

اثرات زیرکشدگی سه حشره‌کش روی پراسنجه‌های جدول زندگی زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum*

ندا امینی‌جم^۱✉، موسی صابر^۲

^۱گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران. ^۲گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. naminijam@jstu.ac.ir ✉

پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۶

بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۱۱

دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۵

چکیده

سم‌شناسی دموگرافیک بهترین روش جهت ارزیابی اثرات کلی آفت‌کش‌ها روی یک جمعیت دشمن طبیعی آفت است. در این پژوهش، اثرات کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌های ایمیداکلوپرید، پای‌متروزین و دایابون[®] روی جمعیت جنسی زنبور *Lysiphlebus fabarum* در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ پارازیتوئید، در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. سمیت حشره‌کش‌ها روی مراحل نابالغ پارازیتوئید با روش غوطه‌ورسازی برگ‌های حاوی شته‌های *Aphis fabae* پارازیت شده، ارزیابی شد. حشره‌کش‌ها درصد ظهور حشرات کامل زنبور از شته‌های پارازیت شده تیمار شده (حاوی مرحله لاروی پارازیتوئید) با غلظت توصیه شده مزرعه‌ای را کاهش دادند. ایمیداکلوپرید سمیت بیشتری روی مرحله شفیرگی پارازیتوئید نسبت به دایابون و پای‌متروزین داشت. سمیت ایمیداکلوپرید روی حشرات کامل به‌طور معنی‌داری بیشتر از پای‌متروزین بود. دایابون[®] فاقد اثر باقیمانده روی حشرات کامل بود. برای بررسی اثر زیرکشنده سه حشره‌کش روی پراسنجه‌های جدول زندگی *L. fabarum*، غلظت‌هایی که ۲۵ درصد تلفات ایجاد کردند، برای تیمارهای مراحل لاروی و بالغ و غلظت توصیه شده مزرعه‌ای برای تیمار مرحله شفیرگی استفاده شدند. طول عمر، باروری، طول دوره تخم‌ریزی، نسبت جنسی و برخی پراسنجه‌های جدول زندگی (R_0 , λ , r) پارازیتوئیدهای تیمار شده با ایمیداکلوپرید در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ نسبت به سایر حشره‌کش‌ها به‌طور منفی و معنی‌داری تحت تاثیر قرار گرفت. مقادیر نرخ ذاتی رشد جمعیت (r) در تیمار ایمیداکلوپرید 0.2035 ± 0.01 ، 0.2240 ± 0.01 و 0.2273 ± 0.01 (روز⁻¹) و در شاهد 0.2635 ± 0.01 ، 0.2759 ± 0.01 و 0.2687 ± 0.01 (روز⁻¹) به‌ترتیب در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ پارازیتوئید بود. طبق نتایج به دست آمده، حشره‌کش‌های پای‌متروزین و دایابون[®] می‌توانند در تلفیق با زنبور *L. fabarum* برای کنترل شته *A. fabae* مورد استفاده قرار گیرند.

کلمات کلیدی: *Aphis fabae* جمعیت نگاری، حشره‌کش‌ها، کنترل زیستی، مدیریت تلفیقی آفات

Sublethal effects of three insecticides on life table parameters of the parasitoid wasp, *Lysiphlebus fabarum*

Neda Aminijam¹✉, Moosa Saber²

¹Department of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran, ²Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. ✉naminijam@jstu.ac.ir

Received: 14 Apr 2021

Revised: 1 May 2021

Accepted: 27 May 2021

Abstract

Demographic toxicology is usually the best way to evaluate total effects of pesticides on a population of natural enemy. Lethal and sublethal effects of imidacloprid, pymetrozine and Dayabon[®] were investigated on the sexual population of *Lysiphlebus fabarum* at laboratory conditions. Toxicity of the insecticides on immature stages of *L. fabarum* was evaluated, by dipping leaves containing parasitized *Aphis fabae*. These insecticides significantly reduced adult emergence rate when parasitized aphids were treated with field-recommended concentrations at larval stage. Imidacloprid had more toxicity than pymetrozine and Dayabon[®] at pupal stage. Imidacloprid was significantly more toxic than pymetrozine at adult stage. Dayabon[®] did not have residual effect on adults. In order to assess sublethal effects of three insecticides on life-table parameters of *L. fabarum*, the concentrations that had 25% mortality threshold and field-recommended concentrations were used for larval, adult and pupal stages treatments, respectively. Adults' longevity, mean fecundity, females' oviposition period, sex ratio and some population parameters (r , λ , R_0) were negatively affected by application of imidacloprid in comparison with other insecticides and control at larval, pupal and adult stages treatments. The intrinsic rate of increase (r) values for imidacloprid treatment and control at larval, pupal and adult stages of parasitoid were 0.2035 ± 0.01 , 0.2240 ± 0.01 and 0.2273 ± 0.01 (day⁻¹) and 0.2635 ± 0.01 , 0.2759 ± 0.01 and 0.2687 ± 0.01 (day⁻¹), respectively. According to obtained results, pymetrozine and Dayabon[®] could be used to control *A. fabae* in combination with *L. fabarum*.

Keywords: *Aphis fabae*, Biocontrol, Demography, Insecticides, Integrated pest management

How to cite:

Aminijam N, Saber M, 2022. Sublethal effects of three insecticides on life table parameters of the parasitoid wasp, *Lysiphlebus fabarum*. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 11 (1): 19–36.

مقدمه

و تعیین نحوه تغییر جمعیت حشرات از طریق مطالعه اثر آفت‌کش - ها بر روی توانایی تولید مثلی، یک ضرورت قطعی در مطالعه اثر آفت‌کش‌ها و نهایتاً انتخاب حشره‌کش مناسب می‌باشد. لذا انجام چنین بررسی‌هایی ضروری به‌نظر می‌رسد، چرا که آفت‌کش‌ها می‌توانند فیزیولوژی، رفتار و فرایندهای یادگیری گونه‌های بندپای هدف و غیرهدف را تحت تاثیر قرار دهند (Haynes 1988; Desneux et al. 2007; Biondi et al. 2012). حشره‌کش‌هایی که معمولاً برای کنترل شته‌ها روی بقولات در ایران و سایر نقاط جهان استفاده می‌شوند شامل ایمیداکلوپرید (Imidacloprid) و پای-متروزین (Pymetrozine) است (Talebi-Jahromi 2013; Qu et al. 2015; Tejada-Reyes et al. 2017). به‌منظور کنترل شته‌ها و کنه‌ها در ایران، آفت‌کش گیاهی جدیدی به نام دایابون® تولید شده است. ایمیداکلوپرید با نام تجاری کونفیدور® (Confidor) اولین ترکیب از گروه حشره‌کش‌های سنتزی به نام نئونیکوتینوئیدها (Neonicotinoids) و نیز ترکیبات کلرونیکوئینیل (Chloronicotinyls) است که دارای اثرات تماسی و سیستمیک بسیار زیاد است و این ویژگی، آن را برای کنترل حشرات مکنده شیره گیاهان نظیر شته‌ها، سفیدبالک‌ها و زنجرها بسیار مناسب می‌سازد. نحوه تاثیر آن ویژه بوده و با اشغال گیرنده‌های پروتئینی استیل کولین در غشای فیبری سلول عصبی مانع کار عادی آنها شده و حشره را از پای در می‌آورد (Nauen et al. 1998; Liang et al. 2012; Talebi-Jahromi 2013). پای‌متروزین حشره‌کشی از مشتقات پیریدین آرومتین است و روی آفات مکنده موثر می‌باشد. پای‌متروزین باعث می‌شود که حشرات مکنده از فرو بردن نیش خود در سیستم آوندی گیاه خودداری کرده در نتیجه باعث توقف تغذیه و مرگ حشرات می‌شود (Talebi-Jahromi et al. 2005; Ausborn et al. 2013). دایابون® یک آفت‌کش گیاهی جدید و زیست-سازگار است که از روغن کرچک تهیه شده است. این ترکیب خاصیت حشره‌کشی و کنه‌کشی دارد و به صورت تماسی بر آفات اثر می‌گذارد (Rezaeian et al. 2015).

اثرات حشره‌کش‌ها روی زنبورهای پارازیتوئید زیرخانواده Aphidiinae توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (Tang et al. 2002; Umoru & Powell 2002; Tremblay et al. 2008; Sabahi et al. 2011; Stara et al. 2011; Purhematy et al. 2013; Aminijam et al. 2015; Mardani et al. 2016; Almasi et al. 2018; D'Ávila et al. 2018; Ricupero et al. 2020). توجه به اینکه تاکنون اثر زیرکشندگی حشره‌کش‌های ایمیداکلوپرید، پای‌متروزین و دایابون® روی ویژگی‌های زیستی و

شته سیاه باقلا (Hemiptera: *Aphis fabae* Scopoli) یکی از مهم‌ترین آفات باقلا و چغندرقد است. این آفت دارای دامنه میزبانی وسیعی است که به دو روش خسارت مستقیم از طریق مکیدن شیره گیاهی و همچنین خسارت غیر مستقیم توسط انتقال پاتوژن‌های گیاهی به‌خصوص ویروس زردی چغندرقد و نیز اختلال در فتوسنتز گیاه به‌دلیل ترشح عسلک و پیچاندن برگ، بازده آن را به‌شدت کاهش می‌دهد (Volk & Stechman 1998; Blackman & Eastop 2007).

زنبور (Hymenoptera: *Lysiphlebus fabarum* Marshal) به‌عنوان مهم‌ترین و موثرترین پارازیتوئید شته سیاه باقلا در بیشتر اکوسیستم‌های کشاورزی شناخته می‌شود و نقش موثری در کنترل زیستی این گونه آفت دارد (Stary 1986; Volk & Stechman 1998; Nuessly et al. 2004; Asplen et al. 2014). این زنبور در نقاط مختلف جهان از جمله ایران گزارش شده است (Stary et al. 2000; Bagheri et al. 2005; Mossadegh et al. 2011; Rasekh et al. 2011).

اگرچه مهار آفات با استفاده از دشمنان طبیعی و بدون کاربرد حشره‌کش‌های شیمیایی مطلوب است، اما کنترل برخی از آفات به‌ویژه شته‌ها به‌دلیل نرخ تولید مثلی بالا با استفاده از یک روش کنترل دشوار بوده و در مواردی استفاده از حشره‌کش‌های انتخابی همراه با عوامل کنترل‌کننده زیستی لازم به‌نظر می‌رسد (Stark & Ranguis 1994). از کنترل شیمیایی و زیستی به‌عنوان دو رویکرد مهم در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات یاد می‌شود (Croft 1990; Stark & Banks 2003; Desneux et al. 2004; Biondi et al. 2012). در واقع IPM با در نظر گرفتن مطلوب بودن کنترل زیستی از یک طرف و اجتناب ناپذیر بودن کنترل شیمیایی در برخی موارد از طرف دیگر، یک توافق منطقی را در استفاده تلفیقی از آنها ارائه می‌دهد (Tremblay et al. 2008).

