The University of Tehran Press

Biological Control of Pests and Plant Diseases

Online ISNN: 2322-2883

Homepage: https://jbiocontrol.ut.ac.ir/

Comparative effectiveness of entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*, entomopathogenic bacterium *Bacillus thuringiensis* and Dichlorvos for control of fungus gnat *Lycoriella auripila*

Hamed Latifian [1], RezaTalaei-Hassanloui [2]✉, Shiva Haraji [3], Valiollah Baniameri[4]

1. Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: hamedlatifian@ut.ac.ir
2. Correspouding Author, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: rtalaei@ut.ac.ir
3. Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: haraji@ut.ac.ir
4. Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran, Iran. Email: valibaniameri@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 3 April 2024

Revised: 19 June 2024

Accepted: 19 June 2024

Published online: Spring 2023

Keywords:

field assay,

pest,

edible mushroom,

insect pathogen,

EP.

ABSTRACT

The edible mushroom mosquito *Lycoriella auripila* (Dip.: Sciaridae) causes quantitative and qualitative reductions in crop yield worldwide, that is, Iran. **T**he present study was conducted to estimate the efficacy of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* and the bacterium *Bacillus thuringiensis*, separately and simultaneously, in controlling this mushroom mosquito. In the laboratory study, the efficacies of different concentrations of *S. feltiae* (Sf), *B. thuringiensis* subsp. *israelensis* (Bti) and Dichlorvos pesticide were investigated. Then, nine treatments, including the interaction between Sf and Bti, were performed in addition to the laboratory treatments in the field test. The mushroom production yields in the control and treatment groups were compared. Statistical analysis of data was done based on the number of whole insects caught in sticky yellow card traps and larvae attracted to potato slices. In the conducted tests, the reductions in the insect population in the treatments compared with the control were calculated. The laboratory experiments showed positive effects of all treatments on pest control. The concentrations of 1×10^6 IJ/m^2 Sf and 2/1000 Bti had the highest mortality rate of pest larvae with 81.6 and 77.4% mean mortality, respectively. Nematode Sf at this concentratration acted better than Dichlorvos for the control of this pest. In the field measurements, the highest population decreases were recorded in Bti with 75.7% control efficacy based on yellow sticky cards and in treatments of Dichlorvos and half-dose of two-biocontrol agent based on potato slices data with 75.3 and 74.8%, respectively. No significant difference was observed between Dichlorvos and Sf treatment for the control of this pest based on yellow sticky card data in field study. The obtained results recommend using these two biological control agents to control the *L. auripila* mosquito in edible mushroom cultivation halls.

Cite this article: Shanaghi, A., Rahimi-kaldeh, S., Saremi, H. & Ahmadzadeh, M. (2023). Comparative effectiveness of entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*, entomopathogenic bacterium *Bacillus thuringiensis* and Dichlorvos for control of fungus gnat *Lycoriella auripila*. *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 12 (1), 61-72. DOI: https://doi.org/10.22059/jbioc.2024.374013.339

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/jbioc.2024.374013.339

Extended Abstract

Introduction

The cultivated mushroom, Agaricus bisporus, with a share of 11% of the production of edible mushrooms in the world is considered the most important commercial mushroom in Europe and Iran. The commercial production of this mushroom is threatened by a number of insect pests and diseases globally, of which flies and mosquitoes of the Cecidomyiidae, Phoridae and Sciaridae families are more important. The mushroom sciarid, Lycoriella auripila (Dip.: Sciaridae) causes a quantitative and qualitative reduction in crop yield worldwide i.e. Iran. Considering the importance and necessity of L. auripila control in the cultivation of edible mushrooms and in order to reduce the consumption of chemical pesticides, the present study was conducted to

estimate the efficacy of the entomopathogenic nematode S. feltiae and the bacterium B. thuringiensis solely and simultaneously in controlling this mushroom mosquito.

Materials and Methods

Edible mushroom and its pest sciarid were grown in the laboratory. The entomopathogenic nematode S. feltiae (Entonem®) and the entomopathogenic bacterium B. thuringiensis subsp. israelensis strain M.H.14 (BioFlash®) were obtained from the Koppert Company, Netherlands and from Natural Biotechnology Company, Iran, respectively. Dichlorvos EC 50% insecticide produced by Aria Chemi group was used. Effects of different treatments of nematode, bacterium and chemical insecticide on the possibility of controlling the larvae of fungus gnat was investigated in the laboratory and field. In the laboratory study, the efficacies of eight treatments, including three concentrations of S. feltiae (Sf), B. thuringiensis subsp. israelensis (Bti) and Dichlorvos pesticide were investigated. Then, nine treatments, including the interaction of Sf and Bti, were performed in addition to the laboratory treatments in the field test. The yields of mushroom production in control and treatments were compared. Statistical analysis of data was done based on the number of whole insects caught in sticky yellow card traps and larvae attracted to potato slices. In the conducted tests, the reductions of the insect population in the treatments compared to the control were calculated. The experiment was done in a randomized complete block design (block in time). The obtained data were analyzed by ANOVA after normality test in SYSTAT version 13 statistical software. The post-ANOVA means were compared with Tukey's test.

