Труды Русского энтомологического общества. С.-Петербург, 2022. Т. 93: 75–82.
Proceedings of the Russian Entomological Society. St Petersburg, 2022. Vol. 93: 75–82.

Оценка эффективности энтомопатогенных нематод в контроле численности *Lycoriella auripila* (Winnertz) (Diptera: Sciaridae)

Л.Г. Данилов

Evaluation of the effectiveness of entomopathogenic nematodes in the control of the numbers of *Lycoriella auripila* (Winnertz) (Diptera: Sciaridae)

L.G. Danilov

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, шоссе Подбельского, 3, С.-Петербург, Пушкин 196608, Россия. E-mail: biodanlg@mail.ru
All-Russian Institute of Plant Protection, Podbelskiy Shosse, 3, St Petersburg, Pushkin 196608, Russia

Резюме. Предлагается оригинальная методика лабораторного тестирования отдельных видов энтомопатогенных нематод на их патогенность в отношении комаров-сциарид по такому показателю, как инвазионная активность к вредителю. Эта методика позволяет оценить перспективность использования нематод в качестве биологических агентов против грибных комариков. На основании экспериментальных данных по изучению инвазионной активности вида нематоды *Steinernema feltiae* (Filipjev) штамм SRP18-91 были определены возможные сроки максимального заражения личинок сциарид (3-го и 4-го возрастов) нематодами в специально изготовленных контейнерах из капрона и медной сетки с небольшим количеством торфяно-соевой среды. Результаты тестирования различных видов нематод на инвазионную активность в отношении сциарид показали, что из изученных видов и штаммов нематод наиболее эффективен вид S. *feltiae* штамм SRP18-91, который использовали в дальнейшем при выработке норм, сроков и способов применения нематод в производственных условиях. При норме внесения этих нематод 1 млн/м^2 урожайность шампиньонов была на уровне варианта с применением инсектицида Димилина. Таким образом, нематоды *S. feltiae* штамм SRP18-91 наиболее эффективны для защиты шампиньонов от грибных комариков при норме расхода 1 млн инвазионных личинок на 1 м^2 поверхности почвы.

Ключевые слова. Сциариды, шампиньоны, энтомопатогенные нематоды, инвазионная активность.

Abstract. An original method of laboratory testing of individual species of entomopathogenic nematodes for pathogenicity against sciarids is proposed with respect to their invasive activity against the pest to estimate possibility of their use as biological agents against fungal flies. Based on experimental data on the study of the invasive activity of the species *Steinernema feltiae* (Filipjev) strain SRP18-91, possible terms of maximum infection of sciarid larvae (3rd and 4th instars) with nematodes in specially made containers of kapron and copper mesh with a small amount of peat-soy medium were determined. Of the tested species and strains of nematodes, the most effective is *S. feltiae* strain SRP18-91, which may be used for elaboration of the norms, timing and methods of the nematodes use in production condition. With a rate of application of these nematodes of 1 million/m^2, the yield of champignons was at the level with the variant where dimilin was used, therefore nematodes of the species *S. feltiae* strain SRP18-91 show the best results

as a means of protecting champignons from fungal mosquitoes at a rate of consumption of 1 million invasive larvae per 1 m^2 of soil surfacens.

Key words. Sciarids, champignons, entomopathogenic nematodes, invasive activity.

https://doi.org/10.47640/1605-7678_2022_93_75

Введение

Наиболее экономически значимыми вредителями шампиньонов при промышленном культивировании являются грибные комарики (Diptera: Sciaridae). Самыми распространенными сциаридами, которые встречаются в шампиньонницах, являются *Lycoriella auripila* (Winnertz), *L. mali* (Fitch) и *L. solani* (Winnertz). Все эти три вида сциарид в основном обитают на компостах, предназначенных для культивирования грибов; один из них использовался нами в лабораторных и полевых экспериментах. Самка вредителя проникает внутрь грибоводческих помещений и откладывает в компост более 100 яиц. Через 3–5 дней из яиц вылупляются личинки и начинают питаться развивающимся мицелием и компостом, что препятствует росту мицелия, а также влияет на физико-химические структуры компоста и делает субстрат непригодным для роста грибных культур (Keil, White, 2004). Личинки сциарид, питаясь мицелием и плодовыми телами грибов, снижают урожайность и качество готовой продукции.

