ (2013) Использование феромониторинга жуков-щелкунов в защите полевых культур. *Защита и карантин растений* 10:16–18
- Трепашко ЛИ, Надточаева СВ, Ильюк ОВ, Немкевич МГ, Быковская АВ, Головач ВВ (2016) Использование биопрепаратов в защите сельскохозяйственных культур от вредных объектов. *Защита растений* 40:278–286
- Фролов АН, Берим МН, Грушевая ИВ, Малыш ЮМ, Рябчинская ТА, Трепашко ЛИ, Быковская АВ (2016) Диапауза у *Ostrinia nubilalis* Hbn. из северного очага размножения на кукурузе в условиях длинного дня. *Вестник защиты растений* 4(90):89–91
- Грушевая ИВ, Игнатьева АН, Малыш ЮМ, Трепашко ЛИ, Токарев ЮС, Фролов АН (2017) Генетический полиморфизм природных изолятов *Nosema pyrausta* (Microsporidia: Nosematidae). *Экологическая генетика* 15(1):38–43
- Жуковская МИ, Селицкая ОГ, Щеникова АВ, Грушевая ИВ, Малыш ЮМ, Берим МН, Фролов АН, Трепашко ЛИ (2017) Межпопуляционная изменчивость ответов самцов кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* hbn. (Lepidoptera: Crambidae) на феромонные композиции: анализ электроантеннограмм. *Журнал эволюционной биохимии и физиологии* 53(4):308–310
- Трепашко ЛИ, Быковская АВ, Ильюк ОВ, Немкевич МГ (2017) Вредители кукурузы и мероприятия по их ограничению в Беларуси. *Земледелие и защита растений* 2:23
- Трепашко ЛИ, Бойко СВ (2018) Защита тритикале озимого от доминантных видов насекомых с учетом комплексных экономических порогов вредоносности. *Защита растений* 42:259–273
- Трепашко ЛИ, Козич ИА, Василевская ЛП (2018) Экономическое обоснование применения препаратов разного направленного действия для защиты ячменя ярового от вредителей. *Защита растений* 42:274–286
- Жуковская МИ, Селицкая ОГ, Щеникова АВ, Берим МН, Грушевая ИВ, Трепашко ЛИ, Фролов АН (2018) Северные популяции кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis*: анализ электрических ответов антенны к феромонным смесям рас и межрасовых гибридов. *Журнал эволюционной биохимии и физиологии* 54(5):362–365
- Трепашко Л, Быковская А (2018) Вредители кукурузы: прогноз и защита посевов. *Белорусское сельское хозяйство* 2:29
- Трепашко ЛИ, Быковская АВ, Ильюк ОВ (2019) Экономическое обоснование применения препаратов инсектицидного действия против доминантных вредителей кукурузы. *Защита растений* 43:276–284
- Трепашко ЛИ, Бойко СВ, Козич ИА (2019) Экономическое обоснование применения пестицидов на посевах зерновых культур в Беларуси. *Защита и карантин растений* 8:23–28
- Трепашко ЛИ, Быковская АВ (2019) Формирование структуры доминирования вредителей кукурузы, возделываемой в разных агроклиматических зонах Беларуси. *Агро-Форум* 5:64–67
- Трепашко ЛИ (2021) Об инвазии западного кукурузного жука (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte) на территорию Беларуси. *Защита и карантин растений* 4:35–38
- Трепашко ЛИ, Бойко СВ, Василевская ЛП (2021) Формирование ассортимента инсектицидов для защиты семян и посевов зерновых колосовых культур в Беларуси. *Защита и карантин растений* 9:16–21

## НОВЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ»

### NEW MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL «PLANT PROTECTION NEWS»

В 2021 году в состав редакционной коллегии «Вестника защиты растений» вошли новые члены, благодаря чему расширены географический охват и круг научных компетенций редколлегии. Представляем двух новых членов: учёных, работающих на мировом уровне в различных областях биологии, касающихся проблем, освещаемых журналом.

#### Дмитрий Мавроди

Профессор, Университет Южного Миссисипи, США. Специалист в области геномного анализа, дифференциальной экспрессии генов и регуляции микробно-растительных взаимодействий, с особым вниманием к бактериям, стимулирующим рост и развитие растений.

