Journal of Applied Research in Plant Protection

University of Tabriz Press
https://arpp.tabrizu.ac.ir/

Research Article

Lethal and sublethal effects of matrine (Rui agro®) on the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* and the predatory bug *Macrolophus pygmaeus*

Rizan Mohammadi, Orouj Valizadegan✉, Asmar Soleymanzadeh

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Corresponding author
✉O. valizadegan@urmia.ac.ir

Keywords

botanical insecticide, integrated pest management, life table, *Macrolophus pygmaeus*, *Tuta absoluta*

Received: 16 June 2024
Revised: 7 October 2024
Accepted: 7 October 2024

Available online: 12 January 2025

Abstact

Tuta absoluta is a serious pest of Solanaceae plants which is resistant to many commonly used insecticides causing economic damage worldwide. Thus, the development of integrated pest management (IPM) approaches against this pest is necessary. This study evaluated the toxicity of matrine (Rui agro®) insecticide against different biological stages of *T. absoluta*. Analysis revealed egg as the most resistant biological stage with LC_{50} value 1064.32 mg/L. However, the sublethal concentration (LC_{25}) effect of matrine on *T. absoluta* population growth parameters was estimated using age-stage, two-sex life table theory method. The sublethal concentration (LC_{25}= 838.25 mg/L) of matrine reduced different biological stages longevity and female fecundity in comparison to control treatment (distilled water). Values of population growth parameters: the intrinsic rate of increase (r), net reproductive rate (R_0), finite rate of increase (λ) and gross reproductive rate (GRR) with LC_{25} of matrine were significantly lower than the control. The selectivity ratio (SR) value indicated that matrine are selective and safe for predator *Macrolophus pygmaeus*. Based on the results obtained in this study, combined use of *M. pygmaeus* with matrine can be recommended in *T. absoluta* integrated management programs, after supplementary studies and field experiments.

Mohammadi R, Valizadegan O, Soleymanzadeh A, 2025. Lethal and sublethal effects of matrine (Rui agro®) on the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* and the predatory bug *Macrolophus pygmaeus*. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 14 (2): 111-125.
https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2025.19084

Copyright© 2025 University of Tabriz, Published by the University of Tabriz.
This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۴ (۲): ۱۲۵-۱۱۱ (۱۴۰۴)
مقاله پژوهشی

اثر کشندگی و زیرکشندگی ماترین (روی آگرو®) روی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* و تاثیر آن بر سن شکارگر *Macrolophus pygmaeus*

ریزان محمدی، اروج ولیزادگان✉، اثمر سلیمان زاده

گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

نویسنده مسئول: o.valizadegan@urmia.ac.ir✉

دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶

چکیده

شب پره مینوز گوجه‌فرنگی، *Tuta absoluta* یکی از آفات مهم گیاهان خانواده سولاناسه است که در برابر بسیاری از حشره‌کش‌های رایج مقاومت پیدا کرده و در سراسر جهان سبب ایجاد خسارت اقتصادی می‌گردد. بنابراین توسعه برنامه‌های مدیریت تلفیقی این آفت، امری ضروری است. در این تحقیق سمیت حشره‌کش ماترین در برابرمراحل مختلف زیستی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی ارزیابی شد. آنالیز داده‌ها نشان داد که مرحله تخم با دز کشنده ۵۰ درصد برابر با ۱۰۶۴/۳۲ میلی‌گرم بر لیتر مقاوم‌ترین مرحله زیستی آفت می‌باشد. در ادامه، اثر غلظت زیر کشنده (LC_{25}) ماترین روی پارامترهای رشدی جمعیت شب پره مینوز گوجه‌فرنگی با استفاده از تئوری جدول زندگی دو جنسی سن-مرحله رشدی بررسی شد. غلظت زیر کشنده حشره‌کش ماترین (LC_{25}= 838/25 mg/L) طول عمر مراحل مختلف زیستی و همچنین باروری ماده‌ها را نسبت به شاهد (آب مقطر) کاهش داد. مقادیر پارامترهای رشد جمعیت شامل: نرخ خالص تولید مثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) در شب پره مینوز گوجه‌فرنگی در تیمار LC_{25} حشره‌کش ماترین نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کمتر بودند. مقدار نسبت انتخابی (SR) نشان داد حشره‌کش ماترین برای سن شکارگر *Macrolophus pygmaeus* انتخابی و ایمن می‌باشد. پس از تکمیل بررسی‌های بیشتر و آزمایش‌های مزرعه‌ای، استفاده همزمان از حشره‌کش ماترین و سن شکارگر در برنامه‌های مدیریت تلفیقی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی می‌تواند قابل توصیه باشد.

