The University of Tehran Press

Biological Control of Pests and Plant Diseases

Online ISNN: 2322-2883

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

The effect of the pathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, on the biological characteristics of the parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor*

Zahra Rahmati Habibabadi[1] | Nafiseh Poorjavad[2]✉

1. Department of Plant Protection, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: z.rahmati@ag.iut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: npoorjavad@iut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 2 Otober 2023

Revised: 11 November 2023

Accepted: 17 November 2023

Published online: 22 June 2022

Keywords:

the intrinsic rate of population increase,

flour moth,

biological control.

ABSTRACT

Knowledge about natural enemy's interactions in biological pest control programs in agricultural systems is important to increase their effectiveness. In this research, the effect of the pathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae), on the fertility-life table parameters of the parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor* (Say) (Hym.: Braconidae) was investigated. The experiment was conducted in a fully randomized design using 12 treatments in Twenty-five replications. The flour moth larvae were contaminated by four different conidia concentration (0, 103, 106, and 109 conidia/ml) of *B. bassiana*, then these larvae in three periods of 24, 48 and 72 hours after contamination were used as the host for female wasps. Based on results, larval and pupal periods of the wasps significantly increased under fungus application, so with increasing conidia concentration, larval and pupal periods increased from 2.94 and 6.36 days to 4.13 and 7.45 days, respectively. The adult longevity of female wasps decreased significantly from 18.97 days to 16.27 days by using *B. bassiana*. The intrinsic rate of population increase (r) and the finite rate of population increase (λ) of wasps showed a decrease with increasing the concentration of fungus and increasing time, while the mean generation time (T) increased from 16 days to 19 days by increasing conidia concentrations. Our results indicate that infection of host larvae with pathogenic fungus has a negative effect on the biological characteristics of parasitoid wasps and can reduce the efficiency of *H. hebetor* in pest control.

Cite this article: Rahmati Habibabadi, Z., & Poorjavad, N. (2022). The effect of the pathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, on the biological characteristics of the parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor*. *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 11 (1), 15-28. DOI: https://doi.org/10.22059/jbioc.2023.366111.325

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/jbioc.2023.366111.325

Extended Abstract

Introduction

Since the interspecific interactions among natural enemies released for the biological control of different pests of a crop can affect the success of controlling each pest, knowing the relationships between natural enemy species in an agricultural system is very important. The fungus, *Beauveria bassiana*, is one of the most well-known entomopathogenic fungus that has broad host range and the low cost mass production and currently is widely used for pest management in greenhouses and outdoor crops. This fungus is used to control the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*, in tomato cultivation. The ectoparasitoid wasp, *Habrobracon hebetor* plays an important role in controlling many native and invasive pests, especially Pyralidae and Noctuidae moths, in agricultural products due to its high search ability, suitable adaptation and wide host range. In Iran, its mass production is done on *Ephestia kuehniella*, and adult wasps are released to parasitize *Helicoverpa armigera* larvae in cotton and tomato fields. The aim of this study is to evaluate the possible effects of *B. bassiana* on the biological characteristics of *H. hebetor* wasps.

Materials and Methods

The fertility-life table parameters of *H. hebetor* wasps were studied on the *E. kuehniella* larvae that were treated with the *B. bassiana* suspensions in three different concentrations (10^3, 10^6 and 10^9 conidia/ml). In order to determine the effect of the duration of host infection with the fungus before parasitization on the fitness parameters of the *H. hebetor*, treated larvae at three times; one day, two days, and three days after the treatment with the fungus, were exposed to wasps. The experiment was carried out in laboratory conditions in an incubator at 25 ± 1°C, 65 ± 5% relative humidity, and 16L:8D

photoperiod. Length of different life stages, number of eggs per female and population parameters including the net reproductive rate (R_0), the gross reproductive rate (GRR), the intrinsic rate of population increase (r), the finite rate of population increase (λ), the age-specific survival rate (l_X), the age-specific fecundity (m_X), and the mean generation time (T) were calculated by checking daily.

Results and Discussion

Our results showed that the embryonic period of wasps is not affected by the host infection with fungus, but the larval and pupal periods were significantly different in different treatments. Our results showed that the embryonic period of bees is not affected by the infection of the host with fungi, but the larval and pupal periods were significantly different in different treatments, so that with the increase of the infection time and the concentration of *B. bassiana* fungus, the length of the larval and pupal periods have increased. Also, the lifespan in female adult wasps that reared on infected host significantly decreased compared by others that reared on un-infected host. The amount of reduction in the adult lifespan was in line with the increase in the concentration of the fungus and the host infection duration. The amount of eggs per female decreased significantly with the increase in the host infection time and the concentration of the fungus. The fertility life table parameters of the parasitoid, *H. hebetor*, were significantly affected by different concentrations of *B. bassiana* in three different host infection times, so that with the increase in the concentration of the fungus and host infection time, amount of the intrinsic rate of population increase and the finite rate of population increase were decreased.

In conclusion, considering the negative effects of *B. bassiana* on the performance of *H. hebetor*, the time of using the entomopathogenic fungus and the release of parasitoid wasps should be chosen very carefully in order to minimize these negative effects in their combined application in biological control programs.

نشریه کنترل بیولوژیک آفات و بیماری‌های گیاهی، دوره ۱۱، شماره ۱

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۸۰۹۰

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

تاثیر قارچ بیمارگر *Beauveria bassiana* روی ویژگی‌های زیستی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor*

زهرا رحمتی حبیب‌آبادی[۱] | نفیسه پورجواد[۲]✉

۱. گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: z.rahmati @ag.iut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: npoorjavad@iut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

نرخ ذاتی افزایش جمعیت، شب پره آرد، کنترل بیولوژیک.

چکیده

شناخت تعاملات بین گونه‌های مختلف دشمنان طبیعی در برنامه‌های کنترل بیولوژیک آفات در سیستم‌های کشاورزی جهت افزایش اثربخشی آنها امری مهم است. در این تحقیق اثر قارچ بیمارگر *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) بر جدول زندگی-باروری زنبور *Habrobracon hebetor* (Say) (Hym.: Braconidae) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در ۱۲ تیمار و در بیست و پنج تکرار انجام شد. آلوده سازی لاروهای شب‌پره آرد با چهار غلظت: صفر، ۱۰۳، ۱۰۶ ، و ۱۰۹ کنیدیوم در میلی‌لیتر انجام شد و این لارو ها در سه بازه زمانی ۲۴، ۴۸ ، و ۷۲ ساعت پس از آلوده‌سازی به عنوان میزبان در اختیار زنبور قرار گرفتند. طبق نتایج به دست آمده طول دوره لاروی و شفیرگی زنبور تحت تاثیر قارچ به طور معنی داری افزایش یافت به گونه‌ای که با افزایش غلظت، طول دوره لاروی و شفیرگی به ترتیب از ۲/۹۴ و۶/۳۶ روز به ۴/۱۳ و ۷/۴۵ روز افزایش یافت. طول عمر حشره بالغ زنبور بعد از استفاده از قارچ به طور معنی‌داری کاهش یافت به نحوی که از ۱۸/۹۷ روز به ۱۶/۲۷ روز رسید. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) با افزایش میزان غلظت قارچ و افزایش زمان، در زنبور کاهش نشان داد؛ در حالی که زمان لازم برای رشد یک نسل (T) با افزایش غلظت به طور متوسط از ۱۶ روز به ۱۹ روز افزایش یافت. نتایج نشانگر آن است که آلودگی لاروهای میزبان به قارچ، اثر منفی بر ویژگی‌های زیستی زنبور پارازیتوئید می‌گذارد و می‌تواند کارایی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* را در کنترل آفت کاهش دهد.