Results and Conclusion

The laboratory experiments showed positive effects of all treatments on controlling this pest. The concentration of 1×106 IJ/m2 Sf and 2/1000 Bti had the highest mortality of pest larvae with 81.6 and 77.4% mean mortality, respectively. Sf at this concentration acted better than Dichlorvos for the control of this pest. In the field measurements, the highest population decline was recorded in Bti with 75.7% control efficacy based on yellow sticky cards and in treatments of Dichlorvos and half-dose of two-biocontrol agent based on potato slices data with 75.3 and 74.8%, respectively. No significant difference was observed between Dichlorvos and Sf treatments for the control of this pest based on yellow sticky card data in field study. Also, two pathogens acted additively in controlling the larvae of this pest. Treatments of Dichlorvos, 1×106 IJ/m2 nematode and 1/1000 bacterium, with 17.04, 16.91 and 16.15 Kg/unit, respectively and without any statistical difference, had higher amounts of mean weights for edible mushroom in the flush units. The estimation of the number of nematodes in the culture bed showed that Sf nematode larvae increased nearly three times after one month, from an average number of 2.23 to 5.75 IJ/ml of the suspension prepared from the soil in culture bed. In the application of nematodes, the recommended concentration and time of use are very important and decisive in their effectiveness. The use of high concentrations of nematodes increases their reproduction and reduces the available food, and this causes the emergence of smaller nematodes, which some researchers consider it as a factor in reducing control of L. auripila and consequently the reduction of edible mushroom production. According to the results of the present study, exposing L. auripila gnats to a concentration of 1 × 106 IJ/m2 of the nematode produced 73% mortality rate in the field survey in mushroom halls, which was in line with the results of some researchers using a similar concentration of Sf. The increase in mushroom production in the 4-week period of in the Sf treatment has been well defined. The obtained results recommend using these two biological control agents to control the L. auripila mosquito in edible mushroom cultivation halls. It is noteworthy that the applications of higher concentrations of Sf nematode and Bt bacterium are not useful and they can even have negative results on the mushroom yield performance. Also, the proper time to apply both agents, is after casing soil in edible mushroom cultivation halls.

نشریه کنترل بیولوژیک آفات و بیماری‌های گیاهی، دوره ۱۲، شماره ۱

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۸۰۹۰

Homepage: https://jbiocontrol.ut.ac.ir/

مقایسه کارایی نماتد *Steinernema feltiae*، باکتری *Bacillus thuringiensis* و حشره‌کش دیکلرووس در کنترل سیارید قارچ خوراکی *Lycoriella auripila*

حامد لطیفیان[۱] | رضا طلایی حسنلویی[۲]✉ | شیوا حراجی[۳] | ولی اله بنی عامری[۴]

۱. گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج. ایران. رایانامه: hamedlatifian@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی ، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج. ایران. رایانامه: rtalaei@ut.ac.ir

۳.گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج. ایران. رایانامه: haraji@ut.ac.ir

۴. موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، تهران. ایران. رایانامه: valibaniameri@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۲

کلیدواژه‌ها:

بررسی میدانی، آفت، قارچ خوراکی، بیمارگر حشرات، EPN.

چکیده

سیارید قارچ خوراکی *Lycoriella auripila* (Winnertz) (Dip.: Sciaridae) سبب کاهش عملکرد محصول قارچ خوراکی در سراسر جهان از جمله ایران می‌گردد. در پژوهش حاضر، ابتدا خروج حشرات کامل این سیارید در بسترهای کشت تیمار شده با نماتد *Steinernema feltiae* (Sf) در سه غلظت، *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* (Bti) در سه غلظت و حشره‌کش دیکلرووس در شرایط آزمایشگاهی و در بازه زمانی یک ماهه تعیین و کاهش جمعیت حشرات در تیمارها نسبت به شاهد محاسبه شد. سپس در بررسی میدانی علاوه بر تیمارهای آزمایشگاهی قید شده، تیمار همزمان نیم‌دز از Sf و Bti هم مورد آزمون قرار گرفت. تعداد حشره شکار شده در تله‌های کارت زرد چسبنده و برش‌های سیب‌زمینی شمارش و نسبت به شاهد مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بررسی آزمایشگاهی نشان‌دهنده تأثیر مثبت همه تیمارها بر کنترل این آفت بود. بیشترین مرگ لاروهای آفت در غلظت ۱×۱۰^{۶} لارو بر مترمربع از Sf و غلظت دو درصد Bti به ترتیب با ۸۱/۶ و ۷۷/۴ درصد، ثبت شد. در بررسی میدانی، بالاترین کارایی کنترل بر اساس آمار حشرات کامل جلب شده به کارت‌های زرد در تیمار Bti دو در هزار با ۷۵/۷ درصد و بر اساس آمار لاروهای جلب شده به برش‌های سیب‌زمینی در تیمار دیکلرووس و تیمار استفاده همزمان دو بیمارگر (نیم دز نماتد و نیم دز باکتری) بدون اختلاف معنی‌دار با هم به ترتیب با ۷۵/۳ و ۷۴/۸ درصد بود. بیانگر این موضوع که دو بیمارگر در کنترل لارو این آفت به صورت هم‌افزایی عمل کردند. بیشترین عملکرد قارچ خوراکی در هر دهنه در بین تیمارهای بیولوژیک، در تیمار ۱×۱۰^{۶} لارو بر مترمربع نماتد ثبت شد که البته با تیمار باکتری اختلاف معنی‌داری نداشت. با توجه به نتایج بدست آمده، استفاده از این دو عامل کنترل بیولوژیک برای کنترل سیارید *L. auripila* در سالن‌های پرورش قارچ خوراکی توصیه می‌شود.

استناد: لطیفیان، حامد؛ طلایی حسنلویی، رضا؛ حراجی، شیوا و بنی عامری، ولی اله (۱۴۰۲). مقایسه کارایی نماتد *Steinernema feltiae*، باکتری *Bacillus thuringiensis* و حشره‌کش دیکلرووس در کنترل سیارید قارچ خوراکی *Lycoriella auripila*. *نشریه کنترل بیولوژیک آفات و بیماری‌های گیاهی* ، ۱۲ (۱)، ۷۲-۶۱.