کلمات کلیدی: جدول زندگی، حشره‌کش گیاهی، سن شکارگر، مدیریت تلفیقی آفت، مینوز گوجه‌فرنگی

مقدمه

گوجه‌فرنگی پس از سیب‌زمینی دومین سبزی مهم در جهان می‌باشد. سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی در دنیا حدود پنج میلیون هکتار است که در سال ۲۰۲۰ محصول تولیدی آن؛ ۱۸۶/۸۲۱ میلیون تن بوده است (FAO 2022). شب پره مینوز گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) یکی از آفات مخرب این محصول می‌باشد که بیش از ۸۷ درصد از تولید جهانی گوجه‌فرنگی را تهدید می‌کند (Desneux *et al*. 2011). تخمریزی ماده‌ها در قسمت زیرین برگها و یا روی ساقه‌ها می‌باشد. پس از تفریخ تخم‌ها؛ لاروهای نئونات به داخل برگها نفوذ می‌کنند و با تغذیه از بافت مزوفیل برگ، دالان‌های نامنظمی روی آن ایجاد می‌کنند. به مرور زمان دالان‌های برگی نکروزه شده و پتانسیل فتوسنتزی برگ کاهش می‌یابد. همچنین لاروها با حمله به میوه‌های گوجه‌فرنگی، دالان‌هایی در آنها به وجود می‌آورند که کیفیت گوجه‌فرنگی و بازارپسندی آن را کاهش می‌دهد (Taleh *et al*. 2023; Ahmed *et al*. 2024). مقاومت شب پره مینوز گوجه‌فرنگی به طیف گسترده‌ای از حشره‌کش‌های شیمیایی؛ کنترل آن را دچار مشکل کرده است (Desneux *et al*. 2021). علاوه بر این، از جمله معایب متعدد کنترل شیمیایی می‌توان به اثر منفی آن بر عوامل کنترل زیستی آفات، طغیان مجدد آفات ثانویه و ایجاد باقیمانده در محصولات کشاورزی و محیط اشاره کرد (Salazar *et al*. 2022; Mesri *et al*., 2023). بنابراین، توسعه روش‌های نوین کنترل حشرات آفات در ترکیب با حشره‌کش‌های شیمیایی رایج و یا جایگزین با آنها امری ضروری به نظر می‌رسد.

حشره‌کش‌های گیاهی نه تنها حشرات را می‌کشند بلکه به طرق مختلف ویژگی‌های فیزیولوژیکی آنها از جمله بقا، رفتار، تولیدمثل و مسیرهای متابولیکی را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Isman 2020). در سال‌های اخیر استفاده از این ترکیبات به دلیل ارزان بودن، نداشتن باقیمانده در محیط زیست و سمی

بودن آنها در برابر طیف وسیعی از آفات اهمیت زیادی در کشاورزی داشته است (Saleem *et al*. 2019). حشره‌کش ماترین با نام تجاری Rui agro® یک آلکالوئید گیاهی است که از ریشه‌های خشک گیاه *Sophora flavescens* Aiton به دست می‌آید. ماترین روی حشرات اثر تماسی-گوارشی داشته و گیرنده‌های استیل کولین را مورد هدف قرار می‌دهد که به نوبه خود بر میزان تولید استیل کولین استراز موثر است. این ترکیب سمیت زیادی در برابر انواع مختلف حشرات آفت، بیماری‌های قارچی و باکتریایی نشان داده است (Marcic *et al*. 2012; Wu *et al*., 2019; Cheng *et al*., 2022).

سن شکارگر *Macrolophus pygmaeus* Rumber (Heteroptera: Miridae) یک شکارگر مهم چندخوار است که در برابر بسیاری از آفات محصولات زراعی از جمله سفیدبالک، تریپس، شته، کنه و لارو پروانه‌ها در شرایط مزرعه و گلخانه موثر بوده است. این شکارگر در کنترل بیولوژیک شب پره مینوز گوجه‌فرنگی نیز استفاده می‌شود و به طور فعالی از مراحل مختلف لاروی و تخم‌های آن تغذیه می‌کند (Safari Monjezi *et al*. 2021; Soleymanzadeh *et al*. 2025).

به منظور ارزیابی دقیق‌تر کارایی حشره‌کش‌ها، بررسی اثرات زیرکشنده آنها امری ضروری است. سم‌شناسی دموگرافیک یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای این امر می‌باشد و در آن پارامترهای جدول زیستی شاهد و تیمار مقایسه می‌شوند (Stark & Banks 2003). با توجه به اهمیت مدیریت تلفیقی آفات و همچنین حفاظت از دشمنان طبیعی؛ در این پژوهش سمیت حشره‌کش گیاهی ماترین روی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی و سن شکارگر *M. pygmaeus* مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پرورش شب پره مینوز گوجه‌فرنگی Tuta absoluta

جمعیت اولیه شب پره مینوز گوجه‌فرنگی، با جمع‌آوری بوته‌های آلوده از مزارع گوجه‌فرنگی آلوده به آفت در شهرستان ارومیه تامین شد. برای پرورش آفت در گلخانه با شرایط دمایی ۵ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ±۶۰ درصد و دوره نوری ۸ :۱۶ ساعت روشنایی و تاریکی؛ از قفسه‌های چوبی به ابعاد ۴۰ × ۶۰ × ۶۰ سانتی‌متر استفاده شد. داخل قفسه‌ها گلدان‌های کاشته شده از گیاه گوجه‌فرنگی قرار گرفتند. هر هفته گلدان‌های جدید به کلنی پرورش حشره اضافه می‌شدند. از محلول آب و عسل ۱۰ درصد برای تغذیه حشرات بالغ استفاده شد. جهت هم‌سن‌سازی بعد از تخمریزی حشرات بالغ روی گلدان‌های داخل قفسه‌ها، گلدان‌های حاوی تخم به قفسه دیگری انتقال یافتند و گلدان‌های تازه جایگزین آنها گردید (Talepoor *et al*. 2021). آفت به مدت دو نسل در گلخانه پرورش داده شد و پس از آن آزمایش‌ها و ثبت نتایج انجام گردید.