استناد: رحمتی حبیب آبادی، زهرا؛ و پورجواد، نفیسه (۱۴۰۱). تاثیر قارچ بیمارگر *Beauveria bassiana* روی ویژگی‌های زیستی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor*. *نشریه کنترل بیولوژیک آفات و بیماری‌های گیاهی* ، ۱۱ (۱)، ۲۸-۱۵. DOI: https://doi.org/10.22059/jbioc.2023.366111.325

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/jbioc.2023.366111.325

مقدمه

یکی از روش‌های کنترل زیستی آفات، استفاده از قارچ‌های بیمارگر حشرات است. این قارچ‌ها معمولا در طبیعت موجب بیماری و تنظیم جمعیت حشرات می‌شوند (Ezz, 2012). این عوامل با ایجاد بیماری از راه تماس، توانایی آلوده کردن میزبان در تمام مراحل زندگی را دارند. قارچ *Beauveria bassiana* (Vuillemin) (Hypocreales: Cordycipitaceae) یکی از شناخته‌شده‌ترین قارچ‌های بیمارگر حشرات است. دامنه میزبانی وسیع و متنوع و همچنین تولید انبوه و مقرون به صرفه این قارچ موجب شده است که به یکی از بهترین گونه‌های بیمارگر برای مدیریت آفات در گلخانه‌ها و مزارع تبدیل شود (Wraight *et al.*, 1998, Qazzaz *et al.*, 2015). مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که *B. bassiana* اثرات کشنده قابل توجهی روی انواع حشرات آفت، مانند *Ostrinia furnacalis* (Ma *et al.*, 2008)، *Lycorma delicatula* (Clifton *et al.*, 2020)، *Frankliniella occidentalis* (Wang *et al.*, 2020)، *Leptinotarsa decemlineata* (Zemek *et al.*, 2021) و *Spodoptera frugiperda* (Gao *et al.*, 2022) دارد.

شکارگرها و پارازیتوئیدها نیز به عنوان دشمنان طبیعی می‌توانند جمعیت آفات را کنترل کنند و در صورت استفاده صحیح نقش مهمی در مدیریت تلفیقی آفات دارند (Hentz *et al.*, 1998). زنبور *Habrobracon hebetor* (Say) (Hym: Braconidae) پارازیتوئید خارجی و همه‌جازی است که به عنوان یک عامل کنترل بیولوژیک شناخته شده است. توانایی جستجوی بالا، سازگاری مناسب با محیط و طیف وسیعی از میزبان‌ها باعث شده است نقش مهمی در کنترل بسیاری از آفات بومی و مهاجم به ویژه شب‌پره‌های خانواده Pyralidae و Noctuidae در محصولات کشاورزی مختلف را داشته باشد (Darwish *et al.*, 2003). در ایران پرورش انبوه این پارازیتوئید روی پروانه بیدآرد *Ephestia kuehniella* انجام می شود و زنبور بالغ برای پارازیته کردن لارو *Helicoverpa armigera* در مزارع پنبه و گوجه‌فرنگی رها سازی می‌شود (Navaei *et al.*, 2002).

ترکیب چندین گونه دشمن طبیعی ممکن است منجر به کنترل بیولوژیکی کارآمدتر حشرات آفت در اکوسیستم‌های کشاورزی شود (Letourneau *et al.*, 2009، Stiling & Cornelissen, 2005). با این حال، دشمنان طبیعی می‌توانند به طور ناخواسته با هم تعامل منفی داشته باشند و کارایی کنترل زیستی را مختل کنند. بنابراین شناسایی مکانیسم‌های زیربنایی چنین تعاملاتی برای کاهش اثرات نامطلوب بالقوه، حیاتی است (Straub *et al.*, 2008).

بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که قارچ‌های بیمارگر حشرات با دامنه میزبانی وسیع می‌توانند در شرایط محیطی بهینه با دشمنان طبیعی بندپا اثرات آنتاگونیستی داشته باشند (James & Lighthart, 1994, Lacey *et al.*, 1997, Askary & Brodeur, 1999). برای مثال، رشد و نمو پارازیتوئید *Aphidius nigripes* در شته‌های آلوده به قارچ *Lecanicillium lecanii* به دلیل حضور قارچ محدود می‌شود. با این حال باآلوده کردن شته‌ها به قارچ *L. lecanii* در چهار روز پس از پارازیته شدن، نسبت بالایی از پارازیتوئیدها رشدونمو موفقیت آمیزی داشته‌اند (Askary & Brodeur, 1999). پاول در سال ۱۹۸۶ مشاهده کرد که در جمعیت‌های مزرعه‌ای شته‌ها، میزان پارازیتیسم به خاطر افزایش آلودگی‌های قارچی کاهش می‌یابد. زمانی که شته‌ها در کم‌تر از چهار ساعت بعد از پارازیته شدن توسط زنبور پارازیتوئید *Aphidius rhopalosiphi* به قارچ *Pandora neoaphidis* آلوده شوند از رشد و نمو زنبور پارازیتوئید، جلوگیری می‌شود. برعکس، زمانی که در بیشتر از چهار روز بعد از پارازیته شدن آلوده شوند رشد ونمو قارچ مختل می‌شود (Powell *et al.*, 1986). افزایش مرگ و میر گونه‌های آفت حتی زمانی که دخالت بین بیمارگر و پارازیتوئید مشهود است، همچنان مشاهده می‌شود. بیمارگر قارچی *Hirsutella cryptosclerotium* و پارازیتوئید *Gyranusoidea tebygi* Noyes هر دو از دشمنان طبیعی شپشک آرد آلود *Rastrococcus invadens* هستند. با این که بیمارگر، میزان پارازیته شدن را توسط پارازیتوئید، کاهش می‌دهد ولی کل مرگ و میر شپشک آردآلود در کاربرد توامان خیلی بیشتر از زمانی است که هریک به صورت جداگانه استفاده می‌شوند (Madurappulige, 2005). نتایج مطالعه‌ای نشان داد در صورتی که مقادیر زیادی از قارچ بیمارگر به صورت تجاری استفاده شود، مرگ‌ومیر بسیاری از دشمنان طبیعی در هنگام زمستان‌گذرانی افزایش می‌یابد. در انگلستان، مرگ و میر شکارگر *Adalia*

bipunctata به هنگام زمستان گذرانی ۳۶ درصد افزایش می‌یابد که دلیل اولیه آن بیمارگر قارچی *B. bassiana* بود (Mills, 1981) یا حشرات بالغ شکارگر *Coccinella septempunctata* به هنگام زمستان‌گذرانی توسط *B. bassiana* مورد حمله قرار می‌گیرند که میزان آلودگی در جنوب شرق فرانسه تا ۵۰ درصد گزارش شده است (Madurappulige, 2005).

با توجه به اینکه این امکان وجود دارد که عامل بیمارگر در محیط، بر دیگر موجودات غیرهدف اثر بگذارد و موجب شود دشمنان طبیعی آفت نیز آلوده شوند و از طرف دیگر تمایل به استفاده توامان قارچ بیماری‌زای *B. bassiana* و زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در مبارزه با لاروهای آفت و همچنین احتمال وجود همزمان هر دو عامل بیولوژیک به طور طبیعی در مزرعه یا گلخانه، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثر قارچ *B. bassiana* بر ویژگی‌های زیستی زنبور *H. hebetor* انجام شده است.

روش‌شناسی پژوهش

پرورش قارچ *B. bassiana*

برای پرورش قارچ *B. bassiana* از محیط PDA (Potato Dextrose Agar) استفاده شد. قارچ کشت داده شده به مدت سه هفته در انکوباتور در دمای ۱ ± ۲۵ درجه سلسیوس و در تاریکی کامل نگهداری شد تا اسپورزایی قارچ به طور کامل انجام شود. برای تهیه سوسپانسیون از قارچ، کنیدیوم‌ها از قسمت‌های مسن ازسطح محیط کشت خراش داده شدند و با آب مقطر استریل شده همراه با ۰/۰۵ درصد از توییین ۸۰ (Tween 80) مخلوط شد. پس از آماده شدن سوسپانسیون، برای تعیین غلظت کنیدیوم از لام گلبول شمار نئوبار (Neubauer improved bright line hemocytometer) استفاده شد (Mehrvar, 2015). غلظت‌های 10^3، 10^6 و 10^9 (کنیدیوم / میلی لیتر) از سوسپانسیون برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفت.