DOI: https://doi.org/10.22059/jbioc.2024.374013.339

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/jbioc.2024.374013.339

مقدمه و پیشینه پژوهش

قارچ دکمه‌ای سفید، *Agaricus bisporus* با سهم ۱۱ درصدی از مقدار تولید انواع قارچ خوراکی در دنیا (Quiroz 2024)، مهم‌ترین قارچ تجاری در اروپا و ایران به حساب می‌آید که به نسبت ارزش غذایی زیاد، نیازهای اندکی داشته و برای تولید و پرورش آن از بقایا و ضایعات گیاهی و حیوانی (نظیر کلش گندم و کود مرغی) استفاده می‌شود (Royse *et al*. 2017; Marzban *et al*. 2018; Ebdali *et al*. 2019). تولید تجاری این قارچ تحت تأثیر تعدادی از آفات و بیماری‌های باکتریایی و قارچی در سطح جهانی قرار می‌گیرد که مگس‌ها و سیاریدهای خانواده‌های Cecidomyiidae، Phoridae و Sciaridae اهمیت بیشتری دارند. سیارید قارچ خوراکی با نام علمی *Lycoriella auripila* (Winnertz) (Dip.: Sciaridae) از آفات عمده قارچ خوراکی در سراسر جهان است (Fletcher and Gaze 2008). لارو این سیارید به محصول قارچ خوراکی خسارت مستقیم وارد کرده و با تغذیه از میسلیوم و کمپوست آن سبب کاهش کمی و کیفی محصول می‌گردد. حشره کامل آن نیز با خسارت غیرمستقیم، ناقل برخی بیماری‌های قارچی و باکتریایی بوده که به نوبه خود کیفیت محصول را کاهش می‌دهد. آستانه اقتصادی لارو سیارید قارچ خوراکی در حد صفر است، از این رو، وجود حتی یک لارو در محیط پرورش قارچ نیازمند کنترل است (Kielbasa and Snetsinger 1980; Scheepmaker *et al*. 1997; Shirvani-Farsani *et al*. 2013). بروز مشکلات ناشی از مصرف وسیع و غیراصولی آفت‌کش‌های شیمیایی منجر به بروز مقاومت در آفت، بقایای سموم در مواد غذایی، تهدید سلامتی بشر و آلودگی محیط‌زیست، باعث شده استفاده از روش‌ها و عوامل کنترل بیولوژیک علیه آفات توسعه پیدا کنند (Hajek 2004). در میان عوامل کنترل بیولوژیک، بیمارگرهای حشرات با توجه به نحوه کاربرد، هزینه تولید مناسب و تأثیر نسبتاً سریع، تا اندازه‌ای مشابه آفت‌کش‌های شیمیایی بوده و جایگاه خوبی را به خود اختصاص داده‌اند.

نماتدهای بیمارگر حشرات از طریق تراشه‌های تنفسی، دهان، مخرج و یا در بعضی از گونه‌ها از طریق غشاهای بین بخشی از کوتیکول به میزبان نفوذ کرده و وارد هموسل می‌شوند. افراد جنس *Steinernema* با باکتری‌های *Xenorhabdus* رابطه همزیستی اختصاصی دارند. نماتد بعد از ورود، باکتری‌های همزیست را از لوله گوارش خود به داخل هموسل حشره رهاسازی می‌کنند. این باکتری تکثیر یافته و میزبان آلوده را از بین می برد. باکتری اختصاصی که با نماتود S*teinernema feltiae* ارتباط همزیستی دارد، *Xenorhabdus bovienii* می‌باشد. این باکتری همزیست از گروه گرم منفی بی هوازی اختیاری و دارای هر دو سیستم متابولیسم تنفس و تخمیر می‌باشد (Adams et al. 2006; Ferraira and Malan, 2014). نماتد *S. feltiae* با راهبرد میزبان‌یابی ترکیبی از کمین‌گری و جستجوگری (Grewal *et al*. 1994; Toledo *et al*. 2023)، بیشتر در کنترل آفاتی به کار می‌رود که مرحله لاروی آن‌ها در خاک یا بستر کشت قرار گرفته باشند (Gouge& Hague 1995). مطالعه ریچاردسون و گروال نشان داده که نماتد *S. feltiae* برای کنترل لارو سیاریدهای *L. auripila* موثر بوده و باعث افزایش عملکرد قارچ خوراکی می‌شود (Richardson and Grewal 1993).

استفاده از فرآورده‌های مبتنی بر باکتری *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* نیز می‌تواند گزینه مناسبی برای کنترل سیارید قارچ خوراکی باشد (Anderson *et al*. 2021). تغذیه لاروهای دو بالان از غذای آلوده به این باکتری منجر به توقف تغذیه، ازکار افتادن دستگاه گوارش و در نهایت مرگ حشره می‌شود (Glare and O'callaghan 2000). نتایج تحقیقات مرزبان و همکاران (Marzban *et al*. 2018) در زمینه استفاده از Bt برای کنترل دوبالان قارچ خوراکی در کشور خودمان، نشان می‌دهد که با ملاحظه زمان، نحوه و غلظت استفاده، کارایی قابل توجهی خواهد داشت اما در خصوص استفاده از نماتد Sf برای کنترل این سیارید در داخل کشور، توصیه مبتنی بر پژوهش که در مقایسه با حشره‌کش (های) معمول ارائه شده باشد، وجود نداشت لذا پژوهش حاضر با توجه به اهمیت و ضرورت کنترل سیارید *L. auripila* در پرورش قارچ خوراکی و در راستای کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی، با هدف تخمین کارایی نماتد بیمارگر حشرات *S. feltiae* و باکتری *B. thuringiensis* به‌صورت جداگانه و استفاده هم‌زمان در کنترل سیارید قارچ خوراکی و در مقایسه با اثر حشره‌کش دیکلرووس (۲، ۲–دی کلروونیل دی متیل فسفات)، طراحی و اجرا شد.

روش‌شناسی پژوهش

پرورش قارچ خوراکی و سیارید *Lycoriella auripila*

در محیطی شبیه‌سازی شده با سالن‌های پرورش قارچ، ظرف‌های پلاستیکی (۲۰×۱۵ سانتی‌متر) برای انجام آزمایش حاوی بستر کشت قارچ خوراکی به وزن تقریبی ۱۲۰ گرم آماده شد. بستر کشت در این ظرف‌ها با کاغذ باطله یا روزنامه پوشانده شده و برای مرطوب نگه‌داشتن محیط بستر کشت و رشد میسلیوم‌های قارچ روزانه دو مرتبه پاشش صورت گرفت. ظرف‌های آزمایشی به مدت دوهفته در ژرمیناتور تحت شرایط دمایی ۲±۲۴ درجه سلسیوس، تاریکی کامل و رطوبت نسبی ۱۰±۸۰ درصد به مدت دو هفته نگهداری شدند. پس از طی ۲ هفته که ریسه‌دوانی در بستر کشت صورت گرفت، بر روی آن به اندازه ۲ سانتی‌متر خاک‌پوششی ریخته شد تا میسلیوم از فاز رویشی به زایشی وارد شود و دما هم به ۱۸ درجه سلسیوس کاهش یافت. جمعیت اولیه *Lycoriella auripila* از سالن‌های پرورش قارچ خوراکی کشت و صنعت امیر ارسلان در منطقه صنعتی صفادشت (شهریار، استان تهران) با استفاده از آسپیراتور جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در هرکدام از ظرف‌های آزمایش ۲۰ عدد سیارید نر و ماده برای انجام آزمایش قرار داده شد (Talebi *et al*. 2003) و انکوباتور با شرایط ذکر شده در بالا به مدت دو روز نگهداری شدند. در ادامه هم‌سن سازی، این حشرات از روی بستر کشت ظرف‌ها حذف شدند. پس از گذشت ۷ روز تخم‌های سیارید قارچ خوراکی تفریخ شده و تبدیل به لارو شدند.