پرورش سن شکارگر Macrolophus pygmaeus

کلونی اولیه سن شکارگر از شرکت رویال ساکار تجارت واقع در تهران تهیه شد. سن‌های شکارگر داخل قفس چوبی روی گیاهان گوجه‌فرنگی پرورش داده شدند. از گلدان‌های آلوده به تخم شب پره مینوز گوجه‌فرنگی، آب عسل ۲۰ درصد و تخم‌های بید آرد *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyrallidae) به عنوان غذای روزانه سن شکارگر استفاده شد. تخم‌های بید آرد توسط آب عسل روی بریده‌هایی از کاغذ چسبانده شدند (Safari Monjezi *et al*. 2021). جمعیت اولیه بید آرد از انسکتاریوم سازمان جهاد کشاورزی شهرستان ارومیه تهیه شد. سپس به منظور پرورش آن در شرایط دمایی ۲ ± ۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و دوره نوری ۸:۱۶ ساعت روشنایی: تاریکی؛ از ظروف پلاستیکی با ابعاد ۱۵×۴۰ ×۶۰ سانتی متر حاوی یک کیلوگرم آرد استریل شده، ۳۰۰ گرم سبوس، سه گرم مخمر و ۰/۳ گرم تخم شب پره آرد استفاده شد (Malkeshi *et al*. 2017). روزانه حشرات بالغ بید آرد جمع‌آوری شده و در قیف‌هایی به قطر ۲۰ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر نگهداری می‌شدند. دهانه قیف‌ها حاوی توری بوده و روی پایه‌هایی به ارتفاعینج سانتی‌متر قرار داشتند و در قسمت زیرین آنها تکه کاغذهایی قرار داشتند. تخم‌ها روزانه از روی کاغذها جمع آوری می شدند.

تهیه حشره‌کش مورد استفاده

در این تحقیق از حشره‌کش ماترین با نام تجاری Rui Agro® (SL 0.6 %) ساخت شرکت Hangzhou Ruigiang چین استفاده شد.

زیست سنجی حشره‌کش ماترین روی مراحل مختلف زیستی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی Tuta absoluta

برای زیست‌سنجی حشره‌کش ماترین روی تخم شب پره مینوز گوجه‌فرنگی، از روش غوطه‌ور سازی برگ (Moeini Naghade *et al*. 2020) استفاده شد. ابتدا به منظور تعیین غلظت‌های اصلی؛ آزمایش‌های مقدماتی با یک تیمار شاهد و پنج غلظت از محلول سمی انجام شد. در ادامه برای تعیین دامنه

کشندگی ۲۰ تا ۸۰ درصد از حشره‌کش ماترین، غلظت‌های اصلی با رعایت فاصله لگاریتمی بین آنها محاسبه شدند (Moradeshaghi & Pourmirza 1974; Robertson & Presiler 1992). غلظت‌های مورد نظر حشره‌کش ماترین برای این مرحله زیستی ۷۵۰، ۹۳۳، ۱۰۹۷، ۱۲۸۸ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بودند. پس از آماده‌سازی هر یک از این غلظت‌ها، برگ گوجه‌فرنگی حاوی ۲۰ عدد تخم سه روزه، به مدت ۱۰ ثانیه درون محلول سمی غوطه‌ور شده و پس از خشک شدن در محیط آزمایشگاه، درون تشتک پتری پلاستیکی (۸ سانتیمتری) قرار گرفت. برای تامین رطوبت تشتک پتری در کف آن کاغذ صافی مرطوب قرار گرفت. همچنین در قسمت دمبرگ برگ یک قطعه پنبه مرطوب پیچیده و روی آن با فویل آلومینیومی پوشانده شد. زیست سنجی در پنج غلظت و در سه تکرار به همراه یک تیمار شاهد (آب مقطر) انجام شد. تاخیر سه روزه در تیمار تخم‌ها به دلیل پژمرده شدن برخی از برگ‌ها تا زمان تفریخ تخم‌ها بود، چون با خشک شدن برگ؛ تخم‌ها نیز چروکیده شده و تفریخ نمی‌شدند. پس از گذشت هفت روز تعداد تخم‌های تفریخ شده و تفریخ نشده شمارش و ثبت گردید.