Публикаций в SCOPUS: 88

Цитирований в SCOPUS: 4915

H-индекс в SCOPUS: 34

#### Список последних публикаций

- Hendry S, Steinke S, Wittstein K, Stadler M, Harmrolfs K, Adewunmi Y, Sahukhal G, Elasmri M, Thomashow L, Weller D, Mavrodi O, Blankenfeldt W, **Mavrodi D** (2021) Functional Analysis of Phenazine Biosynthesis Genes in *Burkholderia* spp. *Appl Environ Microbiol* 87(11):1–18. <https://doi.org/10.1128/AEM.02348-20>
- Mavrodi OV, McWilliams JR, Peter JO, Berim A, Hassan KA, Elbourne LDH, LeTourneau MK, Gang DR, Paulsen IT, Weller DM, Thomashow LS, Flynt AS, **Mavrodi DV** (2021) Root Exudates Alter the Expression of Diverse Metabolic, Transport, Regulatory, and Stress Response Genes in Rhizosphere *Pseudomonas*. *Front Microbiol* 12:651282. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2021.651282>
- Bhattacharyya A, Pablo CHD, Mavrodi OV, Weller DM, Thomashow LS, **Mavrodi DV** (2021) Rhizosphere plant-microbe interactions under water stress *Adv Appl Microbiol* 115:65–113. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2021.03.001>
- Hovorukha V, Bhattacharyya A, Iungin O, Tashyreva H, Romanovska V, Havryliuk O, Bielikova O, Blackwell C, Burks B, Cothorn C, Elliott J, Hoover J, Jones A, Leise C, Lowmiller L, Mohamed A, Mullen T, Nettleton E, Polk K, Tran B, Tran T, Vega M, Ware L, Welch E, Williams L, Woodard M, Young K, Mavrodi O, Tashyrev O, **Mavrodi D** (2020) Draft genome sequences of six strains isolated from the rhizosphere of wheat grown in cadmium-contaminated soil. *Microbiol Resour Announc* 9(34):e00676-20. <https://doi.org/10.1128/MRA.00676-20>
- Mavrodi OV, **Mavrodi DV**, Stafne ET, Adamczyk JJ, Babiker EM (2020) Draft Genome Sequences of *Xylella fastidiosa* subsp. *fastidiosa* Strains OK3, VB11, and NOB1, Isolated from Bunch and Muscadine Grapes Grown in Southern Mississippi. *Microbiol Resour Announc* 9(25):e00562-20. <https://doi.org/10.1128/MRA.00562-20>
- Zhang J, **Mavrodi DV**, Yang M, Thomashow LS et al (2020) *Pseudomonas synxantha* 2-79 transformed with pyrrolnitrin biosynthesis genes has improved biocontrol activity against soilborne pathogens of wheat and canola. *Phytopathology* 110(5):1010–1017. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-19-0367-R>
- Li J, Mavrodi OV, Hou J, Blackmon C, Babiker EM, **Mavrodi DV** (2020) Comparative Analysis of Rhizosphere Microbiomes of Southern Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.), Darrow's Blueberry (*V. darrowii* Camp), and Rabbiteye Blueberry (*V. virgatum* Aiton). *Front Microbiol* 11:370. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00370>
- Adewunmi Y, Namjilsuren S, Walker WD, Amato DN, Amato DV, Mavrodi OV, Patton DL, **Mavrodi DV** (2020) Antimicrobial activity of, and cellular pathways targeted by, p-anisaldehyde and epigallocatechin gallate in the opportunistic human pathogen *Pseudomonas aeruginosa*. *Appl Environ Microbiol* 86(4):e02482. <https://doi.org/10.1128/AEM.02482-19>
- Li J, **Mavrodi DV**, Dong Y (2020) Effect of rock dust-amended compost on the soil properties, soil microbial activity, and fruit production in an apple orchard from the Jiangsu province of China. *Arch Agron Soil Sci* 2020. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1795136>
- Yang M, **Mavrodi DV**, Mavrodi OV, Thomashow LS, Weller DM (2020) Exploring the Pathogenicity of *Pseudomonas brassicacearum* Q8r1-96 and Other Strains of the *Pseudomonas fluorescens* Complex on Tomato. *Plant Dis* 104(4):1026–1031. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-1989-RE>

