



Lethal and sublethal effects of thiodicarb, pyridalyl and chromafenozide on the life table parameters of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae)

A. Mardani¹, Q. Sabahi², A. Sheikharjan^{3*}

1. Ph.D. of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Protection, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. *Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Entomology Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran (asheikhi48@gmail.com)

Received: 18 April 2024

Revised: 27 July 2024

Accepted: 11 August 2024

Abstract

Background and Objectives

The tomato fruitworm *Helicoverpa armigera* (Hubner) is a highly versatile pest found worldwide. Due to its high mobility, short growth period, and high reproduction rate, it has become a highly damaging agricultural pest in various regions. One effective and long-lasting strategy for managing pests, like the tomato fruitworm, is to utilize a combination of chemical insecticides and other control methods in an integrated pest management program. Insecticides have direct effects on mortality rates and indirect effects by altering the physiological or behavioral characteristics of the target pest. In a sustainable agriculture strategy, it is crucial to assess the direct and indirect effects of insecticides on the biological parameters of the target pest. This study aimed to investigate the lethal and sublethal concentrations of thiodicarb, pyridalyl, and chromafenozide on the life table parameters of the tomato fruitworm.

Materials and Methods

The bioassay of insecticides on the second instar larvae of the tomato fruitworm was conducted by adding the insecticides to the artificial diet. In control, distilled water was used instead. To study the sublethal effects of thiodicarb, pyridalyl, and chromafenozide insecticides, 200 tomato fruitworm larvae of second-instar were selected from the laboratory population from a growth chamber and then transferred to containers. After three days, 70 alive larvae were randomly selected and transferred to individual rearing containers containing an insecticide-free diet in each treatment. All demographic parameters were measured individually in each treatment. The data related to the mortality of the tomato fruitworm larvae was analyzed by the probit method in a bioassay. For each insecticide, the dose response line and the LC₅₀ slope were estimated at a 95% confidence level. One-way analysis of variance was used to evaluate the sublethal effects of the tested insecticides on the duration of immature stages and the developmental rate. A comparison of means was done with Tukey's test at a 5% probability level. The sublethal effects of the insecticides on the demographic parameters of pests were analyzed using the age-stage-specific bisexual life table theory.

Results

According to the bioassay tests on the tomato fruitworm larvae, the estimated LC_{50} values for thiodicarb, pyridalyl, and chromafenozide, were 209.62, 48.09, and 2.74 mg a. i. /L, respectively. The results of the sublethal effects showed that LC_{30} values of insecticides could alter the pest's biological and life table parameters. The lowest length of embryonic, larval, pre-pupal, pupal, immature, pre-, and post-oviposition periods was recorded in the control treatment. On the other hand, the longest time of these parameters was observed in the chromafenozide and pyridalyl treatments. The highest lifespan of males and females and the maximum fertility of pests were observed in control. However, the lowest of these parameters were observed in the chromafenozide and pyridalyl treatments. None of the insecticides had a significant effect on the sex ratio of the tomato fruitworm (1:1). The highest value of net fecundity rate (R_0), intrinsic rate of increase (r), finite rate of increase (λ) were observed in the control treatment and the lowest values of these parameters were observed in the chromafenozide and pyridalyl treatments. The lowest average value of total generation period (T) and doubling time (DT) was observed in the control treatment, and the highest value of these parameters was observed in the chromafenozide and pyridalyl treatments.

Discussion

After conducting tests to evaluate the lethal and sublethal effects of insecticides on the biological parameters of tomato fruitworms, it was found that pyridalyl and chromafenozide had shown more effects than that of thiodicarb. It can be concluded that pyridalyl and chromafenozide insecticides are more effective on the tomato fruitworms than thiodicarb. Therefore, it is recommended to use pyridalyl or chromafenozide insecticides along with the other control methods in an Integrated Pest Management (IPM) approach for the tomato fruitworms.

Key words: *insecticide, chemical control, IPM, IGR*

Associate editor: S. A. Safavi (Prof.)

Citation: Mardani, A., Sabahi, Q. & Sheikhiarjan, A. (2024). Lethal and sublethal effects of thiodicarb, pyridalyl and chromafenozide on the life table parameters of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 47(2), 57-74. <https://doi.org/10.22055/ppr.2024.46640.1738>.



گیاه پزشکی (مجله علمی کشاورزی)

جلد ۴۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳

doi 10.22055/ppr.2024.46640.1738

اثرات کشنده و زیر کشنده حشره کش‌های تیودیکارب، پیریدالیل و کرومافنوزاید روی فراسنجه‌های زیستی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae)

اردوان مردانی^۱، قدرت الله صباحی^۲، عزیز شیخی گرجان^{۳*}

۱- دکتری حشره‌شناسی کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- دانشیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- * نویسنده مسوول: دانشیار، بخش تحقیقات حشره‌شناسی کشاورزی، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران (asheikhi48@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰

چکیده

در این پژوهش، اثرات کشنده و زیر کشنده حشره‌کش‌های تیودیکارب، پیریدالیل و کرومافنوزاید روی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی (*Helicoverpa armigera* (Hübner)) با روش غذای مصنوعی آمیخته با محلول سمی و در شرایط آزمایشگاهی بررسی شد. بنابر نتایج زیست‌سنجی روی لاروهای سن دوم کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی، مقادیر LC₅₀ برآورد شده برای حشره‌کش‌های مذکور، به ترتیب ۲۰۹/۶، ۴۸/۰۹، ۲/۷۴ میلی‌گرم ماده مؤثر بر لیتر بود. نتایج اثرات زیر کشنده نشان داد که غلظت‌های LC₃₀ حشره‌کش‌ها، فراسنجه‌های زیستی و جدول زندگی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی را تحت تأثیر قرار دادند. بیشترین مدت زمان نشوونما مراحل مختلف نارس در تیمارهای پیریدالیل (۳۵/۸۵ روز) و کرومافنوزاید (۳۶/۳۹ روز) مشاهده شد. در تیمارهای پیریدالیل و کرومافنوزاید کمترین طول عمر حشرات ماده (۱۰/۷۷ و ۱۰/۳۳ روز) و کمترین باروری کل (۲۹۴/۹ و ۲۳۶/۰۸ تخم بر ماده) مشاهده شد. همچنین کمترین نرخ‌های ذاتی (r) و متناهی (R) افزایش جمعیت در تیمارهای پیریدالیل (۰/۱۰۲ و ۱/۱۰۷ بر روز) و کرومافنوزاید (۰/۰۹ و ۱/۰۹ بر روز) و بیشترین آنها در شاهد (۰/۱۸۳ و ۱/۲۰۱ بر روز) مشاهده شد؛ نتایج نشان داد که حشره‌کش‌های پیریدالیل و کرومافنوزاید اثر کشندگی و زیر کشندگی قابل توجهی برای کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی دارند و می‌توانند در مدیریت تلفیقی کرم میوه‌خوار در مزرعه گوجه‌فرنگی استفاده شوند.

کلیدواژه‌ها: حشره‌کش، کنترل شیمیایی، مدیریت تلفیقی، تنظیم‌کننده رشد

دبیر تخصصی: دکتر سید علی صفوی

مقدمه

کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی، *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) (Hubner)، آفتی چندخوار و با پراکنش جهانی است که به دلیل قدرت جابجایی زیاد، دوره نشو و نمای کوتاه و نرخ بالای تولید مثل به یکی از مهمترین آفات گیاهان زراعی در نقاط مختلف دنیا تبدیل شده است (Hill et al., 2008). لاروهای این آفت تمایل زیادی به تغذیه از اندام‌های رویشی و زایشی گیاه از خود نشان می‌دهند که این امر تأثیر به‌سزایی در کاهش میزان محصول تولید شده دارد، به طوری که تغذیه این آفت روی بسیاری از گیاهان زراعی، مانند پنبه، گوجه‌فرنگی، نخود، لوبیا، سویا، کلزا، آفتابگردان، ذرت، تنباکو و اغلب سبب ایجاد خسارت‌های اقتصادی قابل توجهی می‌شود (Multan & Sohi, 2002; Nguyen et al., 2007; Fathipour & Naseri, 2011).

کنترل شیمیایی ساده‌ترین و ارزانتین روش برای مدیریت کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی است، به همین خاطر تولیدکنندگان محصولات کشاورزی برای مهار این آفت بیشتر از این روش استفاده می‌کنند. هرچند مصرف بی‌رویه آفت‌کش‌های شیمیایی در بوم سامانه‌های کشاورزی سبب پیدایش ناهنجاری‌های متعدد، از جمله تهدید سلامت انسان، آلودگی‌های زیست محیطی، کاهش تنوع زیستی، گسترش مقاومت نسبت به سموم و طغیان دوباره آفات به دلیل از بین رفتن دشمنان طبیعی شده است (Sedaratian, et al., 2014; Dewar, et al., 2016). ترکیبات تیودیکارب، پیریدالیل و کرومافنوزاید از جمله حشره‌کش‌هایی هستند که سازمان حفظ نباتات کشور ایران برای مهار کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی توصیه کرده است. تیودیکارب روی دستگاه عصبی حشرات تأثیر می‌گذارد (Sheikhigarjan et al., 2022). پیریدالیل، حشره‌کشی عصبی است که نحوه اثر آن هنوز به صورت دقیق مشخص نشده است (Nishimura et al., 2017). کرومافنوزاید، حشره‌کشی جدید از گروه تنظیم‌کننده‌های رشد حشرات^۱ است که در فرآیند پوست‌اندازی حشرات اختلال ایجاد می‌کند (Rani et al., 2018).