در زیست‌سنجی حشره‌کش ماترین روی مراحل مختلف لاروی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی، پس از مشخص شدن غلظت‌های اصلی مطابق با روش شرح داده شده برای مرحله تخم؛ برگ گوجه‌فرنگی واقع در ۳۰ سانتیمتری بالای ساقه را انتخاب و برگچه‌ها به مدت ۱۰ ثانیه داخل غلظت‌های مختلف حشره‌کش ماترین قرار گرفتند. پس از خشک شدن و قرار دادن آنها در تشتک‌های پتری پلاستیکی هشت سانتیمتری، تعداد ۲۰ عدد لارو همسن روی آن قرار داده شد. مرگ و میر لاروهای سنین مختلف (سنین اول تا چهارم) بعد از گذشت ۲۴ ساعت شمارش و ثبت شد (Moeini Naghade *et al*. 2020). غلظت‌های اصلی حشره‌کش ماترین در تعیین مقادیر LC_{50} آن برای لاروهای سن اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب برابر با (۸۰، ۹۸، ۱۲۳، ۱۵۵ و ۱۹۷)، (۱۰۸، ۱۳۸، ۱۷۸، ۲۲۹ و ۲۹۶)، (۱۵۷، ۲۰۹، ۲۶۹، ۳۴۷ و ۴۴۵) و (۲۱۰، ۲۹۵، ۴۳۷، ۶۴۶ و ۹۶۵) میلی‌گرم بر لیتر بودند.

برای زیست‌سنجی حشرات کامل از روش کاغذ صافی استفاده شد. برای این منظور کاغذهای صافی به قطر هشت سانتیمتر به مدت ۱۰ ثانیه داخل غلظت‌های مختلف حشره‌کش ماترین قرار گرفتند. پس از خشک شدن آنها در محیط آزمایشگاه، آنها به پتری‌های پلاستیکی هشت سانتیمتری منتقل شده، سپس ۲۰ عدد حشره کامل یک روزه در هر تشتک پتری رها شدند. در داخل هر تشتک پتری یک تکه پنبه آغشته به آب و عسل ۱۰ درصد قرار گرفت. همچنین برای اینکه تهویه به خوبی صورت گیرد روی درپوش‌های تشتک‌های پتری، سوراخ‌های ریزی ایجاد گردید. مرگ و میر بعد از گذشت ۲۴ ساعت شمارش شد. غلظت‌های اصلی مورد استفاده حشره‌کش ماترین برای تعیین مقدار LC_{50} مرحله حشره کامل آفت برابر با ۴۵۰، ۵۳۷، ۶۶۱، ۸۱۳ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بودند.

تاثیر غلظت زیرکشنده (LC_{25}) حشره‌کش ماترین روی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی Tuta absoluta

برای این منظور، از غلظت زیر کشنده (LC_{25}) حشره‌کش ماترین روی مرحله تخم آفت استفاده شد. تعداد ۱۰۰ عدد تخم سه روزه (هر برگ به طور متوسط حاوی چهار الی پنج عدد تخم) به مدت ۱۰ ثانیه در غلظت مذکور فرو برده شد. سپس از میان لاروهای سن اول ظاهر شده تعداد ۶۵ عدد از آنها به طور جداگانه به تشتک‌های پتری پلاستیکی حاوی برگ تازه گوجه‌فرنگی انتقال داده شدند. هر دو تا سه روز یک بار برگ‌های تازه گوجه‌فرنگی جایگزین برگ‌های داخل تشتک‌های پتری شدند. پتری‌ها در شرایط گلخانه نگه داشته شدند و به طور روزانه پارامترهایی از قبیل طول دوره مرحله تخم، لارو، شفیره، حشره بالغ و همچنین میزان تخمریزی ماده‌ها بررسی و ثبت گردید. تمامی مراحل فوق برای تیمار شاهد (آب مقطر) نیز انجام شد.

زیست سنجی سن شکارگر Macrolophus pygmaeus

برای بررسی اثر کشندگی حشره‌کش ماترین از پوره سن پنجم شکارگر استفاده شد. دلیل انتخاب این مرحله از سیکل زندگی شکارگر این بود که پوره‌های سن پنجم در مقایسه با حشرات بالغ توانایی پرواز ندارند؛ در نتیجه بیشتر در معرض حشره‌کش‌ها قرار می‌گیرند. یک میلی‌لیتر از محلول سمی هر یک از غلظت‌های تهیه شده از حشره‌کش ماترین توسط یک محلول‌پاش دستی روی ۲۰ پوره سن پنجم در هر تشتک پتری پلاستیکی (هشت سانتی‌متری) پاشیده شد. پوره‌های تیمار شده به تشتک‌های پتری پلاستیکی جدید حاوی برگ گوجه‌فرنگی و تعداد یکسان و مناسب از تخم‌های شب‌پره آرد منتقل شدند. تشتک های پتری تا زمان ثبت مرگ و میر (۲۴ ساعت) در شرایط گلخانه نگهداشته شدند. هر تیمار سه بار تکرار شد و در تیمار شاهد نیز از آب مقطر استفاده شد (Martinou *et al*. 2014). غلظت‌های حشره‌کش ماترین برای پوره سن پنجم شکارگر برابر با ۷۴۰، ۹۱۲، ۱۰۹۷، ۱۳۱۸ و ۱۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بودند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در انجام آزمایش‌های این پژوهش از طرح کاملا تصادفی با سه تکرار استفاده شد. برای تعیین غلظت‌های کشنده و زیرکشنده حشره‌کش ماترین از روش پروبیت در نرم افزار SPSS (ver. 17.0) استفاده شد. برای ترسیم نمودارها از نرم افزار SigmaPlot (ver. 12.3)، برای تجزیه داده‌های حاصل از جدول زندگی و روند رشد جمعیتی نیز از نرم افزار Two-sex MsChart بر اساس تئوری جدول زندگی دو جنسی سن-مرحله رشدی و نرم افزار Timing استفاده شد (Chi 1988; Chi 2020a, b). همچنین میانگین و خطای استاندارد فراسنجه‌های جدول زندگی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی با استفاده از روش Boostrap محاسبه شدند.