#### Юлия Соколова

Д.б.н., Университет штата Луизиана, США. Специалист в области микробиологии, протистологии и патологии насекомых с особым вниманием к микроспоридиям – возбудителям заболеваний вредных и полезных членистоногих

Публикаций в SCOPUS: 73

Цитирований в SCOPUS: 810

H-индекс в SCOPUS: 16

#### Список последних публикаций

- Sokolova YY**, Overstreet RM, Heard RW, Isakova NP (2021) Two new species of *Unikaryon* (Microsporidia) hyperparasitic in microphallid metacercariae (Digenea) from

- Florida intertidal crabs. *J Invertebr Pathol* 182:107582. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2021.107582>
- Ehrenbolger K, Jespersen N, Sharma H, **Sokolova YY**, Tokarev YS, Vossbrinck CR, Barandun J (2020) Differences in structure and hibernation mechanism highlight diversification of the microsporidian ribosome. *PLoS Biology* 18(10):e3000958. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000958>
- Weidner E, **Sokolova YY**, Overstreet RM (2020) Microsporidia Can Acquire Lamin-like Intermediate Filaments and Cell Adhesion Catenin-cadherin Complexes from the Host (?) *J Eukaryot Microbiol* 67(5):583–592. <https://doi.org/10.1111/jeu.12811>
- Sokolova YY**, Overstreet RM (2020) Hyperparasitic spore-forming eukaryotes (Microsporidia, haplosporidia, and myxozoa) parasitizing trematodes (platyhelminthes). *Invertebr Zool* 17(2):93–117. <https://doi.org/10.15298/invertzool.17.2.01>
- Sokolova YY**, Weidner E, DiMario PJ (2020) Development of *Anncaliia algerae* (Microsporidia) in *Drosophila melanogaster*. *J Eukaryot Microbiol* 67(1):125–131. <https://doi.org/10.1111/jeu.12762>
- Sokolova YY**, Bowers LC, Alvarez X, Didier ES (2019) Encephalitozoon cuniculi and Vittaforma corneae (Phylum Microsporidia) inhibit staurosporine-induced apoptosis in human THP-1 macrophages in vitro. *Parasitology* 146(5):569–579. <https://doi.org/10.1017/S0031182018001968>
- Tokarev YS, Zinatullina ZY, Ignatieva AN, Zhigileva ON, Malysh JM, **Sokolova YY** (2018) Detection of two Microsporidia pathogens of the European honey bee *Apis Mellifera* (Insecta: Apidae) in Western Siberia. *Acta Parasitol* 63(4):728–732. <https://doi.org/10.1515/ap-2018-0086>
- Crossland NA, DiGeronimo PM, **Sokolova YY**, Childress AL, Wellehan Jr JFX, Nevarez J, Paulsen D (2018) Pneumonia in a Captive Central Bearded Dragon With Concurrent Detection of Helodermatid Adenovirus 2 and a Novel Mycoplasma Species. *Vet Pathol* 55(6):900–904. <https://doi.org/10.1177/0300985818780451>
- Sokolova YY**, Overstreet RM (2018) A new microsporidium, *Apotasporea heleios* n. g., n. sp., from the Riverine grass shrimp *Palaemonetes paludosus* (Decapoda: Caridea: Palaemonidae). *J Invertebr Pathol* 157:125–135. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.05.007>
- Crossland N, Hawke J, Del Piero F, **Sokolova YY**, Waltzek T, Viadanna P (2018) Investigation of a Cyprinid Herpesvirus 1 Disease Episode in a Group of Pond-Reared Koi. *J Aquat Anim Health* 30(3):185–190. <https://doi.org/10.1002/aah.10022>

## УСЛОВИЯ ДОСТУПА И АВТОРСКИЕ ПРАВА НА МАТЕРИАЛЫ, ПУБЛИКУЕМЫЕ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ»

### OPEN ACCESS AND COPYRIGHT FOR THE MATERIALS PUBLISHED IN “PLANT PROTECTION NEWS”

Начиная с 2021 года, журнал «Вестник защиты растений» перешёл на новый формат взаимоотношений с авторами научного контента в области авторских прав, в соответствии с рекомендациями объединений, занимающихся продвижением концепции открытого доступа. Журналом принята модель “Libre Open Access”, при этом права на рукопись остаются за авторами, а издатель «Вестника защиты растений», Всероссийский институт защиты растений, получает право публикации материала на условиях Creative Commons Attribution License 4.0.