پرورش پروانه‌ی بید آرد

پرورش شب‌پره بید آرد *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae) در شرایط آزمایشگاهی در دمای ۱ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ±۶۰ درصد و شرایط نوری ۱۶:۸ (تاریکی: روشنایی) صورت گرفت و روی آرد گندم نانوایی، مخلوط با مخمر با نسبت وزنی ۱۰:۱ (مخمر: آرد) پرورش یافت. برای پرورش از ظروف پلاستیکی به ابعاد ۱۰×۱۶×۲۳ سانتی‌متر با درب‌های تهویه‌دار و پوشیده شده با توری پارچه‌ای استفاده شد. تخم شب پره آرد به طور یکنواخت در زیر لایه نازکی از آرد پاشیده شد. به منظور تامین رطوبت مورد نیاز جهت تفریخ تخم‌ها و جلوگیری از خشک شدن آن‌ها، روی توری درب ظرف‌ها مقداری آب پاشیده شد. در این شرایط محیطی پس از گذشتن حدود چهار هفته لاروها آماده برای پارازیته شدن توسط زنبور *H. hebetor* بودند.

پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

پرورش زنبور پارازیتوئید روی لاروهای سنین چهارم و پنجم بید آرد انجام شد. بدین صورت که لارو بید آرد میان دو تور با مش متوسط قرار می‌گرفت و تورها به وسیله‌ی کش، روی دهانه لیوان یکبار مصرف قرار می‌گرفتند. برای بالا بردن جمعیت کلنی، روزانه لاروها تعویض می‌شدند. لاروهای پارازیته شده در انکوباتور با دمای ۱ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت ۵ ± ۶۵ درصد و ۱۶ ساعت روشنایی نگهداری می‌شدند. همچنین تغذیه زنبورها به وسیله پنبه آغشته به آب و عسل ۲۰٪ انجام می‌شد.

بررسی ویژگی‌های جدول زندگی–باروری زنبور *H. hebetor* روی لاروهای شب پره آرد تیمارشده با قارچ *B. bassiana* و بررسی اثر طول مدت آلودگی میزبان بر زنده مانی زنبور *H. hebetor*

به منظور بررسی تاثیر قارچ *B. bassiana* بر ویژگی‌های جدول زندگی *H. hebetor*، لاروهای سنین آخر شب پره آرد (از نظر اندازه یکسان) به طور مستقیم در سوسپانسیون قارچی با سه غلظت کم $۱۰^{۳}$، متوسط $۱۰^{۶}$ و زیاد $۱۰^{۹}$ (کنیدیوم / میلی لیتر) فرو برده و سپس روی کاغذ سفید تمیز برای خشک شدن قرار داده شدند. در تیمار شاهد، لاروها در سوسپانسیون آب استریل شده و ۰/۰۵درصد از توین ۸۰ فرو برده شدند. لاروهای تیمار شده در سه زمان یک روز، دو روز و سه روز بعد از تیمار با قارچ، در اختیار زنبور *H. hebetor* قرار داده شدند. پنج عدد لارو از هر یک از تیمارها به ظرف پلاستیکی شفاف منتقل شد و یک عدد زنبور پارازیتوئید ماده بالغ جفت‌گیری کرده با سن کمتر از ۲۴ ساعت به داخل هر ظرف معرفی شد و اجازه داده شد لاروهای شب پره آرد تیمار شده با قارچ به مدت ۲۴ ساعت در معرض پارازیتوئید باشند. سپس زنبور از ظرف خارج شده و وضعیت لاروهای تیمار شده روزانه زیر استریومیکروسکوپ بررسی شدند. وضعیت تخم‌ها از نظر باروری یا عدم باروری و طول دوره جنینی ثبت شد. در ادامه نیز نمونه‌ها در مرحله لاروی و شفیرگی به‌طور روزانه بررسی شدند و طول دوره رشد و نمو این مراحل نیز ثبت شد. پس از ظهور حشرات کامل و تعیین جنسیت آنها، نسبت جنسی (تعداد افراد ماده به کل جمعیت) تعیین شد. برای بررسی تاثیر میزبان آلوده با قارچ بر باروری زنبورهای پرورش یافته روی میزبان‌های آلوده، حشرات کامل ظاهر شده از هر تیمار به صورت یک جفت حشره نر و ماده در لیوان یکبار مصرف قرار داده شد. روزانه برای هر جفت زنبور، پنج عدد لارو سن پنج شب‌پره آرد قرار داده شد. میزان تخم‌ریزی زنبور با استریو میکروسکوپ شمارش و ثبت شد. روزانه تا پایان عمر زنبورها، لاروهای غیر پارازیته با لاروهای پارازیته شده جایگزین شدند. تغذیه زنبورها روزانه تا پایان عمر، با محلول آب عسل انجام شد.

آزمایش مورد نظر در ۱۲ تیمار (سه غلظت مختلف از قارچ *B. bassiana* و تیمار شاهد، در سه زمان ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از آلوده سازی) در بیست و پنج تکرار که هر تکرار شامل یک ظرف (یک زنبور ماده بالغ جفت‌گیری کرده، با پنج لارو شب‌پره آرد) بود، انجام شد. آزمایش در شرایط آزمایشگاهی در انکوباتور با دمای ۱ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت ۵ ± ۶۵ درصد و دوره روشنایی ۸ : ۱۶ انجام شد.

طول مراحل مختلف زندگی و پارامترهای جمعیت شامل نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، نرخ بقای ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سنی (m_x)، میزان باروری و میانگین زمان یک نسل (T) با استفاده از نرم‌افزار TWOSEX MSChart (2016) محاسبه شد (Chi, 2009). برای تخمین خطای استاندارد، آماره‌های جدول زندگی–باروری از روش بوت استرپ و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون بوت–استرپ جفت شده استفاده شد.

یافته‌های پژوهش و بحث

مقایسه میانگین طول دوره زیستی مراحل مختلف زندگی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تحت تاثیر غلظت‌های مختلف قارچ بیمارگر *B. bassiana* در سه مدت زمان آلودگی مختلف ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت، در جدول ۱ آمده است. نتایج به دست آمده نشان داد دوره نمو تخم زنبور پارازیتوئید، تحت تاثیر کاربرد قارچ قرار نمی‌گیرد ولی دوره لاروی و شفیرگی پارازیتوئید در بازه‌های زمانی مختلف آلودگی به قارچ، بین تیمار شاهد و تیمارهای مختلف، اختلاف معنی داری نشان داد؛ به‌گونه‌ای که با افزایش زمان آلودگی و غلظت قارچ *B. bassiana* طول دوره لاروی و شفیرگی زنبور افزایش یافته است (جدول ۱).