В системе защиты шампиньонов от этих вредителей в нашей стране рекомендованы химические препараты фосфорорганической и пиретроидной групп и ингибиторы синтеза хитина. Химический метод борьбы с вредителями создает несколько долгосрочных экологических опасностей для живых организмов, включая человека. Даже следы синтетических химических веществ могут привести к хронической нейротоксичности у человека (Das et al., 2021). Инсектициды, такие как Карбарил, Хлорпирифос, Ципермитрин, Эндосульфан, Метомил и несколько пиретроидов, имеют более высокое количество химических остатков, оседающих в грибах, почве и водоемах (Jompong et al., 2015). У грибных комариков была также зарегистрирована устойчивость к некоторым инсектицидам (Bartlett, Keil, 1997; Smith, 2002). Другие методы борьбы с мухами основаны на использовании биоконтролирующих организмов, таких, как клещи, бактерии и энтомопатогенные нематоды (Jess, Bingham, 2004; Shamshad et al., 2008; Erler et al., 2009).

Ричардсон (Richardson, 1987) был первым, кто использовал энтомопатогенных нематод (ЭПН) родов *Steinernema* Travassos и *Heterorhabditis* Poinar для борьбы с грибными мухами. Нематоды *Steinernema* spp. обнаруживают и вторгаются в личинок мух через анус, рот или дыхальца и заражают хозяина связанными с ними бактериями (*Xenorhabdus* sp. или *Photorhabdus* sp.), что провоцирует гибель этих зараженных мух (Kirk, Keil, 2001). Однако, помимо их совместимости с используемыми инсектицидами (Данилов, Смирнова, 1976; Koppenhöfer, Grewal, 2005), эффективность нематод против грибных мух может зависеть от многих других факторов (Данилов, 2003; Данилов, Турицин, 2008; Shamshad, 2010).

Применение ЭПН в борьбе со сциаридами уже осуществляется в промышленном масштабе в ряде стран. По литературным данным имеются сведения об эффективности в борьбе с грибными комариками таких видов нематод, как *Heterorhabditis heliothidis* (Khan, Brooks et Hirschmann) и *Steinernema feltiae* (Filipjev) (Richardson, 1986, 1987, 1997; Scheepmaker et al., 1997; Navarro, Gea, 2014). При этом приводятся показатели высокой биологической эффективности применения нематод, однако отмечаются существенные противоречия этих данных по нормам, срокам и эффективности отдельных видов и штаммов нематод (Acharya et al., 2019).

В литературе практически отсутствуют сведения по результатам лабораторного тестирования отдельных видов нематод на патогенность в отношении сциарид. В основном методика определения биологической эффективности нематод базируется на заражении насекомых в определенных объемах почвы, а главным критерием оценки является количество вылетевших имаго в опыте и контроле. Такая методика длительна по времени (20 дней) и не позволяет проводить тестирование нематод по таким показателям, как инвазионная активность нематод (Веремчук, Данилов, 1976) в отношении вредителя, а, следовательно, и провести оценку перспективности их использования в качестве биологических агентов против грибных мух.

Таким образом, в задачу наших исследований входила разработка методики оценки качества применяемых нематодных культур по инвазионной активности отдельных видов и штаммов ЭПН в отношении сциарид и определение эффективности отобранных культур в производственных условиях.

Материалы и методы

Присутствие различных видов ЭПН в почве на определенной глубине можно определить с помощью тест-насекомых, помещенных в контейнеры, изготовленные из медной сетки (Данилов, Карпова, 1990). Из таких контейнеров личинки сциарид младших возрастов мигрируют в почву и не обнаруживаются во время учетов. Для устранения этого недостатка нами были изготовлены контейнеры из плотного капрона, которые дополнительно помещали в контейнеры из медной сетки. В таком контейнере личинки старших (3–4-го) возрастов сохраняли жизнеспособность до 48 часов. Контейнер из капрона и медной сетки (0.5 × 1.5 см) с личинками сциарид и небольшим количеством торфяно-соевой среды помещали в пластиковые сосуды (высота 7 см, диаметр 6.3 см) с торфом на глубину 5 см (глубина нахождения личинок). Влажность торфа устанавливали на уровне 60 % от его массы, что соответствует влажности компоста в производственных шампиньонницах.