ارزیابی اثرات آفت‌کش‌ها بر موجودات زنده باید همه جانبه و با در نظر گرفتن اثرات کشندگی و زیرکشندگی آنها باشد. به این منظور از سم‌شناسی دموگرافیک استفاده می‌شود که در آن پارامترهای جدول زیستی جمعیت‌های قرار گرفته در معرض یک آفت‌کش با جمعیت شاهد مقایسه می‌شود (Stark & Banks 2003; Desneux et al. 2007). در واقع، برآورد پراسنجه‌های رشد جمعیت

دوره نوری ۸ : ۱۶ ساعت (تاریکی: روشنایی) نگهداری شدند. وقتی پوره‌ها به سنین سوم پورگی (سن ترجیحی برای تخم‌گذاری زنبور پارازیتوئید) (Baghery-Matin et al. 2005) رسیدند، تعداد ۱۰ جفت زنبور نر و ماده به مدت ۱۲ ساعت جهت تخم‌ریزی درون قفس‌های مذکور رهاسازی شدند. سپس زنبورهای پارازیتوئید بالغ حذف شدند. برای تغذیه زنبورهای پارازیتوئید *L. fabarum* از یک نوار کوچک روغنی آغشته به محلول آب و عسل ۳۰ درصد استفاده شد. چهار و هفت روز بعد از پارازیتیسیم، پارازیتوئیدها به ترتیب وارد مراحل لاروی و شفیرگی (شته مومیایی) شدند (Baghery-Matin et al. 2005). سپس مراحل لاروی و شفیرگی پارازیتوئید در معرض غلظت توصیه شده حشره‌کش‌ها (۶۰۰، ۲۵۰۰ و ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام به ترتیب برای ایمیداکلوپرید، پای‌متروزین و دایابون®) قرار گرفتند. برگ‌های باقلا دارای ۲۰ عدد شته پارازیت شده که حاوی مرحله لاروی پارازیتوئید بودند و دسته‌های ۲۰ تایی از مومیایی‌های یک روزه در غلظت توصیه شده حشره‌کش‌ها به مدت پنج ثانیه غوطه‌ور شدند (Saber 2011; Sabahi et al. 2011). در هر بار آزمایش، هر تیمار دارای پنج تکرار بود و کل آزمایش هم سه بار تکرار گردید. یک ساعت پس از خشک شدن، برگ‌های حامل شته‌های پارازیت شده که حاوی مرحله لاروی پارازیتوئید بودند، توسط قفس‌های برگی محصور شدند. شته‌ها تا مومیایی شدن و ظهور حشرات بالغ در درون ژرمیناتور نگهداری شدند. شته‌های مومیایی شده به تشک‌های پتری (به قطر دهانه شش و ارتفاع یک سانتی‌متر) انتقال یافتند. بعد از خروج حشرات کامل از شته‌های پارازیت شده تعداد زنبورهای مرده شمارش شدند. پس از تیمار مرحله شفیرگی، دسته‌های مومیایی غوطه‌ور شده نیز به مدت یک ساعت روی کاغذ صافی در دمای اتاق قرار داده شدند تا به‌طور کامل خشک شوند. سپس هر دسته به یک ظرف پتری منتقل و درون ژرمیناتور با شرایط اشاره شده در بالا نگهداری شدند. پس از ظهور حشرات کامل از مومیایی‌ها، تعداد زنبورهای مرده شمارش شدند. داده‌های حاصل از آزمایش بررسی اثر حشره‌کش‌ها بر مراحل لاروی و شفیرگی با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه در برنامه آماری SAS Version 9.1 تجزیه و تحلیل شدند. به‌منظور نرمال-سازی داده‌ها، داده‌های درصد ظهور حشرات کامل به سینوس معکوس ریشه دوم $\arcsin \sqrt{x/100}$ تبدیل و سپس تجزیه و تحلیل شدند.

سمیت حشره‌کش‌ها روی مرحله بالغ زنبور *L. fabarum*

پراسنجه‌های جدول زندگی جمعیت جنسی زنبور *L. fabarum* در سه مرحله رشدی پارازیتوئید، در ایران و جهان انجام نشده است، لذا این پژوهش طراحی گردید و امید می‌رود که نتایج آن امکان استفاده توامان این زنبور پارازیتوئید را در قالب یک برنامه مدیریت تلفیقی آفات فراهم کند.

مواد و روش‌ها

پرورش شته و زنبور پارازیتوئید

برای تهیه کلنی شته سیاه باقلا، نمونه‌هایی از جمعیت *A. fabae* از مزارع باقلا اهواز جمع‌آوری و تشکیل کلنی انجام شد. گلدان‌های حاوی گیاهان باقلا رقم شاخ بزی به‌عنوان میزبان شته درون قفس پرورش به ابعاد $70 \times 70 \times 120$ سانتی‌متر قرار گرفتند. برای تشکیل کلنی زنبور پارازیتوئید، شته‌های مومیایی شده از مزارع باقلای اهواز جمع‌آوری شد. پس از شناسایی گونه *L. fabarum* توسط کلید پارازیتوئیدهای شته‌ها در آسیای مرکزی (Stary 1976a) و منطقه مدیترانه (Stary 1976b)، زنبورهای نر و ماده به قفس پرورش به ابعاد $70 \times 70 \times 100$ سانتی‌متر روی بوته‌های باقلا حاوی شته سیاه باقلا، رهاسازی شدند. زنبورهای ماده دارای شاخک ۱۲-۱۳ بندی و تیره رنگ می‌باشند. اسکاپ و پدیسل و قاعده بند اول تاژک مایل به قهوه‌ای است. طول بندهای تاژک بیشتر از عرض آنها می‌باشد و بند انتهایی تاژک طویل‌تر از سایر بندها است. حشرات نر دارای شاخک ۱۴ بندی (به ندرت ۱۳ یا ۱۵) بندی هستند (Baghery-Matin et al. 2005). قفس‌های مذکور در اتاقک رشد در دمای 21 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 70 درصد و دوره نوری ۸ : ۱۶ ساعت (تاریکی: روشنایی) نگهداری شدند. حشره‌کش‌های مورد استفاده در این پژوهش ایمیداکلوپرید (کونفیدر® ۳۵SC) (شرکت بایر، آلمان)، پای‌متروزین (پای‌متروزین آریا® 50WP) (شرکت آریا، ایران)، حشره‌کش گیاهی دایابون® (EC 20%) (شرکت نانوفناوران دایا، ایران) را شامل می‌شدند.

سمیت حشره‌کش‌ها روی مراحل لاروی و شفیرگی زنبور *L. fabarum*

برای بررسی اثر حشره‌کش‌ها بر مراحل لاروی و شفیرگی زنبور پارازیتوئید، تعداد حداقل ۲۰ شته سیاه باقلا جهت پوره‌زایی روی گیاهچه‌های محصور در قفس استوانه‌ای شفاف (قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر) به مدت ۲۴ ساعت درون ژرمیناتور با درجه حرارت 21 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 70 درصد و

جهت بررسی اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌ها بر پراسنجه‌های جدول زیستی زنبور پارازیتوئید *L. fabarum*، ابتدا گیاهچه‌های حاوی حدود ۱۰۰ عدد پوره سن سوم شته *A. fabae* درون قفس-هایی استوانه‌ای (با اندازه ذکر شده در بالا) به مدت ۱۲ ساعت در اختیار ۱۰ عدد زنبور ماده جفت‌گیری کرده قرار گرفت. چهار و هفت روز بعد از پارازیتیسیم، پارازیتوئیدها به ترتیب وارد مراحل لاروی و شفیرگی (شته مومیایی) شدند. برگ‌های حامل شته‌های پارازیته که حاوی مرحله لاروی پارازیتوئید بودند، در غلظت‌های ۲۵، ۴۰/۲ و ۷۰۰/۵ پی‌پی‌ام حشره‌کش‌های ایمیداکلوپرید، پی‌پی‌ام متروزین و دایابون[®] که به‌طور متوسط حدود ۲۵ درصد تلفات در جمعیت ایجاد کردند، غوطه ور شدند و یک ساعت پس از خشک شدن توسط قفس‌های برگ‌گی محصور شدند. شته‌های پارازیته شده به طور روزانه تا زمان تشکیل مومیایی‌ها و سپس ظهور افراد بالغ زنبور مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور تیمار مرحله شفیرگی، حدود ۸۴-۷۶ عدد شته مومیایی شده یک روزه در غلظت‌های توصیه شده مزرعه‌ای حشره‌کش‌های مذکور به میزان ۶۰۰، ۲۵۰۰ و ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام غوطه‌ور شدند. یک ساعت پس از خشک شدن، هر مومیایی به ظروف پتری (قطر شش سانتی‌متر) منتقل و تا ظهور حشرات بالغ در ژرمیناتور با شرایط مذکور نگهداری شدند و داده‌های مربوط به آنها برای تعیین طول دوران قبل از بلوغ ثبت شد.

برای بررسی اثر زیرکشنده حشره‌کش‌ها روی پارازیتوئیدهای تیمار شده در مرحله بالغ، ابتدا گیاهچه‌های حاوی حدود ۱۰۰ عدد پوره سن سوم شته درون قفس‌های استوانه‌ای به مدت ۱۲ ساعت در اختیار ۱۰ عدد زنبور ماده جفت‌گیری کرده قرار گرفت. شته‌ها به طور روزانه تا زمان تشکیل مومیایی‌ها و سپس ظهور افراد بالغ مورد بررسی قرار گرفتند و داده‌های مربوط به آنها برای تعیین طول دوران قبل از بلوغ ثبت شد. به دلیل اینکه سه برابر غلظت توصیه شده (۳ × ۵۰۰۰) حشره‌کش گیاهی دایابون[®] فاقد سمیت باقی-مانده روی حشره کامل زنبور *L. fabarum* بود، پارازیتوئیدهای تازه ظهور یافته (کمتر از ۱۲ ساعت عمر) مطابق روش زیست‌سنجی در معرض غلظت LC₂₅ حشره‌کش‌های ایمیداکلوپرید و پی‌پی‌ام متروزین به ترتیب به میزان ۳/۲ و ۲۵۸۶/۶ پی‌پی‌ام قرار گرفتند و بعد از ۲۴ ساعت هر جفت از زنبورهای زنده مانده مورد بررسی قرار گرفت. هر جفت از زنبورهای زنده مانده از روند تیمار با حشره‌کش‌ها در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ به قفس‌های استوانه‌ای حاوی گیاهچه‌های حاوی ۵۰ عدد پوره سن سوم شته منتقل و درون

برای زیست‌سنجی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* از روش کاربرد غیرمستقیم حشره‌کش‌ها استفاده شد (Desneux *et al.* 2004). در این روش از استوانه‌های شیشه‌ای به قطر شش سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. آزمایش‌های مقدماتی برای تعیین حدود غلظت‌های موثر حشره‌کش‌ها انجام گرفت. دامنه غلظت‌های تعیین شده در آزمایش نهایی زیست‌سنجی برای تیمارهای ایمیداکلوپرید ۴۰-۱ پی‌پی‌ام و پی‌پی‌ام متروزین ۵۰۰-۲۱۸۷/۸ پی‌پی‌ام بود. در مجموع پنج غلظت سمی و در هر غلظت پنج تکرار استفاده شد. هر آزمایش زیست‌سنجی در سه نوبت تکرار شد. به هر یک از غلظت‌های محلول حشره‌کش ماده خیس کننده توئین ۲۰ با غلظت ۵۰۰ ppm اضافه شد. برای شاهد از آب مقطر به همراه ۵۰۰ ppm توئین ۲۰ استفاده شد. سطح داخلی هر استوانه شیشه‌ای با ۱۵۰ میکرولیتر از هر غلظت حشره‌کش و آب مقطر به‌عنوان شاهد آغشته شد، یک ساعت بعد از خشک شدن در معرض هوا، تعداد ۱۵ عدد زنبور ماده که کمتر از ۱۲ ساعت عمر داشتند، در هر استوانه رهاسازی شد. برای تهویه، دهانه هر استوانه توسط پارچه ارگانزا پوشیده شد. برای تغذیه زنبورهای پارازیتوئید *L. fabarum* از یک نوار کوچک روغنی آغشته به محلول آب و عسل ۳۰ درصد استفاده شد. استوانه‌های مورد آزمایش در داخل ژرمیناتور با شرایط ذکر شده در بالا قرار داده شدند. ۲۴ ساعت بعد از در معرض قرارگیری زنبورها، تعداد تلفات شمارش و داده‌ها توسط فرمول ابوت تصحیح شد (Abbot 1925).

$$P = \left[\frac{P' - C}{1 - C} \right] \times 100 \quad (1)$$

P: درصد مرگ و میر اصلاح شده

P': درصد مرگ و میر مشاهده شده

C: درصد مرگ و میر در شاهد

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش‌های زیست-سنجی، از روش پروبیت و نرم افزار پولوپلاس (LeOra Software 2013) استفاده شد. برای مقایسه سمیت در تیمارهای مختلف نیز از مقادیر LC₅₀ استفاده شد. با آزمون نرخ سمیت نسبی، در صورت عدم همپوشانی حدود اطمینان محاسبه شده در سطح ۹۵ درصد، اختلاف مقادیر معنی‌دار در نظر گرفته شد (Robertson *et al.* 2007).