عوامل کنترل

در این پژوهش، نماتد بیمارگر حشرات *Steinernema feltiae* تولید شرکت کوپرت هلند با نام تجاری Entonem® و باکتری *B. thuringiensis* subsp. *israelensis* سویه M.H.14 تولید شرکت فناوری زیستی طبیعت‌گرا با نام تجاری BioFlash® استفاده گردید. حشره‌کش دیکلروووس- ددواپ EC 50% تولید آریا شیمی مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی آزمایشگاهی

این بررسی در قالب تیمارهای مختلف با پاشش سه غلظت $۲/۵\times۱۰^{۵}$، ۵×۱۰^{۵} و ۱×۱۰^{۶} لارو عفونت‌زا در هر مترمربع از نماتد بیمارگر حشرات *S. feltiae* ، سه غلظت ۰/۵، ۱ و ۲ در هزار از باکتری *B. thuringiensis* و غلظت یک در هزار آفت‌کش دیکلروووس همراه با شاهد آب مقطر استریل، روی بستر کشت استریل درون ظروف آزمایشی مشابه شرایط پرورش سیارید *Lycoriella*، انجام گرفت (Erler *et al*. 2009; Navarro and Gea 2014). برای ارزیابی و آماربرداری سیاریدهای بالغ قارچ خوراکی در هر کدام از ظرف‌های تحت آزمایش از کارت‌های زرد چسبنده استفاده شد. آماربرداری به صورت هفتگی و تا یک ماه بعد از پاشش صورت گرفت و کارت‌های زرد چسبنده، هر هفته تعویض می‌شد. این بررسی در ۴ تکرار انجام یافت.

بررسی میدانی

این بررسی در سالن‌های پرورش قارچ خوراکی انجام یافت که تیمارهای مورد مطالعه شامل تیمارهای ذکر شده در بررسی آزمایشگاهی به علاوه تیماری با استفاده‌ی هم‌زمان دو بیمارگر حشرات بود. هر یک از تیمارها در دهنه‌های مختلف و ردیف‌های متفاوت سالن‌های اصلی تحت شرایط معمول انجام شد. برای عدم جابجایی سیاریدها در دهنه‌ها، پیرامون هر دهنه از طریق توری با مش مناسب، پوشانده شد. محیط تیماری یک روز بعد از خاک‌دهی بر روی بستر کشت قارچ خوراکی در ۴ تکرار (دهنه‌های مخالف) پاشش شد. ارزیابی حشرات کامل سیاریدها با ۲ کارت زرد چسبنده در هر دهنه مطابق ارزیابی بررسی آزمایشگاهی از بستر کشت صورت گرفت. برای بررسی نوسانات جمعیت لاروهای سیارید قارچ خوراکی در هر تیمار، تعداد دو عدد برش سیب‌زمینی به قطر تقریبی ۵ سانتی‌متر بر روی بسترهای کشت قارچ خوراکی در هر دهنه قرار داده شد. نشاسته موجود در برش‌های سیب‌زمینی منجر به جلب لاروها شده و هر هفته مورد شمارش قرار گرفتند و برش‌های جدیدی جایگزین

برش‌های قبلی شدند (Harris *et al*. 1995). شمارش به صورت هفتگی و تا یک ماه بعد از پاشش انجام یافت. در بررسی میدانی در انتهای فصل تولید قارچ خوراکی در سالن‌های تولید، میزان تولیدی هر دهنه (عملکرد قارچ) بر اساس برداشت‌های اول و دوم ثبت و ارزیابی گردید (Navarro and Gea 2014). همچنین نماتدهای *Steinernema* موجود در خاک پوششی نیز با استفاده از روش الک دی‌گریس[1] ۱۹۶۸ تخمین زده شد (Curan & Heng 1992).

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها در تیمارهای آزمایشگاهی و بررسی میدانی در سالن‌های پرورش قارچ خوراکی بر اساس تعداد حشره کامل شکار شده در تله‌های کارت زرد چسبنده و لاروهای جلب شده به برش‌های سیب‌زمینی انجام شد. در آزمون‌های انجام شده، کاهش جمعیت حشرات در تیمارها نسبت به شاهد محاسبه شده است. اجرای آزمون آزمایشگاهی و بررسی میدانی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (بلوک در زمان) بود. داده‌های حاصل در برنامه آماری SYSTAT نسخه ۱۳ بعد از انجام آزمون نرمالیتی، با ANOVA مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. میانگین تعداد حشرات جلب شده و درصد کارایی تیمارها با آزمون توکی مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته‌های پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی

نتایج کاربرد نماتد بیمارگر حشرات *S. feltiae* و باکتری *B. thuringiensis* روی سیارید قارچ خوراکی در بررسی آزمایشگاهی نسبت به شاهد معنی‌دار بوده ($F_{7,96}$=259.1, P<0.001) و منجر به کاهش جمعیت حشرات کامل و مرحله لاروی سیارید قارچ خوراکی شد. کمترین میانگین جذب حشره کامل به کارت زرد در تیمار ۱×۱۰^{۶} لارو عفونت‌زا در هر مترمربع برای نماتد Sf مشاهد شد (البته بدون اختلاف معنی‌دار با تیمار باکتری دو در هزار)، که نمایانگر بیشترین تأثیر نماتد بر سیارید قارچ خوراکی در آزمایشگاه بوده است (جدول ۱). تیمارهای دو برابر غلظت توصیه شده نماتد و دو برابر غلظت توصیه شده باکتری به ترتیب با کنترل ۸۱/۶ و ۷۷/۴ درصد در بررسی آزمایشگاهی بر روی سیارید قارچ خوراکی تأثیر بیشتری داشته‌اند (جدول ۱).