حشره‌کش‌ها علاوه بر اثر مستقیم از طریق مرگ و میر، اثرات غیرمستقیمی از طریق تغییر در ویژگی‌های فیزیولوژیک یا رفتاری روی حشره‌هدف و دشمنان طبیعی نیز ایجاد می‌کنند (Stark & Banks, 2003; Biondi et al., 2012) بنابراین لازم است هر دوی این آثار مورد مطالعه قرار گیرد. از این نظر سم‌شناسی جمعیت‌نگاری^۲ روشی مناسب برای بررسی اثرات کلی حشره‌کش‌ها است، چون همه اثرات جانبی ای که حشره‌کش‌ها روی حشره‌هدف ایجاد می‌کند را در بر می‌گیرد (Stark & Banks, 2003; Biondi et al., 2012). در خصوص اثرات کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌ها روی لارو بالپولکداران می‌توان به اثر حشره‌کش پیریدالیل روی کرم برگ‌خوار چغندر *Spodoptera litura* (Fabricius) (Isayama et al., 2005)، کرم برگ‌خوار پنبه *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Abdel-Rahim, 2010; Dahi et al., 2011; El-Dewy, 2017) و اثرات زیرکشنده باکتری بیمارگر *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* روی فراسنجه‌های زیستی دو نسل کرم میوه‌گوجه‌فرنگی *H. armigera* در شرایط آزمایشگاهی (Sedaratian, et al., 2014; Vaez et al., 2018)، اشاره کرد. محققین مختلف اثرات کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌های متوکسی‌فنوزاید و پیریدالیل، امامکتین بنزوات و سایپرمترین روی لارو سن سوم کرم غوزه پنبه (Parsaeyan, 2012)، اثرات کشندگی و زیرکشندگی با روش تغذیه از غذای مصنوعی آلوده به حشره‌کش‌های هگزافلومورون و ایندوکساکارب و حشره‌کش‌های امامکتین بنزوات و کلرانترانیلی پرول + آمامکتین را با روش تماس با باقیمانده سموم روی لارو سن سوم کرم غوزه پنبه *H. armigera* (Vojoudi et al., 2017)، مطالعه کرده‌اند. از دیگر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعه زیست‌سنجی سه ترکیب تنظیم‌کننده رشد حشرات شامل متوکسی‌فنوزاید، فلوفنوکسورون و لوفنورون را روی لاروهای سن اول برگ‌خوار چغندر *Spodoptera exigua* (Hübner) (Sheikhzadeh et al., 2014)، حشره‌کش

سومیتومو کمیکال، ژاپن و کرومافنوزاید، نام تجاری ماتریک®، فرمولاسیون 50SC و ساخت شرکت نیون کایاکو، ژاپن بودند.

پرورش کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی

برای تشکیل جمعیت آزمایشگاهی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی *H. armigera* لاروهای سنین مختلف این شب‌پره در فصل بهار سال ۹۹-۱۳۹۸ از مزارع گوجه‌فرنگی منطقه کوشک شهرستان مرودشت در استان فارس جمع آوری شد و در ظرف‌های حاوی غذای مصنوعی تهیه شده بر پایه بقولات، جوانه گندم و مخمر به روش پیشنهادی (Sedaratian, et al., 2014; Vojoudi, et al., 2017; Allahyari, et al., 2020)، به آزمایشگاه منتقل شدند. لاروهای جمع آوری شده به صورت انفرادی درون ظرف‌های استوانه‌ای دردار (به قطر دهانه ۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۷۰ میلی‌متر) در اتاقک رشد با دمای 26 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 70 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شد. پس از طی دوره لاروی و شفیرگی و ظهور شب‌پره‌ها از آنها برای ایجاد نسل‌های مورد بررسی استفاده شد. برای این منظور، ۱۰ جفت حشره کامل نر و ماده انتخاب و درون ظرف‌های استوانه‌ای (به قطر دهانه ۱۶۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۴۰ میلی‌متر) قرار داده و برای تغذیه آنها، از یک تکه پنبه آغشته به محلول آب عسل ۱۰ درصد استفاده شد. دهانه ظرف‌های پرورش حشرات کامل را با توری حریر پوشانده تا بستری برای تخم‌ریزی فراهم شود پس از تفریح تخم‌ها، لاروهای سنین ابتدایی توسط قلم موی ظریفی به درون ظرف‌های پلاستیکی دردار (به طول ۲۲۰ میلی‌متر، عرض ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۸۰ میلی‌متر) منتقل و روی در ظرف‌ها یک روزنه (به طول ۱۸۰ و عرض ۱۲۰ میلی‌متر) جهت تهویه تعبیه و با توری حریر پوشانده شد. برای جلوگیری از هم‌نوع خواری، لاروهای سنین سوم به بعد، به صورت جداگانه درون ظرف‌های استوانه‌ای دردار (به قطر دهانه ۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۷۰ میلی‌متر) نگهداری تا به شفیره تبدیل شد و لاروهای سن دوم به دست آمده از جمعیت پرورش یافته برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

متوکسی‌فنوزاید روی لاروهای جوان و سن چهارم کرم برگ‌خوار پنبه *S. littoralis* (Pineda et al., 2007) و حشره‌کش‌های دیفلوبنزورون، هگزافلومورون، پروفنوفوس، اسپینوساد و تیودیکارب روی لاروهای سن اول کرم غوزه پنبه *H. armigera* (Rafiee Dastjerdi et al., 2008) شرایط آزمایشگاهی اشاره کرد. خاصیت حشره‌کشی کرومافنوزاید و متوکسی‌فنوزاید روی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی (Mosallanejad & Golami, 2019)، اثر تخم‌کشی و لاروکشی ۱۳ حشره‌کش از گروه‌های مختلف روی کرم برگ‌خوار پنبه *S. littoralis* در استان غربیه از کشور مصر (Ghoneim et al., 2012) نیز در این راستا قابل ارزیابی است. همچنین در آدانا ترکیه سمیت حشره‌کش‌های پیریدالیل و تیودیکارب روی لارو سن سوم جمعیت‌های مزرعه‌ای و آزمایشگاهی کرم غوزه پنبه *H. armigera* با روش موضعی (قرار دادن یک میکرولیتر محلول حشره‌کش بر پشت قفسه سینه) بررسی شده است (Konuş & Karaagac, 2014). قدرت حشره‌کشی پیریدالیل در فرمولاسیون‌های سوسپانسیون نانوکیسول و امولسیون تجاری 500EC از نظر گوارشی (با روش غوطه‌ورسازی برگ در محلول سمی) و تماسی (با روش باقیمانده سم) روی لارو سن سوم کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی مطالعه شده است (Saini et al., 2014).

هدف پژوهش حاضر تخمین سمیت گوارشی حشره‌کش‌های تیودیکارب، پیریدالیل و کرومافنوزاید روی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی و ارزیابی اثرات غلظت زیرکشنده آنها از طریق مطالعه فراسنجه‌های زیستی و جمعیت‌نگاری در شرایط آزمایشگاهی است، تا به این طریق مناسب‌ترین حشره‌کش را در برنامه مدیریت تلفیقی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

حشره‌کش‌ها

حشره‌کش‌های مورد استفاده در این پژوهش، شامل: تیودیکارب، با نام تجاری لاروین، فرمولاسیون 800DF و ساخت شرکت مشکفام، ایران، پیریدالیل با نام تجاری سومی پلو®، فرمولاسیون 200EC و ساخت شرکت

زیست‌سنجی گوارشی حشره‌کش‌ها روی لاروهای سن دوم

برای تعیین غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها روی لاروهای سن دوم کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی *H. armigera* از زیست‌سنجی به روش آغشته با رژیم غذای مصنوعی استفاده شد برای تهیه غذای مصنوعی تیمار شده با غلظت‌های مختلف حشره‌کش‌ها، مقدار معین وزنی (به نسبت ۹:۱) از هر محلول سمی آماده شده به غذای مصنوعی اضافه و به خوبی هم زده شد (Vojoudi, et al., 2017). آزمایش‌ها در دو مرحله مقدماتی و اصلی درون اتاقک رشد با دمای 26 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 70 ± 1 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شدند. در ابتدا، آزمایش‌های مقدماتی به منظور تعیین دو غلظت کشنده پایین (۲۰ درصد) و بالا (۸۰ درصد) حشره‌کش‌های تیودیکارب، پیریدالیل و کرومافنوزاید انجام شد. غلظت‌های کشنده پایین و بالا برای حشره‌کش‌های تیودیکارب ۸۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم ماده مؤثر بر لیتر، پیریدالیل ۲۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم ماده مؤثر بر لیتر و کرومافنوزاید ۱ و ۸ میلی‌گرم ماده مؤثر بر لیتر به دست آمد. قطعات غذایی مکعبی شکل تهیه شده درون لوله‌های فالدکون (به قطر دهانه ۲۵ میلی‌متر و ارتفاع ۹۵ میلی‌متر) قرار داده و یک لارو سن دوم کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی (تازه پوست اندازی کرده، ۲۴ ساعته) توسط قلم موی ظریفی به هر فالدکون منتقل شد. روی در فالدکون‌ها چهار روزنه ریز جهت تهویه تعبیه شد. لاروها به مدت سه روز از غذای مصنوعی آلوده به غلظت‌های مختلف حشره‌کش‌ها تغذیه کردند و پس از گذشت این زمان، لاروهایی که با قلم مو تحریک نمی‌شدند به عنوان مرده تلقی شدند. در آزمایش‌های اصلی زیست‌سنجی، هر حشره‌کش حداقل با ۵ غلظت و هر غلظت با سه تکرار انجام و در هر تکرار از ۱۵ لارو استفاده شد.