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌ها روی پراسنجه‌های جدول زندگی زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* حاصل از تیمار مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ

تیمارهای مختلف از روش بوت استرپ جفت شده (Paired bootstrap) استفاده شد (Chi 2017).

نتایج و بحث

سمیت حشره‌کش‌ها روی مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ زنبور پارازیتوئید *L. fabarum*

اثر غلظت توصیه شده مزرعه‌ای حشره‌کش‌های ایمیداکلوپرید، پای‌متروزین و دایابون[®] بر نرخ ظهور زنبور *L. fabarum* تیمار شده در مراحل لاروی و شفیرگی در جدول ۱ نشان داده شده است. میانگین درصد ظهور زنبورها از شته‌های پارازیتیمار شده (حاوی مرحله لاروی) با سه حشره‌کش به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار گرفت ($F = 30/1186$; $df = 56,3$; $P < 0.001$). ایمیداکلوپرید سمیت بیشتری روی مرحله شفیرگی پارازیتوئید نسبت به دو حشره‌کش دیگر داشت ($F = 24/57$; $df = 56,3$; $P < 0.001$). میانگین درصد ظهور زنبورها از مومیایی‌های در معرض قرار گرفته با پای‌متروزین و دایابون[®] تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نداد (جدول ۱). مشابه نتایج به‌دست آمده، سمیت بیشتر ایمیداکلوپرید روی مرحله شفیرگی جمعیت ماده‌زای زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* نسبت به پای‌متروزین گزارش شده است (Sabahi et al. 2011). سمیت ناچیز حشره‌کش گیاهی دایابون[®] روی مرحله شفیرگی زنبور پارازیتوئید *Aphidius spp.* گزارش شده است (Rezaei & Moharrampour 2019). که با نتایج مطالعه حاضر در مورد عدم سمیت حشره‌کش گیاهی دایابون[®] روی مرحله شفیرگی پارازیتوئید *L. fabarum* مطابقت دارد. تاثیر کم حشره‌کش گیاهی دیگری مانند آزادیراختین روی درصد خروج پارازیتوئید *Lysiphlebus testaceipes* Cresson از شته‌های مومیایی تیمار شده با حشره‌کش مذکور در مقایسه با شاهد گزارش شده است (Tang et al. 2002).

مقادیر LC₂₅ و LC₅₀ ایمیداکلوپرید (به ترتیب ۳/۲، ۸/۳ پی‌پی-ام) و پای‌متروزین (به ترتیب ۲۵۸۶/۶، ۳۲۰۶/۸ پی‌پی-ام) روی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* برآورد شد. مقدار سمیت نسبی غلظت‌های کشنده ۵۰ درصد حشره‌کش‌های مزبور از طریق آزمون سمیت نسبی ۳۸۶/۳۶ بود و حدود اطمینان آنها در سطح ۹۵ درصد ۳۲۲/۹۵-۴۶۵/۷۹ بودند. معنی‌دار بودن سمیت نسبی زمانی است که حدود اطمینان ۹۵ درصد عدد یک را شامل نمی‌شود. بنابراین سمیت ایمیداکلوپرید برای حشره کامل پارازیتوئید، به‌طور معنی‌داری بیشتر از پای‌متروزین بود ($P < 0.05$).

ژرمیناتور نگه‌داری شدند. تا زمان مرگ، زنبورهای پارازیتوئید به‌طور روزانه به قفس‌های جدید حاوی شته منتقل شدند تا به این ترتیب باروری روزانه آنها بررسی شود. نرهای مرده با نرهای هم‌سن و تیمار شده با شرایط مشابه جایگزین شدند. تعداد زنبورهای بقا یافته مورد مطالعه، در جدول ۳ آورده شده است. جنسیت نتایج حاصل از هر زنبور برای تعیین نسبت جنسی ثبت گردید. در تمامی آزمایش‌ها شرایط ژرمیناتور یکسان بود و از آب مقطر حاوی ۵۰۰ پی‌پی‌ام توئین ۲۰ به‌عنوان شاهد استفاده شد.

داده‌های حاصل شامل مدت زمان نمو افراد و زادآوری روزانه ماده براساس تئوری جدول زندگی سنی-مرحله زیستی، دو جنسی و با استفاده از نرم افزار TWO-SEX MSChart مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Chi & Liu 1985; Chi 1998, 2017). نرخ بقای ویژه سنی-مرحله زیستی (S_{xj}) (منظور از x سن برحسب روز و j مرحله رشدی شامل مراحل نابالغ (از تخم تا مومیایی)، مرحله شفیرگی (از مومیایی تا ظهور حشره کامل و بالغ است)، نرخ بقای ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سنی ماده (f_{xj})، باروری ویژه سنی کل جمعیت (m_x) و پارامترهای جمعیت (نرخ ذاتی رشد جمعیت (Intrinsic rate of increase) (r), نرخ خالص تولید مثل (Net reproductive rate) (R_0), نرخ متناهی افزایش جمعیت (Finite rate of increase) (λ) و میانگین طول یک نسل (Generation time) (T) محاسبه شد. نرخ ذاتی رشد جمعیت با استفاده از فرمول یولر-لوتکا (Euler-Lotka) که در سن شروع جدول زندگی از صفر تعیین می‌شود محاسبه شد (Goodman 1982).

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1 \quad (2)$$

نرخ خالص تولید مثل (R_0)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)

و میانگین طول یک نسل (T) به صورت زیر محاسبه شد.

$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x \quad (3)$$

$$\lambda = e^r \quad (4)$$

$$T = \frac{\ln R_0}{r} \quad (5)$$

با توجه به این که هر یک از پارامترهای جدول زندگی به دست آمده یک عدد بدون تکرار می‌باشند، امکان مقایسه این پارامترها در تیمارهای مختلف وجود ندارد. بنابراین میانگین و خطای معیار در مورد پارامترهای جمعیت با استفاده از روش بوت استرپ محاسبه شد (Efron & Tibshirani 1993; Huang & Chi 2012). در این مطالعه به‌منظور ایجاد نتایج بوت استرپ با کمترین تغییرات از ۱۰۰۰۰ تکرار استفاده شد (Yu et al. 2013; Chi 2017). برای مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های مختلف جدول زندگی در

ترکیب بی‌زیان در هر دو مرحله شفیرگی و حشره کامل بود. سایر بررسی‌ها نیز نشان داده است که پای‌متروزیلین برای تعدادی از زنبورهای پارازیتوئید شته بدون زیان می‌باشد (Sabahi et al. 2016; Mardani et al. 2012; Kheradmand et al. 2011). نتایج نشان داد که مراحل لاروی و بالغ پارازیتوئید در مقایسه با شفیره‌ها به حشره‌کش‌های مورد آزمایش حساس‌تر بودند. پوسته مومیایی قدرت نفوذ حشره‌کش‌ها را کاهش می‌دهد، بنابراین زنبورهای پارازیتوئید داخل شته‌ها می‌توانند در مرحله شفیرگی درون میزبان مومیایی شده در برابر حشره‌کش‌ها محافظت شوند (Desneux et al. 2007). مرحله شفیرگی پارازیتوئیدهای داخلی به دلیل مخفی بودن در درون پوسته مومیایی میزبان خود در معرض مستقیم حشره‌کش‌ها نیستند (Longley & Jepson 1997).

نتایج ارزیابی حساسیت حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* نسبت به حشره‌کش گیاهی دایابون® نشان داد که بقایای غلظت توصیه شده دایابون® (۵۰۰۰ پی‌پی‌ام) روی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید اثر کشندگی نداشت. میانگین درصد تلفات حشرات کامل در شاهد و غلظت‌های ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ به ترتیب 0.77 ± 1.33 ، 1.21 ± 6.67 و 0.94 ± 2.67 و 1.44 ± 5.33 درصد بود و تفاوت معنی‌داری بین درصد تلفات در شاهد و غلظت‌های مختلف دایابون® وجود نداشت ($F = 1.57$ ؛ $P = 0.24$ ؛ $df = 16, 3$). مطابق با نتایج به دست آمده، حساسیت مرحله بالغ به ایمیداکلوپرید در سایر زنبورهای پارازیتوئید شته‌ها مانند *A. colemani* (Aminijam et al. 2015) و *matricariae* (Golmohammadi 2015) گزارش شده است. پای‌متروزیلین به‌عنوان

جدول ۱. نرخ ظهور (میانگین \pm خطای معیار) زنبور *Lysiphlebus fabarum* در معرض قرار گرفته با غلظت توصیه شده مزرعه‌ای ایمیداکلوپرید، پای-متروزیلین و دایابون® در مراحل لاروی و شفیرگی پارازیتوئید.

Table 1. Emergence rate (Mean \pm SE) of *Lysiphlebus fabarum* exposed to field-recommended concentration of imidacloprid, pymetrozine and Dayabon® at larval and pupal stages of the parasitoid.

Treatment	Mean of adult parasitoid emergence (% \pm SE)	Mean reduction in emergence rate (% \pm SE)
<i>Larval treatments</i>		
Imidacloprid	3.7 \pm 1.03 ^c	96.3 \pm 1.03
Pymetrozine	7.8 \pm 1.3 ^b	92.2 \pm 1.3
Dayabon®	11.9 \pm 2.2 ^b	88.2 \pm 2.2
Control	89.7 \pm 1.9 ^a	-
<i>Pupal treatments</i>		
Imidacloprid	52.0 \pm 3.9 ^b	48.0 \pm 3.9
Pymetrozine	84.2 \pm 3.2 ^a	15.8 \pm 3.2
Dayabon®	86.1 \pm 3.2 ^a	13.9 \pm 3.2
Control	91.3 \pm 2.03 ^a	-

Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($P > 0.05$).

تیمار دایابون® بود. طول دوره مرحله شفیرگی زنبور نیز در تیمار ایمیداکلوپرید بیشتر از سایر تیمارها بود. مقایسه کل دوره پیش از بلوغ حشرات ماده تیمار شده با ایمیداکلوپرید در مرحله لاروی بیشتر از شاهد و تیمارهای پای‌متروزیلین و دایابون® بود. طول دوره پیش از بلوغ حشرات نر در تیمار ایمیداکلوپرید بطور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود در حالی که طول دوره پیش از بلوغ حشرات نر تیمار شده با پای‌متروزیلین و دایابون® تفاوت معنی‌داری با شاهد و تیمار ایمیداکلوپرید نداشت (جدول ۲).