Открытый доступ\* - совокупность принципов и практик, обеспечивающих бесплатный онлайн доступ к научному контенту на постоянной основе для всех, желающих ознакомиться с ним. Открытый доступ имеет две основные версии: **Gratis** («бесплатный») и **Libre** («свободный»). Открытый доступ **Gratis** делает доступным материал для читателей без необходимости платить за него. Однако, он не даёт права пользователю копировать, распространять или модифицировать работу каким-либо способом. Открытый доступ формата **Libre** имеет те же разрешения, что и **gratis**, но даёт пользователям дополнительные права, обычно с помощью лицензии Creative Commons (см. далее), разрешая свободное использование и смешивание материалов.

Помимо разграничения **gratis/libre**, касающегося прав пользователей, есть также различия в способе обнародования объекта открытого доступа – **Green** («зеленый») и **Gold** («золотой»). «Зеленый» открытый доступ подразумевает архивирование материалов силами авторов, путем размещения статей на собственном вебсайте, репозитории организации или в общественном архиве. В случае «Золотого» открытого доступа речь идет о публикации статей в журнале открытого доступа, то есть журнал обеспечивает размещение и распространение контента в бесплатно и открыто. «Золотой» открытый доступ может требовать оплаты со стороны автора (организации) для покрытия расходов на публикацию, однако лишь около одной трети журналов открытого доступа взимают соответствующую плату. В настоящее время, большинство журналов с «Золотым» открытым доступом издаются в формате **Gratis** (можно читать бесплатно), в противоположность формату **Libre** (можно читать, копировать, распространять и т.п. бесплатно).

Creative Commons\*\* – это международная некоммерческая организация, миссия которой заключается в преодолении юридических препятствий на пути распространения знаний и творчества для решения современных вызовов, стоящим перед мировым сообществом. Лицензии и правовые инструменты Creative Commons направлены на восстановление баланса в сфере авторского права, оставаясь при этом в рамках системы современного законодательства, которая также известна по традиционной фразе «все права сохранены» (all rights reserved). Эти инструменты дают каждому — от творческого человека, отдельного автора до огромной компании или учрежде-

ния — простой, стандартизированный способ управлять своими авторскими правами и давать разрешения на тот или иной способ использования своего творческого произведения. Это многочисленное и растущее цифровое сообщество, всю совокупность контента которого можно легально копировать, распространять, редактировать, смешивать и брать за основу для создания нового. Все лицензии Creative Commons имеют много общих черт. Каждая из них позволяет использующим эти инструменты создателям (лицензиарам) сохранять авторские права, в то же время позволяя другим копировать, распространять и использовать свои произведения, по крайней мере некоммерчески. Каждая лицензия Creative Commons также гарантирует лицензиарам указание авторства произведений. Лицензии Creative Commons работают во всём мире и делятся так долго, как длится авторское право. Эти общие черты являются базовыми, сверх того лицензиары могут предоставить дополнительные разрешения.

Лицензиар Creative Commons отвечает на несколько простых вопросов на пути выбора лицензии – разрешить ли коммерческое использование, разрешить ли производные произведения? Если лицензиар решает разрешить производные произведения, он может также решить требовать, чтобы лицензиаты (все, кто использует данное произведение) делали такое новое произведение доступным на таких же условиях лицензии в соответствии с идеей «ShareAlike» («распространение на тех же условиях»), создание которой вдохновлено лицензией GNU General Public License, используемой многими проектами свободного и открытого программного обеспечения.

Лицензии Creative Commons не затрагивают свободы, которые предоставляются по закону пользователям творческих произведений за пределами защиты авторского права. Они требуют от лицензиатов получать разрешения для того, чтобы делать любые вещи с произведением, которые законодательство сохраняет исключительно за лицензиаром и которые лицензия явно не разрешает. Лицензиаты должны указывать авторство лицензиара, сохранять уведомления об авторских правах нетронутыми на всех копиях произведения и давать ссылку на лицензию на копиях произведения. Лицензиаты не могут использовать технологические меры для ограничения доступа к произведению других людей.