ارزیابی اثرات زیرکشنده گوارشی حشره‌کش‌ها روی لاروهای سن دوم

برای این منظور از غذای مصنوعی آمیخته با غلظت LC₃₀ حشره‌کش‌ها استفاده شد. در تیمار شاهد، آب مقطر به غذای

مصنوعی اضافه شد. سپس، غذاهای مصنوعی تهیه شده به قطعات مکعبی شکل (به ابعاد $5 \times 5 \times 5$ میلی‌متر) تقسیم شدند. قطعات غذای تیمار شده در ظرف‌های استوانه‌ای دردار (به قطر دهانه ۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۷۰ میلی‌متر) قرار داده شدند. در مرحله بعد، تعداد ۲۰۰ لارو سن دوم کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی (یک روزه) رهاسازی شد و پس از گذشت سه روز، در هر تیمار، از لاروهای زنده مانده، تعداد ۶۰ لارو به صورت تصادفی انتخاب و به ظرف‌های ویژه پرورش انفرادی (با ویژگی‌های توضیح داده شده در بالا) که حاوی غذای عاری از حشره‌کش‌ها منتقل شد. لاروها تا مرحله شفیرگی درون این ظرف‌ها نگهداری و در بازدیدهای روزانه علاوه بر تعویض غذا، طول دوره نشوونمایی مراحل مختلف زیستی (لارو، پیش شفیره و شفیره) و مرگ و میر آنها نیز ثبت شد. پس از ظهور حشرات کامل، در هر تیمار، حشرات نر و ماده با هم جفت شده و هر جفت به یک ظرف ویژه تخم‌ریزی (به قطر دهانه ۹۰ و ارتفاع ۱۱۰ میلی‌متر) منتقل شد. دهانه بالایی این ظرف‌ها با توری حریر پوشانده شد تا بستری برای تخم‌ریزی فراهم آید. برای تغذیه حشرات کامل از محلول آب عسل ۱۰ درصد استفاده گردید. به منظور ثبت میزان تخم‌ریزی حشرات ماده، به صورت روزانه، ابتدا هر جفت حشره نر و ماده به یک ظرف جدید منتقل و سپس، تعداد تخم‌های گذاشته شده روی توری، دیواره ظرف و پنبه آغشته به آب عسل شمارش می‌شد. باروری و مرگ و میر روزانه حشرات کامل تا زمان مرگ آخرین فرد ماده ثبت شد. علاوه بر این، طول مراحل مختلف تخم‌ریزی (پیش از تخم‌ریزی، زمان تخم‌ریزی و پس از تخم‌ریزی) حشرات ماده نیز به صورت جداگانه ثبت شد. این آزمایش درون اتاقک رشد با دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 70 ± 1 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۶ ساعت تاریکی انجام شد.

آنالیز داده‌ها

در زیست‌سنجی، بر اساس روش (Robertson et al., 2017) داده‌های ثبت شده مربوط به مرگ و میر لاروهای کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی با استفاده از نرم افزار آماری پولو پلاس^۱ (نسخه دوم)

سن ۹، و ارزش تولید مثلی ویژه سن-مرحله) و فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار با استفاده از معادله‌های ارائه شده توسط (Goodman, 1982) برآورد شدند. شکل‌های مربوط به فراسنجه‌های جدول زندگی با نرم افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۳) رسم شد.

نتایج

زیست‌سنجی

حشره کش کرومافنوزاید ($LC_{50}=2.74$ میلی گرم ماده مؤثر بر لیتر) بیشترین سمیت را داشت و پس از آن، به ترتیب پیریدالیل ($LC_{50}=48.09$ میلی گرم ماده مؤثر بر لیتر) و تیودیکارب ($LC_{50}=209.62$ میلی گرم ماده مؤثر بر لیتر) قرار گرفت (جدول ۱). با توجه به عدم همپوشانی حدود اطمینان برآورد شده حشره‌کش‌ها در سطح ۹۵ درصد، بین مقدار LC_{50} این حشره‌کش‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. نتایج آزمون فرضیه یکسان بودن خط غلظت-پاسخ حشره‌کش‌ها علیه کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی رد شد ($P < 0.001$)، اما فرضیه موازی بودن خطوط غلظت-تلفات هر سه حشره‌کش رد نشد ($P > 0.05$).

نتایج اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش روی مدت زمان نشو و نمادوره‌های زیستی مرحله نابالغ، طول عمر حشرات نر و ماده، باروری کل و تفریح تخم کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی زمانی که لاروهای سن دوم در معرض LC_{30} حشره‌کش‌ها قرار گرفتند، در جدول‌های ۲-۴ ارائه شده است.

و با روش پروبیت تجزیه و تحلیل و غلظت‌های کشنده ۵۰ و ۳۰ درصد و حدود اطمینان ۹۵ درصد و شیب خط غلظت-پاسخ برای حشره‌کش‌ها برآورد شد (LeOra Software, 2007).

به منظور ارزیابی اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش روی طول دوره نشو و نما مراحل نابالغ (لاروی، شفیرگی و پیش شفیرگی)، طول عمر حشرات نر و ماده، تخم‌ریزی کل و درصد تفریح تخم از آزمون آماری تجزیه واریانس یکطرفه^۱ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی^۲ در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. علاوه بر این، مقایسه نسبت جنسی مشاهده شده در هر تیمار با فراوانی مورد انتظار (۱:۱) توسط آزمون مربع کای^۳ انجام شد. همه تجزیه و تحلیل‌های ذکر شده با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۰۱۶ انجام شدند در بررسی اثر باقیمانده حشره‌کش‌های مورد آزمایش روی فراسنجه‌های زیستی نسل بعد کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی بر اساس تئوری جدول زندگی دوجنسی ویژه سن-مرحله با استفاده از نرم افزار آماری TWOSSEX-MSChart (Chi, 2020) تجزیه و تحلیل شدند. برای برآورد میانگین و خطای معیار فراسنجه‌های جدول زندگی با تکرار کردن فراسنجه‌ها (به تعداد ۵۰۰۰۰۰) طبق آزمون بوتاسترپ^۴ و مقایسه آماری آنها با آزمون بوتاسترپ جفت شده در فاصله اطمینان ۹۵٪ انجام شد. فراسنجه‌های جدول زندگی، شامل: نرخ زنده ماندن ویژه سن ۵، نرخ باروری ویژه سن ۶، باروری مادری ویژه سن ۷، باروری ویژه سن-مرحله ۸، امید به زندگی ویژه

جدول ۱- فراسنجه‌های زیست‌سنجی حشره‌کش‌های مورد آزمایش روی لاروهای سن دوم کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی *armigera* *Helicoverpa* در ۷۲ ساعت بعد از تیمار.

Table 1. Bioassay results of tested insecticides on the second instar larvae of the tomato fruitworm *Helicoverpa armigera* at 72 hours after treatment.

Insecticides	No. insects	Slope±SE	X ² (df)	Concentrations (mg a.i./L) CL95%	
				LC ₅₀ (CL95%)	LC ₃₀ (CL95%)
thiodicarb	315	1.67 0.27	5.97(16)	209.62(154.6-269.91)	101.84(60.04-140.52)
pyridalyl	315	2.29 0.35	3.93(16)	48.09(37.94-58.3)	28.36(20.07-35.46)
Chromafenozide	315	2.04 0.31	3.62(16)	2.74(2.15-3.4)	1.52(1.02-1.96)

6- m_x

7- $L_x m_x$

8- f_{xj}

9- e_x

1- ANOVA one-way

2- Tukey

3- Chi square

4- Bootstrap test

5- l_x

ارزیابی اثرات زیر کشنده حشره کش ها روی لاروهای

سن دوم

نتایج آزمون آماری تجزیه واریانس یکطرفه روی فراسنجه های نابالغ کرم میوه خوار نشان داد که کمترین طول دوره های لاروی، پیش شفیرگی، شفیرگی، کل مرحله نابالغ، پیش و پس از تخم ریزی در تیمار شاهد و بیشترین این فراسنجه ها در تیمارهای کرومافنوزاید و پیریدالیل مشاهده شد (جدول ۲). همچنین، بیشترین طول عمر حشرات نر و ماده، طول دوره تخم ریزی، باروری کل و درصد تفریح تخم در تیمار شاهد و کمترین این فراسنجه ها در تیمارهای کرومافنوزاید و پیریدالیل ثبت شد. علاوه بر این، هیچ یک از حشره کش ها اثر معنی داری روی نسبت جنسی کرم میوه خوار

گوجه فرنگی نداشت و نسبت جنسی در تیمارهای مختلف

اختلاف معنی داری با نسبت ۱:۱ نداشت (جدول ۳).

نتایج اثرات زیر کشنده حشره کش های مورد آزمایش روی فراسنجه های رشد جمعیت پایدار کرم میوه خوار گوجه فرنگی بیشترین مقدار نرخ خالص تولید مثل R_0 ، نرخ ذاتی افزایش جمعیت r ، و نرخ متناهی افزایش جمعیت λ در تیمار شاهد و کمترین مقدار این فراسنجه ها در تیمارهای کرومافنوزاید و پیریدالیل مشاهده شد. همچنین، کمترین مقدار متوسط مدت زمان یک نسل T ، و مدت زمان دو برابر شدن جمعیت DT ، در تیمار شاهد و بیشترین مقدار این فراسنجه ها در تیمارهای کرومافنوزاید و پیریدالیل مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۲- میانگین ($\pm SE$) طول دوره های نشوونمایی نارس (روز) کرم میوه خوار گوجه فرنگی *Helicoverpa armigera* زمانی که لاروهای سن دوم نسل پیشین در معرض LC30 حشره کش ها قرار گرفتند.

Table 2. Sublethal effects of the tested insecticides on the duration of the immature stages of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera*, when the second instar larvae of its' previous generation were exposed to LC30 of insecticides.