Опыты по тестированию видов нематод в отношении сциарид включали 3 варианта по дозам нематод и контроль (внесение воды без нематод). Дозы нематод определяли из расчета количества нематод на единицу поверхности почвы в сосуде: они составляли 25, 50 и 100 инвазионных личинок на 1 см^2. Сосуды помещали в термостат с температурой +25 °С при экспозициях 24 и 48 часов. Во время учетов выбирали всех насекомых (личинок комариков) из контейнера, после чего каждую личинку окунали в воду для смыва нематод с поверхности кутикулы. Всех насекомых вскрывали под бинокуляром МБС-10 и подсчитывали количество нематод, проникших в гемоцель насекомого.

Результаты исследований

На первом этапе исследований по отработке периода экспозиции работу проводили с одним видом нематод *S. feltiae* штамма SRP18-91. Сравнительные данные по заражению нематодами личинок насекомых приведены в табл. 1.

Таблица 1. Инвазионная активность энтомопатогенных нематод *S. feltiae* штамм SRP18-91 против личинок грибных комариков (Sciaridae) в зависимости от продолжительности экспозиции заражения

Экспозиция, час	Количество нематод на 1 см^2 поверхности торфа	Количество насекомых в опыте	Количество насекомых в период учета			Количество нематод, проникших в одно насекомое	Заражено насекомых нематодами
			всего	в том числе			
				живых	зараженных нематодами		
24	100	20	14	5	9	7.0 ± 2.3	72.5
	50	20	15	11	4	2.1 ± 1.3	28.1
	25	20	14	12	2	0.7 ± 0.5	14.0
	Контроль	20	16	16	–	–	–
48	100	20	13	0	13	25 ± 11.6	100
	50	20	19	4	15	11.5 ± 5.5	78.9
	25	20	24	15	9	2.7 ± 1.9	37.5
	Контроль	20	20	20	–	–	–

Показатели инвазионной активности значительно возросли при 48-часовой экспозиции. Так, в варианте с наибольшей дозой нематодами было заражено 100 % насекомых, а при дозах 50 и 25 этот показатель увеличился по сравнению с 24-часовой экспозицией соответственно на 50.8 % и 23.5 %. Увеличилось также и количество нематод, проникающих в насекомое. Однако при 48-часовой экспозиции значительно уменьшилось количество насекомых в опыте, что можно объяснить увеличением миграции их из контейнеров либо каннибализмом.

На основании полученных данных был сделан вывод о целесообразности ограничения сроков заражения насекомых нематодами до 24 часов. Результаты тестирования различных видов нематод на инвазионную активность в отношении сциарид при экспозиции 24 часа показали, что из испытуемых видов и штаммов нематод наиболее эффективен *S. feltiae* штамм SRP18-91 (табл. 2). Нематоды этого штамма заражали насекомых при всех дозах. Наибольший процент заражения был при дозе 100 инвазионных личинок. Также при этой дозе в одну личинку сциарид проникало больше нематод, чем при других дозах.

Таблица 2. Инвазионная активность энтомопатогенных нематод в отношении личинок грибных комариков (Sciaridae) при экспозиции 24 часа

Вид нематод	Количество нематод на 1 см² поверхности торфа	Количество насекомых в опыте	Количество насекомых в период учета			Количество нематод, проникших в одно насекомое	Заражено насекомых нематодами
			всего	в том числе			
				живых	зараженных нематодами		
S. feltiae штамм SRP18-91	100	20	14	5	9	7.0 ± 2.3	72.5
	50	20	15	11	4	2.1 ± 1.3	28.1
	25	20	14	12	2	0.7 ± 0.5	14.0
	Контроль	20	16	16	–	–	–
S. feltiae (bibionis)	100	20	15	14	1	0.25 ± 0.5	6.7
	50	20	17	17	0	0	0
	25	20	17	14	0	0	0
	Контроль	20	15	15	–	–	5.9
S. feltiae protense Ivanova, Danilov et Ivahnenko	100	20	17	16	1	0.25 ± 0.5	0
	50	20	14	14	0	0	0
	25	20	15	15	0	0	–
	Контроль	20	15	15	–	–	–
H. heliothidis	100	20	19	15	4	0.9 ± 0.1	19.9
	50	20	19	19	0	0	0
	25	20	20	20	0	0	0
	Контроль	20	20	19		–	–