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌ها روی پراسنجه‌های زیستی و جدول زندگی زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* حاصل از تیمار مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ

میانگین طول دوره رشد و نمو زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* تیمار شده با غلظت‌های مختلف ایمیداکلوپرید، پای‌متروزیلین و دایابون® در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ در مقایسه با شاهد در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که طول دوره مرحله لاروی (تخم تا شفیره) زنبورهایی که در مرحله لاروی با حشره‌کش ایمیداکلوپرید تیمار شده بودند، به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد و

جدول ۲. میانگین طول دوره رشد و نمو (\pm خطای معیار) زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum* تیمار شده با غلظت‌های مختلف ایمیداکلوپرید، پای‌متروزیل و دایابون® در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ در مقایسه با شاهد.

Table 2. Mean (\pm SE) developmental time of *Lysiphlebus fabarum* exposed to different concentrations of imidacloprid, pymetrozine and Dayabon® at larval, pupal and adult stages in comparison with control.

Developmental stage	Insecticides			
	Imidacloprid	Pymetrozine	Dayabon®	Control
<i>larval treatments</i>				
Egg-pupae (day)	7.4 \pm 0.2 ^a	7.2 \pm 0.1 ^{ab}	6.8 \pm 0.2 ^b	7.00 \pm 0.1 ^b
Pupae (day)	6.6 \pm 0.2 ^a	6.2 \pm 0.1 ^b	6.1 \pm 0.2 ^b	6.0 \pm 0.2 ^b
Pre-adult (day)				
Female	14.2 \pm 0.2 ^a	13.5 \pm 0.2 ^b	13.0 \pm 0.3 ^b	13.2 \pm 0.2 ^b
Male	13.7 \pm 0.4 ^a	13.0 \pm 0.3 ^{ab}	12.8 \pm 0.2 ^{ab}	12.6 \pm 0.3 ^b
<i>pupal treatments</i>				
Egg-pupae (day)	7.1 \pm 0.2 ^a	6.7 \pm 0.1 ^a	6.8 \pm 0.1 ^a	6.9 \pm 0.2 ^a
Pupae (day)	6.3 \pm 0.2 ^a	6.2 \pm 0.1 ^a	6.0 \pm 0.1 ^a	6.04 \pm 0.1 ^a
Pre-adult (day)				
Female	13.5 \pm 0.4 ^a	13.1 \pm 0.3 ^a	13.02 \pm 0.3 ^a	13.3 \pm 0.3 ^a
Male	12.9 \pm 0.5 ^a	12.6 \pm 0.2 ^a	12.4 \pm 0.2 ^a	12.5 \pm 0.3 ^a
<i>Adult treatments</i>				
Egg-pupae (day)	7.03 \pm 0.1 ^a	7.0 \pm 0.2 ^a	-	6.9 \pm 0.1 ^a
Pupae (day)	6.1 \pm 0.1 ^a	6.1 \pm 0.1 ^a	-	6.04 \pm 0.2 ^a
Pre-adult (day)			-	
Female	13.3 \pm 0.2 ^a	13.2 \pm 0.3 ^a	-	13.1 \pm 0.3 ^a
Male	13.0 \pm 0.2 ^a	12.8 \pm 0.4 ^a	-	13.0 \pm 0.3 ^a

Means within a row followed by the same letter are not significantly different ($P > 0.05$).

گزارش شده است که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مطابقت دارد. حساسیت بیشتر زنبور *L. fabarum* به ترکیبات نئونیکوتینوئیدی ممکن است به دلیل نفوذ زیاد این گروه ترکیبات به درون بدن حشرات کامل و پوسته مومیایی و یا میزان تجزیه کمتر آنها باشد. برخلاف نتایج پژوهش حاضر، طول عمر زنبورهای پارازیتوئید *Aphidius ervi* Haliday تیمار شده با حشره‌کش ایمیداکلوپرید در مرحله شفیرگی در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشته است (Araya et al. 2010). تفاوت گونه پارازیتوئید و حساسیت متفاوت آنها نسبت به حشره‌کش مورد بررسی می‌تواند در این تفاوت نتایج موثر باشند.

باروری ویژه سنی ماده (f_{x3}) نشان‌دهنده تعداد میانگین نتاج تولید شده توسط افراد ماده (سومین مرحله رشدی) در سن x (از مرحله تخم) می‌باشد که برای حشرات تیمار شده در مرحله لاروی، شفیرگی و بالغ به ترتیب در شکل ۲ نشان داده شده است. نرخ بقای ویژه سنی (l_x) احتمال زنده ماندن یک فرد تازه متولد شده تا سن x می‌باشد. کاهش سریع نرخ بقای ویژه سنی در مرحله بالغ نشان‌دهنده تاثیر تیمار با ایمیداکلوپرید در مرحله لاروی، شفیرگی و بالغ است (شکل ۲). باروری ویژه سنی کل جمعیت (m_x) و پارامتر زایش

طول دوره لاروی، شفیرگی و طول دوره پیش از بلوغ حشرات نر و ماده تیمار شده با سه حشره‌کش که در مرحله شفیرگی و بالغ در معرض حشره‌کش‌ها قرار گرفته بودند تفاوت معنی‌داری با یکدیگر و شاهد نداشتند (جدول ۲).

طول عمر حشرات نر و ماده تیمار شده با حشره‌کش ایمیداکلوپرید در مرحله لاروی، شفیرگی و بالغ به طور معنی‌داری کمتر از شاهد و تیمار حشره‌کش‌ها بود (جدول ۳). نرخ بقای ویژه سنی - مرحله زیستی (S_{xj}) نشان‌دهنده احتمال بقای یک فرد تازه تولد یافته برای رسیدن به سن x و مرحله j می‌باشد. در شکل ۱ تاثیر منفی حشره‌کش ایمیداکلوپرید بر نرخ زنده ماندن مرحله بالغ هر دو جنس نر و ماده تیمار شده در سه مرحله رشدی پارازیتوئید قابل مشاهده است.

کاهش طول عمر حشرات ممکن است ناشی از اثرات زیرکشدگی حشره‌کش‌ها باشد (Desneux et al. 2007). کاهش طول عمر پارازیتوئیدهای شته مانند *Diaeretiella rapae* (M Intosh) تیمار شده با حشره‌کش ایمیداکلوپرید در مرحله شفیرگی (Kheradmand et al. 2012) و *L. fabrum* تیمار شده با پروتوس در مراحل شفیرگی و بالغ (Mardani et al. 2016)

تیمار شده در مرحله شفیرگی (Kheradmand et al. 2012) و تیماتوکسام (حشره‌کش نئونیکوتینوئیدی) روی زنبور پارازیتوئید *D. rapae* تیمار شده در مرحله حشره کامل (Rezaei et al. 2018) نیز گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. مشابه نتایج به دست آمده، عدم تاثیر حشره‌کش پای‌متروزین روی باروری جمعیت ماده‌زای زنبور *L. fabarum* (Mardani et al. 2016) و *D. rapae* (Kheradmand et al. 2012) تیمار شده در مرحله شفیرگی نیز گزارش شده است.

نتایج نشان داد که نسبت جنسی نتاج (نسبت ماده‌ها به کل نتاج) پارازیتوئید *L. fabarum* که در مرحله لاروی ($P < 0.0001$)؛ $F = 48.03$ ؛ $df = 161.3$ ؛ شفیرگی ($P < 0.0001$)؛ $F = 174.3$ ؛ $df = 174.3$ ؛ و بالغ ($P < 0.0001$)؛ $F = 38.69$ ؛ $df = 112.44$) در معرض حشره‌کش ایمیداکلوپرید قرار گرفته بودند، به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد و دو حشره‌کش مورد آزمایش بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که حشره‌کش ایمیداکلوپرید نسبت جنسی (ماده به کل) زنبورهای *L. fabarum* که در سه مرحله رشدی با این حشره‌کش تیمار شده بودند نسبت به سایر تیمارها کاهش داد. کاهش نسبت جنسی زنبور *L. fabarum* پارازیتوئید شته جالیز *A. gossypii* تیمار شده با حشره‌کش ایمیداکلوپرید در مرحله لاروی و شفیرگی نیز گزارش شده است که با نتایج حاضر هم‌خوانی دارد (Almasi et al. 2018). کاهش نتاج ماده ممکن است مرتبط با این حقیقت باشد که زنبورهای ماده از تخم‌های بارور و نرها از تخم‌های غیر بارور حاصل می‌شوند، رفتار باروری تخم‌ها که یک امر اختیاری توسط زنبورهای ماده است، می‌تواند با تاثیر حشره‌کش‌ها بر انتقالات عصبی در ماده‌های تیمار شده تغییر کند که در نهایت منجر به تغییر نسبت جنسی در مقایسه با حشرات تیمار نشده با آفت‌کش‌ها می‌شود (Desneux et al. 2007).

ارزش تولیدمثلی ویژه سنی - مرحله زیستی (V_{xj}) که پیش بینی از میزان تاثیر یک فرد با سن x و در مرحله رشدی z در افزایش جمعیت می‌باشد در تیمار مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ در شکل ۳ نشان داده شده است که نمایان‌گر تاثیر حشره‌کش ایمیداکلوپرید در مقایسه با سایر تیمارها در کاهش توانایی تولید مثلی است.

براساس تئوری جدول زندگی سنی - مرحله زیستی، دو جنسی امید زندگی نشان دهنده طول مدتی است که فردی در سن x و مرحله رشدی z بتواند زندگی کند. امید زندگی سنی - مرحله ای زنبورهای پارازیتوئید نر و ماده در جمعیت‌های تیمار شده با

ویژه سنی (I_{xmx}) در تیمارهای مختلف نیز در شکل ۲ آمده است. ایمیداکلوپرید در مقایسه با سایر تیمارها، پارامترهای مذکور را به‌طور منفی تحت تاثیر قرار داده است. طول دوره تخم‌ریزی در حشرات تیمار شده با ایمیداکلوپرید در سه مرحله رشدی پارازیتوئید به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود (جدول ۳). دوره پیش از تخم‌ریزی ماده بالغ (APOP) در تیمار مراحل رشدی مختلف در میان شاهد و تیمار حشره‌کش‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). دوره پیش از تخم‌ریزی کل (TPOP) در حشراتی که در مرحله لاروی در معرض حشره‌کش ایمیداکلوپرید قرار گرفته بودند، به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد و تیمار حشره‌کش‌ها بود که می‌تواند به دلیل افزایش طول دوره پیش از بلوغ تحت تاثیر حشره‌کش مذکور باشد. دوره پیش از تخم‌ریزی کل (TPOP) حشرات تیمار شده با حشره‌کش‌ها در مراحل شفیرگی و بالغ در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). باروری در حشراتی که در مرحله لاروی با ایمیداکلوپرید، پای - متروزین و دایابون[®] تیمار شده بودند به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود ولی باروری در تیمارهای پای‌متروزین و دایابون[®] به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ایمیداکلوپرید بود (جدول ۳). باروری در حشراتی که در مرحله شفیرگی با حشره‌کش ایمیداکلوپرید تیمار شده بودند به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد، پای‌متروزین و دایابون بود. باروری در حشراتی که در مرحله بالغ با حشره‌کش ایمیداکلوپرید تیمار شده بودند، به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد و پای‌متروزین بود و حشره‌کش پای‌متروزین تاثیر منفی روی باروری زنبورها نداشته است. پژوهش‌ها نشان داده که مواجه شدن حتی با مقدار کم آفت‌کش، ممکن است باروری، زادآوری، نرخ ظهور و نسبت جنسی دشمنان طبیعی را تحت تاثیر قرار دهد (Croft et al. 2007; Van Lenteren 2003; Desneux et al. 1990). باروری، حساس‌ترین شاخص زیستی است که تحت تاثیر حشره‌کش‌ها قرار می‌گیرد و کاهش در میزان باروری یک دشمن طبیعی از توانایی آن برای تنظیم جمعیت میزبان خود می‌کاهد. مطالعات زیادی حاکی از آن است که اغلب حشره‌کش‌ها باروری را کاهش می‌دهند. بندرت توانایی افزایش باروری در بعضی از حشره‌کش‌ها دیده می‌شود (Croft 1990). غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها معمولاً باروری و زادآوری حشرات ماده را با کاهش مستقیم تخم‌ریزی یا کاهش درصد تفریح تخم تحت تاثیر قرار می‌دهند (Croft 1990). تاثیر منفی حشره‌کش‌های ایمیداکلوپرید روی طول عمر و باروری زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* (Aminijam et al. 2015) و *D. rapae*.