Parameters (days)	control	thiodicarb	pyridalyl	chromafenozide	df	F	P
Embryonic period	2.23±0.08d	3.17±0.10c	4.61±0.12a	3.93±0.11b	3,262	111.34	0.0001
Larval period	12.47±0.31c	15.15±0.37b	16.38±0.39a	17.04±0.41a	3,217	35.82	0.0001
prepupal period	1.54±0.09c	1.98±0.10b	2.27±0.13ab	2.43±0.11a	3,197	15.35	0.0001
Pupal period	11.35±0.15c	12.11±0.18b	12.76±0.21b	13.32±0.27a	3,150	22.5	0.0001
total immature period	27.33±0.35c	32.24±0.40b	35.86±0.46a	36.39±0.51a	3,150	117.39	0.0001

Means with the same letters in each row are not significantly different based on Tukey's test ($P>0.05$).

جدول ۳- اثرات زیر کشنده حشره کش های مورد آزمایش روی طول عمر حشرات نر و ماده و باروری کل کرم میوه خوار گوجه فرنگی *Helicoverpa armigera* زمانی که لاروهای سن دوم نسل پیشین در معرض LC30 حشره کش ها قرار گرفتند.

Table 3. The sublethal effects of the tested insecticides on the lifespan of male and female insects and the total fertility of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera*, when the second instar larvae of the previous generation were exposed to LC30 of insecticides.

Parameters	control	Thiodicarb	pyridalyl	chromafenozid e	df	F	P
Male longevity (days)	15.71±0.44a	12.95±0.51b	12.13±0.56b	11.76±0.48b	3,79	15.38	0.0001
Pre-oviposition period (days)	2.79±0.14a	2.94±0.23a	3.08±0.21a	3.00±0.25a	3,67	12.71	0.0001
Oviposition period (days)	9.21±0.36a	6.64±0.42b	5.46±0.47bc	4.67±0.53c	3,67	23.68	0.0001
Post-oviposition period (days)	1.72±0.16b	2.18±0.21ab	2.23±0.26ab	2.67±0.23a	3,67	3.74	0.02
Female longevity (days)	13.72±0.39a	11.76±0.48b	10.77±0.53bc	10.33±0.46c	3,67	12.71	0.0001
Fecundity (eggs/female)	710.31±31.95a	402.53±37.51b	294.92±52.20	236.08±10.4c	3,67	36.66	0.01
Sex ratio	0.93	0.85	0.81	0.75			

Means with the same letters in each row are not significantly different based on Tukey's test ($P>0.05$).

زنده مانی در مراحل لاروی، پیش شفیرگی، شفیرگی، حشرات کامل نر و ماده در شاهد به دست آمد و در میان حشره کش‌های مورد آزمایش، تیمار تیودیکارب کمترین کاهش و تیمارهای پیریدالیل و کرومافنوزاید بیشترین کاهش را در این فراسنجه ایجاد کرد. نرخ زنده مانی حشرات نر در همه تیمارها بیشتر از حشرات ماده بود (شکل ۱).

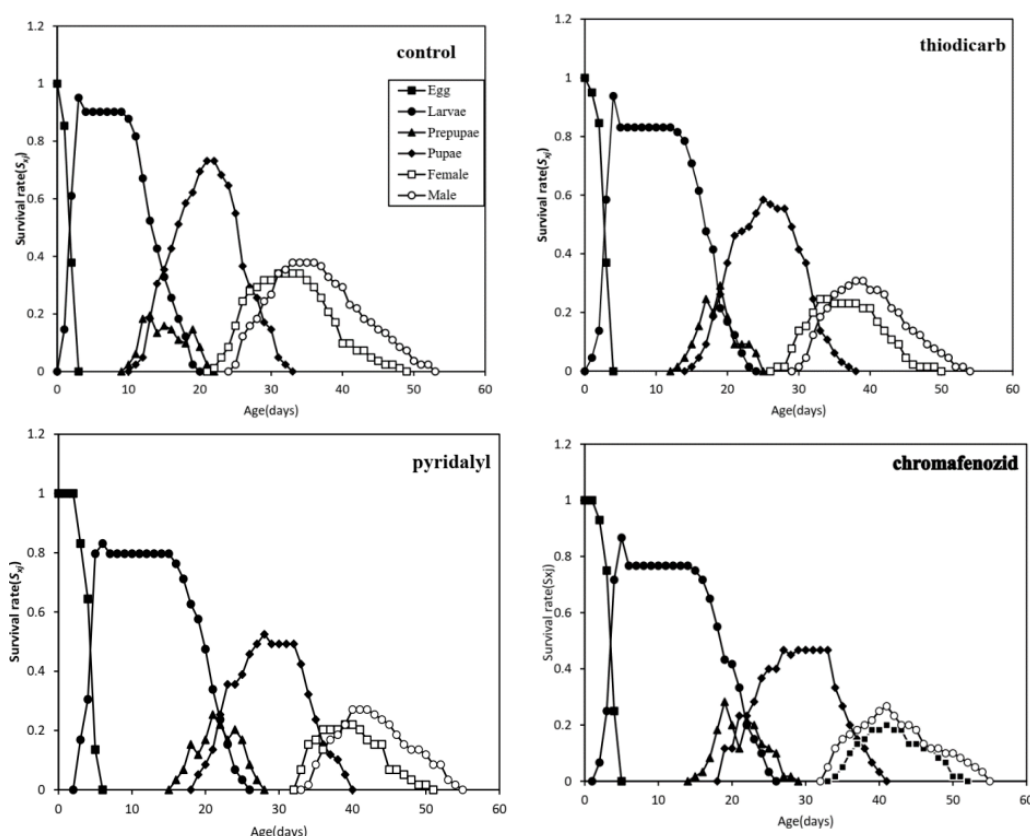
شکل‌های مربوط به اثرات زیرکشنده حشره کش‌های مورد آزمایش روی نرخ زنده مانی ویژه سن-مرحله (S_{xj}) کرم میوه خوار گوجه فرنگی نشان می‌دهد در همه تیمارهای مورد آزمایش، بین منحنی‌های مراحل مختلف زیستی همپوشانی وجود دارد که این بیانگر نرخ رشد متفاوت در میان افراد گروه در سنین مختلف است. بیشترین مقدار نرخ

جدول ۴- اثر زیرکشنده حشره کش‌های مورد آزمایش روی فراسنجه‌های جمعیت پایدار کرم میوه خوار گوجه فرنگی *Helicoverpa armigera* زمانی که لاروهای سن دوم نسل پیشین در معرض LC_{30} حشره کش‌ها قرار گرفتند.

Table 4. The sublethal effect of the tested insecticides on the parameters of the stable population of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera*, when the second instar larvae of the previous generation were exposed to LC_{30} of insecticides.

Parameters	control	Thiodicarb	Pyridalyl	chromafenozide
Net reproductive rate (R_0) (individual/generation)	334.71±78.85a	105.28±23.94b	65.04±11.34bc	47.22±8.95c
Intrinsic rate of increase (r) (day^{-1})	0.183±0.012a	0.125±0.006b	0.102±0.007c	0.090±0.007c
Finite rate of increase (λ) (day^{-1})	1.201±0.015	1.133±0.007b	1.107±0.007c	1.094±0.008c
Mean generation time (T) (days)	31.69±0.78d	37.27±0.63c	40.91±0.72b	42.85±0.47a
Doubling time (DT) (days)	3.78±0.26c	5.56±0.30b	6.79±0.54a	7.71±0.76a

Means with the same letters in each row are not significantly different (paired bootstrap test (with 500,000 samples, $P > 0.05$))

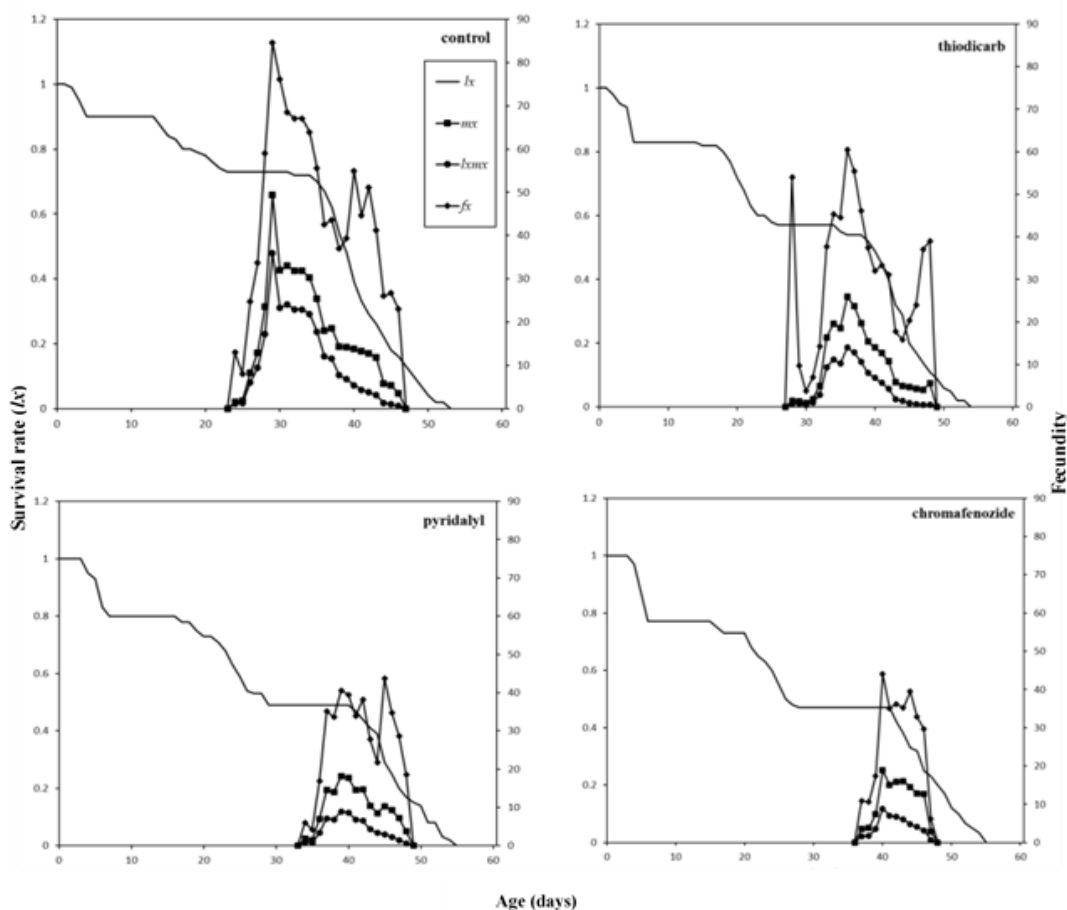


شکل ۱- اثرات زیرکشنده حشره کش‌های مورد آزمایش روی نرخ زنده مانی ویژه سن-مرحله (S_{xj}) کرم میوه خوار گوجه فرنگی *Helicoverpa armigera* زمانی که لاروهای سن دوم نسل قبلی در معرض LC_{30} حشره کش‌ها قرار گرفتند.