جدول ۱. میانگین (±SE) تعداد حشرات کامل سیارید قارچ خوراکی جلب شده به کارت زرد چسبنده و کارایی کنترل در تیمارهای آزمایشگاهی

تیمار	میانگین تعداد سیاریدهای جلب شده	کارایی در کنترل (درصد)
شاهد	42 (±2.94) ^{a}	-
نماتد Sf (2.5×10^5 larva/m^2)	18 (±1.28) ^{b}	57.8 ^{d}
باکتری Bti (0.5/1000)	15 (±1.30) ^{bc}	67.6 ^{cd}
نماتد Sf (5×10^5 larva/m^2)	12 (±2.28) ^{cd}	70.5 ^{c}
حشره کش دیکلروس (1/1000)	12 (±1.40) ^{cd}	70.9 ^{c}
باکتری Bti (1/1000)	11 (±1.24) ^{cd}	71.6 ^{bc}
باکتری Bti (2/1000)	9 (±1.29) ^{de}	77.4 ^{ab}
نماتد Sf (1×10^6 larva/m^2)	8 (±1.43) e	81.6 ^{a}

- حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار است (Tukey HSD, P<0.05)
- Sf: *Steinernema feltiae* و Bti*: Bacillus thuringiensis* subsp. *Israelensis*

1. De Grisse

بررسی میدانی

الف) جمعیت حشرات کامل سیارید قارچ خوراکی

نتایج ارزیابی تیمارهای انجام شده در سالن‌های پرورش قارچ خوراکی بر روی سیارید نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار ($F_{8,108}$=826.38, P<0.001) عوامل بیولوژیک استفاده شده بر این سیارید است. غلظت دو در هزار از باکتری Bti مؤثرترین و دارای کمترین میانگین حشره برابر با ۳۰۳ حشره کامل جلب شده به کارت‌های زرد چسبنده در سالن پرورش قارچ خوراکی هست (جدول ۲). تیمارهای سم دیکلروووس و غلظت ۱×۱۰^{۶} نماتد به ترتیب با میانگین جلب ۳۴۸ و ۳۷۵ سیارید، با اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار با غلظت دو در هزار باکتری Bti قرار دارند. تیمارهای غلظت دو در هزار باکتری Bti، سم دیکلروووس و غلظت ۱×۱۰^{۶} نماتود بیمارگر حشرات Sf با درصد کارایی برابر ۷۵/۷، ۷۲/۲ و ۶۹/۹ به ترتیب دارای بیشترین میانگین اثر بر کنترل سیارید قارچ خوراکی در سالن‌های پرورش قارچ بودند (جدول ۲).

ب) جمعیت لاروهای سیارید قارچ خوراکی

نتایج استفاده از ترکیبات بیولوژیک بر روی لاروهای سیارید قارچ خوراکی در سالن پرورش قارچ که از برش‌های سیب‌زمینی استفاده شده است، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد ($F_{8,108}$=93.28, P<0.001).

جدول ۲. میانگین (±SE) تعداد حشرات کامل سیارید قارچ خوراکی جلب شده به کارت زرد چسبنده و کارایی کنترل در تیمارهای سالن اصلی پرورش قارچ

تیمار	میانگین تعداد سیاریدهای جلب شده	کارایی در کنترل (درصد)
شاهد	1248 (±59.2) ^{a}	-
نماتد Sf (2.5×10^5 larva/m^2)	536 (±22.0) ^{b}	57.0 ^{e}
Bti * نماتد Sf (2.5×10^5 larva/m^2) (0.5/1000)	498 (±22.4) ^{bc}	60.1 ^{de}
باکتری Bti (0.5/1000)	493 (±18.8) ^{bc}	60.5 ^{d}
نماتد Sf (5×10^5 larva/m^2)	475 (±71.2) ^{cd}	61.9 ^{cd}
باکتری Bti (1/1000)	433 (±21.7) ^{d}	65.3 ^{c}
نماتد Sf (1×10^6 larva/m^2)	375 (±67.8) ^{e}	69.9 ^{b}
حشره کش دیکلروووس (1/1000)	348 (±20.9) ^{e}	72.2 ^{b}
باکتری Bti (2/1000)	303 (±14.5) ^{f}	75.7 ^{a}

- حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار است (Tukey HSD, P<0.05)
- Sf: *Steinernema feltiae* و Bti: *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis*

تیمار سم دیکلروووس و تیمار استفاده همزمان از نصف غلظت توصیه شده دو بیمارگر (نماتد Sf و باکتری Bti) بدون اختلاف معنی‌دار با هم، با میانگین ۱۰ عدد حشره جلب شده به برش‌های سیب‌زمینی، دارای کمترین میانگین و به عبارتی مؤثرترین تیمارهای این بررسی میدانی بودند. درصد کارایی تیمار سم دیکلروووس برابر ۷۵/۳٪ و در تیمار استفاده همزمان از نماتد به همراه باکتری برابر ۷۴/۸٪ می‌باشد و از تیمارهای دیگر کارایی بیشتری را نشان دادند (جدول ۳).

عملکرد تولید قارچ خوراکی

مطابق نتایج به دست آمده از عملکرد قارچ خوراکی و تأثیر ترکیبات و تیمارهای بیولوژیک بر رشد و پرورش آن‌ها، بین تمام تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($F_{8,54}$=10.9, P<0.001). میانگین وزن قارچ خوراکی در دهنه‌های تیمار شده با سم دیکلرووس بیشترین مقدار وزنی برابر با ۱۷/۰۴ کیلوگرم در هر دهنه را داشتند (جدول ۳). همچنین دهنه‌هایی که با دو برابر غلظت توصیه شده نماتد کنترل شده بودند دارای بیشترین میانگین وزن برابر با ۱۶/۹۱ کیلوگرم در بین تمامی ترکیبات با منشأ بیولوژیکی بودند و تیمار غلظت توصیه شده باکتری با میانگین وزن ۱۶/۱۵ کیلوگرم بعد از تیمار دو برابر غلظت توصیه شده نماتد قرار گرفت.