Публичные лицензии по авторскому праву включают уникальный и инновационный «трёхслойный» дизайн. Каждая лицензия начинается как традиционный правовой

\* <https://opensource.com/resources/what-open-access>

\*\* <https://creativecommons.org/licenses/?lang=ru>

инструмент на том языке и в том текстовом формате, которые знают большинство юристов - слой «Legal Code» («юридический текст»). Но поскольку большинство авторов, педагогов и учёных в действительности не являются юристами, лицензии также доступны в формате, который могут читать обычные люди — «Краткое описание» (Commons Deed). Это – удобный справочник для лицензиаров и лицензиатов, обобщающий и выражающий некоторые из самых важных условий и положений. «Краткое описание» следует воспринимать как дружелюбный к пользователю интерфейс, стоящий за юридическим текстом, хотя «Краткое описание» само по себе не служит лицензией и его содержание не представляет

собой часть собственно юридического текста. Последний слой лицензии создан для распознавания программами, от поисковых систем до офисных приложений, которые в настоящее время играют огромную роль в создании, копировании, изучении и распространении произведений. Чтобы сделать проще для распознавания Интернетом произведений, доступных по лицензии Creative Commons, в последней предоставлена версия «machine readable» («читаемая машиной») – краткое изложение ключевых свобод и обязательств, написанных в формате, который могут понимать системы ПО, поисковые системы и другие виды технологий.

### Виды лицензий



#### «Attribution» («Атрибуция»)

CC BY

Эта лицензия позволяет другим распространять, смешивать, адаптировать, и производить на основе данной работы новые труды, даже для коммерческого использования, при условии указания автора оригинального произведения. Это – наиболее удобная лицензия из предложенных, рекомендуется для максимального распространения и использования лицензионных материалов.



#### «Attribution-ShareAlike» («Атрибуция-СохранениеУсловий»)

CC BY-SA

Эта лицензия позволяет другим распространять, смешивать, адаптировать, и производить на основе данной работы новые труды, даже для коммерческого использования, при условии указания автора оригинального произведения и использования для новых трудов лицензии того же типа. Данный тип лицензии используется такими ресурсами, как Wikipedia, и рекомендуется для материалов, для которых полезно включение контента из Википедии и подобных проектов.



#### «Attribution-NoDerivs» («Атрибуция-БезПроизводных»)

CC BY-ND

Эта лицензия позволяет другим использовать работу для любых целей, в том числе коммерческих, при условии указания автора оригинального произведения; но при этом не разрешено распространение материала в измененной (адаптированной) форме.



#### «Attribution-NonCommercial» («Атрибуция-Некоммерчески»)

CC BY-NC

Эта лицензия позволяет другим смешивать, адаптировать, и производить на основе данной работы новые труды для некоммерческого использования, при этом указание автора оригинального произведения обязательно, а использование для новых трудов лицензии того же типа не требуется.



#### «Attribution-NonCommercial-ShareAlike»

(«Атрибуция-Некоммерчески-СохранениеУсловий»)

CC BY-NC-SA

Эта лицензия позволяет другим распространять, смешивать, адаптировать, и производить на основе данной работы новые труды для некоммерческого использования, при условии указания автора оригинального произведения и использования для новых трудов лицензии того же типа.



#### «Attribution-NonCommercial-NoDerivs» («Атрибуция-Некоммерчески-БезПроизводных»)

CC BY-NC-ND

Эта лицензия — самая запретительная из шести главных лицензий, разрешающая другим только скачивать произведения и делиться ими с другими, при условии указания автора оригинального произведения, без возможности изменения и коммерческого использования.

Помимо возможности распространения полнотекстовых версий научных работ путем предоставления открытого доступа, существуют и другие подходы, направленные на расширение доступности научных знаний. К ним, в частности, относятся инициативы I4OA и I4OC, также поддерживаемые журналом «Вестник защиты растений».

Инициатива открытых аннотаций (Initiative for open abstracts, I4OA\* – коллаборация научных издателей, инфраструктурных организаций, библиотекарей, исследователей и других заинтересованных сторон, чьи усилия направлены на поощрение неограниченной доступности аннотаций научных публикаций, издаваемых во всем мире, в особенности журнальных статей и глав книг, в надежных репозиториях, где они остаются открытыми и доступными для машинной обработки. I4OA призывает всех научных издателей открыть доступ к аннотациям, и по возможности депонировать их в Crossref – официальном агентстве регистрации цифровых идентификаторов объекта (Digital Object Identifier, DOI).