Figure 1. The sublethal effects of the tested insecticides on the age-stage specific survival rate (S_{xj}) of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera* when the second-instar larvae of the previous generation were exposed to LC_{30} of insecticides.

armigera در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین مقدار باروری ویژه سن (m_x)، باروری مادری ویژه سن ($l_x m_x$) و باروری ویژه سن-مرحله (f_{x5}) کرم میوه خوار گوجه فرنگی در تیمار شاهد در سن ۲۹ روزگی (به ترتیب ۴۹/۳۳، ۳۶/۱، ۸۴/۶۲) در تیمار تیودیکارب در سن ۳۶ روزگی (به ترتیب ۲۵/۹۱، ۶۰/۱۳، ۴۷/۹۹) در تیمار پیریدالیل در سن ۳۹ روزگی (به ترتیب ۴۰/۸، ۵۴/۱۸، ۸۶/۱۷) و در تیمار کرومافنوزاید در سن ۴۰ روزگی (به ترتیب ۴۰/۸، ۵۴/۱۸، ۸۶/۱۷) به دست آمد که مشخص می کند زمان اوج تخم ریزی حشرات تیمار شده با حشره کش ها در مقایسه با شاهد به عقب افتاده و دیرتر رخ داده است. در کل، این سه فراسنجه تحت تأثیر LC_{30} حشره کش های مورد آزمایش نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۲)

شکل های مربوط به اثرات زیر کشنده حشره کش های مورد آزمایش روی نرخ زنده مانی ویژه سن (l_x) کرم میوه خوار گوجه فرنگی *H. armigera* در شکل ۲ نشان می دهد که تخم های تیمار شده با حشره کش ها مشابه تخم های شاهد دوره زندگی خود را کامل کرد. بیشترین کاهش میزان نرخ زنده مانی ویژه سن در شاهد در مرحله بالغ (در بازه سنی ۳۵-۵۳ روزگی) مشاهده شد، در حالی که بیشترین کاهش این فراسنجه در تیمارهای تیودیکارب، پیریدالیل و کرومافنوزاید در مرحله نابالغ (به ترتیب در بازه های سنی ۱۸-۲۵، ۲۵-۲۸، ۱۷-۲۶، ۱۶-۱۷ روزگی) رخ داد (شکل ۲).
اثرات زیر کشنده حشره کش های مورد آزمایش روی فراسنجه های باروری کرم میوه خوار گوجه فرنگی *H.*



شکل ۲- اثرات زیر کشنده حشره کش های مورد آزمایش روی نرخ زنده مانی ویژه سن (l_x)، نرخ باروری ویژه سن (m_x)، باروری مادری ویژه سن ($l_x m_x$) و باروری ویژه سن-مرحله (f_{x5}) کرم میوه خوار گوجه فرنگی *Helicoverpa armigera* زمانی که لاروهای سن دوم نسل قبلی در معرض LC_{30} حشره کش ها قرار گرفتند.

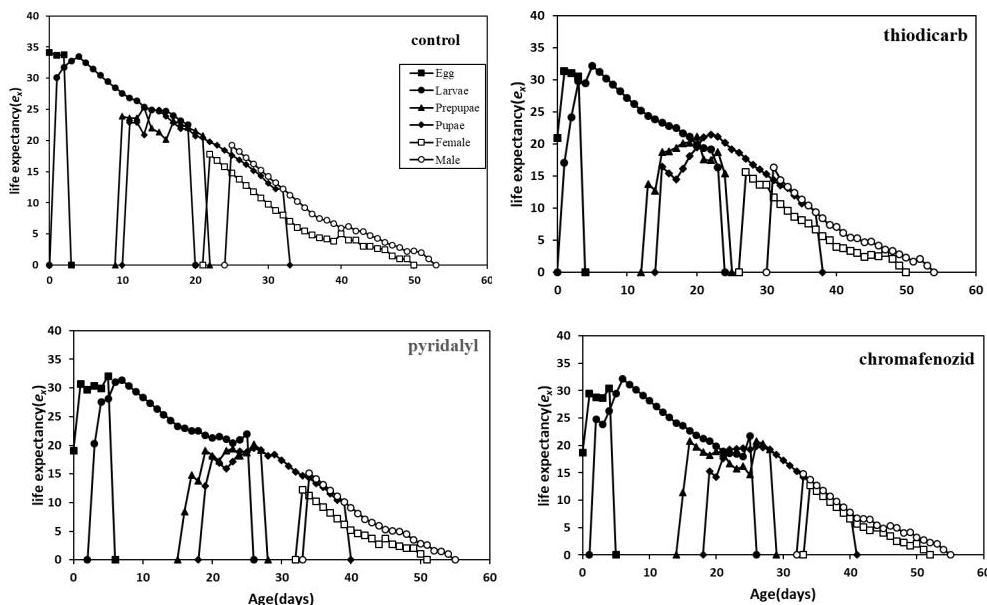
Figure 2. The sublethal effects of the tested insecticides on the age survival rate (l_x), Age specific fecundity rate (m_x), Age specific maternity rate ($l_x m_x$), Age-stage specific fecundity rate (f_{x5}) of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera* when the second-instar larvae of the previous generation were exposed to LC_{30} of insecticides.

کنترل شیمیایی ضروری است و در این میان نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) یک فراسنجه کلیدی است که برای پیش‌بینی پتانسیل رشد آفت و دشمنان طبیعی استفاده می‌شود (Ebrahimi et al., 2009). در پژوهش حاضر، اثرگوارشی حشره‌کش کرومافنوزاید روی مرحله لاروی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی *H. armigera* بیشتر از حشره‌کش‌های تیودیکارب و پیریدالیل بود و همه حشره‌کش‌های مورد آزمایش روی چرخه زندگی، بقاء و تولید مثل کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی موثر بودند و حشره‌کش کرومافنوزاید، پیریدالیل روی سرعت نشو‌نمای و فراسنجه‌های زیستی آفت اثر زیر کشندگی بیشتری نسبت به حشره‌کش تیودیکارب داشتند. با توجه به اینکه مقدار r محاسبه شده برای زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* (Say) در حشره‌کش‌های پیریدالیل و کرومافنوزاید بیشتر از کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی است (Mardani et al., 2024). بنابراین در شرایط استفاده از این دو حشره‌کش نرخ افزایش جمعیت دشمن طبیعی در مقایسه با کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی سریعتر و مدت زمان نشو و نما آن کوتاه‌تر خواهد بود (Mardani et al., 2021).

در همه تیمارهای مورد آزمایش، امید به زندگی در سنین ابتدای بیشتر بوده که با افزایش سن، مقدار این فراسنجه به تدریج کاهش یافته و به صفر رسیده است. بیشترین میزان امید به زندگی ویژه سن-مرحله در همه مراحل زیستی مربوط به تیمار شاهد بود و در میان حشره‌کش‌های مورد آزمایش، تیودیکارب کمترین کاهش و پیریدالیل و کرومافنوزاید بیشترین کاهش را در این فراسنجه ایجاد کردند (شکل ۴).

بحث

یک حشره‌کش ایده آل برای استفاده در برنامه IPM، حشره‌کشی است که نه تنها جمعیت آفت را کاهش می‌دهد، بلکه در برابر دشمنان طبیعی نیز اثر سوء کمی دارد (Mardani et al., 2024). برآورد فراسنجه‌های زیستی برای تلفیق کنترل بیولوژیک با سایر روش‌های کنترل از جمله



شکل ۳- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش روی امید زندگی ویژه‌ی سن-مرحله (e_x) کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی *Helicoverpa armigera* زمانی که لاروهای سن دوم نسل قبلی در معرض LC_{30} حشره‌کش‌ها قرار گرفتند.

Figure 3. The sublethal effects of the tested insecticides on age-stage-specific life expectancy (e_x) of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera* when the second-instar larvae of the previous generation were exposed to LC_{30} of insecticides.