У других видов и штаммов нематод отмечена низкая инвазионная активность. Результаты тестирования свидетельствуют о существенном различии между видами и штаммами нематод по способности к заражению целевого объекта.

Учитывая вышеизложенное, в качестве перспективного для дальнейшей работы был отобран штамм *S. feltiae* SRP18-91, который использовали в дальнейшем при отработке норм, сроков и способов применения нематод в производственных условиях. На основании проведенных экспериментов для дальнейшей работы были выбраны нормы расхода нематод из расчета 0.5, 1 и 2 млн инвазионных личинок на 1 м².

В первом опыте нематоды были внесены на поверхность покровной почвы в виде водной суспензии инвазионных личинок в период роста мицелия грибов на фоне обработки почвы инсек-

тицидом Димилином в норме расхода 0.8 г/м^2. Опыт включал 6 вариантов: нематоды в трех нормах расхода; два препарата инсектицидов взяты в качестве эталонов – Арриво, к.э. (250 г/л) и Димилин, с.п. (250 г/л); в контроле была просто вода без нематод. Каждый вариант заложен в четырех повторностях – по 50 м^2 в каждой. Площадь учетной делянки – 2 м^2, а расход рабочей жидкости – 1 л на 1 м^2. Эффективность обработок оценивали по прибавке урожая плодовых тел шампиньонов.

Второй опыт включал 5 вариантов: нематоды в трех нормах расхода; эталон – Арриво, к.э. (250 г/л); контроль (вода без нематод). В остальном методика проведения опыта была аналогичной таковой в первом опыте. Данные по урожайности плодовых тел представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Эффективность энтомопатогенных нематод *S. feltiae* штамм SRP18-91 против личинок грибных комариков (Sciaridae) в производственных условиях

Варианты	Норма расхода препарата на 1 м^2	Урожайность шампиньонов по волнам плодоношения, кг с 1 м^2			Разница по сравнению с контролем	
		1	2	3	кг с 1 м^2	%
Контроль	Вода без нематод	2.9	1.9	4.9	–	–
Нематоды	0.5 млн	4.6	2.2	6.8	1.9	3.9
	1.0 млн	4.4	3.2	7.6	2.7	55.1
	2 млн	3.5	3.1	6.6	1.5	34.7
Арриво, к.э.	0.5	2.7	2.0	4.7	–0.2	–4.1
НСР					0.2	3.5

Примечание. НСР – величина, указывающая границу возможных случайных отклонений в эксперименте.

Таблица 4. Эффективность энтомопатогенных нематод *S. feltiae* штамм SRP18-91 против личинок грибных комариков (Sciaridae) в производственных условиях

Варианты	Норма расхода препарата на 1 м^2	Урожайность шампиньонов по волнам плодоношения, кг с 1 м^2			Общая урожайность, кг	Разница по сравнению с контролем	
		1	2	3		кг с 1 м^2	%
Контроль	Вода без нематод	7.2	3.0	1.6	11.8	–	–
Нематоды	0.5 млн	7.8	3.5	1.9	13.2	1.4	11.9
	1.0 млн	9.6	3.9	2.1	15.6	3.8	32.2
	2 млн	10.3	4.0	2.3	16.6	4.8	40.6
Арриво, к.э.	0.5	6.7	2.6	1.5	10.8	–1.0	–8.5
Димилин, с.п.	2 г	8.8	3.9	2.3	15.1	3.3	27.9
НСР						0.4	7.2

Примечание. НСР – величина, указывающая границу возможных случайных отклонений в эксперименте.