کل زمان رشد و نمو مرحله پیش از بلوغ پارازیتوئید (تخم، لارو و شفیره) روی لاروهای سالم (شاهد) و آلوده شده به قارچ، با افزایش غلظت قارچ *B. bassiana* افزایش معنی داری داشت (جدول ۱). علاوه‌بر این طول دوره رشد و نمو زنبور در زمان‌های مختلف سپری شده از آلودگی به قارچ، اختلاف معنی‌داری نشان داد؛ به طوری که بیش‌ترین طول دوره رشد زنبور

جدول ۱. دوره رشدو نمو (میانگین ± خطای استاندارد) زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* روی لاروهای سالم و تیمار شده *Ephestia kuehniella* با غلظت‌های مختلف قارچ *Beauveria bassiana* با مدت زمان مختلف آلودگی

زمان آلودگی (ساعت)	غلظت (کنیدیوم/ میلی لیتر)	مراحل مختلف زندگی				
		تخم	لارو	شفیره	پیش از بلوغ	بالغ
۲۴	شاهد	۱/۹۴ ± ۰/۰۶	۲/۸۹ ± ۰/۰۷^{b}	۶/۳۱ ± ۰/۰۷^{c}	۱۱/۱۳ ± ۰/۰۹^{b}	۱۹/۰۶ ± ۰/۴۰^{a}
	۱۰^{۳}	۱/۸۵ ± ۰/۰۶	۳/۱۱ ± ۰/۰۷^{a}	۶/۷۳ ± ۰/۰۸^{b}	۱۱/۶۵ ± ۰/۱۱^{b}	۱۷/۸۸ ± ۰/۳۹^{ab}
	۱۰^{۶}	۱/۸۳ ± ۰/۰۸	۳/۲۷ ± ۰/۱۰^{a}	۶/۹۸ ± ۰/۰۹^{ab}	۱۲/۱۱ ± ۰/۲۰^{ab}	۱۷/۶۲ ± ۰/۳۸^{b}
	۱۰^{۹}	۱/۸۲ ± ۰/۰۹	۳/۷۱ ± ۰/۱۳^{a}	۷/۳۲ ± ۰/۱۳^{a}	۱۲/۸۶ ± ۰/۱۱^{a}	۱۷/۱۹ ± ۰/۴۰^{b}
۴۸	شاهد	۱/۹۰ ± ۰/۰۶	۲/۷۳ ± ۰/۰۷^{b}	۶/۳۰ ± ۰/۰۷^{b}	۱۰/۹۷ ± ۰/۱۰^{c}	۱۸/۸۷ ± ۰/۴۱^{a}
	۱۰^{۳}	۱/۸۷ ± ۰/۰۶	۳/۱۹ ± ۰/۰۹^{a}	۶/۹۴ ± ۰/۰۰^{b}	۱۲/۰۲ ± ۰/۱۶^{bc}	۱۷/۷۱ ± ۰/۴۱^{ab}
	۱۰^{۶}	۱/۷۸ ± ۰/۰۸	۳/۵۹ ± ۰/۱۱^{a}	۷/۳۱ ± ۰/۱۰^{ab}	۱۲/۷۱ ± ۰/۱۶^{b}	۱۷/۲۳ ± ۰/۴۲^{b}
	۱۰^{۹}	۱/۹۳ ± ۰/۰۹	۴/۰۸ ± ۰/۱۳^{a}	۷/۶۰ ± ۰/۱۲^{a}	۱۳/۷۲ ± ۰/۲۳^{a}	۱۶/۸۰ ± ۰/۴۹^{b}
۷۲	شاهد	۱/۸۸ ± ۰/۰۶	۲/۹۴ ± ۰/۰۹^{b}	۶/۳۶ ± ۰/۰۷^{b}	۱۱/۱۴ ± ۰/۱۰^{c}	۱۸/۹۷ ± ۰/۴۰^{a}
	۱۰^{۳}	۱/۸۴ ± ۰/۰۸	۳/۴۱ ± ۰/۱۱^{b}	۷/۲۴ ± ۰/۱۰^{a}	۱۲/۴۴ ± ۰/۱۹^{b}	۱۷/۵۴ ± ۰/۴۴^{b}
	۱۰^{۶}	۱/۸۵ ± ۰/۰۹	۴/۰۰ ± ۰/۱۴^{ab}	۷/۴۱ ± ۰/۱۱^{a}	۱۳/۳۰ ± ۰/۱۷^{a}	۱۷/۱۱ ± ۰/۵۲^{b}
	۱۰^{۹}	۱/۹۴ ± ۰/۲۰	۴/۱۳ ± ۰/۲۱^{a}	۷/۴۵ ± ۰/۲۰^{a}	۱۳/۴۵ ± ۰/۶۷^{a}	۱۶/۲۷ ± ۰/۸۴^{b}

میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

مربوط به زنبورهایی بود که دوره رشدی خود را در میزبان‌هایی که ۷۲ ساعت از آلودگی آن‌ها می‌گذشت، تکمیل کردند. در مطالعه بررسی اثر غلظت زیرکشنده قارچ بیمارگر *Metarhizium anisopliae* روی پارازیتوئید *H. hebetor* نیز نشان داده شد طول دوره جنینی، لاروی، شفیرگی و پیش از بلوغ پارازیتوئید ۷۲ ساعت بعد از مواجهه با عامل بیمارگر افزایش می‌یابد (Jarrahi & Safavi, 2016). به نظر می‌رسد هرچه که از آلوده‌سازی میزبان به قارچ می‌گذرد رقابت بین زنبور و قارچ به‌ویژه برای لاروهای جوان سبب می‌شود که لارو زنبور، انرژی بیش‌تری را صرف پدیده رقابت کرده و در نتیجه، کل مراحل نابالغ طولانی‌تر می‌شود، ولی اگر از آلودگی میزبان زمان زیادی نگذشته باشد و هنوز قارچ بیمارگر توسعه و تکثیر کافی نیافته باشد لارو زنبور با سرعت بیش‌تری رشد خود را کامل کرده و فضا را برای قارچ محدودتر می‌کند (Fransen & van Lenteren, 1993). در مقابل، گزارش شده است که قارچ *Verticillium lecanii* روی رشدونمو مراحل مختلف زندگی شکارگر *Serangium japonicum* پس از تلقیح مستقیم با قارچ بیمارگر، تاثیری نداشته است (Fatiha *et al.*, 2008).

طول عمر حشرات بالغ *H. hebetor* در تیمار شاهد در هر سه تیمار مدت زمان آلودگی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت، به ترتیب ۱۹/۰۶، ۱۸/۸۷ و ۱۸/۹۷ بود که این میزان بعد از استفاده از قارچ به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۱)، زیرا بین لارو پارازیتوئید و قارچ بیمارگر، بر سر منبع غذایی مشترک، رقابت وجود دارد که با افزایش مدت زمان آلودگی و غلظت قارچ مورد استفاده، این رقابت شدیدتر شده و کیفیت لارو میزبان برای پارازیتوئید به شدت کاهش یافته است (Rashki *et al.*, 2009). عسکری و عجم حسنی مشاهده کردند که میانگین طول عمر افراد بالغ زنبور پارازیتوئید *Aphidius nigripes* زمانی که تحت تاثیر قارچ *Lecanicillium muscarium* قرار گرفتند به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت (Askary & Ajam-Hassani, 2008). همچنین کاهش طول عمر حشرات بالغ پارازیتوئید *Tamarixia triozae* روی میزبان‌های تیمار شده با قارچ *B. bassiana* نسبت به میزبان‌های غیرآلوده کاهش داشته است که می‌تواند علت آن رقابت ناشی از منابع غذایی باشد (Tamayo-Mejía *et al.*, 2016). این در حالی است که راشکی و همکاران در بررسی‌های خود نشان دادند که میانگین کل دوره زندگی زنبور پارازیتوئید *Aphidius matricariae* تحت تاثیر قارچ *B. bassiana* به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت (Rashki *et al.*, 2009). اما تفاوتی در طول عمر پارازیتوئید ماده *Aphidius colemani* خارج شده از پوره‌های