مزرعه ای، به ترتیب ۰/۰۵۳ و ۰/۵۳۹ میکروگرم بر لارو و برای جمعیت آزمایشگاهی، به ترتیب ۰/۰۱۱ و ۰/۱۱۶ میکروگرم بر لارو برآورد شده است. در گزارش Saber et al. (2013) مقدار LC₅₀ حشره کش های تیودیکارب و متوکسی فنوزاید (همگروه کرومافنوزاید) را برای لارو سن سوم کرم میوه خوار گوجه فرنگی *H. armigera* با روش آمیخته با رژیم غذای مصنوعی، به ترتیب ۴/۴ و ۶۳۹ میلی گرم ماده مؤثر بر لیتر برآورد شد. نتایج پژوهش های بالا نشان می دهد که سمیت ترکیبات پیریدالیل و متوکسی فنوزاید علیه کرم میوه خوار بیشتر از تیودیکارب بوده که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. در تحقیقی دیگر مقدار LC₅₀ حشره کش های پیریدالیل و متوکسی فنوزاید به روش گوارشی برای لارو سن سوم کرم میوه خوار گوجه فرنگی *H. armigera* به ترتیب ۱۰۵/۴ و ۳۴/۶ میلی گرم بر لیتر به دست آمد که نشان می دهد سمیت متوکسی فنوزاید (همگروه کرومافنوزاید) برای شب پره *H. armigera* بیشتر از پیریدالیل بوده که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (Parsaeyan, 2012; Parsaeyan et al., 2013).

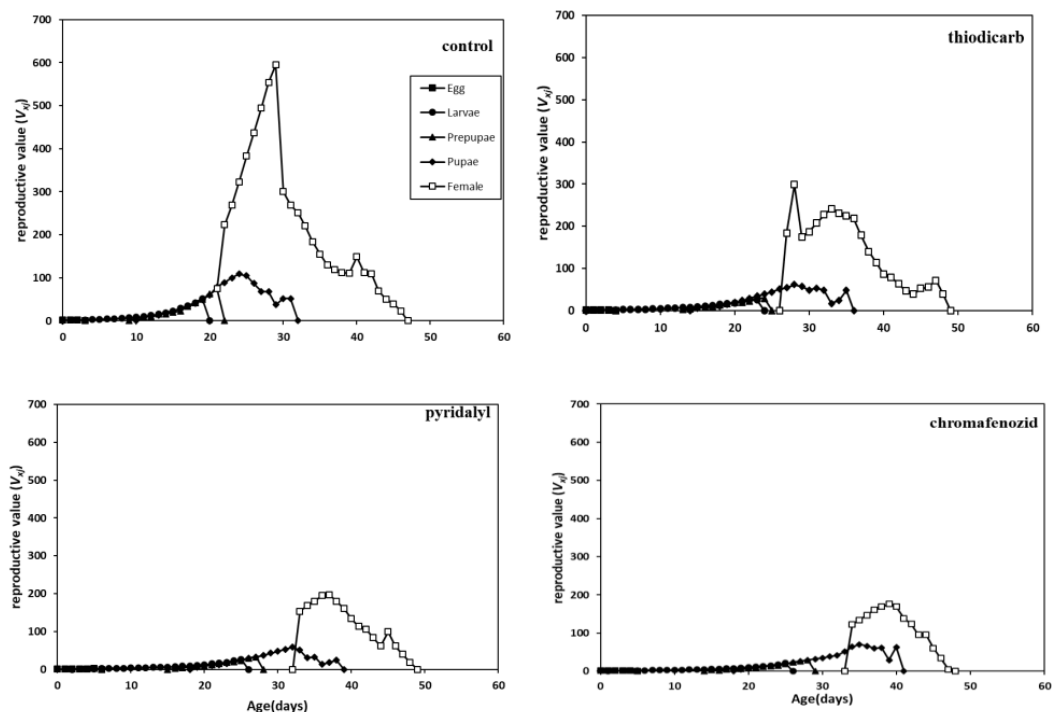
بر اساس نتایج به دست آمده، تغذیه از غذای آمیخته با غلظت LC₃₀ حشره کش های مورد مطالعه توسط لاروهای سن دوم کرم میوه خوار گوجه فرنگی، اثرات منفی روی فراسنجه های زیستی مرحله نابالغ آن در نسل بعدی مورد آزمایش داشت. هر چند، هر سه حشره کش مورد مطالعه در مقایسه با شاهد طول دوره های مختلف مرحله نابالغ و کل مرحله نابالغ را افزایش داد به طوری که طول کل دوره مرحله نابالغ در حشره کش ها ۳۵-۳۲ روز و در شاهد ۲۷/۳۳ روز بود، اما میزان تأثیر گذاری پیریدالیل (۳۵/۸۶ روز) و کرومافنوزاید (۳۶/۳۹ روز) روی این فراسنجه بیشتر از تیودیکارب (۳۲/۲۴ روز) بود. مطالعه Parsaeyan (2012) مشخص کرد که غلظت LC₃₀ حشره کش های متوکسی فنوزاید (همگروه کرومافنوزاید) و پیریدالیل روی لارو سن سوم کرم غوزه پنبه *H. armigera* به روش تغذیه سبب افزایش طول دوره های لاروی و شفیرگی و کاهش وزن لاروها و شفیره ها می شود و اثر متوکسی فنوزاید روی این فراسنجه ها بیشتر از حشره کش

در پژوهش حاضر، اثر گوارشی حشره کش های تیودیکارب، پیریدالیل و کرومافنوزاید روی مرحله لاروی کرم میوه خوار گوجه فرنگی بررسی شد. سایر پژوهشگران نیز برای زیست سنجی کرم میوه خوار گوجه فرنگی با حشره کش های فوق و مشابه آن مانند متوکسی فنوزاید، هگزافلومورون، دیفلوینزورون، ایندوکساکارب، تیاکلوپراید، باکتری *Bt*، ویروس *HanNPV* از روش آمیختن محلول حشره کش با رژیم غذای مصنوعی استفاده کرده اند زیرا اغلب این حشره کش ها از طریق گوارشی اثر می کنند (Vaez et al., 2018; Mosallanejad & Golami, 2019; Allahyari, et al., 2020). همچنین، پرورش حشرات روی جیره غذایی انجام شد که به باور محققین یک روش علمی برای مطالعه اولیه زیست شناسی، رفتار و زیست سنجی حشره کش های شیمیایی و ارگانیک روی مراحل مختلف رشدی آفات در سطح آزمایشگاه است (Assemila et al., 2012).

با توجه به نتایج زیست سنجی، کرومافنوزاید و پیریدالیل (به ترتیب با غلظت کشندگی ۵۰ درصد ۲/۷۴ و ۴۸/۰۹ میلی گرم ماده مؤثر بر لیتر) نسبت به تیودیکارب (۲۰۹/۶۲) سمیت بیشتری روی مرحله لاروی کرم میوه خوار گوجه فرنگی نشان دادند. هر چند دلیل این امر می تواند به عوامل مختلفی وابسته باشد، برخی از این عوامل، مانند: روش زیست سنجی، شرایط محیطی، جمعیت جمع آوری شده در همه تیمارها یکسان بوده هر چند برخی عواملی، مانند: نحوه تأثیر گذاری و میزان سمیت ترکیبات مورد آزمایش می تواند متفاوت باشد. فرض بر این است عواملی که در همه تیمارها یکسان است موجب ایجاد اختلاف در نتایج زیست سنجی حشره کش ها نخواهد شد بنابراین تفاوت مشاهده شده به عوامل دسته دوم مربوط است و نحوه عملکرد حشره کش ها و اختلاف در میزان حساسیت لاروها نسبت به حشره کش ها موجب نتایج متفاوت زیست سنجی شده است. زیست سنجی حشره کش های پیریدالیل و تیودیکارب روی لارو سن سوم جمعیت های مزرعه ای و آزمایشگاهی کرم غوزه پنبه *H. armigera* با روش موضعی در تحقیقات Konus and Karaagac (2014) نشان داد که مقدار LD₅₀ حشره کش ها برای جمعیت

فعالیت عادی لاروها می‌شود. این تغییرات باعث بروز اختلالاتی در روند نشو و نما حشرات شده که افزایش طول مدت نشو و نما دوره‌های مختلف مرحله نابالغ نیز از آن جمله است (Guedes et al., 2016). افزایش طول مدت نشو و نمای حشرات ناشی از حشره‌کش‌های پیریدالیل و نوالورون در لاروهای تیمار شده کرم برگ‌خوار پنبه *S. littoralis* گزارش شده است (Hassan & Mohamed, 2014). پیریدالیل (Nishimura et al., 2017) و کرومافنوزاید (Yanagi et al., 2006) دارای اثر ضد تغذیه ای بوده و باعث توقف تغذیه لاروها و طولانی شدن دوره رشدی آنها می‌شود. طولانی شدن مدت نشو و نما دوره‌های مختلف رشدی مرحله نابالغ کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی می‌تواند در شرایط مزرعه سبب افزایش احتمال شکار یا پارازیت شدن شود (Sedaratian et al., 2014)، همچنین، کم شدن میزان تغذیه لاروها و به دنبال آن کاهش وزن شفیره‌ها می‌تواند باعث کاهش باروری و طول عمر حشرات کامل ظاهر شده گردد (Parsaeyan, 2012; Saber et al., 2013).

پیریدالیل است. در بررسی دیگر اثرات زیرکشنده غلظت LC₃₀ حشره‌کش‌های متوکسی‌فنوزاید و تیودیکارب روی لارو سن سوم کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی *H. armigera* با روش آمیخته با رژیم غذای مصنوعی نشان دادند که هر دو حشره‌کش به صورت معنی‌داری طول دوره‌های لاروی و شفیرگی را افزایش و وزن شفیره‌ها را کاهش می‌دهند و میزان تأثیرگذاری متوکسی‌فنوزاید روی این فراسنجه‌ها بیشتر از تیودیکارب است (Saber et al., 2013). نتایج دو پژوهش بالا نشان می‌دهد که ترکیبات تیودیکارب، پیریدالیل و متوکسی‌فنوزاید (همگروه کرومافنوزاید) روی فراسنجه‌های زیستی مرحله نابالغ شب‌پره *H. armigera* تأثیر داشته و نتایج پژوهش حاضر را تایید می‌کند. طولانی شدن مدت نشو و نما دوره‌های مختلف مرحله نابالغ کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی در اثر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها در پژوهش حاضر می‌تواند به دلیل برهم کنش‌های موجود میان حشره‌کش‌ها و محل تأثیر آنها در بدن کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی باشد که باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی در



شکل ۴- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش روی ارزش تولیدمثلی ویژه‌ی سن-مرحله کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی *Helicoverpa armigera*.