جدول ۳. میانگین (±SE) تعداد لاروهای جلب شده سیارید قارچ خوراکی به برش‌های سیب‌زمینی، کارایی کنترل و عملکرد قارچ خوراکی در تیمارهای مختلف در بررسی میدانی

تیمار	میانگین تعداد لاروهای جلب شده	کارایی در کنترل (درصد)	عملکرد (کیلوگرم بر دهنه)
شاهد	42 (±2.31) ^{a}	-	12.70 (±0.70) ^{c}
باکتری Bti (0.5/1000)	19 (±2.08) ^{b}	54.4 ^{e}	13.15 (±0.82) ^{c}
باکتری Bti (1/1000)	19 (±1.16) ^{b}	55.0 ^{de}	16.15 (±0.71) ^{ab}
نماتد Sf (2.5×10^5 larva/m^2)	16 (±1.20) ^{bc}	60.5 ^{d}	14.40 (±0.54) ^{bc}
نماتد Sf (5×10^5 larva/m^2)	15 (±0.96) ^{bc}	62.1 ^{cd}	15.66 (±0.81) ^{ab}
باکتری Bti (2/1000)	13 (±0.98) ^{cd}	67.9 ^{c}	15.34 (±0.87) ^{ab}
نماتد Sf (1×10^6 larva/m^2)	11 (±0.84) ^{d}	72.8 ^{b}	16.91 (±0.96) ^{a}
حشره کش دیکلرووس (1/1000)	10 (±1.11) ^{d}	75.3 ^{a}	17.04 (±0.65) ^{a}
Sf (2.5×10^5 larva/m^2) + Bti (0.5/1000)*	10 (±1.20) ^{d}	74.8 ^{a}	14.76 (±1.29) ^{abc}

- حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار است (Tukey HSD, P<0.05)

Bti: *Bacillus thuringiensis* subsp. *Israelensis* و Sf: *Steinernema feltiae*

وجود نماتد *S. feltiae* در خاک پوششی

تخمین تعداد نماتدها در خاک پوششی، نشان داد که به طور میانگین تعداد ۵/۷۵ عدد نماتد در میلی‌متر سوسپانسیون تهیه شده از خاک پوششی تیمار شده با مقدار دو برابر غلظت توصیه شده نماتد وجود دارد. این در حالی است که بر اساس اندازه‌گیری اولیه در این غلظت نماتد، تعداد ۲/۲۳ نماتد بر میلی‌لیتر از سوسپانسیون تهیه شده از خاک پوششی جود داشت. نتایج ثبت شده حاکی از آن است که لاروهای نماتد Sf پس از گذشت یک ماه، بیش از دو و نیم برابر افزایش یافته است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به این مهم که نماتدها و باکتری‌های بیمارگر حشرات به‌ویژه Bt، دامنه میزبانی وسیع و قابلیت مناسب تولید انبوه را دارا هستند، از گزینه‌های اصلی برنامه‌های کنترل بیولوژیک آفات محصولات مختلف از جمله قارچ خوراکی محسوب می‌شوند. البته استفاده از سایر عوامل بیولوژیک از جمله قارچ بیمارگر حشرات (*Metarhizium anisopliae*) و کنه شکارگر (*Gaeolaelaps aculeifer* و *G. miles*) به صورت جداگانه، توام و یا همراه با برخی حشره‌کش‌ها برای کنترل آفات قارچ

خوراکی متعلق به دو خانواده Sciaridae و Phoridae بررسی شده و نتایج نشان از کارایی قابل توجه عوامل بیولوژیک در کنترل آنها بوده است (Jess and Schweizer 2009; Tavoosi Ajvad *et al*. 2020). نماتد Sf توسط پژوهشگران مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و به عنوان عامل بیولوژیک در کنترل آفات قارچ خوراکی در سالن‌های پرورش مطرح شده است (Grewal and Richardson 1993; Jess and Schweizer 2009; Koller, 2011). برخی محققان این نماتد را به عنوان جایگزین مناسب برای آفت‌کش‌های شیمیایی دانسته‌اند (Harris *et al*. 1995; Scheepmaker *et al*. 1998). در کاربرد نماتدها، غلظت و زمان استفاده در میزان اثربخشی آنها، مهم و تعیین‌کننده است. افزایش تولید قارچ در بازه زمانی ۴ هفته‌ای در تیمار نماتد Sf به خوبی مشخص می‌شود (Goug and Hague 1994; Rinker *et al*. 1995; Navarro and Gea 2014). استفاده از غلظت‌های بالای نماتد باعث افزایش زاد و ولد آنها و کم‌شدن مواد غذایی در دسترس می‌شود و این مساله باعث به وجود آمدن نماتدهایی با اندازه کوچک‌تر می‌شود که برخی آن را عامل کاهش کنترل *L. auripila* و به تبع آن کاهش تولید قارچ خوراکی می‌دانند (Scheepmaker *et al*. 1997). طبق نتایج پژوهش حاضر، استفاده از غلظت ۱×۱۰^{۶} لارو بر مترمربع، تأثیر ۷۳ درصدی بر مرگ حشرات *L. auripila* در بررسی میدانی در سالن‌های قارچ داشته است که با نتایج برخی از پژوهشگران در استفاده از غلظت مشابه همین گونه از نماتد، همسو بوده است (Jess and Bingham 2004; Navarro and Gea 2014). در برخی بررسی‌ها، غلظت ۱×۱۰^{۷} لارو بر مترمربع از نماتد Sf توصیه شده که باعث مرگ ۱۰۰ درصدی لاروهای گونه *L. mali* در پرورش قارچ شده است (Rinker *et al*. 1995). در مطالعه گریوال و ریچاردسون هم، غلظت ۳×۱۰^{۶} لارو عفونت‌زا بر سینی ۳۴ کیلوگرمی کمپوست برای کنترل بیولوژیک قابل اعتماد و مقرون به صرفه *L. auripila* گزارش شده است (Grewal and Richardson 1993).