Аннотации обобщают содержимое научных публикаций, и их широкая доступность служит своего рода рекламой, способствуя обнаружению и привлекая внимание читателей к полнотекстовому контенту. Соответственно, открытый доступ аннотаций помогает издателям максимизировать заметность и значимость журналов и книг, облегчает ученым поиск, ознакомление и последующее цитирование этих работ, способствует их включению в систематические обзоры, расширяет возможности

\* <https://i4oa.org/>

и упрощает использование анализа текста и алгоритмов искусственного интеллекта в библиометрических исследованиях, что способствует научному развитию во всех дисциплинах, в том числе с участием исследователей, не имеющих доступа к коммерческим библиографическим службам, требующим подписки.

Многие аннотации уже доступны в различных библиографических базах данных, но эти источники имеют ограничения, например, потому, что они требуют подписки, недоступны для машинной обработки или ограничены определенной областью знаний. Доступности только для чтения человеком не всегда достаточно. Crossref, агентство по регистрации цифровых идентификаторов объектов (DOI), используемое многими издателями, имеет большое преимущество, заключающееся в объединении аннотаций в едином формате в одной междисциплинарной базе данных с возможностью поиска, где они доступны через интерфейс прикладного программирования. В то время как открытый доступ к полному тексту всех научных публикаций служит основной целью движения за открытую науку, I4OA считает, что централизованная доступность открытых аннотаций имеет особые преимущества и достижима быстрее.

#### Издатели, поддерживающие данную инициативу, перечислены ниже

Academicus Journal

AfricArXiv

**All-Russian Institute of Plant Protection**

American Association for the Advancement of Science (AAAS)

American Mathematical Society (AMS)

American Society for Microbiology (ASM)

Association for Computing Machinery (ACM)

Association of Austrian Librarians

Beilstein-Institut

Berghahn Books

BMJ

Brill

British Academy

British Institute of Radiology

California Digital Library (CDL)

Cambridge University Press (CUP)

Chitkara University Publications

Colombian College of Occupational Therapy (CCTO)

Concept Tech Publishing

Copernicus Publications

Council for British Archaeology (CBA)

CSMFL Publications

Edimeco

Editorial Espacios (Venezuela)

EDP Sciences

eLife

EMBO Press

Emerald

EMS Press

European Journal of Chemistry

European Respiratory Society (ERS)

F1000

Frontiers

Geological Society of London

Gruppo Italiano Frattura

Hindawi

Institute of Higher Education of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH)

IntechOpen

Intellect

International Center for Transactional Analysis Qualifications (ICTAQ)

International Union of Crystallography (IUCr)

IWA Publishing  
 John Benjamins Publishing Company  
 Journal of Pure and Applied Microbiology  
 Karger Publishers  
 Knowledge E  
 Leibniz-Institute for Psychology Information (ZPID)  
 Life Science Alliance  
 MDPI  
 MIT Press  
 National Electronic Information Consortium (NEICON)  
 Open Book Publishers  
 Open Exploration Publishing  
 Oxford University Press  
 PeerJ  
 Poltekkes Kemenkes Kendari  
 Portland Press (Biochemical Society)  
 Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)  
 protocols.io  
 Public Library of Science (PLOS)  
 Rockefeller University Press  
 Royal College of General Practitioners

Royal College of Psychiatrists  
 RS Global Sp. z O.O.  
 RTI Press  
 SAGE  
 Schloss Dagstuhl - Leibniz Center for Informatics (LZI)  
 SciPost  
 Society for Promotion of Horticulture  
 The Company of Biologists  
 The Royal Society  
 Thieme  
 Thomas Telford (Institution of Civil Engineers)  
 Ubiquity Press  
 UCL Press  
 Universidad de Cundinamarca  
 Universidad Militar Nueva Granada  
 Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
 University Library System, University of Pittsburgh  
 University of Buckingham Press  
 University of Technology, Sydney (UTS) ePress  
 Vilnius University Press  
 Virtus Interpress  
 Walter de Gruyter

Аналогично, Инициатива открытых ссылок (Initiative for open citations, I4OC\* – коллаборация научных издателей, исследователей и других заинтересованных сторон, чьи усилия направлены на поощрение неограниченной доступности библиографических ссылок научных публикаций. К настоящему времени число издателей, поддерживающих данную инициативу, приближается к 3000.