نسبت انتخابی (Selectivity Ratio) بودن حشره‌کش ماترین برای سن شکارگر *M. pygmaeus* بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (Preetha *et al*. 2010; Mesri *et al*. 2023).

$$SR = \frac{LC50 \text{ گونه مفید } mg/l}{LC50 \text{ گونه آفت } mg/l}$$

مطابق با این فرمول مقادیر SR کمتر یا مساوی با ۱ و مقادیر بیشتر از ۱ به ترتیب نشان دهنده سمیت بیشتر و سمیت کمتر حشره‌کش برای گونه مفید نسبت به آفت هستند.

برای بررسی ارزیابی خطر (Hazard Quotient) نیز از فرمول زیر استفاده شد.

$$HQ = \frac{\text{غلظت توصیه شده مزرعه } g/ha}{LC50 \text{ گونه مفید } mg/l}$$

مطابق با این فرمول مقادیر HQ کمتر از ۲ نشان دهنده بی‌خطر بودن حشره‌کش برای گونه مفید و مقادیر بیشتر از ۲ نیز خطر بالقوه حشره‌کش را برای گونه مفید نسبت به آفت نشان می‌دهند (Skouras *et al*. 2022).

نتایج

اثر کشندگی حشره‌کش ماترین روی مراحل مختلف زیستی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی Tuta absoluta

با تجزیه پروبیت داده‌های به دست آمده از زیست‌سنجی حشره‌کش ماترین روی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی، غلظت‌های کشنده ۵۰ درصد مراحل تخم، لاروهای سنین اول تا چهارم و حشرات کامل این آفت برآورد گردید (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه پروبیت اثر حشره‌کش ماترین روی مراحل مختلف زیستی *Tuta absoluta* در شرایط آزمایشگاهی.

Table 1. Results of probit analysis of effect of Matrine on different biological stages of *Tuta absoluta* in laboratory conditions**.**

Insecticide	Growth stage	N	χ^2(df)	Slope ± SE	LC_{25} (mg/l) (Lower-Upper) 95% CL	LC_{50} (mg/l) (Lower-Upper) 95% CL	R^2
Matrine	egg	300	3.67(3)	3.73 ± 0.75	838.25 (722.82-918.04)	1064.32 (1022.87-1268.29)	0.92
	L1	300	1.26(3)	3.21 ± 0.55	81.61 (63.39-94.10)	132.37 (118.96-149.54)	0.97
	L2	300	2.11(3)	3.07 ± 0.50	120.77 (95.85-132.96)	200.34 (179.27-229.21)	0.95
	L3	300	3.88(3)	2.84 ± 0.49	178.14 (137.62-207.09)	307.59 (272.89-357.84)	0.90
	L4	300	2.74(3)	2.03 ± 0.33	242.48 (170.22-299.97)	521.86 (440.90-608.81)	0.94
	adult	300	0.79(3)	3.09 ± 0.63	454.82 (375.52-510.44)	664.60 (628.90-725.46)	0.98

N: the number of tested insects, L1-L4: larval stages

مطابق با نتایج حاصل؛ مرحله تخم با مقدار LC_{50} برابر با ۱۰۶۴ میلی‌گرم بر لیتر؛ مقاوم‌ترین و لارو سن اول با مقدار LC_{50} برابر با ۱۳۲ میلی‌گرم بر لیتر حساس‌ترین مرحله زیستی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی به حشره‌کش ماترین بودند. مراحل مختلف لاروی حساسیت متفاوتی به این حشره‌کش داشتند و با افزایش سن لاروی، مقدار غلظت کشنده حشره‌کش ماترین نیز افزایش پیدا کرد به طوری که در سن آخر لاروی، مقدار LC_{50} به ۵۲۲ میلی‌گرم بر لیتر رسید. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق حساسیت مراحل لاروی به ماترین به مراتب بیشتر از حشرات کامل (LC_{50} = 665) بود. این مطلب علاوه بر امکان حساس‌تر بودن مرحله لاروی، تا حدی می‌تواند مربوط به نحوه عمل ماترین باشد که در مرحله لاروی از طریق تماسی و گوارشی

و در مرحله حشره کامل، بیشتر از طریق تماسی نقش داشته است (Bloomquist *et al*., 2018).

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش ماترین روی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی Tuta absoluta

نتایج مقایسه میانگین پارامترهای زیستی افراد تیمار شده شب پره مینوز گوجه‌فرنگی با غلظت زیرکشنده (LC_{25}) حشره‌کش ماترین در جدول ۲ نمایش داده شده است.

مطابق با نتایج به دست آمده؛ طول دوره جنینی و طول دوره لاروهای سنین اول، دوم و سوم در تیمار شاهد به طور معنی‌داری پایین‌تر از تیمار حشره‌کش ماترین بود. در حالی که بین طول دوره لارو سن چهارم و همچنین طول دوره شفیره‌های حاصل از تخم‌های تیمار شده با حشره‌کش ماترین و شاهد اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد.