استفاده از برش‌های سیب‌زمینی در نظارت بر جمعیت لاروهای آفات قارچ خوراکی، روش بهتر و مناسب‌تری نسبت به استفاده از تله‌های کارت زرد چسبنده است (Harris *et al*. 1995). مطالعات صورت گرفته و تحقیق انجام شده نشان‌دهنده آن است که غلظت مناسب نماتد برای کنترل آفت باید در بازه ۱×۱۰^{۶} تا ۳×۱۰^{۶} باشد تا کنترل آفت با افزایش عملکرد تولید قارچ همراه باشد. پیش از این نیز تفاوت معنی‌داری بین کنترل لارو و حشرات کامل توسط غلظت دو برابری نماتد Sf و حشره‌کش‌های شیمیایی مشاهده نکرده‌اند که با یافته‌های ما از این تحقیق در کنترل حشرات کامل و جمعیت لاروها هم‌خوانی داشته و با آفت‌کش دیکلروووس تفاوت معنی‌داری ندارد (Harris *et al*. 1995). مشاهدات صورت گرفته نشان‌دهنده اثر مثبت استفاده از باکتری Bti بر روی سیارید *L. auripila* هم در شرایط آزمایشگاهی و هم در شرایط میدانی بود. طبق تحقیقات قبلی نیز تأثیر مثبت سویه *israelensis* این باکتری گزارش شده و استفاده از غلظت بالاتر باعث افزایش مرگ‌ومیر لاروها شده است (Marzban *et al*. 2018). همچنین در کار مرزبان و همکاران، بین غلظت ۲ در هزار باکتری و آفتکش‌های شیمیایی تفاوت معنی‌داری ثبت نشده است که یافته‌های ما با این گزارش‌ها هم‌خوانی دارد و تفاوتی بین تأثیر باکتری Bt سویه *israelensis* و آفت‌کش دیکلروووس مشاهده نشد. باکتری Bt حتماً باید قبل از طغیان آفت در سالن‌های قارچ در غلظت مناسب مورد استفاده قرار گیرد تا اثر مطلوبی ایجاد کند لذا با عنایت به این که ظهور نسل اول *L. auripila* حداکثر ۴ روز بعد از مرحله خاک‌دهی رخ می‌دهد، پس می‌توان استفاده از آن را به بعد از مرحله خاک‌دهی توصیه کرد (Scheepmaker et al. 1997; Jess and Bingham 2004; Cloyd and Dickinson 2006; Marzban *et al*. 2018) که با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر این توصیه مورد تایید و تاکید است. عملکرد قارچ خوراکی با افزایش مقادیر مصرف به غلظت دو برابر توصیه شده باکتری با غلظت معمول یک در هزار باعث افزایش تولید که نشده هر چند بدون اختلاف معنی‌دار، حتی اندکی کاهش هم ثبت شده است. لذا با ملاحظه اقتصاد تولید، همان مصرف یک در هزار باکتری قابل توصیه است. البته کاهش عملکرد در استفاده از غلظت بالاتر فراورده باکتریایی به موجب اثرات سو آن از جمله اثر سوختگی مشابه گیاه‌سوزی روی گیاهان، در منابع قابل طرح بوده که آبیاری بیشتر و یا استفاده از غلظت‌های کمتر Bt را توصیه نموده‌اند (Shamshad *et al*. 2008). میزان تولید قارچ در هر دهنه بر اساس نوع کنترل آفات متغیر بوده و با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشته‌اند. در بین

عوامل کنترل بیولوژیک بیشترین عملکرد برای غلظت ۱×۱۰^{۶} لارو بر مترمربع نماتد Sf و غلظت ۱ در هزار باکتری Bt مشاهده شده است که نشان‌دهنده‌ی افزایش عملکرد قارچ خوراکی در استفاده از عوامل بیولوژیک می‌باشد. در برخی بررسی‌ها نیز استفاده از غلظت‌های مناسب نماتد Sf و باکتری Bt باعث افزایش عملکرد تولید قارچ خوراکی شده است (Scheepmaker et al. 1997; San-Blas *et al*. 2017; Marzban et al. 2018). اما در برخی دیگر، نماتد Sf و باکتری Bt هیچ‌گونه اثر قابل توجهی بر عملکرد تولید قارچ خوراکی نداشته‌اند (Jess and Schweizer 2009; Koller 2011; Navarro and Gea 2014).

با توجه به مطالعات و توصیه‌های گذشته محققان قبلی و نتایج به دست آمده در این بررسی ثابت شده که استفاده از غلظت‌های بالاتر نماتد Sf و باکتری Bt مفید نبوده و حتی قادرند نتایجی منفی بر عملکرد محصول یا عامل کنترلی مورد استفاده نیز داشته باشند. همچنین زمان مناسب برای به‌کارگیری هر دو عامل، پس از خاک‌دهی در سالن‌های پرورش قارچ خوراکی قابل توصیه است.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بخشی از طرح پایان‌نامه نویسنده اول بوده و با حمایت مالی دانشکده کشاورزی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به شماره ۷۳۱۳۲۸۰۰/۶/۲۸ انجام یافته است. بدینوسیله مراتب تشکر و قدردانی را اعلام می‌دارد.

منابع

Anderson VM, Sward GFH, Ranger CM, Reding ME, Canas L (2021) Microbial Control Agents for Fungus Gnats (Diptera: Sciaridae: *Lycoriella*) Affecting the Production of Oyster Mushrooms, Pleurotus spp. *Insects* 12, 786. https://doi.org/10.3390/insects12090786.

Cloyd RA, Dickinson A (2006) Effect of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* and neonicotinoid insecticides on the fungus gnat *Bradysia* sp nr. *coprophila* (Lintner)(Diptera: Sciaridae). Pest Management Science: formerly Pesticide Science 62(2): 171-177.