Figure 4. The sublethal effects of tested insecticides on age-stage-specific reproductive value (V_{xj}) of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera*.

به این طریق میزان تخمیزی و درصد تفریح تخم آنها را کاهش دهد (Ahmad et al., 2015; El-Sabrou et al., 2019).

هرسه حشره کش مورد مطالعه در مقایسه با تیمار شاهد به صورت معنی داری روی فراسنجه های رشد جمعیت پایدار موثر بودند و مقدار فراسنجه های r ، R_0 و λ را در مقایسه با شاهد کاهش داد به طوریکه مقدار R_0 محاسبه شده برای پیریدالیل (۶۵/۰۴) و کرومافنوزاید (۴۷/۲۲) تیودیکارب (۱۰۵/۲۸) کمتر از شاهد (۳۳۴/۷۱) بود، اما مقادیر T و DT محاسبه شده برای هرسه حشره کش مورد مطالعه به ترتیب بین ۳۷-۴۲ و ۵-۷ روز بدست آمد که بیشتر از شاهد (۳۱/۶۹ و ۳/۷۸ روز) بود. تأثیر گذاری پیریدالیل و کرومافنوزاید روی این فراسنجه ها بیشتر از تیودیکارب بود نتایج حاصل از این پژوهش در تحقیقات سایر محققین مانند حشره کش کارباریل روی کرم خاردار پنبه (*Earias vittella* (Fabricius) Ahmad et al., 2015) و حشره کش پیریدالیل روی کرم سرخ پنبه (*P. gossypiella* (Saunders) Amer et al., 2012) گزارش شده به طوری که مقدار نرخ خالص تولید مثل R_0 ، نرخ ذاتی افزایش جمعیت r ، و نرخ متناهی افزایش جمعیت λ در تیمارهای حشره کش ها کمتر از تیمار شاهد و مدت زمان لازم برای دو برابر شدن جمعیت DT در حشره کش ها بیشتر است. خاطر نشان می شود که نرخ ذاتی افزایش جمعیت r ، یک مبنای آماری مناسب برای بیان نرخ رشد جمعیت است پایین تر بودن مقدار r در تیمارهای تیودیکارب (۰/۱۲۵ بر روز)، پیریدالیل (۰/۱۰۲ بر روز) و کرومافنوزاید (۰/۰۹ بر روز) در مقایسه با تیمار شاهد (۰/۱۸۳ بر روز) مؤید اثرات نامطلوب این حشره کش ها روی جمعیت کرم میوه خوار گوجه فرنگی مورد مطالعه است. هر چه مقدار r کمتر باشد، نرخ افزایش جمعیت کندتر و مدت زمان رشد طولانی تر خواهد بود (Medeiros et al., 2000).

به طور کلی می توان نتیجه گیری کرد که در تیمار لاروهای کرم میوه خوار گوجه فرنگی بیشترین و کمترین سمیت، به ترتیب مربوط به حشره کش های کرومافنوزاید و تیودیکارب است. همچنین تاثیر معنی دار حشره کش های

هر سه حشره کش مورد مطالعه طول عمر حشرات نر و ماده (۱۲/۹۵-۱۰/۳۳ روز)، تعداد تخم گذاشته شده (۴۰۲/۵۳-۱۳/۷۲) را در مقایسه با تیمار شاهد (به ترتیب ۱۵/۷۱-۱۳/۷۲ روز، ۷۱۰/۳۱ تخم) کاهش دادند و طول دوره های پیش و پس از تخمیزی را افزایش دادند، اما تأثیر گذاری پیریدالیل و کرومافنوزاید روی این فراسنجه ها بیشتر از تیودیکارب بود علاوه بر این، هیچ یک از حشره کش های مورد آزمایش روی نسبت جنسی (۰/۷۵-۰/۸۵) در مقایسه با شاهد (۰/۹۳) اثر معنی داری نداشت که با نتایج سایر محققین (Parsaeyan, 2012; Saber et al., 2013) مشابه است. ارزیابی اثرات زیر کشنده غلظت LC_{50} پیریدالیل روی کرم سرخ پنبه (*Pectinophora gossypiella* (Saunders) Amer et al., 2019) و کرم برگ خوار پنبه (*S. littoralis* (El-Dewy, 2017)) نشان داد که این حشره کش در مقایسه با تیمار شاهد طول عمر حشره ماده، تعداد تخم گذاشته شده و درصد تفریح کاهش میدهد، اما تاثیر معنی داری روی نسبت جنسی ندارد. یافته های دیگر مطالعات روی اثر زیر کشنده غلظت LC_{50} کرومافنوزاید روی لاروهای کرم سرخ پنبه (*P. gossypiella* (Kandil et al., 2012)) و کرم برگ خوار پنبه (*S. littoralis* (Aly & Ali, 2017)) بیان می کند که کرومافنوزاید طول عمر حشرات ماده و نر، طول دوره تخمیزی، تعداد تخم گذاشته شده و درصد تفریح تخم را کاهش داده، اما طول دوره های پیش از تخمیزی و پس از تخمیزی را افزایش میدهد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، کاهش طول عمر حشرات ماده در تیمارهای حشره کشی موجب کاهش میزان تخمیزی آفت می شود. همچنین اثرات نامطلوبی نیز روی درصد تفریح تخم کرم میوه خوار گوجه فرنگی دارد، به طوری که در همه تیمارهای حشره کشی درصد تفریح تخم کمتر از شاهد بود. به نظر می رسد که حشره کش های مورد مطالعه و یا متابولیت های آن می توانند از طریق متوقف کردن رشد تخمدان، فرآیند زرده سازی و تشکیل کوریون روی تخمدان های ماده های بالغ و کاهش تعداد اسپرم ها و حجم بیضه در افراد نر اثر نامطلوب گذاشته و

نتایج آزمایشگاهی شرط کافی برای موفقیت در سطح مزرعه نیست و لازم است آزمایش مزرعه‌ای نیز آن را تایید کند.

سپاس‌گزاری

مقاله حاضر، مستخرج از رساله دکتری است که در گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران انجام شده است. بدینوسیله از همکارانی که در انجام این پژوهش ما را یاری کردند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

کرومافنوزاید و پیریدالیل روی فراسنجه‌های جمعیت پایدار و جدول زیستی کرم میوه خوار نشان می‌دهد که کاربرد اصولی این حشره کشها در آینده نمی‌تواند موجب طغیان این آفت شود همچنین با طولانی شدن طول دوه نابالغ (تخم، لارو و شفیره) احتمال افزایش تلفات آن توسط دشمنان طبیعی افزایش می‌یابد بنابراین در برنامه مدیریت تلفیقی کرم میوه خوار گوجه‌فرنگی *H. armigera* می‌توان از حشره‌کش‌های پیریدالیل یا کرومافنوزاید استفاده کرد. البته

References

- Abdel-Rahim, E.M., Elham, F.M. & Marta, A.M. (2010). Insecticidal activities of certain minor nutrients against the larvae of the Egyptian cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 88(4), 1055–1067. DOI: 10.21608/ejar.2010.190703
- Ahmad, S., Shafiq-Ansari, M. & Muslim, M. (2015). Toxic effects of neem-based insecticides on the fitness of *Helicoverpa armigera* Hub. *Crop Protection*, 68, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.11.003>
- Ahmad, S., Shafiq-Ansari, M., Khan, N. & Hasan, F. (2016). Toxic effects of insecticides on the life table and development of *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) on okra. *International Journal of Tropical Insect Science*. DOI:10.1017/S1742758416000230.
- Allahyari, R., Aramideh, Sh., Michaud, J.P., Safaralizadeh, M.H. & Rezapannah, M.R. (2020). Synergy between parasitoids and pathogens for biological control of *Helicoverpa armigera* in chickpea, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168, 70–75. <https://doi.org/10.1111/eea.12866>
- Aly, M.F.K. & Ali, A.M. (2017). Impact of some essential plant oils and insect growth regulators on immature stages of *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera:Noctuidae) in Egypt. *Journal Plant Protection and Pathology*, 11(8), 561–570. DOI: 10.21608/JPPP.2017.46852
- Amer, R.A.M., Hatem, A.E. & Adly, A. (2012). Effect of emamectin benzoate and pyridalyl on some biological and prediction aspects of the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella*(Saunders) and tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Povolny), Available from:<https://www.researchgate.net/publication/267325382>.
- Assemila, H., Rezapannah, M., Vafaei-Shoushtari, R. & Mehrvar, A. (2012). Modified artificial diet for rearing of tobacco budworm, *Helicoverpa armigera*, using the Taguchi method and Derringer's desirability function. *Journal of insect science*, 12(1), 1-18. <http://www.insectscience.org/12.100>.
- Biondi, A., Mommaerts, V., Smagghe, G., Vinuela, E., Zappala, L. & Desneux, N. (2012) The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods, *Pest Management Science*, 68, 1523–1536. <https://doi.org/10.1002/ps.3396>
- Dahi, F.H., Kamel, A.S., El-Barkey, N.M. & Mona Abd-El Aziz, F.(2011). Pyridalyl Effectiveness on Some Biological and Physiological Parameters of Cotton Leafworm

Spodoptera littoralis (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of American Science*, 7(12), 855–863.