Библиографические ссылки – это звенья, которые объединяют наши научные и культурные знания. Это первичные данные, которые позволяют проследить происхождение информации, и отдалённое влияние авторов научного вклада, оценить само исследование и его влияние. Ссылки служат наиболее важным средством открытия, распространения и оценки всех научных знаний. Поскольку число научных публикаций удваивается каждые девять лет, именно библиографические записи – и автоматизированные \* <https://i4oc.org/>

системы, позволяющие отслеживать их – позволяют ученым и обществу быть в курсе значительных достижений в любой области исследований. Чтобы сделать это возможным, необходимо иметь неограниченный доступ к библиографическим данным, в том числе в форме, доступной для машинной обработки.

Основатели Инициативы считают, что существующая система научной коммуникации неадекватно отражает связи, уже сложившиеся в научной литературе. Будучи частью научной публикации, библиографические ссылки зачастую закрыты лицензиями и недоступны для машин. Цель I4OC состоит в том, чтобы сделать данные библиографических ссылок открытыми для всех, структурированными в едином формате, приемлемом для программной обработки, и доступными для независимого анализа, отдельно от собственно статьи, часть которой они составляют.



**ШАБЛОН ЛИЦЕНЗИОННОГО СОГЛАШЕНИЯ ЖУРНАЛА  
“ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ”**

**COPYRIGHT AGREEMENT FORM OF THE JOURNAL “PLANT PROTECTION NEWS”**



**ФГБНУ  
ВИЗР**



*All-Russian Institute  
of Plant Protection*



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

<http://plantprotect.ru>  
[vestnik@vizr.spb.ru](mailto:vestnik@vizr.spb.ru)

Научно-теоретический журнал «Вестник защиты растений»

*Scientific theoretical journal “Plant Protection News”*

**Соглашение об авторских правах**

*Copyright Agreement*

<b>Название рукописи</b> <i>Article title</i>	
<b>Автор, ответственный за переписку: ФИО, e-mail</b> <i>Corresponding author: name, e-mail</i>	
<b>ФИО соавторов</b> <i>Co-authors' names</i>	

Подавая статью в «Вестник защиты растений», я наделяю Всероссийский институт защиты растений правом публикации статьи и признаю Всероссийский институт защиты растений в качестве оригинального издателя.

Я подтверждаю Издателю следующее:

1. Мне предоставлено право принять условия настоящего соглашения всеми соавторами.
2. Я гарантирую, от своего имени и имени всех соавторов, что а) документ оригинален, не опубликован и не подан в любой другой журнал, и не затрагивает чьи-либо существующие авторские права или любые другие права сторонних лиц; б) указанные авторы имеют полное право принять условия настоящего соглашения и передать права Издателю, и это не нарушает каких-либо других обязательств; в) при публикации статьи исключено распространение незаконных и клеветнических материалов, нарушение договорных обязательств, раскрытие конфиденциальной или секретной информации; г) авторы обеспечили все возможные меры для обеспечения правдивости публикуемых материалов, с тем, чтобы все заявления соответствовали установленным фактам, а любое указание, при условии правильного воспроизведения, не приводило к травмированию и заболеванию и не причиняло ущерба пользователю; статья представляет собой собственное интеллектуальное произведение авторов и не нарушает Этические принципы, принятые Журналом (<http://plantprotect.ru/index.php/vizr/ethics>).
3. Я соглашаюсь с условиями лицензионного соглашения Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

In submitting an article to “Plant Protection News”, I grant All-Russian Institute of Plant Protection a license to publish the article, and identify All-Russian Institute of Plant Protection as the original publisher.