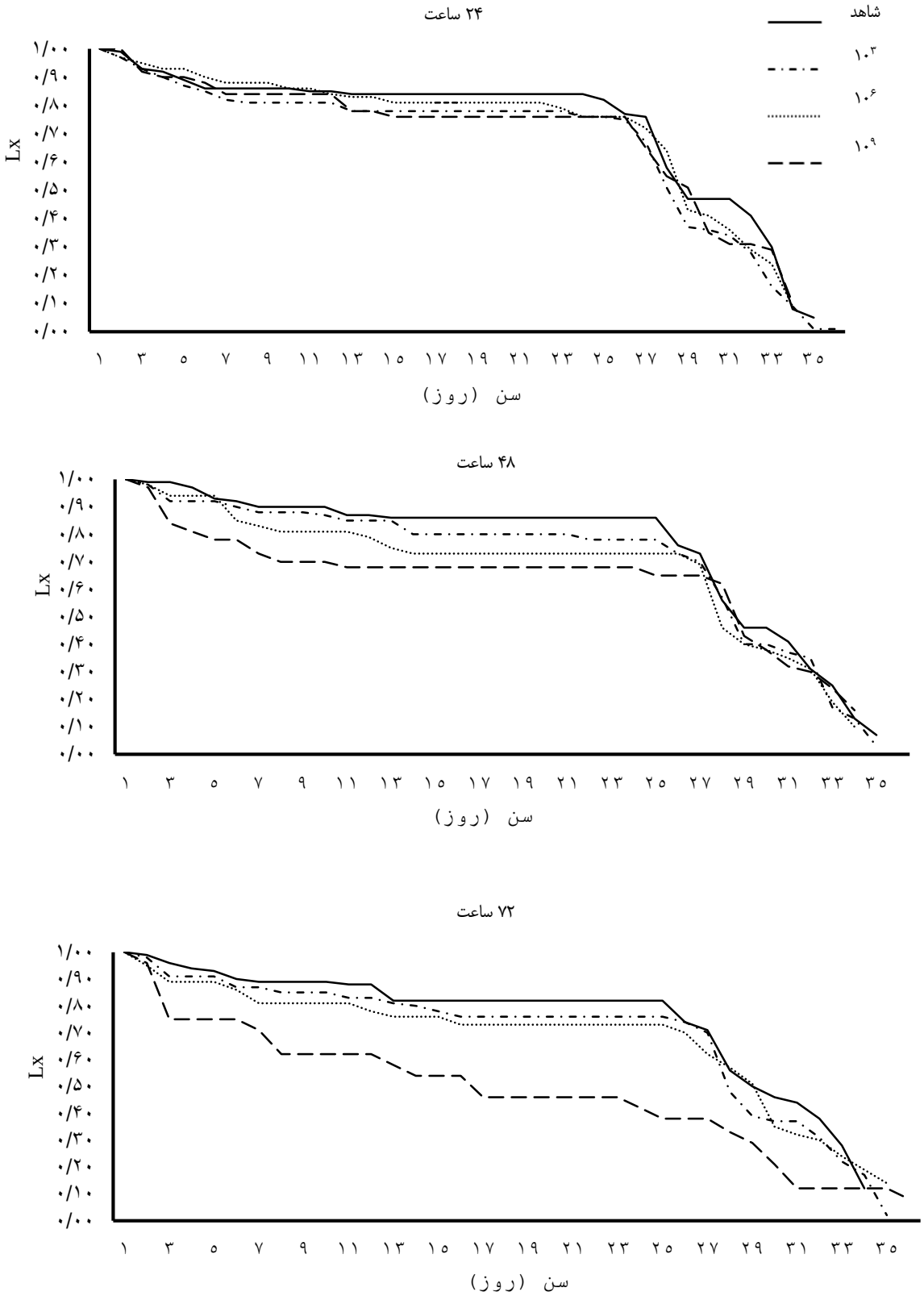
جدول ۲. پارامترهای جدول زندگی–باروی (میانگین ± خطای استاندارد) زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* روی لاروهای سالم *Ephestia kuehniella* و تیمار شده با غلظت‌های مختلف قارچ *Beauveria bassiana* با مدت زمان مختلف آلودگی

زمان آلودگی (ساعت)	غلظت (کنیدیوم/ میلی لیتر)	مراحل مختلف زندگی					
		r	λ	R_0	GRR	T	باروری
۲۴	شاهد	۰/۲۶ ± ۰/۰۰ a	۱/۳۰ ± ۰/۰۱ a	۹۰/۰۱ ± ۱۰/۹۹	۱۱۵/۲۸ ± ۱۱/۱۲	۱۶/۹۱ ± ۰/۱۲ b	۱۹۰/۳۱ ± ۱/۱۲ a
	10^3	۰/۲۴ ± ۰/۰۱ b	۱/۲۷ ± ۰/۰۱ b	۷۱/۷۹ ± ۱۱/۰۱	۱۰۱/۰۰ ± ۱۲/۰۷	۱۷/۴۱ ± ۰/۲۳ b	۱۷۸/۱۵ ± ۱/۷۹ b
	10^6	۰/۲۴ ± ۰/۰۱ b	۱/۲۷ ± ۰/۰۱ b	۷۴/۸۱ ± ۱۱/۳۶	۱۰۰/۱۰ ± ۱۲/۰۷	۱۷/۶۳ ± ۰/۳۷ ab	۱۷۳/۵۶ ± ۱/۷۵ b
	10^9	۰/۲۲ ± ۰/۰۱ c	۱/۲۵ ± ۰/۰۱ c	۷۰/۸۳ ± ۱۱/۹۴	۱۰۲/۳۹ ± ۱۳/۰۰	۱۸/۷۵ ± ۰/۲۳ a	۱۷۳/۵۵ ± ۱/۹۴ b
۴۸	شاهد	۰/۲۶ ± ۰/۰۰ a	۱/۳۰ ± ۰/۰۱ a	۸۶/۲۹ ± ۱۱/۰۵	۱۰۸/۵۷ ± ۱۱/۲۰	۱۶/۶۵ ± ۰/۱۶ c	۱۸۵/۶۷ ± ۱/۷۲ a
	10^3	۰/۲۴ ± ۰/۰۱ b	۱/۲۸ ± ۰/۰۱ b	۷۷/۳۸ ± ۱۱/۰۸	۱۰۵/۱۰ ± ۱۱/۷۵	۱۷/۴۱ ± ۰/۳۳ b	۱۷۸/۵۸ ± ۱/۶۵ b
	10^6	۰/۲۲ ± ۰/۰۱ c	۱/۲۵ ± ۰/۰۱ c	۶۴/۳۹ ± ۱۱/۶۵	۹۶/۲۰ ± ۱۳/۰۶	۱۸/۶۶ ± ۰/۲۶ a	۱۷۱/۷۲ ± ۲/۳۷ c
	10^9	۰/۲۱ ± ۰/۰۱ d	۱/۲۴ ± ۰/۰۱ d	۶۳/۳۲ ± ۱۳/۳۵	۱۰۰/۴۵ ± ۱۶/۲۰	۱۹/۱۲ ± ۰/۴۸ a	۱۶۷/۳۶ ± ۱/۶۴ c
۷۲	شاهد	۰/۲۶ ± ۰/۰۰ a	۱/۳۰ ± ۰/۰۱ a	۸۵/۱۹ ± ۱۱/۰۰ a	۱۱۰/۹۸ ± ۱۱/۴۰	۱۶/۸۸ ± ۰/۱۴ b	۱۸۵/۸۸ ± ۱/۴۷ a
	10^3	۰/۲۳ ± ۰/۰۱ b	۱/۲۶ ± ۰/۰۱ b	۷۲/۰۱ ± ۱۱/۷۸ ab	۱۰۳/۰۹ ± ۱۲/۶۶	۱۷/۹۲ ± ۰/۴۲ b	۱۷۶/۷۷ ± ۲/۴۲ b
	10^6	۰/۲۲ ± ۰/۰۱ c	۱/۲۴ ± ۰/۰۱ c	۷۱/۰۸ ± ۱۳/۷۰ ab	۱۰۸/۰۳ ± ۱۵/۰۱	۱۹/۲۴ ± ۰/۲۹ a	۱۷۵/۳۳ ± ۲/۵۰ b
	10^9	۰/۱۹ ± ۰/۰۳ d	۱/۲۱ ± ۰/۰۲ d	۴۱/۹۱ ± ۱۴/۵۹ b	۱۱۰/۰۲ ± ۲۵/۷۱	۱۹/۰۴ ± ۱/۱۲ b	۱۶۷/۶۷ ± ۲/۵۰ c