Dewer, Y., Pottier, M.A., Lalouette, L., Maria, A., Dacher, M., Belzunces, L.P., Kairo, G., Renault, D., Maibeche, M. & Siaussat, D. (2016). Behavioral and metabolic effects of sublethal doses of two insecticides, chlorpyrifos and methomyl, in the Egyptian cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 3086–3096. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-5710-1>

Ebrahimi, N., Talebi, A. A., & Fathipour, Y. (2009). 'Demographic parameters of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae) on five rapeseed cultivars. *Journal of Entomological Society of Iran*, 28(2), pp. 49-59. https://jesi.areeo.ac.ir/article_105290.html

El-Dewy, M. E. H. (2017). Influence of some novel insecticides on physiological and biological aspects of *Spodoptera littoralis* (Boisduval), *Alexandria Science Exchange Journal*, 38(2), 250–258. DOI: 10.21608/asejaiqjsae.2017.3353

El-Sabrouth, A.M., Hassan, S.M. & Eldesouky, S.E. (2019). Differential effects of some insect growth regulators on the reproductive potential of Lepidopteran pest, *Spodoptera littoralis*. *Journal of Basic and Environmental Sciences*, 6, 257–266. <https://jbsci.org/published/6.4.2.pdf>

Fathipour, Y. & Naseri, B. (2011). Soybean cultivars affecting performance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) In T. B. Ng, (Ed.). *Soybeanbiochemistry, chemistry and physiology* (599-630). Intechopen Press, Rijeka, Croatia.

Ghoneim, Y.F., Singab, M., Abou-Yousef, H.M. & Abd-El-Hai, N.S. (2012). Efficacy of certain insecticides and their mixtures with the tested IGRs against a field strain of the cotton leaf worm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.) under laboratory conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(6), 300–304.

Goodman, D. (1982). Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. *The American Naturalist*, 119, 803-823.

Guedes, R.N.C., Smagghe, G., Stark, J.D. & Desneux, N.(2016). Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs, *Annual Review of Entomology*, 61, 43–62. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023646>

Hill, D.S. (2008). Pests of crops in warmer climates and their control. Springer, Dordrecht, Netherlands.

Isayama, S., Saito, S., Kuroda, K., Umeda, K. & Kasamatsu, K. (2005). Pyridalyl, a Novel Insecticide: Potency and Insecticidal Selectivity. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 58, 226–233.

Kabiri Raeisabad, M. (2019). Lethal and sublethal effects of botanical insecticide, tondexir (Tondexir®) and chemical insecticide, indoxacarb (Avaunt®) on the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lep.: Gelechiidae). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 42(1), 46-63. DOI: 10.22055/ppr.2019.14443

Kandil, M.A., Ahmed, A.F. & Moustafa, H.Z. (2012). Toxicological and biochemical studies of lufenuron, chlorfluazuron and chromafenozide against *Pectinophora gossypiella* (Saunders). *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 4(1), 37- 47.

Konus, M. & Karaagac, U. (2014). Determination of resistance ratios of the cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* (Hübner)) against insecticides in Adnan. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 29(2), 106–112. <https://doi.org/10.7161/anajas.2014.29.2.106-112>

- Hassan, H.A. & Mohamed, S.A. (2014). Laboratory and field evaluation for novaluron and pyridalyl against cotton leaf worm on tomato. *African Journal Biological Science*, 10(1): 217–232.
- LeOra Software. (2007). POLO-Plus Probit and Logit Analysis User's Guide Version 2.0 LeOra Software, Petaluma, CA (US).
- Mardani, A., Sabahi, Q. & Sheikhi Garjan, A. (2024). Investigating on control of tomato fruitworm *Helicoverpa armigera* (Hbn.) by integrating chemical insecticides and the parasitoid wasp *Habrobracon hebetor* (Say) in field conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 54(2), 301-315. DOI:10.22059/IJPPS.2024.371559.1007052
- Mardani, A., Sabahi, Q., & Sheikhi Garjan, A. (2021). Lethal and sub-lethal effects of insecticides chromafenozide, pyridalyl and thiodicarb on parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor*, *Journal of Plant Pests Research*, 10(4), 1-14 https://iprj.guilan.ac.ir/article_4621_261de79ce493ef2bd3e719c7b9041cff.pdf
- Mardani, A., Sabahi, Q. & Almasi, A., (2016). Susceptibility of pupal and adult stages of the parasitoid *Lysiphlebus fabarum* Marshall (Hym.: Braconidae) to insecticides thiacloprid+ deltamethrin, pirimicarb and pymetrozine, *Journal of Plant Pests Research*, 6(4), 61-71. http://iprj.guilan.ac.ir/article_2151_8407e4b4ecd8cd924b2887deab1c3a4e.pdf
- Medeiros, R.S., Ramalho, F.S., Lemos, W.P. & Zanuncio, J.C. (2000). Age dependent fecundity life fertility tables for *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae), *Journal of Applied Entomology*, 124, 319–324.
- Mosallanejad, H. & Golami, Z. (2019). First report of thiodicarb resistance of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae) in Iran, *Journal of Entomological Society of Iran*, 39(2), 95-212. DOI: 10.22117/jesi.2019.122396.1238
- Multan, J.S. & Sohi, A.S. (2002). *Helicoverpa armigera* (Hübner) on carnation, *Dianthus caryophyllus* Linn in Pnjab. *Insect-Environment*, 8(2), 82 (Abstract)
- Nguyen, N.T.H., Borgemeister, C., Poehling, H. & Zimmermann, G.(2007). Laboratory investigations on the potential of entomopathogenic fungi for biocontrol of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae and pupae. *Biocontrol Science and Technology*, 17, 853–864. <https://doi.org/10.1080/09583150701546375>
- Nishimura, Sh., Saito, Sh., & Isayama, Sh. (2017). Pyridalyl: A novel compound with excellent insecticidal activity, high Selectivity, and unique mode of action, *Japanese Journal of Plant Science*, 1(2), 85–94. [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0712/JJPS_1\(2\)/JJPS_1\(2\)85-94o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0712/JJPS_1(2)/JJPS_1(2)85-94o.pdf)
- Parsaeyan, E. (2012). The effects of emamectin benzoate, cypermethrin, methoxyfenozide and pyridalyl insecticides on the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. [M.S. dissertation, Maragheh University].
- Parsaeyan, E., Saber, M. & Bagheri, M. (2013). Toxicity of emamectin benzoate and cypermethrin on biological parameters of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) in laboratory conditions. *Journal of Crop Protection*, 2 (4), 477–485. <https://www.sid.ir/paper/634147/en>
- Rafiee Dastjerdi, H., Hejazi, M.J., Nouri Ganbalani, Gh. & Saber, M. (2008). Toxicity of some biorational and conventional insecticides to cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and its ectoparasitoid, *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 28(1), 27–37.

Rani, G., Gupta, N., Redhu, N.S. & Kumar, S. (2018). Ecdysone receptor present in insects is a novel target for insecticide. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(5), 1548–1553. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.183>

Robertson, J.L., Jones, M.M., Olguin, E. & Alberts, B. (2017). *Bioassays with arthropods*. CRC press.

Saber, M., Parsaeyan, E., Vojoudi, S., Bagheri, M., Mehrvar, A. & Kamita, S.G. (2013). Acute toxicity and sublethal effects of methoxyfenozide and thiodicarb on survival, development and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Crop Protection*, 43, 14-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2012.09.011>

Saini, P., Gopala, M., Kumar, M. & Srivastava, Ch. (2014). Development of pyridalyl nanocapsule suspension for efficient management of tomato fruit and shoot borer (*Helicoverpa armigera*). *Journal of Environmental Science and Health*, 49, 344–351.

Sedaratian, A., Fathipour, Y. & Talaei-Hassanloui, R. (2014). Deleterious effects of *Bacillus thuringiensis* on biological parameters of *Habrobracon hebetor* parasitizing *Helicoverpa armigera*. *BioControl*, 59(1), 89–98. DOI 10.1007/s10526-013-9531-1

Sheikhzadeh, B., Hejazi, M.J. & Karimzadeh, R., (2014). Effects of methoxyfenozide, lufenuron and flufenoxuron, on beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lep.: Noctuidae) in laboratory conditions. *Journal Of Entomological Society of Iran* ,34(1),1-8. <https://sid.ir/paper/48045/en>

Sheikhigarjan, A. Najafi, H., Abbasi,S., Azimi,H. & Moradi M.(2022). The chemical and organic pesticide guide of Iran 2021. Rah Dan press, Tehran, Iran, p.570.

Stark, J.D. & Banks, J. E. 2003. Population-level effects of pesticides and other toxicant on arthropods, *Annual of Review Entomology*, 48, 505–519. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112621>

Stark, J.D., Banks, J.E., & Acheampong, S. (2004). Estimating susceptibility of biological control agents to pesticides: influence of life history strategies and population structure, *Biological Control*, 29, 392–398. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2003.07.003>

Yanagi, M., Tsukamoto, Y., Watanabe, T., & Kawagishi, A. (2006). Development of a novel lepidopteran insect control agent, chromafenozide, *Journal of Pesticide Science*, 31, 163–164.

Vaez, N., Iranipour, S. & Hejazi, M.J. (2018) Sublethal Effects of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* Berliner on Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* Hübner, *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 6(4), 147-163. <https://sid.ir/paper/237659/en>

Vojoudi, S., Saber, M., Gharekhani, G. & Esfandiari, E. (2017). Toxicity and sublethal effects of hexaflumuron and indoxacarb on the biological and biochemical parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae) in Iran, *Crop Protection*, 91, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.020>



© 2024 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).