Наибольшая прибавка урожая плодовых тел грибов в первом опыте получена при норме расхода 2 × 10^6 инвазионных личинок в расчете на 1 м^2, а при норме расхода нематод

1 × 10^6 урожайность несколько снижалась и была на уровне варианта с Димилином. Аналогичная тенденция по урожайности прослеживается по всем волнам плодоношения грибов. Во втором опыте по техническим причинам не был проведён учет урожайности первой волны плодоношения

шампиньонов, однако данные учетов в опыте второй и третьей волн свидетельствуют о существенном влиянии энтомопатогенных нематод на урожайность грибов. При этом в вариантах с внесением нематод показатели урожайности значительно превышали таковые в контроле и с применением Арриво (эталон).

Наблюдениями за динамикой численности нематод в почве методом «живых ловушек» (Bedding, Akhurst, 1975; Данилов, Карпова, 1990) не установлено существенных изменений численности инвазионных личинок в почве до 30-го дня после внесения их в почву.

Полученные экспериментальные данные показывают, что способность к заражению насекомого-хозяина у различных видов и штаммов нематод изменяется в разной степени с изменением температуры. Например, нематода *S. feltiae protense* Ivanova, Danilov et Ivahnenko, встречающаяся в почвах аласов Якутии (Иванова и др., 2001), характеризуется не только лучшими показателями по инвазионной активности, но и большей вирулентностью в отношении насекомых, которые проявляются в широком диапазоне температур от +6 до +23 °С. Культуры выделенных в Австралии личинок видов *S. feltiae* (*bibionis*) и *H. heliothidis* имеют наиболее высокие показатели инвазионной активности при температуре выше +25 °С (Данилов и др., 1994). Отмеченная особенность биологии гетерорабдитид наблюдалась ранее и другими исследователями (Milstead, 1981).

Результаты лабораторных и полевых опытов позволяют сделать вывод о высокой эффективности нематод *S. feltiae* штамм SRP18-91 против сциарид на шампиньонах. По литературным данным нормы расхода при применении энтомопатогенных нематод варьируют от 3×10^6 инвазионных личинок на 1 м^2 до 0.5×10^6 (Richardson, 1986, 1987, 1997). Согласно полученным нами данным наибольшая эффективность от применения нематод *S. feltiae* штамм SRP18-91 отмечается при норме расхода 2 млн инвазионных личинок на 1 м^2, однако во втором опыте наблюдалось снижение урожайности шампиньонов при такой же норме нематод, что, возможно, связано с отсутствием данных об урожайности по первой (наиболее урожайной) волне плодоношения грибов.

При норме внесения нематод 1 млн/м^2 урожайность шампиньонов была на уровне с вариантом, где применялся Димилин; следовательно, эту норму расхода нематод можно считать оптимальной, так как с дальнейшим увеличением инвазионной нагрузки стоимость обработок нематодами значительно возрастет. Аналогичные сведения об эффективности *S. feltiae* в норме расхода 1 млн особей на м^2 и Димилина против сциарид сообщают и другие авторы (Scheepmaker et al., 1997). Следует также отметить, что другими исследователями не было установлено различий между различными штаммами этого вида нематод в отношении сциарид (Long et al., 2000): возможно, нематоды испытуемых штаммов были выделены из почв в одной климатической зоне. В наших опытах численность инвазионных личинок в почве сохранялась на одном уровне в течение 30 дней, что также согласуется с данными других авторов (Richardson, 1997).

Некоторые авторы утверждают, что использование энтомопатогенных нематод влияет на рост мицелия в зависимости от дозировки нематод (Grewal et al., 1993), что приводит к снижению урожайности при первой волне плодоношения, хотя последующие волны плодоношения обычно компенсируют эту раннюю потерю урожайности (Jess et al., 2005). Результаты, полученные в нашей работе, противоречат этому утверждению, поскольку общий урожай шампиньонов в первой волне значительно превышал урожайности в двух других волнах.