Curran J, Heng J. (1992) Comparison of three methods for estimating the number of entomopathogenic nematodes present in soil samples. *Journal of Nematology* 24(1):170-6. PMCID: PMC2619239.

Ebdali R, Abbasi M, Abbasi E, Hasankhani SH (2019) An overview of white button mushroom production (*Agaricus bisporus*). *In:* 4th International Congress of Developing Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran, 14-16 Aug. 2019, Tabriz Islamic Art University In cooperation with Shiraz University and Yasouj University, Tabriz, Iran.(In Persian).

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

Fletcher JT, Gaze RH (2008) Mushroom pest and disease control. Manson Publishing, London. 192pp.

Glare TR, O'callaghan M (2000) *Bacillus thuringiensis*: biology, ecology and safety. Wiley Pub., 432 pp. ISBN: 978-0-471-49630-4.

Gouge DH, Hague NGM (1995) Development of *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) in *Bradysia paupera* (Diptera: Sciaridae). *Annals of Applied Biology* 126(2):395 – 401. DOI:10.1111/j.1744-7348.1995.tb05374.x

Grewal P, Lewis E, Gaugler R, Campbell J (1994) Host finding behavior as a predictor of foraging strategy in entomopathogenic nematodes. *Parasitology* 108: 207-215.

Grewal PS, Richardson PN (1993) Effects of application rates of *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) on biological control of the mushroom fly *Lycoriella auripila* (Diptera: Sciaridae). *Biocontrol Science and Technology* 3(1): 29-40.

Hajek A. (2004) Natural enemies, an introduction to biological control. Cambridge University Press, 378pp.

Harris MA, Oetting RD, Gardner WA (1995) Use of entomopathogenic nematodes and a new monitoring technique for control of fungus gnats, *Bradysia coprophila* (Diptera: Sciaridae), in floriculture. Biological Control 5(3): 412-418.

Jess S, Bingham JFW (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(2): 159-167.

Jess S, Schweizer H (2009) Biological control of *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae) in commercial mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation: a comparison between *Hypoaspis miles* and *Steinernema feltiae*. *Pest Management Science* 65(11): 1195-1200.

Kielbasa RD, Snetsinger RJ (1980) Life history of a sciarid fly, *Lycoriella mali*, and its injury threshold on the commercial mushroom. Pennsylvania State University, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station. Bulletin 833, 14.

Koller M (2011) Comparison of *Steinernema feltiae*, *Bacillus thuringiensis* var. *israelenis* and Azadirachtin to control sciarids in organic potted herbs. *Acta Horticulturae* 915, 179-184. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.915.22

Marzban R, Shaikhi Garjan A, Mirzay M, Mohammadipoor A, Gilasian E, Eslamizadeh R, Khabaz H (2018) Evaluation of the efficacy of *Bacillus thuringiensis* in the biological control of Dipteran pests of mushroom in the laboratory and the farm. *BioControl in Plant Protection* 5(2):55-63. (In Persian).

Navarro MJ, Gea FJ (2014) Entomopathogenic nematodes for the control of phorid and sciarid flies in mushroom crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49(1): 11-17. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014000100002

Quiroz LF, Ciosek T, Grogan H, McKeown PC, Spillane C, Brychkova G (2024) Unravelling the Transcriptional Response of *Agaricus bisporus* under *Lecanicillium fungicola* Infection. Int. J. Mol. Sci. 2024, 25, 1283. https://doi.org/10.3390/ijms25021283.

Richardson PN, Grewal PS (1991) Comparative assessment of biological (Nematoda: *Steinernema feltiae*) and chemical methods of control for the mushroom fly *Lycoriella auripila* (Diptera: Sciaridae). *Biocontrol Science and Technology* 1(3): 217-228.

Rinker DL, Olthof TH, Dano J, Alm G (1995) Effects of entomopathogenic nematodes on control of a mushroom-infesting sciarid fly and on mushroom production. *Biocontrol Science and Technology* 5 (1): 109-120. 10.1080/09583159550040051

Royse DJ, Baars J, Tan Q (2017) Current overview of mushroom production in the world. *In*: Zied DC, Pardo-Giminez A (editors), Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications. John Wiley & Sons Ltd, pp. 5-13. 10.1002/9781119149446.ch2

San-Blas E, Luzardo M, Larreal J, Portillo E, Bastidas B (2017) Biological control of the fungus gnat *Bradysia difformis* (Diptera, Mycetophilidae) in mushrooms with *Heterorhabditis amazonensis* in tropical conditions. *Scientia Horticulturae* 216: 120-125.

Scheepmaker JWA, Geels FP, Smits PH, Griensven LV (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(3): 359-368.

Shamshad A, Lift AD, Mansfield S (2008) Toxicity of six commercially formulated insecticides against third instar larvae of mushroom sciarid, *Lycoriella ingenua* Dufour (Diptera: Sciaridae) in New South Wales, Australia. *Australian Journal of Entomology* 47:256–260.

Shirvani-Farsani N, Zamani AA, Abbasi S *et al.* (2013) Toxicity of three insecticides and tobacco extract against the fungus gnat, *Lycoriella auripila* and the economic injury level of the gnat on button mushroom. *Journal of Pest Science* 86, 591–597. https://doi.org/10.1007/s10340-013-0486-x.

Talebi AA, Zamany, A.A., Mohammadi E, Fathipour Y. (2003) Biological Notes on *Lycoriella*

auripila (Dip.: Sciaridae), *Coboldia fuscipes* (Dip.: Scatopsidae), as important pests of button mushroom in Karadj. *Journal of Entomological Society of Iran* 23(1), 21-40.

Tavoosi Ajvad F, Madadi H, Michaud JP, Zafari D, Khanjani M. (2020) Combined applications of an entomopathogenic fungus and a predatory mite to control fungus gnats (Diptera: Sciaridae) in mushroom production. *Biological Control* 141, https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104101

Toledo J, Morán-Aceves BM, Ibarra JE, Liedo P. (2023) Can entomopathogenic nematodes and their symbiotic bacteria suppress fruit fly pests? A review. *Microorganisms* 11(7):1682. https://doi.org/10.3390/microorganisms11071682.