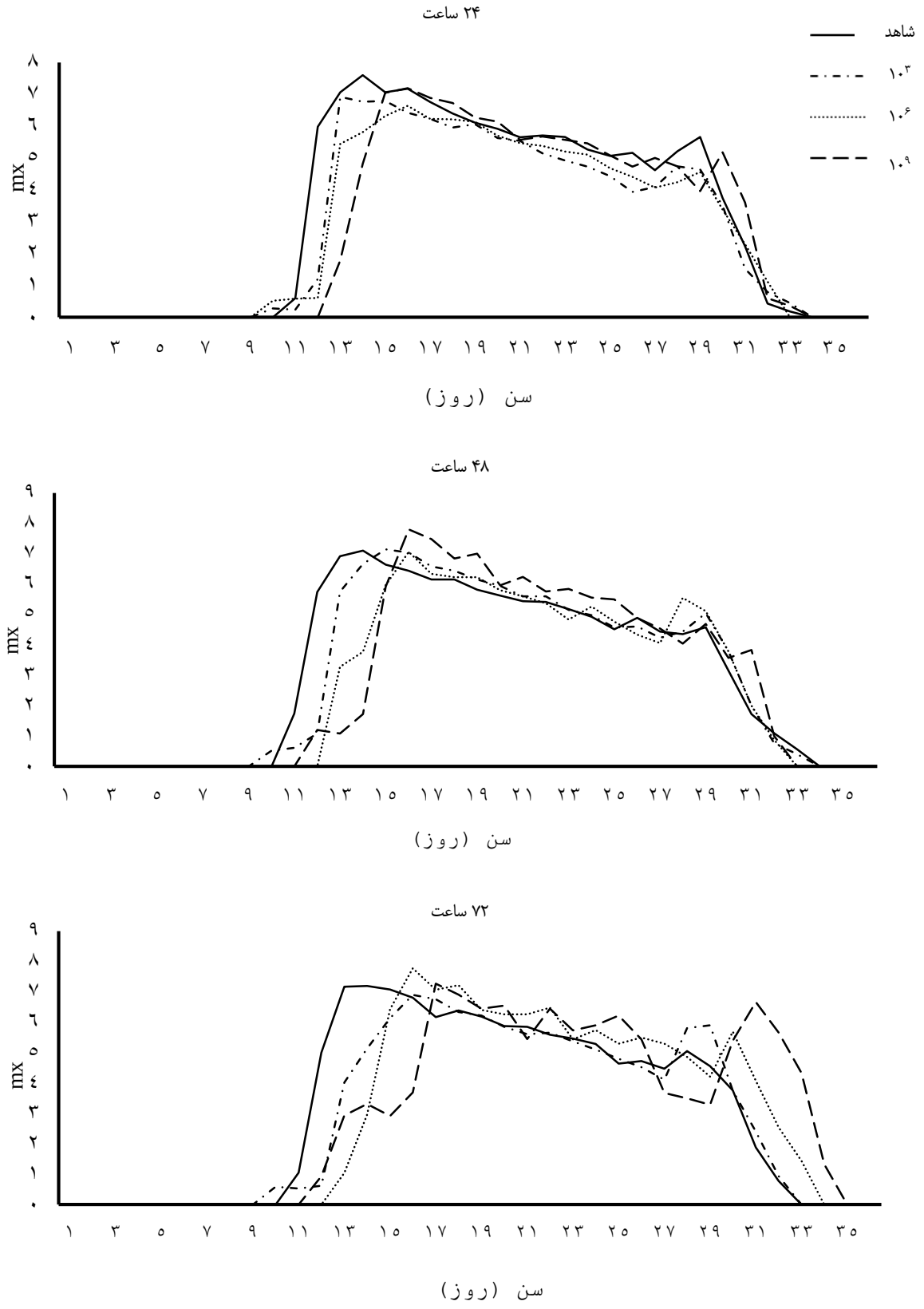
میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

تیمار شده *Aphis gossypii* با قارچ .L*ecanicillium* spp مشاهده نشد (Aiuchi *et al*., 2012). علت این تفاوت‌ها ممکن است به ویژگی‌های قارچ بیمارگر مورد استفاده یا غلظت‌های اعمال شده بر گردد (Tamayo-Mejía *et al*., 2016).

نتایج مربوط به پارامترهای رشدی جمعیت و میزان باروری پارازیتوئید *H. hebetor* تحت تاثیر غلظت‌های مختلف قارچ بیمارگر *B. bassiana* در سه مدت زمان آلودگی مختلف ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت، در جدول ۲ نشان داده شده است. مطالعه ما نشان داد پارامترهای جدول زندگی پارازیتوئید *H. hebetor* به طور قابل توجهی تحت تاثیر بیمارگر *B. bassiana* قرار گرفت. مشخص شد در بازه‌های زمانی مختلف با افزایش میزان غلظت قارچ *B. bassiana* در مقایسه با تیمار شاهد، نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور (r) (تعداد افراد ماده‌ای که به ازای هر فرد ماده در هر روز به جمعیت اضافه می‌شوند) که مهمترین پارامتر برای ارزیابی رشد جمعیت است و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) کاهش پیدا می‌کند. بنابراین این قارچ بیمارگر اثرات نامطلوبی بر افزایش جمعیت پارازیتوئید در بازه‌های زمانی مختلف داشت. علاوه بر این، کاهش مقادیر r در نتیجه طولانی شدن میانگین طول مدت یک نسل (T) (میانگین مدت زمانی که در طی آن زادگان تولید شده‌اند) در زمان‌های مختلف بود. بدون شک، میزان پایین‌تر T برای پارازیتوئیدها در مقایسه با میزبان آنها مزیت محسوب می‌شود، زیرا منجر به نسل‌های بیشتر در یک دوره معین می‌شود. بنابراین افزایش میزان T در اثر کاربرد قارچ بیمارگر، اثر نامطلوبی بر پارازیتوئید دارد (Jarrahi & Safavi, 2016). نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR) (متوسط تعداد نتاج ماده تولید شده توسط یک فرد ماده در طول عمر) در زمان‌های مختلف و در غلظت‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری نشان نداد؛ همچنین نرخ خالص تولیدمثل (R_0) (متوسط تعداد نتاج ماده تولیدشده توسط یک فرد ماده با احتمال بقای آن فرد) فقط در زمان ۷۲ ساعت پس از آلوده‌سازی بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۲) بطوریکه افزایش غلظت قارچ باعث کاهش معنی دار نرخ خالص تولید مثل شد. فاتیحا و همکاران در سال ۲۰۰۸ گزارش کردند که با کاربرد مستقیم قارچ *V. lecanii* روی دشمنان طبیعی سفیدبالک، میزان نرخ خالص تولیدمثل (R_0) کاهش یافته است در حالی که میزان طول دوره یک نسل (T) بین تیمار شاهد و آلوده به قارچ، اختلاف معنی‌داری نداشت (Fatiha *et al*., 2008). مطالعات نشان داده‌اند که در کاربرد همزمان قارچ بیمارگر حشرات و زنبور



شکل ۱. نمودار نرخ بقا(L_x) زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* روی لاروهای سالم *Ephestia kuehniella* و تیمار شده با غلظت‌های مختلف قارچ *Beauveria bassiana* با مدت زمان مختلف آلودگی



شکل ۲. نمودار متوسط تولید نوزاد ماده(m_x) زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* روی لاروهای سالم *Ephestia kuehniella* و تیمار شده با غلظت‌های مختلف قارچ *Beauveria bassiana* با مدت زمان مختلف آلودگی

پارازیتوئید، لارو زنبور توانایی رقابت با عامل بیمارگر را بر سر منابع غذایی ندارد (Scopes, 1970). زیرا ارزش غذایی میزبان در آلودگی به عامل بیمارگر تحت تاثیر قرار می‌گیرد که نقش مهمی در تعیین میزان افزایش جمعیت پارازیتوئید ایفا می‌کند و می‌تواند به عنوان یک عامل بازدارنده رشد جمعیت محسوب شود. علاوه‌براین، قارچ‌های بیمارگر حشرات می‌توانند بر کیفیت میزبان، میزان تخمریزی، کیفیت و سودمندی دشمنان طبیعی تاثیرگذار باشند (Wekesa *et al.*, 2007).