زنبورهایی که در مرحله لاروی در معرض ایمیداکلوپرید قرار گرفته بودند، کمتر از سایر تیمارها بود (شکل ۴). در میزان امید به زندگی مراحل پیش از بلوغ زنبورهایی که در مرحله شفیرگی در معرض حشره‌کش‌ها قرار گرفته بودند، تفاوت چندانی دیده نشد (شکل ۴).

ایمیداکلوپرید در مراحل لاروی و شفیرگی کمترین مقدار را نشان داد (شکل ۴). این کاهش در جنس نر نمایان‌تر است که دلیل احتمالی آن حساسیت بیشتر جنس نر نسبت به ماده در برابر حشره‌کش‌ها می‌تواند باشد. امید زندگی مراحل پیش از بلوغ

جدول ۳. میانگین برخی ویژگی‌های زیستی (\pm خطای معیار) زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum* تیمار شده با غلظت‌های مختلف ایمیداکلوپرید، پای‌متروزین و دایابون® در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ در مقایسه با شاهد.

Table 3. Mean (\pm SE) some biological indices of *Lysiphlebus fabarum* exposed to different concentrations of imidacloprid, pymetrozine and Dayabon® at larval, pupal and adult stages in comparison with control.

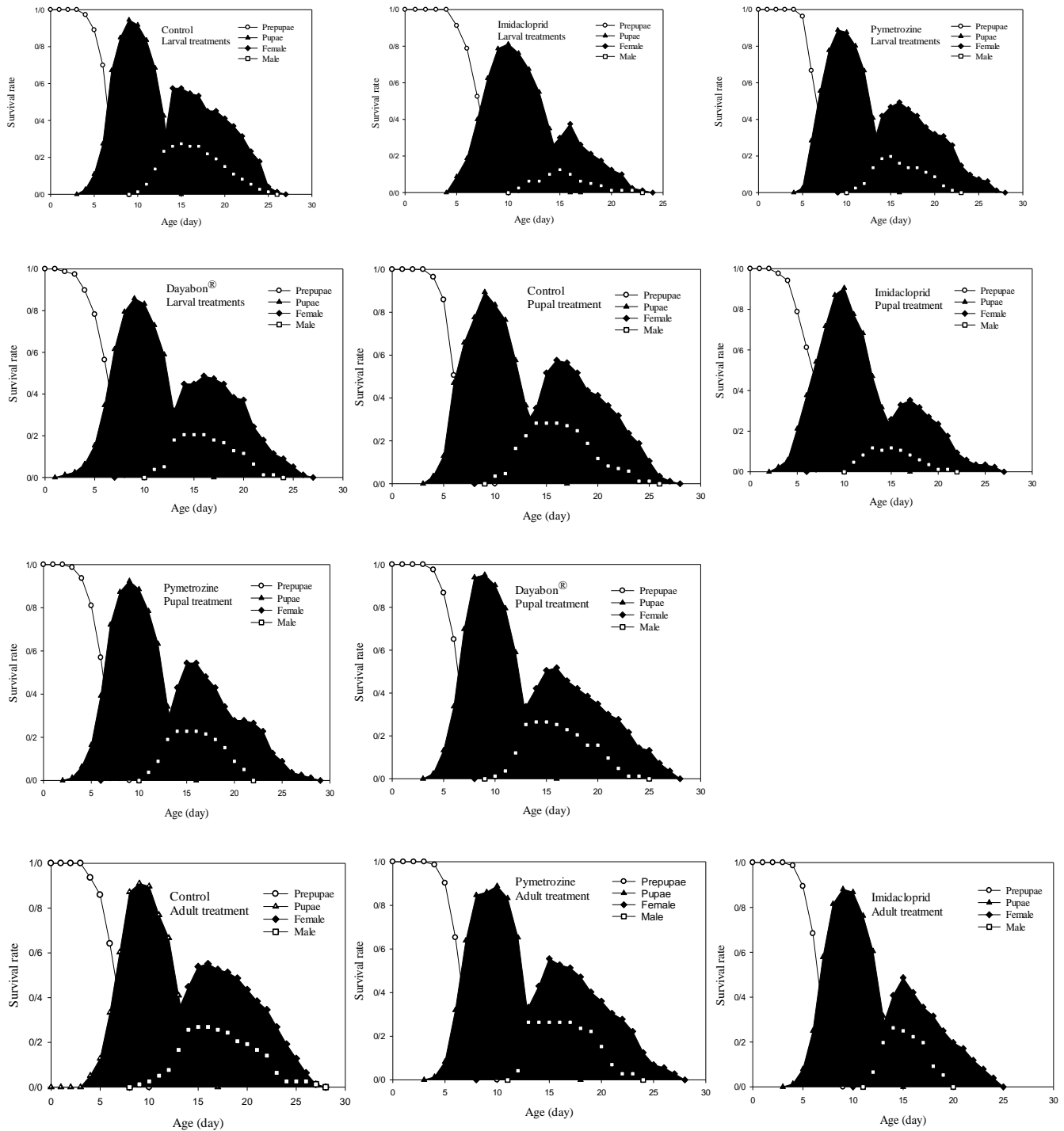
Biological index	Insecticides							
	n*	Imidacloprid	n	Pymetrozine	n	Dayabon®	n	Control
<i>larval treatments</i>								
Female adult longevity (day)	35	4.6 \pm 0.4 ^b	45	7.8 \pm 0.5 ^a	43	8.1 \pm 0.6 ^a	42	9.0 \pm 0.9 ^a
Male adult longevity (day)	17	3.1 \pm 0.5 ^b	16	6.4 \pm 0.5 ^a	17	7.2 \pm 0.5 ^a	22	7.8 \pm 0.6 ^a
APOP (day)*	35	0.04 \pm 0.03 ^a	45	0.09 \pm 0.1 ^a	43	0.02 \pm 0.02 ^a	42	0.02 \pm 0.02 ^a
TPOP (day)**	35	14.3 \pm 0.2 ^a	45	13.6 \pm 0.2 ^b	43	13.0 \pm 0.3 ^b	42	13.2 \pm 0.2 ^b
Oviposition days (day)	35	4.5 \pm 0.4 ^b	45	7.8 \pm 0.5 ^a	43	8.0 \pm 0.5 ^a	42	8.9 \pm 0.5 ^a
Fecundity (eggs/female)	35	60.3 \pm 3.5 ^c	45	104.4 \pm 5.1 ^b	43	111.2 \pm 5.2 ^b	42	129.5 \pm 6.0 ^a
Maximum daily fecundity		29		33		34		34
Sex ratio (%female)		0.45 \pm 0.01 ^b		0.62 \pm 0.01 ^a		0.64 \pm 0.01 ^a		0.65 \pm 0.01 ^a
<i>pupal treatments</i>								
Female adult longevity (day)	35	6.9 \pm 0.5 ^b	46	8.1 \pm 0.5 ^{ab}	47	8.8 \pm 0.5 ^a	50	9.1 \pm 0.3 ^a
Male adult longevity (day)	15	4.4 \pm 0.3 ^c	19	7.1 \pm 0.4 ^b	23	7.7 \pm 0.5 ^{ab}	25	8.1 \pm 0.3 ^a
APOP (day)**	35	0.06 \pm 0.04 ^a	46	0.02 \pm 0.02 ^a	47	0.04 \pm 0.03 ^a	50	0.02 \pm 0.02 ^a
TPOP (day)***	35	13.5 \pm 0.4 ^a	46	13.1 \pm 0.3 ^a	47	13.1 \pm 0.3 ^a	50	13.3 \pm 0.3 ^a
Oviposition days (day)	35	6.7 \pm 0.5 ^b	46	8.1 \pm 0.5 ^a	47	8.6 \pm 0.5 ^a	50	9.04 \pm 0.4 ^a
Fecundity (eggs/female)	35	94.4 \pm 5.6 ^b	46	115.7 \pm 4.9 ^a	47	128.6 \pm 4.4 ^a	50	133.1 \pm 4.3 ^a
Maximum daily fecundity		31		34		35		36
Sex ratio (%female)		0.47 \pm 0.01 ^b		0.63 \pm 0.02 ^a		0.64 \pm 0.0 ^a		0.67 \pm 0.01 ^a
<i>Adult treatments</i>								
Female adult longevity (day)	40	6.3 \pm 0.4 ^b	43	8.5 \pm 0.4 ^a	-	-	48	9.2 \pm 0.4 ^a
Male adult longevity (day)	20	5.1 \pm 0.3 ^b	19	7.9 \pm 0.4 ^a	-	-	22	8.8 \pm 0.5 ^a
APOP (day)*	40	1.02 \pm 0.03 ^a	43	1.02 \pm 0.02 ^a	-	-	48	1.0 \pm 0.0 ^a
TPOP (day)**	40	14.3 \pm 0.2 ^a	43	14.2 \pm 0.3 ^a	-	-	48	14.1 \pm 0.3 ^a
Oviposition days (day)	40	5.3 \pm 0.4 ^b	43	7.4 \pm 0.4 ^a	-	-	48	8.2 \pm 0.4 ^a
Fecundity (eggs/female)	40	79.6 \pm 4.6 ^b	43	125.3 \pm 4.04 ^a	-	-	48	136.6 \pm 3.6 ^a
Maximum daily fecundity		31		35		-		36
Sex ratio (%female)		0.42 \pm 0.01 ^b		0.63 \pm 0.01 ^a		-		0.65 \pm 0.01 ^a

Means within a row followed by the same letter are not significantly different ($P > 0.05$).

*n: Number of survived aphid parasitoids.