همچنین بر اساس نتایج حاصل؛ طول عمر حشرات نر، طول عمر حشرات ماده، طول دوره تخمریزی و باروری حشرات ماده نیز تحت تاثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین قرار گرفته و نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان دادند (جدول ۲).

مقادیر مربوط به فراسنجه‌های رشد جمعیت شب پره مینوز گوجه‌فرنگی حاصل از تخم‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین در جدول ۳ ارائه شده است. نرخ ناخالص تولیدمثل (*GRR*) نشان دهنده میانگین تعداد کل تخم‌های ماده‌ای است که یک فرد ماده در طی یک نسل بدون در نظر گرفتن درصد تلفات تولید می‌کند. اختلاف معنی‌دار مقدار این پارامتر بین دو تیمار شاهد و حشره‌کش ماترین، نشان دهنده تاثیر بالای این حشره‌کش بوده است. نرخ خالص تولید مثل (R_0) بیانگر نرخ رشد هر نسل از جمعیت آفت می‌باشد. به عبارت دیگر این پارامتر تعداد نتاج ماده تولید شده توسط یک ماده را با در نظر گرفتن احتمال بقای آن در هر نسل نشان می‌دهد. این پارامتر در تیمار شاهد و حشره‌کش ماترین به ترتیب برابر با ۴۳/۷۱ و ۱۹/۰۶ تخم ماده به ازای هر فرد ماده بود.

یکی از مهم‌ترین پارامترهای رشد جمعیت، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) می‌باشد که نرخ تغییرات جمعیت به ازای هر فرد از جمعیت در هر روز را نشان می‌دهد. این پارامتر نیز تحت تاثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) نشان می‌دهد که جمعیت در هر روز نسبت به روز قبل چند برابر شده است. مقدار این پارامتر نیز در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین کاهش معنی‌داری داشت.

جدول ۲. پارامترهای زیستی (میانگین ± خطای معیار) *Tuta absoluta* تیمار شده با غلظت زیرکشنده (LC_{25}) حشره‌کش ماترین در مقایسه با شاهد.

Table 2. Biological parameters (Means ± SE) of *Tuta absoluta* treated with LC_{25} concentration of Matrine in comparison with control treatment.

Biological parameters	**Treatments** Developmental time (day)	
	Control	**Matrine (LC_{25})**
Egg	3.32 ± 0.06^{b}	3.58 ± 0.08^{a}
L1	3.18 ± 0.05^{b}	3.52 ± 0.06^{a}
L2	2.27 ± 0.06^{b}	2.86 ± 0.09^{a}
L3	3.20 ± 0.05^{b}	3.56 ± 0.07^{a}
L4	3.30 ± 0.06^{a}	3.45 ± 0.07^{a}
Pupa	7.98 ± 0.08^{a}	8.09 ± 0.08^{a}
Pre-adult duration	23.05 ± 0.17^{b}	24.98 ± 0.23^{a}
Adult duration (day) and reproduction		
Female longevity (day)	12.38 ± 0.13^{a}	9.75 ± 0.14^{b}
Male longevity (day)	15.41 ± 0.11^{a}	12.35 ± 0.08^{b}
APOP (day)	1.29 ± 0.12^{b}	2.40 ± 0.11^{a}
TPOP (day)	24.76 ± 0.31^{b}	25.85 ± 0.25^{a}
Oviposition period (day)	8.24 ± 0.17^{a}	4.95 ± 0.09^{b}
Fecundity (eggs/female)	135.29 ± 0.99^{a}	61.95 ± 0.64^{b}

The means followed by different letters in each row are significantly different (paired bootstrap at 5% significance level). Standard errors were measured by 100,000 bootstrap resampling, L1-L4: larval stages, APOP: Adult pre-ovipositional period, TPOP: Total pre-ovipositional period

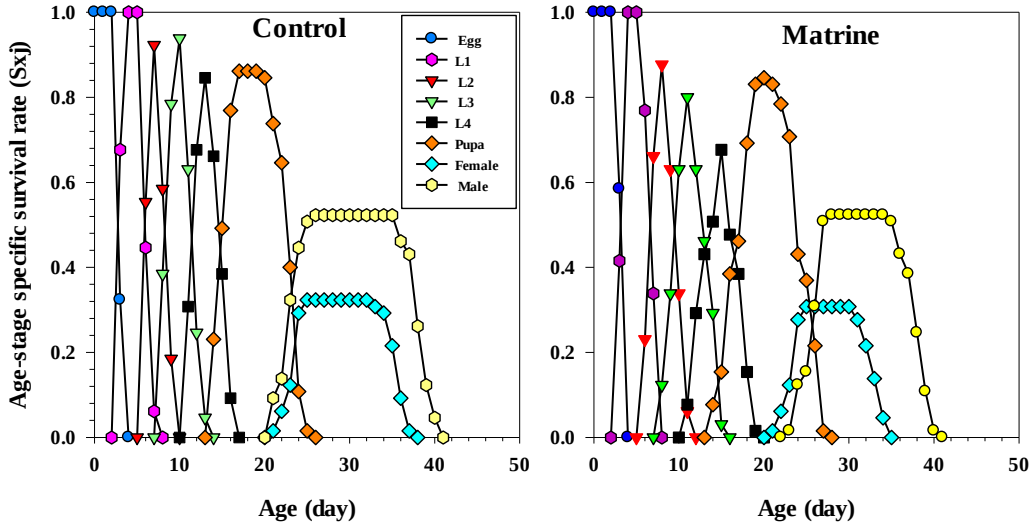
جدول ۳. پارامترهای رشد جمعیت (میانگین ± SE) *Tuta absoluta* تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش ماترین در مقایسه با تیمار شاهد.