نتایج نشان داد که هر حشره ماده در طول زندگی خود به طور میانگین ۱۸۵ تخم روی بدن لاروهای سالم قرار می‌دهد. با در نظر گرفتن بازه‌های زمانی پس از آلوده‌سازی مشاهده شد که با افزایش طول مدت آلودگی و با افزایش غلظت قارچ، میزان تخم‌گذاری و در نتیجه میزان پارازیتیسم لاروها توسط زنبور سالمی که لاروهای آلوده به قارچ، برای تخمریزی در اختیار داشته به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد با افزایش مدت زمان پس از آلوده سازی، رقابت بین قارچ و پارازیتوئید افزایش می‌یابد، همچنین قارچ، کیفیت میزبان را برای لارو پارازیتوئید کاهش می‌دهد و گاها موجب مرگ میزبان می‌شود (Rashki *et al.*, 2009). همچنین راشکی و همکاران در سال ۲۰۰۹ گزارش کردند که با افزایش بازه‌های زمانی پس از آلوده‌سازی، تعداد شته‌های مومیایی شده توسط زنبور های *Aphidius matricariae* که شته‌های آلوده به قارچ *B. bassiana* را در اختیار داشته‌اند، کاهش یافته است (Rashki *et al.*, 2009). پاول و همکاران نیز نتایج مشابهی را به هنگام استفاده از زنبور پارازیتوئید *Aphidius rhopalosiphi* روی شته‌های آلوده به قارچ *Pandora neoaphidis* گزارش کردند (Powell *et al.*, 1986).

منحنی نرخ بقا و متوسط تولید نوزاد ماده (m_x) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تحت تاثیر غلظت‌های مختلف قارچ بیمارگر *B. bassiana* در سه مدت زمان آلودگی مختلف ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت، به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. در میزان نرخ بقاء پارازیتوئید در بازه‌زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آلوده سازی در غلظت‌های مختلف بیمارگر با تیمار شاهد، اختلاف چشمگیری مشاهده نشد (شکل ۱) ولی کمترین نرخ بقاء به دست آمده برای زنبور پارازیتوئید روی لاروهای تیمار شده پس از ۷۲ ساعت آلودگی و در غلظت 10^9 مشاهده شد (شکل ۱) که نتایج نشان می‌دهد نرخ بقا با افزایش میزان غلظت قارچ بیمارگر و ۷۲ ساعت پس از آلودگی به شدت کاهش پیدا می‌کند. جراحی و صفوی (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند نرخ بقا ویژه سنی (l_x) پارازیتوئید *H. hebetor* تحت تاثیر غلظت زیر کشنده قارچ بیمارگر *M. anisopliae* قرار گرفت و بر اساس منحنی‌های بقا، پارازیتوئید میزان مرگ و میر بالاتری را در مراحل اولیه سن، در بازه زمانی ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از آلودگی نشان داد. کاهش نرخ بقاء پارازیتوئیدها با افزایش فاصله زمانی بین آلوده‌سازی و پارازیتیسم، احتمالا به دلیل پیشی گرفتن رشد قارچ بیمارگر بوده است که این عامل بیماری‌زا کیفیت میزبان را برای پارازیتوئید کاهش داده است (Rashki *et al.*, 2009). در مقابل هیچ اثر نامطلوبی از قارچ *V. lecanii* بر نرخ بقا شکارگر *S. japonicum* گزارش نشد (Fatiha *et al.*, 2008). متوسط تولید نوزاد ماده (m_x) در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از آلوده‌سازی بین تیمارهای مختلف اختلاف قابل توجهی را نشان نداد ولی در زمان ۷۲ ساعت پس از آلوده‌سازی در غلظت 10^9 نسبت به سایر تیمارها، با شیب بیشتری کاهش یافت (شکل ۲). در واقع با افزایش فاصله زمانی بین برخورد میزبان آلوده به قارچ و پارازیتوئید، باروری زنبورهای ماده کاهش می‌یابد. کاهش مشاهده شده در میزان لقاح ممکن است به دلیل تغییرات منفی در وضعیت فیزیولوژیکی پارازیتوئید ماده مرتبط با عفونت قارچی باشد (Roy & Pell, 2000). علاوه بر این، ترجیح پارازیتوئید ماده برای لاروهای تیمار شده یا نشده، دلیل احتمالی دیگری برای باروری کمتر *H. hebetor* است (Mesquita & Lacey, 2001).

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که قارچ بیمارگر *B. bassiana* می‌تواند تا حدی اثر منفی روی رشد پارازیتوئید *H. hebetor* داشته باشد. بررسی پارامترهای جدول زندگی –باروری زنبور پارازیتوئید، روی لاروهای شب‌پره آرد آلوده به قارچ نشان داد که آلودگی لاروها به قارچ، اثرات نامطلوبی بر پارامترهای زیستی زنبور پارازیتوئید می‌گذارد و درنهایت باعث می‌شود نرخ ذاتی

افزایش جمعیت کاهش پیدا کند. میزان تاثیر منفی قارچ روی زنبور پارازیتوئید متناسب با افزایش زمان آلودگی لاروها به قارچ افزایش می‌یابد. بنابراین با در نظر گرفتن تاثیرات منفی این قارچ روی زنبور پارازیتوئید، در استفاده توامان آنها در کنترل بیولوژیک آفات در سطح مزارع یا گلخانه ها، باید زمان مناسب برای پاشش قارچ بیمارگر و رهاسازی زنبور پارازیتوئید، با دقت بیشتری انتخاب شود تا این تاثیرات منفی، به حداقل برسد. همچنین پیشنهاد می‌شود نقش زنبور *H. hebetor* بر میزان انتقال مکانیکی قارچ *B. bassiana* در مزارع بررسی شود.

منابع

عسکری، حسن و عجم‌حسنی، مریم (۱۳۸۷). بررسی تاثیر قارچ *Lecanicillim longisporum* (Deut.: Moniliales) روی طول عمر، باروری و رفتار جفت‌گیری زنبور پارازیتوئید. *آفات و بیماری‌های گیاهی*، ۷۶(۲)، ۱۵-۳۱.

REFERENCES

Aiuchi, D., Saito, Y., Tone, J., Kanazawa, M., Tani, M., & Koike, M. (2012). The effect of entomopathogenic *Lecanicillium* spp. (Hypocreales: Cordycipitaceae) on the aphid parasitoid *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiinae). *Applied Entomology and Zoology, 47*, 351-357. https://doi.org/10.1007/s13355-012-0125-7

Askary, H., & Ajam-Hassani, M. (2008). Effect of *Lecanicillim longisporum* (Deut.: Moniliales) on longevity, fecundity and mating behavior of *Aphidius nigripes* (Hym.: Aphilinidae). *Journal of Plant Pests and Disease, 76*(2), 15-29. (In Persian).

Askary, H., & Brodeur, J. (1999). Susceptibility of larval stages of the aphid parasitoid *Aphidius nigripesto* the Entomopathogenic fungus *Verticillium lecanii*. *Journal of Invertebrate Pathology*, *73*(1), 129-132. https://doi.org/10.1006/jipa.1998.4824

Chi, H. (2009). TWOSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis, http://140.120.197.173/Ecology//Download/Twosex-MSChart.zip.