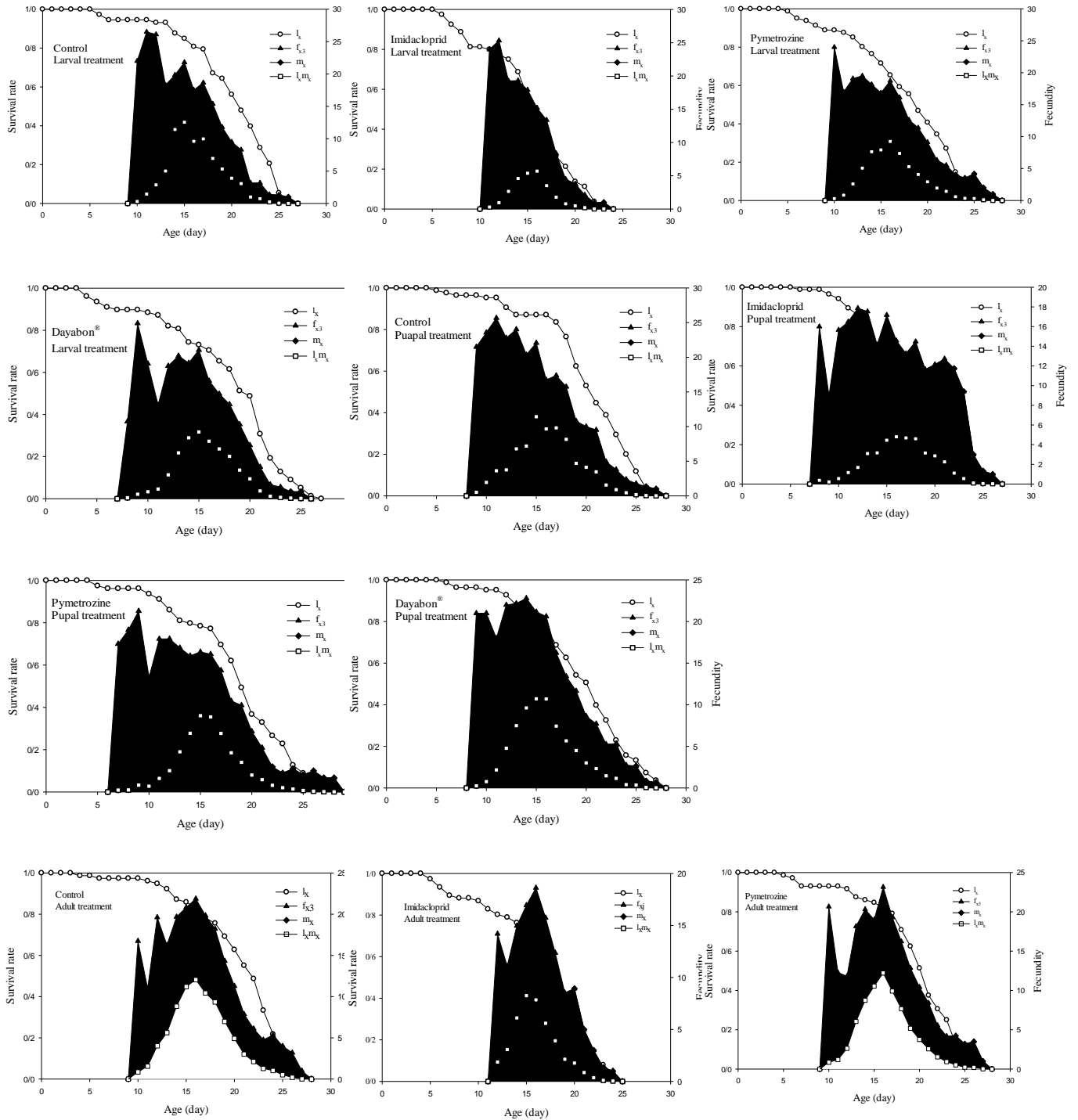
**APOP: Adult pre-oviposition period.

***TPOP: Total pre-oviposition period.



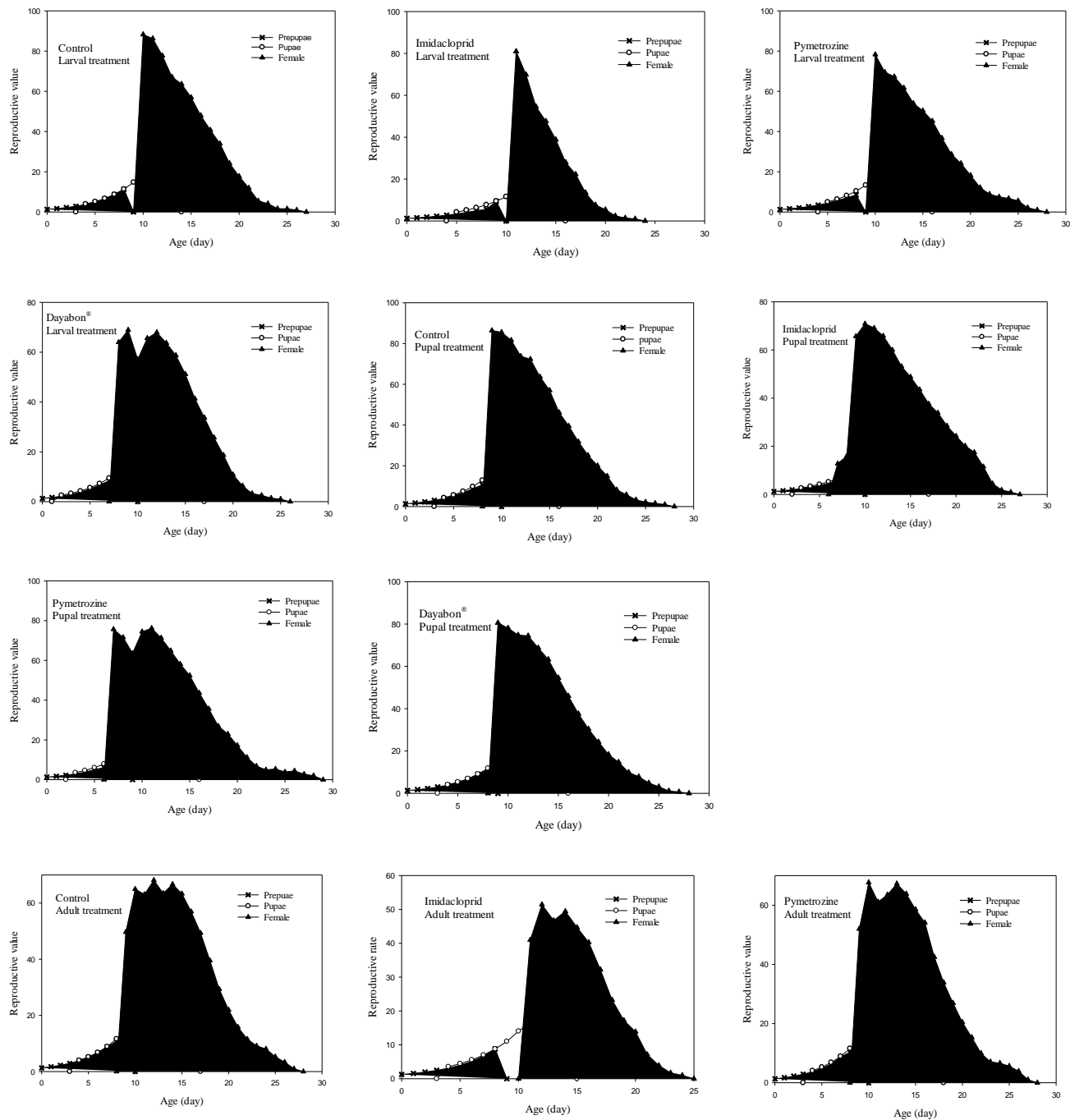
شکل ۱. تعداد نسبی افراد زنده در هر گروه سنی و مرحله زیستی (S_{xj}) زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum* در معرض غلظت های مختلف ایمیداکلوپرید، پایمتروزین و دایابون® در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ در مقایسه با شاهد.

Figure 1. Age-stage survival rate (S_{xj}) of *Lysiphlebus fabarum* exposed to different concentrations of imidacloprid, pymetrozine and Dayabon® at larval, pupal and adult stages in comparison with control.



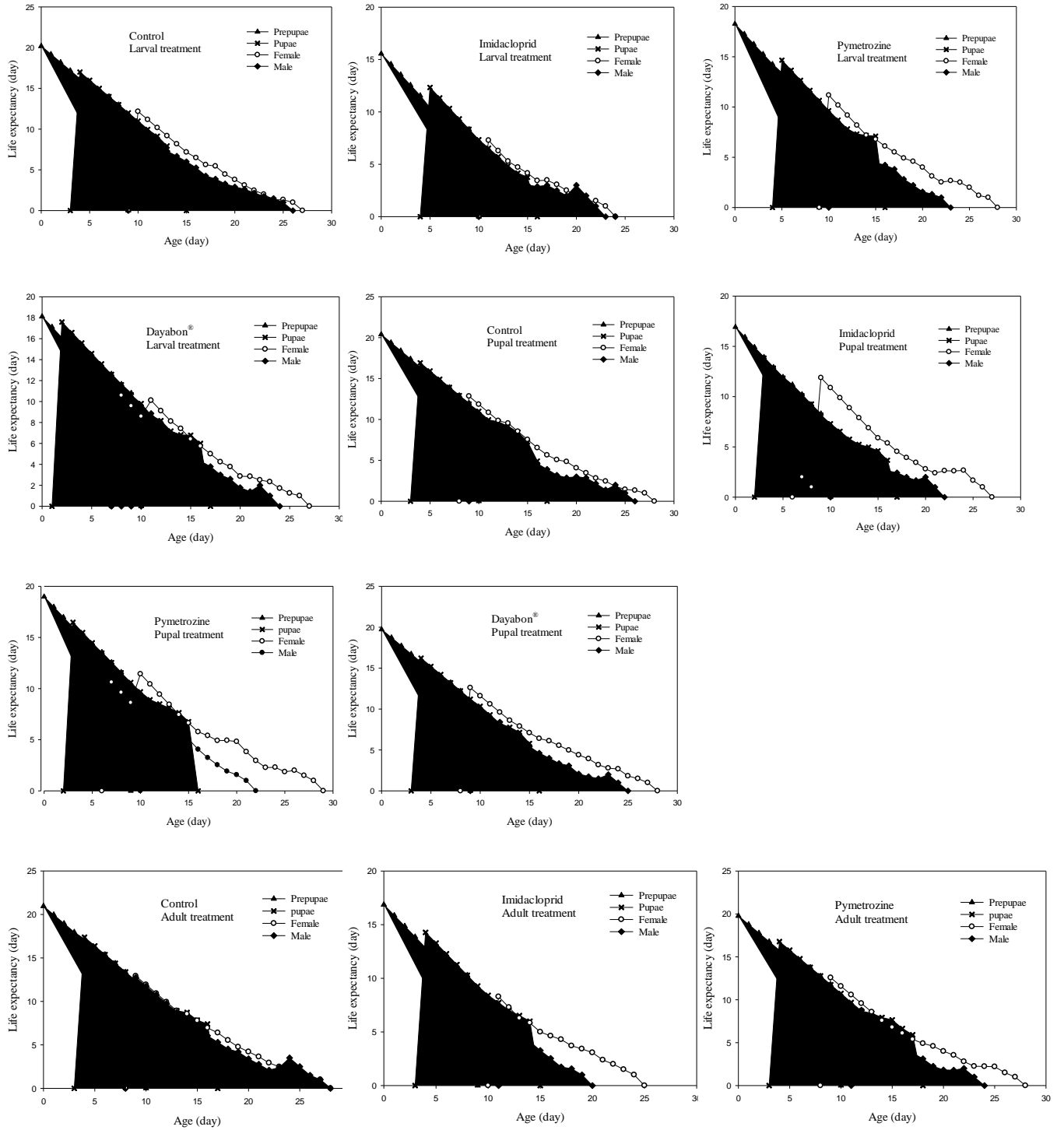
شکل ۲. نرخ بقا ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سنی ماده (f_{x3})، باروری ویژه سنی کل جمعیت (m_x)، زایش ویژه سنی ($l_x m_x$) زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum* در معرض غلظت‌های مختلف ایمیداکلوپرید، پای‌متروزین و دایابون® در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ در مقایسه با شاهد.

Figure 2. Age-specific Survival rates (l_x), female age-specific fecundity (f_{x3}), adult age-specific fecundity (m_x) and age-specific maternity ($l_x m_x$) of *Lysiphlebus fabarum* exposed to different concentrations of imidacloprid, pymetrozine and Dayabon® at larval, pupal and adult stages in comparison with control.