Заключение

Эффективное использование различных видов и штаммов ЭПН против грибных комариков в производственных условиях должно базироваться на знаниях качества применяемых нематодных культур, которое определяется с помощью предлагаемой методики оценки их инвазионной активности в отношении видов сциарид,

На основании экспериментальных данных, полученных в лабораторных и полевых исследованиях, нематоды вида *S. feltiae* штамм SRP18-91 показывают наилучшие результаты в качестве средства защиты шампиньонов от грибных комариков при норме расхода 1 млн инвазионных личинок

на 1 м^2 поверхности почвы с помощью поверхностного опрыскивания покровной почвы водной суспензией нематод в период начала роста мицелия грибов.

Литература

Веремчук Г.В., Данилов Л.Г. 1976. Об определении инвазионной активности *Neoaplectana carpocapsae* Weiser (Steinernematidae). *Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции «Микробиологические методы борьбы».* Кишинев: 132–134.

Данилов Л.Г. 2003. *Методические подходы к процессам изучения особенностей биологии энтомопатогенных нематод (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae) и технологические решения эффективного их использования в качестве средств биологической защиты растений.* С.-Петербург-Пушкин: ООО «Инновационный центр защиты растений». 32 с.

Данилов Л.Г., Васильева С.О., Гоголев А.Н. 1994. Влияние температуры на инвазионную активность нематод семейств Steinernematidae и Heterorhabditidae. *Паразитология,* **6**(28): 495–500.

Данилов Л.Г., Карпова Е.В. 1990. Испытание энтомопатогенных нематод против саранчовых. *Защита растений,* 7: 34–35.

Данилов Л.Г., Смирнова И.М. 1976. Изучение возможности совместного применения энтомопатогенных нематод и инсектицидов в борьбе с насекомыми. *Тезисы докладов VIII Всесоюзного совещания по нематодным болезням сельскохозяйственных культур.* Кишинев: 166.

Данилов Л.Г., Турицин В.С. 2008. Энтомопатогенные нематоды и их использование в биологической защите растений. Систематика и биология. *Труды Центра паразитологии института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН*, **45**: 59–90.

Иванова Т.С., Данилов Л.Г., Ивахненко О.А. 2001. Новый подвид энтомопатогенных нематод семейств *Steinernema feltiae protense* subsp. n. (Nematoda: Steinernematidae) из Якутии. *Паразитология,* **35**(4): 333–337.

Acharya R., Hwang H.-S., Shim J.-K., Yu Y.-S., Lee K.-Y. 2019. Control efficacy of fungus gnat, *Bradysia impatiens*, enhanced by a combination of entomopathogenic nematodes and predatory mites. *Biological Control*: 138. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104071

Bedding R.A., Akhurst R.J. 1975. A simple technique for the detection of insect parasitic rhabditid nematodes in soil. *Nematologica,* **21**(1): 109–110. https://doi.org/10.1163/187529275X00419

Bartlett G.R., Kell C.B.O. 1997. Identification and characterization of a permethrin resistance mechanism in populations of the fungus gnat *Lycoriella mali* (Fitch) (Diptera: Sciaridae). *Pesticide Biochemistry and Physiology,* **58**: 173–181. https://doi.org: 10.1006/pest.1997.2306

Das S., Bisoyi S.K., Anmoldeep, Pattnaik D., Srivastava S. 2021. Role of cultivated mushrooms in bioremediation: A review. *Biological Forum – An International Journal,* **13**(1): 160–168.

Erler F., Polat E., Demir H., Cetin H.Er.T. 2009. Evaluation of microbial products for the control of the mushroom phorid fly, *Megaselia halterata* (Wood). *Journal of Entomological Science,* **44**: 89–97. https://doi.org/10.18474/0749-8004-44.2.89

Grewal P.S., Tomalak M., Keil C.B.O., Gaugler R. 1993. Evaluation of a genetically selected strain of *Steinernema feltiae* against the mushroom sciarid *Lycoriella mali*. *Annals of Applied Biology,* **123**: 695–702. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04939.x

Jess S., Bingham J.F.W. 2004. Biological control of sciarid and phorid pests of mushroom with predatory mites from the genus *Hypoaspis* (Acari: Hypoaspidae) and the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae. Bulletin of Entomological Research,* **94**: 159–67, https://doi.org:10.1079/BER2003286

Jess S., Schweiser H., Kilpatrhik M. 2005. Mushroom applications. *In*: **Grewal P.S., Ehlers R.-U., Shapiro-Ilan D.I.** (Eds). *Nematodes as Biocontrol Agents.* New York: CABI Publishing: 191–213. https://doi.org:10.1079/9780851990170.0191

Jompong U., Pumnuan J., Insung A. 2015. Insecticide application in mushroom farms: a survey study in Nongyaplong district, Phetchburi province, Thailand. *Science and Technology Journal,* **15**(2): 80–87.