Table 3. Population growth parameters (Means±SE) of the *Tuta absoluta* treated with LC_{25} concentration of Matrine in comparison with control.

Population growth parameters	Treatments	
	Control	Matrine (LC_{25})
Intrinsic rate of increase (r) (day^{-1})	0.133 ± 0.007^{a}	0.104 ± 0.004^{b}
Net reproductive rate (R_0) (offspring/individual)	43.708 ± 7.862^{a}	19.061 ± 3.628^{b}
Finite rate of population increase (λ) (day^{-1})	1.142 ± 0.008^{a}	1.109 ± 0.008^{b}
Growth reproductive rate (*GRR*) (offspring)	51.690 ± 8.913^{a}	23.020 ± 4.209^{b}
Mean generation time (T) (day)	28.325 ± 0.301^{b}	29.384 ± 0.277^{a}

همچنین با توجه به نتایج به دست آمده حشره‌کش ماترین باعث افزایش معنی‌داری در مقدار مدت زمان یک نسل شب پره مینوز گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد شد. منحنی مربوط به نرخ بقای ویژه سن-مرحله رشدی شب پره مینوز گوجه فرنگی (S_{xj}) تحت تاثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین در شکل ۱ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج حاصل کاهش میزان نرخ بقای حشرات ماده بالغ در حشره‌کش ماترین نسبت به شاهد مشاهده گردید. طول دوره مراحل نابالغ شب پره مینوز گوجه فرنگی در تیمار زیرکشنده حشره‌کش ماترین نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده است که باعث طولانی تر شدن سیکل زندگی آفت و به تبع کاهش تعداد نسل آن خواهد شد.



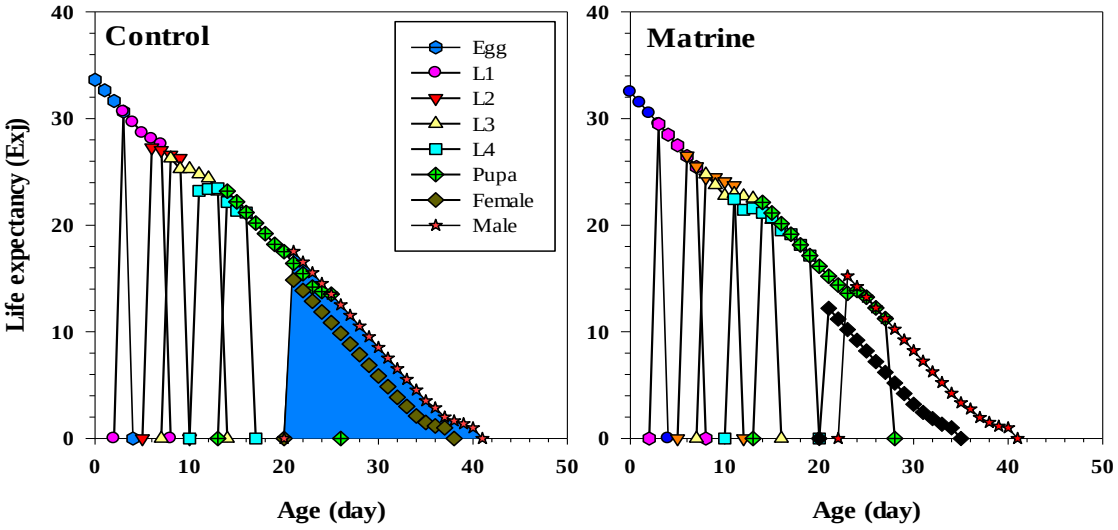
شکل ۱. نرخ بقای ویژه سن-مرحله رشدی (S_{xj}) در *Tuta absoluta* تحت تاثیر غلظت زیر کشنده حشره‌کش ماترین و شاهد.

Figure. 1. Age-stage specific survival rate (S_{xj}) of *Tuta absoluta* exposed to sublethal concentration (LC_{25}) of Matrine and control treatment.

بر اساس نتایج حاصل کاهش میزان نرخ بقای حشرات ماده بالغ در حشره‌کش ماترین نسبت به شاهد مشاهده گردید. طول دوره مراحل نابالغ شب پره مینوز گوجه‌فرنگی در تیمار زیرکشنده حشره‌کش ماترین نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده است که باعث طولانی تر شدن سیکل زندگی آفت و به تبع کاهش تعداد نسل آن خواهد شد. منحنی امید به زندگی ویژه سن-مرحله رشدی مینوز گوجه‌فرنگی در شکل ۲ نشان داده شده است.