شکل ۳. ارزش باروری ویژه سن و مرحله زیستی (V_{xj}) زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum* در معرض غلظت های مختلف ایمیداکلوپرید، پای متروزین و دایابون® در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ در مقایسه با شاهد.

Figure 3. Age-stage-specific reproductive value (V_{xj}) of *Lysiphlebus fabarum* exposed to different concentrations of imidacloprid, pymetrozine and Dayabon® at larval, pupal and adult stages in comparison with control.



شکل ۴. امید زندگی ویژه سنی و مرحله زیستی (e_{xi}) زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum* در معرض غلظت‌های مختلف ایمیداکلوپرید، پای‌متروزین و دایابون® در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ در مقایسه با شاهد.

Figure 4. Age-stage-specific life expectancy (e_{xi}) of *Lysiphlebus fabarum* exposed to different concentrations of imidacloprid, pymetrozine and Dayabon® at larval, pupal and adult stages in comparison with control.

جمعیت زنبورهای تیمار شده با حشره‌کش ایمیداکلوپرید در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ کمتر از تیمارهای پای‌متروزین، دایابون[®] و شاهد بود. کاهش در مقدار r پارازیتوئیدها تحت تاثیر حشره‌کش‌ها توسط سایر محققین نیز گزارش شده از جمله کاهش مقدار r زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* تیمار شده با حشره‌کش پروتوس در تیمار مراحل شفیرگی و بالغ (Mardani et al. 2016)، پارازیتوئید *A. matricariae* در تیمار با ایمیداکلوپرید در مرحله حشره کامل (Aminijam et al. 2015)، زنبور *D. rapae* در تیمار با تیماتوکسام در مرحله حشره کامل (Rezaei et al. 2018)، پارازیتوئید *D. rapae* در تیمار با ایمیداکلوپرید در مرحله شفیرگی (Kheradmand et al. 2012) و زنبور *Eretmocerus mundus* Mercet تیمار شده با ایمیداکلوپرید در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ (Sohrabi et al. 2013) را می‌توان نام برد. نتایج مطالعه جاری نشان داد که نرخ ذاتی رشد جمعیت زنبور در تیمار با پای‌متروزین و دایابون[®] تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشته است. عدم تاثیر حشره‌کش پای‌متروزین روی پارامترهای جمعیت پایدار زنبورهای پارازیتوئید شده‌ها از قبیل *A. ervi* (Acheampong & Stark 2004)، جمعیت ماده‌زای *L. fabarum* (Mardani et al. 2016) و *D. rapae* (Kheradmand et al. 2012) گزارش شده است که با نتایج حاضر مطابقت دارد. زمانیکه نرخ ذاتی افزایش جمعیت کاهش پیدا کند، آماره‌های وابسته به آن مانند نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) که از معیارهای رشدی جمعیت محسوب می‌شوند، نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرند (Hoddle 2006). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، اثرات منفی ایمیداکلوپرید روی سایر پارامترهای جمعیت پایدار زنبورهای پارازیتوئید شده‌ها از قبیل λ و R_0 نیز گزارش شده است (Mardani et al. 2015; Kheradmand et al. 2012; Aminijam et al. 2015; et al. 2016).

نتایج بیانگر اثرات منفی حشره‌کش ایمیداکلوپرید روی ویژگی‌های زیستی و جمعیتی *L. fabarum* در مقایسه با حشره‌کش‌های پای‌متروزین و دایابون[®] بود. سمیت این حشره‌کش در تمام مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ پارازیتوئید نیز بیشتر از سایر حشره‌کش‌ها بود. اگرچه غلظت‌های توصیه شده مزرعه‌ای سه حشره‌کش مورد بررسی، نرخ ظهور زنبورها از شته‌های پارازیته شده (حاوی مرحله لاروی پارازیتوئید) را به طور معنی‌داری کاهش دادند. نتایج در مجموع نشان داد که سمیت حاد و اثرات زیرکشندگی ایمیداکلوپرید در سه مرحله رشدی پارازیتوئید بیشتر از سایر حشره‌کش‌ها بود.

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌ها روی پراسنجه‌های جمعیت پایدار زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* حاصل از تیمار مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ

میانگین و خطای معیار پراسنجه‌های جمعیت زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* حاصل از تیمار مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ در شاهد و تیمار حشره‌کش‌ها با استفاده از روش بوت استرپ ارزیابی شد و در جدول ۴ آورده شده است. در تیمار مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ کمترین نرخ ذاتی رشد جمعیت (r) مربوط به تیمار ایمیداکلوپرید بود و بین ایمیداکلوپرید و سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). نرخ متناهی رشد جمعیت (λ) نیز در تیمار ایمیداکلوپرید به طور معنی‌داری نسبت به شاهد و تیمارهای پای‌متروزین و دایابون کمتر بوده است. حشره‌کش‌های پای‌متروزین و دایابون، نرخ متناهی رشد جمعیت (λ) زنبورهای تیمار شده در مراحل لاروی و شفیرگی را به طور منفی و معنی‌داری تحت تاثیر قرار نداده است. نرخ خالص تولید مثل (R_0) پارازیتوئیدهایی که در مراحل مختلف رشدی در معرض حشره‌کش ایمیداکلوپرید قرار گرفته بودند، به طور معنی‌داری کمتر از شاهد و تیمارهای پای‌متروزین و دایابون بود. میانگین طول مدت یک نسل (T) در آفت‌کش‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد در تیمار مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ، تفاوت معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$) (جدول ۴). نرخ ذاتی رشد جمعیت (r) به عنوان معیاری برای سنجش پتانسیل تولیدمثلی حشرات تحت تاثیر حشره‌کش‌ها و غلظت‌های مختلف می‌باشد و ارزیابی عواملی که بر آن تاثیر دارند به شناخت الگوی رشد جمعیت کمک خواهد کرد (Walthall & Stark 1997). به عبارت دیگر، نرخ ذاتی افزایش جمعیت مهم‌ترین پارامتر برای تعیین نوع و میزان رشد جمعیت‌ها می‌باشد که می‌تواند بیانگر رشد مثبت و یا منفی جمعیت باشد. در واقع، این پارامتر نرخ رشد سرانه جمعیت بوده و نتیجه برهم‌کنش باروری ویژه سنی، طول عمر و نسبت جنسی است. هر چه مقدار r بیشتر باشد، نرخ افزایش جمعیت سریع‌تر و دوره رشد و نمو کوتاه خواهد بود (Medeiros et al. 2000). البته ذکر این نکته ضروری است که با توجه به این که نرخ ذاتی افزایش جمعیت پارامتر دقیقی است و می‌تواند برای مقایسه توانایی‌های تولیدمثلی جمعیت‌ها به کار رود، تحت تاثیر عوامل زیادی از جمله گونه حشره مورد بررسی، منشا جغرافیایی، شرایط اقلیمی، طول عمر حشرات کامل، اثر حشره-کش‌ها بر حشرات و غیره قرار می‌گیرد (Infante 2000; Medeiros et al. 2000). نتایج این مطالعه نشان داد که نرخ ذاتی افزایش

جدول ۴. پراسنجه‌های جمعیت پایدار (میانگین \pm خطای معیار) زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum* تیمار شده با غلظت‌های مختلف ایمیداکلورپید، پای‌متروزین و دایابون[®] در مراحل لاروی، شفیرگی و بالغ در مقایسه با شاهد.

Table 4. Stable population parameters (Mean \pm SE) of *Lysiphlebus fabarum* exposed to different concentrations of imidacloprid, pymetrozine and Dayabon[®] at larval, pupal and adult stages in comparison with control.

Parameter	Insecticides			
	Imidacloprid	Pymetrozine	Dayabon	Control
<i>Larval treatments</i>				
r (day ⁻¹)	0.2035 \pm 0.01 ^b	0.2471 \pm 0.01 ^a	0.2624 \pm 0.01 ^a	0.2635 \pm 0.01 ^a
λ (day ⁻¹)	1.23 \pm 0.01 ^b	1.28 \pm 0.01 ^a	1.30 \pm 0.01 ^a	1.30 \pm 0.01 ^a
R ₀ (offspring/individual)	26.36 \pm 3.66 ^b	58.01 \pm 6.40 ^a	61.28 \pm 6.86 ^a	74.49 \pm 8.81 ^a
T (day)	16.08 \pm 0.27 ^a	16.43 \pm 0.43 ^a	15.68 \pm 0.32 ^a	16.36 \pm 0.25 ^a
<i>Pupal treatments</i>				
r (day ⁻¹)	0.2240 \pm 0.01 ^b	0.2693 \pm 0.01 ^a	0.2704 \pm 0.01 ^a	0.2759 \pm 0.01 ^a
λ (day ⁻¹)	1.25 \pm 0.01 ^b	1.31 \pm 0.01 ^a	1.31 \pm 0.01 ^a	1.32 \pm 0.01 ^a
R ₀ (offspring/individual)	38.87 \pm 5.49 ^b	67.35 \pm 6.91 ^a	72.82 \pm 7.48 ^a	78.28 \pm 7.41 ^a
T (day)	16.34 \pm 0.48 ^a	15.63 \pm 0.43 ^a	15.86 \pm 0.29 ^a	15.80 \pm 0.35 ^a
<i>Adult treatments</i>				
r (day ⁻¹)	0.2273 \pm 0.01 ^b	0.2628 \pm 0.01 ^a	-	0.2687 \pm 0.01 ^a
λ (day ⁻¹)	1.2550 \pm 0.01 ^b	1.3006 \pm 0.01 ^a	-	1.3082 \pm 0.01 ^a
R ₀ (offspring/individual)	41.88 \pm 5.22 ^b	74.81 \pm 7.48 ^a	-	84.05 \pm 7.89 ^a
T (day)	16.43 \pm 0.26 ^a	16.41 \pm 0.33 ^a	-	16.49 \pm 0.32 ^a

Means followed by the same letters within each row are not significantly different according to the paired bootstrap test at 95% confidence interval. The SEs were estimated by 10000 bootstraps.

Abbreviations: r: Intrinsic rate of increase, λ : Finite rate of increase, R₀: Net reproductive rate, T: Generation time.

سیاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول تشکر و قدردانی می‌شود. از جناب آقای دکتر سعید محرمی‌پور عضو محترم هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس به‌خاطر مساعدت‌های علمی‌شان و در اختیار گذاشتن آفت‌کش گیاهی دایابون[®] سپاسگزاری می‌شود.

باتوجه به کم‌خطر بودن حشره‌کش‌های پای‌متروزین و دایابون[®] روی زنبور *L. fabarum*، این حشره‌کش‌ها می‌توانند به‌عنوان گزینه‌های مناسب‌تری برای مدیریت تلفیقی شته *A. fabae* مورد استفاده قرار گیرند. البته انجام آزمایش‌هایی درباره اثرات حشره‌کش‌ها روی آفت و پارازیتوئید آن در شرایط نیمه‌صحرائی و صحرائی ضروری است.