Keil C.B., White P.F. 2004. Biological Control for Mushroom Production. *In*: **Heinz K.M., Van Driesche R., Parrella M.P.** (Eds). *Biocontrol in Protected Culture*. Madison: Ball Publishing: 473–484.

Kirk D.J., Keil C.B. 2001. Factors influencing efficacy of two entomopathogenic nematodes used for fly control in commercial mushroom crops. *Mushroom News,* **49**: 4–17.

Koppenhöfer A.M., Grewal P.S. 2005. Compatibility and interactions with agrochemicals and other biocontrol agents. *In*: **Grewal P.S., Ehlers R.-U., Shapiro-Ilan D.I.** (Eds). *Nematodes as Biocontrol Agents.* New York: CABI Publishing: 363–381. https://doi.org: 10.1079/9780851990170.0363

Long S.J., Richardson P.N., Willmott D.M., Edmondson R.N. 2000. Infectivity of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae, Heterorhabditidae) to mushroom phorid fly (*Megaselia halterata*) larvae. *Nematology,* **2**(4): 451–459. https://doi.org:10.1163/156854100509312

Milstead J.E. 1981. Influence of temperature and dosage on mortality of seventh instar larvae of *Galleria mellonella* (Insecta: Lepidoptera) caused by *Heterorhabditis bacteriophora* (Nematoda: Rabditoidea) and *Xenorhabdus luminescens*. *Nematologica,* **27**(2): 167–171. https://doi.org/10.1163/187529281X00223

Navarro M.J., Gea F.J. 2014. Entomopathogenic nematodes for the control of phorid and sciarid flies in mushroom crops. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira,* **49**: 11–17. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000100002

Richardson P.N. 1986. Nematode parasites of mushroom flies: their use as biological control agents. *Proceeding of the International Symposium on Scientific and Technical Aspects of Cultivating Edible Fungi.* Pennsylvania: 385–394.

Richardson P.N. 1987. Susceptibility of mushroom pests to the insect-parasitic nematodes *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis heliothidis*. *Annals of Applied Biology,* **111**: 433–438**.** https://doi.org:10.1111/j.1744-7348.1987.tb01471.x

Richardson P.N. 1997. The use of entomopathogenic nematodes to control mushroom sciarid flies in the UK: benefits and growers' views. *In*: **Boemare N., Coudert F.** (Eds). *Entomopathogenic Nematodes*. Brussels: 59–61.

Scheepmaker J.W.A., Geels F.P., Smits P.H., Van Griensven L.J.L.D. 1997. Control of the mushroom pests *Lycoriella auripila* (Diptera: Sciaridae) and *Megaselia halterata* (Diptera: Phoridae) by *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) in field experiments*. Annals of Applied Biology,* **131**: 359–368. https://doi.org:10.1111/j.1744-7348.1997.tb05165.x

Shamshad A. 2010. The development of integrated pest management for the control of mushroom sciarid flies, *Lycoriella ingenua* (Dufour) and *Bradysia ocellaris* (Comstock), in cultivated mushrooms. *Pest Management Science,* **66**(10): 35–46. https://doi.org/10.1002/ps.1987

Shamshad A., Clift A.D., Mansfield S. 2008. Toxicity of six commercially formulated insecticides and biopesticides to third instar larvae of mushroom sciarid, *Lycoriella ingenua* Dufour (Diptera: Sciaridae), in New South Wales, Australia. *Australian Journal of Entomology*, **47**: 256–260. https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2008.00653.x

Smith J.E. 2002. Dimilin resistance in mushroom sciarids. *The Mushroom Journal,* **626**: 15.