Clifton, E. H., Hajek, A. E., Jenkins, N. E., Roush, R. T., Rost, J. P., & Biddinger, D. J. (2020). Applications of *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) to control populations of spotted lanternfly (Hemiptera: Fulgoridae), in semi-natural landscapes and on grapevines. *Environmental Entomology*, *49*, 854–864. https://doi.org/10.1093/ee/nvaa064

Darwish, E., El-Shazly, M., & El-Sherif, H. (2003). The choice of probing sites by *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) foraging for *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*, *39*(3), 265-276. https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00023-1

Ezz, N. (2012). Entomopathogenic fungi associated with certain scale insects (Hemiptera: Coccoidea) in Egypt. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, *5*(3), 211-221. https://dx.doi.org/10.21608/eajbsa.2012.14287

Fatiha, L., Huang, Z., Ren, S. X., & Ali, S. (2008). Effect of *Verticillium lecanii* on biological characteristics and life table of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of whiteflies under laboratory conditions. *Insect Science*. *15*(4), 327-333. https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2008.00217.x

Fransen, J. J., & Van Lenteren, J. C. (1993). Host selection and survival of the parasitoid *Encarsia formosa* on greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, in the presence of hosts infected with the fungus *Aschersonia aleyrodis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata, 69*(3), 239-249. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1993.tb01747.x

Gao, Y. P., Luo, M., Wang, X. Y., He, X. Z., Lu, W., & Zheng, X. L. (2022). Pathogenicity of *Beauveria bassiana* PfBb and immune responses of a non-target host, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, *13*(10), 914. https://doi.org/10.3390/insects13100914

Hentz, M. G., Ellsworth, P. C., Naranjo, S. E., & Watson, T. F. (1998). Development, longevity, and fecundity of *Chelonus* sp. nr. curvimaculatus (Hymenoptera: Braconidae), an egg–larval parasitoid of pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Environmental Entomology, 27*(2), 443-449. https://doi.org/10.1093/ee/27.2.443

James, R. R., & Lighthart, B. (1994). Susceptibility of the convergent lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) to four entomogenous fungi. *Environmental Entomology, 23*(1), 190-192. https://doi.org/10.1093/ee/23.1.190

Jarrahi, A., & Safavi, S. A. (2016). Sublethal effects of *Metarhizium anisopliae* on life table parameters of *Habrobracon hebetor* parasitizing *Helicoverpa armigera* larvae at different time intervals. *BioControl*, *61*, 167-175. https://doi.org/10.1007/s10526-015-9707-y

Lacey, L. A., Mesquita, A. L., Mercadier, G., Debire, R., Kazmer, D. J., & Leclant, F. (1997). Acute and sublethal activity of the entomopathogenic fungus *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) on adult *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Environmental Entomology, 26*(6), 1452-1460. https://doi.org/10.1093/ee/26.6.1452

Letourneau, D. K., Jedlicka, J. A., Bothwell, S. G., & Moreno, C. R. (2009). Effects of natural enemy biodiversity on the suppression of arthropod herbivores in terrestrial ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *40*, 573-592. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120320

Ma, X. M., Liu, X. X., Ning, X., Zhang, B., Han, F., Guan, X. M., Tan, Y. F., & Zhang, Q. W. (2008). Effects of *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac and *Beauveria bassiana* on asiatic corn borer (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Invertebrate Pathology*, *99*, 123–128. https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.06.014

Madurappulige, D. (2005). Effect of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Ascomycota: Hypocreales) on *Diadegma semiclausum* (Hellen) (Hym.: Ichneumonidae), a parasitoid of *Plutella xylostella* (Lep: Yponomeutidae). [M.Sc. Lincoln University], NewZealand.

Mesquita, A. L., & Lacey, L. A. (2001). Interactions among the entomopathogenic fungus, Paecilomyces fumosoroseus (Deuteromycotina: Hyphomycetes), the parasitoid, *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae), and their aphid host. *Biological Control*, *22*(1), 51-59. https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0950

Mills, N. J. (1981). The mortality and fat content of *Adalia bipunctata* during hibernation. *Entomologia Experimentalis et Applicata, 30*(3), 265-268. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1981.tb03109.x

Navaei, A. N., Taghizadeh, M., Javanmoghaddam, H., Oskoo, T., & Attaran, M. R. (2002). *Efficiency of parasitoid wasps, Trichogramma pintoii and Habrobracon hebetor against Ostrinia nubilalis and Helicoverpa sp. on maize in Moghan.* Proceedings of 15th Iranian Plant Protection Congress, Razi University of Kermanshah, Iran. (In Persian).

Powell, W., Wilding, N., Brobyn, P. J., & Clark, S. J. (1986). Interference between parasitoids [Hym.: Aphidiidae] and fungi [Entomophthorales] attacking cereal aphids. *Entomophaga, 31*, 293-302. https://doi.org/10.1007/BF02373339

Qazzaz, F. O., Al-Masri, M. I., & Barakat, R. M. (2015). Effectiveness of *Beauveria bassiana* native isolates in the biological control of the Med-iterranean fruit fly (Ceratitis capitata). *Advances in Entomology, 3*(02), 44. http://dx.doi.org/10.4236/ae.2015.32006

Rashki, M., Kharazi-Pakdel, A., Allahyari, H., & Van Alphen, J. J. M. (2009). Interactions among the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales), the parasitoid, *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), and its host, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Biological Control*, *50*(3), 324-328. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.04.016

Roy, H. E., & Pell, J. K. (2000). Interactions between entomopathogenic fungi and other natural enemies: implications for biological control. *Biocontrol Science and Technology, 10*(6), 737-752. https://doi.org/10.1080/09583150020011708

Scopes, N. E. A. (1970). Control of *Myzus persicae* on year-round chrysanthemums by introducing aphids parasitized by *Aphidius matricariae* into boxes of rooted cuttings. *Annals of Applied Biology, 66*(2), 323-327. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1970.tb06439.x

Stiling, P., & Cornelissen, T. (2005). What makes a successful biocontrol agent? A meta-analysis of biological control agent performance. *Biological control, 34*(3), 236-246. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.02.017

Straub, C. S., Finke, D. L., & Snyder, W. E. (2008). Are the conservation of natural enemy

biodiversity and biological control compatible goals? *Biological Control, 45*(2), 225-237. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.05.013

Tamayo-Mejía, F., Tamez-Guerra, P., Guzmán-Franco, A. W., & Gomez-Flores, R. (2016). Developmental stage affects survival of the ectoparasitoid *Tamarixia triozae* exposed to the fungus *Beauveria bassiana*. *Biological Control*, *93*, 30-36. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.11.006

Wang, H. H., Liu, S., Wang, S. Y., & Lei, Z. R. (2020). Research and development of wettable powder of *Beauveria bassiana* and its control and application to *Frankliniella occidentalis*. *Chinese Journal of Biological Control, 36*, 858–861. (In Chinese).

Wekesa, V. W., Moraes, G. D., Knapp, M., & Delalibera, Jr. I. (2007). Interactions of two natural enemies of *Tetranychus evansi*, the fungal pathogen *Neozygites floridana* (Zygomycetes: Entomophthorales) and the predatory mite, *Phytoseiulus longipes* (Acari: Phytoseiidae). *Biological Control, 41*(3), 408-414. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.03.003

Wraight, S. P., Carruthers, R., Bradley, C. A., Jaronski, S. T., Lacey, L. A., Wood, P., & Galaini-Wraight, S. (1998). Pathogenicity of the entomopathogenic fungi *Paecilomyces* spp. and *Beauveria bassiana* against the silver leaf whitefly, *Bemisia argentifolii*. *Journal of Invertebrate Pathology, 71*(3), 217-226. https://doi.org/10.1006/jipa.1997.4734

Zemek, R., Konopická, J., Jozová, E., Skoková, H. O. (2021). Virulence of *Beauveria bassiana* strains isolated from cadavers of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *Insects, 12*, 1077. https://doi.org/10.3390/insects12121077