References

- Abbot WS, 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 8 (1): 265–267.
- Acheampong S, Stark JD, 2004. Effects of agricultural adjuvant Sylgard 309 and the insecticide pymetrozine on demographic parameters of the aphid parasitoid, *Diaeretiella rapae*. *Biological Control* 31 (2): 133–137.
- Almasi A, Rasekh A, Esfandiari M, Askari Seyahooei M, Ziaee M, 2018. The prospect of using sublethal imidacloprid or pirimicarb and a parasitoid wasp, *Lysiphlebus fabarum*, simultaneously, to control *Aphis gossypii* on cucumber plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 21: 161–167.
- Aminijam N, Kocheili F, Rasekh A, Saber M, 2015. Sublethal effects of imidacloprid and pirimicarb on population growth parameters of *Aphidius matricariae* Haliday (Hym.: Braconidae). *1st Iranian International Congress of Entomology*, August 29–31, Tehran, Iran. P. 305.
- Araya JE, Araya M, Guerrero MA, 2010. Effects of some insecticides applied in sub-lethal concentrations on the survival and longevity of *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Aphidiidae) adults. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70 (2): 221–227.
- Asplen MK, Bano N, Brady CM, Desneux N, Hopper KR, et al., 2014. Specialisation of bacterial endosymbionts that protect aphids from

- parasitoids. *Ecological Entomology* 39: 736–739.
- Ausborn J, Wolf H, Mader W, Kayser H, 2005. The insecticides pymetrozine selectivity affects chordotonal mechanoreceptors. *Journal of Experimental Biology* 208: 4451–4466.
- Baghery-Matin Sh, Sahragard A, Rasoolian G, 2005. Some behavioural characteristics of *Lysiphlebus fabarum* (Hymenoptera: Aphidiidae) parasiting *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae) under laboratory conditions. *Journal of Entomology* 20: 64–68.
- Biondi A, Desneux N, Siscaro G, Zappala L, 2012. Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator *Orius laevigatus*. *Chemosphere* 87: 803–812.
- Blackman R.L, Eastop VP, 2007. Taxonomic issues. In: Van Emden HF, Harrington R (eds): Aphids as Crop Pests. CABI publishing, London. Pp. 1–29.
- Chi H, 1988. Life table analysis incorporating both sexes and variable development rate among individuals. *Environmental Entomology* 17 (1): 26–34.
- Chi H, 2017. TWO-SEX MS Chart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. Retrieved from <http://140.120.197.173>. Ecology/Download/Two-Sex MSChart. Zip.
- Chi H, Liu H, 1985. Two new methods for study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology Academia Sinica (Taipei)* 24 (2): 225–240.
- Croft BA, 1990. Arthropod Biological Control Agents and Pesticides. John Willey and Sons, New York, USA. 723 pp.
- D'Ávila VA, Barbosa WF, Guedes RN, Cutler GC, 2018. Effects of spinosad, imidacloprid, and lambda-cyhalothrin on survival, parasitism, and reproduction of the aphid parasitoid *Aphidius colemani*. *Journal of Economic Entomology* 111 (3): 1096–1103.
- Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM, 2007. The Sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology* 52: 81–106.
- Desneux N, Wajnberg E, Fauvergue X, Privet S, Kaiser L, 2004. Oviposition behaviour and patch-time allocation in two aphid parasitoids exposed to deltamethrin residues. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 112 (3): 227–235.
- Efron B, Tibshirani RJ, 1993. An Introduction to Bootstrap. Chapman and Hall, New York. 436 pp.
- Golmohammadi GR, 2015. To study the effect of imidacloprid (SC350) on parasitoid wasp *Aphidius colemani* Viereck under laboratory conditions. *Pesticides in Plant Protection Sciences* 2: 44–51.
- Goodman D, 1982. Optimal life histories, optimal notation and the value of reproductive value. *The American Naturalist* 119 (6): 803–823.
- Haynes KF, 1988. Sublethal effects of neurotoxic substances on behavioral responses of insects. *Annual Review of Entomology* 33: 149–168.
- Hoddle MS, 2006. Phenology, life tables and reproductive biology of *Tetraleurodes perseae* (Hemiptera: Aleyrodidae) on California avocados. *Annual Entomological Society of America* 99 (3): 553–559.
- Huang YB, Chi H, 2012. Life-tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae): with an Invalidation of the Jackknife Technique. *Journal of Applied Entomology* 137: 327–339.
- Infante F, 2000. Development and population growth rates of *Prorops nasuta* (Hym.: Bethyridae) at constant temperatures. *Journal of Applied Entomology* 124 (9–10): 343–348.
- Kheradmand K, Khosravian M, Shahrokhi S, 2012. Side effect of four insecticides on demographic statistics of aphid parasitoid, *Diaeretiella rapae* (M'Intosh) (Hym., Braconidae). *Annals of Biological Research* 3: 3340–3345.
- LeOra Software. 2013. Polo-Plus (version: 2), Polo for Windows LeOra Software.
- Longley M, Jepson PC, 1997. Cereal aphid and parasitoid survival in a logarithmically diluted deltamethrin spray transect in winter wheat: field-based risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16 (8): 1761–1767.
- Liang P, Tian YA, Biondi A, Desneux N, Gao XW, 2012. Short-term and transgenerational effects of the neonicotinoid nitenpyram on susceptibility to insecticides in two whitefly species. *Ecotoxicology* 21: 1889–1898.
- Purhematy A, Ahmadi K, Moshrefi M, 2013. Toxicity of thiacloprid and fenvalerate on the black bean aphid, *Aphis fabae* and biosafety

- against its parasitoid, *Lysiphlebus fabarum*. *Journal of Biopesticides* 6 (2): 207–210.
- Mardani A, Sabahi Q, Rasekh A, Almasi A, 2016. Lethal and sub-lethal effects of three insecticides on the aphid parasitoid, *Lysiphlebus fabarum* Marshall (Hymenoptera: Aphidiidae). *Phytoparasitica* 44 (1): 91–98.
- Medeiros RS, Ramalho FS, Lemos WP, Zanuncio JC, 2000. Age dependent fecundity and life fertility tables for *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Journal of Applied Entomology* 124 (7–8): 319–324.
- Mossadegh MS, Stary P, Salehipour H, 2011. Aphid parasitoids in dry lowland area of Khuzestan, Iran (Hym.; Braconidae, Aphidiinae). *Asian Journal of Biological Science* 4 (2): 175–181.
- Nauen R, Hungenberg H, Toloo B, Tietjen K, Elbert A, 1998. Antifeedant effect, biological efficacy and high affinity binding of imidacloprid to acetylcholine receptors in *Myzus persicae* and *Myzus nicotianae*. *Pesticide Science* 53: 133–140.
- Nuessly GS, Hentz MG, Beiriger R, Scully BT, 2004. Insects associated with faba bean, *Vicia faba* (Fabales: Fabaceae), in southern Florida. *Florida Entomologist* 87: 204–211.
- Qu Y, Xiao D, Li J, Chen Z, Biondi A, et al., 2015. Sublethal and hormesis effects of imidacloprid on the soybean aphid *Aphis glycines*. *Ecotoxicology* 24 (3): 479–487.
- Rezaei M, Moharrampour S, 2019. Efficacy of Dayabon®, a botanical pesticide, on different life stages of *Myzus persicae* and its biological control agent, *Aphidius matricariae*. *Journal of Crop Protection* 8(1): 1–10.
- Rezaei N, Mossadegh MS, Kocheli F, Talebi Jahromi K, Kavousi A, 2018. Sub-lethal effects of thiamethoxam and pirimicarb on life table parameters of *Diaeretiella rapae* (M'Intosh), parasitoid of *Lipaphis erysimi*. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering* 12 (10): 321–328.
- Rezaeian N, Heidari A, Moharrampour S, Imani S, 2015. Contact toxicity of botanical insecticide, Dayabon based on plant essential oils thyme (*Thymus vulgaris*) on *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae). *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* 5(52): 3225–3228.
- Ricupero M, Desneux N, Zappala L, Biondi A, 2020. Target and non-target impact of systemic insecticides on a polyphagous aphid pest and its parasitoid. *Chemosphere* 247: 125728.
- Robertson JL, Russell RM, Preisler HK, Savin NE, 2007. *Bioassays with Arthropods*. Boca Raton, CRC Press. 224 pp.
- SAS Institute, 2003. *The SAS System for Windows, Release 9.0*. SAS Institute, Cary, NC.
- Sabahi Q, Rasekh A, Michaud JP, 2011. Toxicity of three insecticides to *Lysiphlebus fabarum*, a parasitoid of the black bean aphid, *Aphis fabae*. *Journal of Insect Science* 11: 197–205.
- Saber M, 2011. Acute and population level toxicity of imidacloprid and fenpyroximate on an important egg parasitoid, *Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Ecotoxicology* 20: 1476–1484.
- Sohrabi F, Shishehbor P, Saber M, Mossadegh MS, 2013. Lethal and sublethal effects of imidacloprid and buprofezin on the sweetpotato whitefly parasitoid *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Crop Protection* 32: 98–103.
- Stara J, Ourednickova, J, Kocourek F, 2011. Laboratory evaluation of the side effects of insecticides on *Aphidius colemani* (Hym.: Aphidiidae), *Aphidoletes aphidimyza* (Dip.: Cecidomyiidae), and *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae). *Journal of Pest Science* 84 (1): 25–31.
- Stark JD, Banks JE, 2003. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology* 48: 505–519.
- Stark JD, Rangus TM, 1994. Lethal and sub-lethal effects of the neem insecticide formulation, 'Margosan-O', on the pea aphid. *Pesticide Science* 41 (2): 155–160.
- Stary P, 1976a. *Aphid Parasites of Central Asian Area*. 1st edition, House of Czech. 114 pp.
- Stary P, 1976b. *Aphid Parasites of Mediterranean Area*. 1st edition, House of Czech. 95 pp.
- Stary P, 1986. Creeping thistle, *Cersium arvense*, as a reservoir of aphid parasitoid (Hym: Aphidiidae) in agroecosystem. *Acta Entomologica Bohemoslovaca* 83(6): 425–431.
- Stary P, Remaudiere D, Gonzalez D, Shahrokhi S, 2000. A review and host association of aphid

- parasitoid (Hym.: Braconidae, Aphidiinae) of Iran. *Parasitica* 56: 15–41.
- Talebi-Jahromi K, 2013. Pesticide Toxicology. 5th edition, University of Tehran, Iran. 507 pp (in Persian).
- Tang YQ, Weathersbee AA, Mayer RT, 2002. Effect of neem seed extract on the brown citrus aphid (Hom.: Aphididae) and its parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* (Hym.: Braconidae). *Environmental Entomology* 31 (1): 172–176.
- Tejeda-Reyes MA, Diaz-Najera JF, Rodriguez-Maciel JC, Vargas-Hernandez MV, Solis-Aguilar JF, et al. 2017. Evaluation in field of insecticides on *Melanaphis sacchari* (Zehntner) in sorghum. *Southwestern Entomologist* 42(2): 545–550.
- Tremblay E, Belanger A, Brosseau M, Boivin G, 2008. Toxicity and sublethal effects of an insecticidal soap on *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae). *Pest Management Science* 64 (3): 249–254.
- Umoru PA, Powell W, 2002. Sublethal effects of insecticides pirimicarb and dimethoate on the aphid parasitoid *Diaeretiella rapae* (Hym.: Braconidae) when attacking and developing in insecticide resistance hosts. *Biocontrol Science and Technology* 12 (5): 605–614.
- Van Lenteren JC, 2003. Quality control and production of biological control agents. Theory and testing procedures. CABI Publishing, Wallingford, UK. 337 pp.
- Volkl W, Stechmann DH, 1998. Parasitism of the black bean aphid (*Aphis fabae*) by *Lysiphlebus fabarum* (Aphidiidae): The influence of host plant and habitat. *Journal Applied Entomology* 122: 201–206.
- Walthall WK, Stark JD, 1997. Comparison of two population-level ecotoxicological endpoints: the intrinsic (r_m) and instantaneous (r) rates of increase. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16 (5): 1068–1073.
- Yu JZ, Chi H, Chen BH, 2013. Comparison of the life tables and predation rates of *Harmonia dimidiata* F. (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) at different temperatures. *Biological Control* 64 (1): 1–9.



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)