I certify to the Publisher that:

1. I am authorized by all the co-authors to enter into these arrangements.
2. I warrant, on behalf of myself and all the co-authors, that (a) the document is original, has not been formally published or submitted to any other journal, and does not infringe any existing copyright or any other third party rights; (b) the stated authors have full authority to enter into this agreement and in granting rights to the Publisher that are not in breach of any other obligation; (c) the document contains nothing that is unlawful, libelous, or which would, if published, constitute a breach of contract or of confidence or of commitment given to secrecy; (d) the authors have taken due care to ensure the integrity of the article, so that all statements contained in it correspond to the established facts and any recommendation contained in the article will not, if followed accurately, cause any injury, illness or damage to the user; (e) the article is the own intellectual product of the authors and do not violate the Code of Ethics as accepted by the Journal (<http://plantprotect.ru/index.php/vizr/ethics>).
3. I agree to the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Подпись**  
*Signature*

**Дата**  
*Date*



**СИСТЕМА ЭЛЕКТРОННОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ ЖУРНАЛА  
«ВЕСТИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ»**  
ELECTRONIC EDITING SYSTEM OF THE JOURNAL  
“PLANT PROTECTION NEWS”

Редакция журнала «Вестник защиты растений» сообщает, что с 2020 года приём рукописей к рассмотрению, рецензирование и редактирование осуществляется через систему электронного редактирования, доступную на новом сайте журнала:

**<http://plantprotect.ru>**

Сайт журнала функционирует в англоязычной и русскоязычной версиях, при этом англоязычная версия установлена по умолчанию. Для переключения языка следует воспользоваться флажками выбора языка на верхней панели справа.

Для работы в системе автору, ответственному за переписку, следует создать личный кабинет с помощью опции «РЕГИСТРАЦИЯ», если личный кабинет уже создан, необходимо авторизоваться с помощью опции «ВХОД» на верхней панели справа.

При регистрации необходимо заполнить все обязательные поля, дать согласие на обработку и хранение персональных данных, пройти проверку «антиробот». Также можно указать готовность выступить в качестве рецензента и выразить согласие на получение новостей.

В личном кабинете доступна опция просмотра профиля с возможностью редактирования (ссылка появляется при наведении курсора на название учетной записи в верхнем правом углу), отображены поданные статьи, активна кнопка «**подать статью**».

В профиле следует указать всю необходимую информацию, для удобства работы в двуязычном интерфейсе желательно указывать основные данные на русском и английском языках.

Минимальный набор данных раздела «Контакты» заполняется автоматически при создании учетной записи, можно добавить дополнительные сведения, изменить доступные роли, настроить уведомления о прохождении различных этапов редакционной работы поданных рукописей, и т.п.

При подаче рукописи необходимо дать согласие на передачу авторских прав, выбрать раздел журнала в соответствии с типом статьи, подтвердить выполнение требований журнала, предъявляемых к рукописям, в соответствии с контрольным списком подготовки материала к отправке (см. далее), загрузить все требуемые файлы и заполнить минимально необходимый набор метаданных – название и аннотацию рукописи на двух языках. Автор, ответственный за переписку, добавляется по умолчанию, также можно указать остальных авторов работы. Более тщательное заполнение уточненных метаданных (см. далее) потребует после принятия рукописи к печати и утверждения на редколлегии, поскольку в процессе редакционной работы могут измениться название, аннотация, ключевые слова и т.п.

Заполнение уточненных метаданных рукописи рекомендуется проводить после получения уведомления о включении рукописи в план выпуска очередного номера, утвержденного на заседании редакционной коллегии журнала, используя самую последнюю версию рукописи, прошедшей финальную корректуру.

В отличие от основного текста рукописи, в метаданных название рукописи необходимо приводить заглавными буквами, для чего можно воспользоваться соответствующей функцией форматирования текста MS Office Word («**ВСЕ ПРОПИСНЫЕ**»).

Ключевые слова могут быть скопированы из финальной версии рукописи, алгоритм распознает словосочетания, разделённые запятыми, и преобразует их в соответствующие ключевые слова.

Авторы должны быть перечислены полностью в том же порядке, что и в рукописи; при этом инициалы заполняются автоматически. Место работы следует указывать в строгом соответствии с печатной версией статьи. Обязательно корректное указание актуального адреса электронной почты автора, ответственного за переписку; для остальных авторов можно указывать личные или рабочие адреса, а при отсутствии e-mail можно указать адрес автора, ответственного за переписку (поскольку данное поле относится к обязательным для заполнения).

---

Научное издание

**Индекс 36189**

Подписано к печати 21 сентября 2021 г.

Формат 60x84/8. Объем 6 1/2 п.л. Тираж 250 экз.



Индекс 36189