این شاخص طول عمر پیش بینی شده افراد شب پره مینوز گوجه‌فرنگی قرار گرفته در برابر غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج به دست آمده حشره‌کش ماترین باعث کاهش امید به زندگی سنی-مرحله‌ای شده است. به عنوان مثال روز صفر امید به زندگی مرحله تخم از ۳۴ روز در تیمار شاهد به ۳۲ روز در تیمار ماترین کاهش یافت.

شاخص ارزش تولیدمثلی ویژه سن-مرحله رشدی (V_{xj}) میزان مشارکت هر یک از افراد شب پره مینوز گوجه فرنگی را در ایجاد نسل بعدی نشان می‌دهد (شکل ۳).

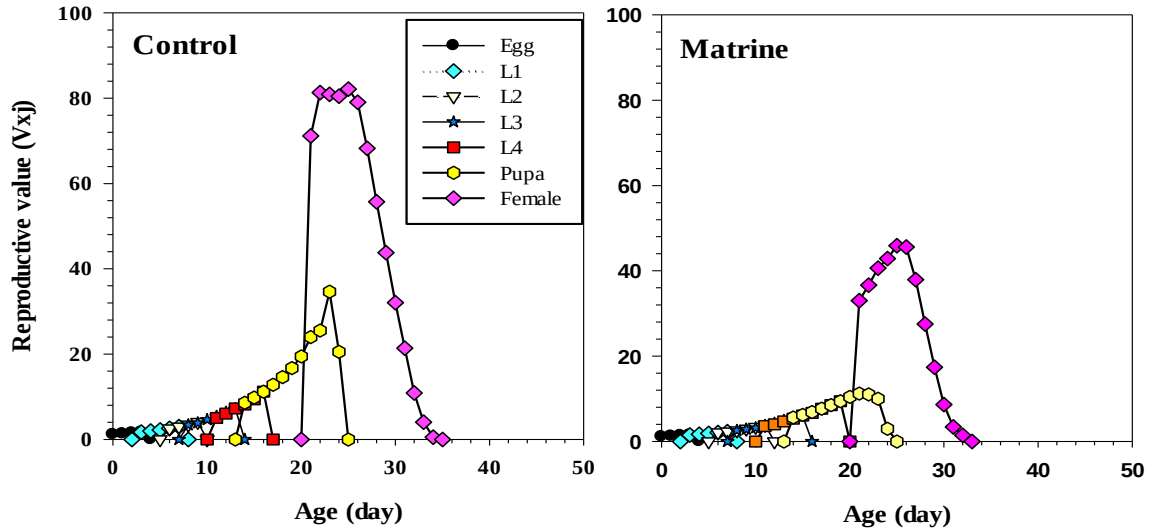


شکل ۲. امید به زندگی ویژه سن-مرحله رشدی (e_{xj}) در *Tuta absoluta* تحت تاثیر غلظت زیر کشنده حشره کش ماترین و شاهد.

Figure 2. Age-stage specific life expectancy (e_{xj}) of *Tuta absoluta* exposed to sublethal concentration (LC_{25}) of matrine and control treatment.

نمودارها بیانگر کاهش میزان ارزش تولیدمثلی حشرات تیمار شده با حشره‌کش ماترین نسبت به تیمار شاهد بود. در ماده‌ها مقدار این پارامتر بیشتر است که نشان می‌دهد این مرحله از سیکل زندگی آفت در ایجاد جمعیت نسل آینده شب پره مینوز گوجه‌فرنگی نقش بارزتری دارد.

بالاترین نقطه اوج ارزش تولیدمثلی در تیمار شاهد مشاهده شد (V_{25}=81.88). نقطه اوج این منحنی در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد (V_{25}=45.13).



شکل ۳. ارزش تولید مثلی ویژه سن-مرحله رشدی (V_{xj}) در *Tuta absoluta* تحت تاثیر غلظت زیر کشنده حشره‌کش ماترین و شاهد.

Figure 3. Age-stage specific reproductive value (V_{xj}) of *Tuta absoluta* exposed to sublethal concentration (LC_{25}) of Matrine and control treatment.

نرخ بقا (l_x) که احتمال زنده‌مانی یک فرد از تولد تا شروع سن x می‌باشد؛ در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین کمتر از شاهد بود. در واقع حشرات تحت تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین از قدرت زنده‌مانی کمتری نسبت به شاهد برخوردار بودند.

با توجه به نمودار باروری ویژه سن (m_x) متوسط تعداد تخم گذاشته شده توسط ماده در تیمار غلظت زیر کشنده ماترین در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری پیدا کرد. تولیدمثل خالص

روزانه (l_xm_x) حشرات بالغ در تیمار شاهد و ماترین به ترتیب برابر با۶/۲۹ و ۴/۰۳ نتاج/روز عمر بود. همچنین در شاهد بیشترین مقدار نرخ تولیدمثل تجمعی (R_x) مشاهده شد (شکل ۴).

پیش‌بینی افزایش مراحل مختلف جمعیت شب پره مینوز گوجه‌فرنگی در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین و شاهد در بازه زمانی ۶۰ روزه نشان داد تیمار حشره‌کش به علت پایین بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت، کمترین سرعت رشد و نمو را دارد (شکل ۵).

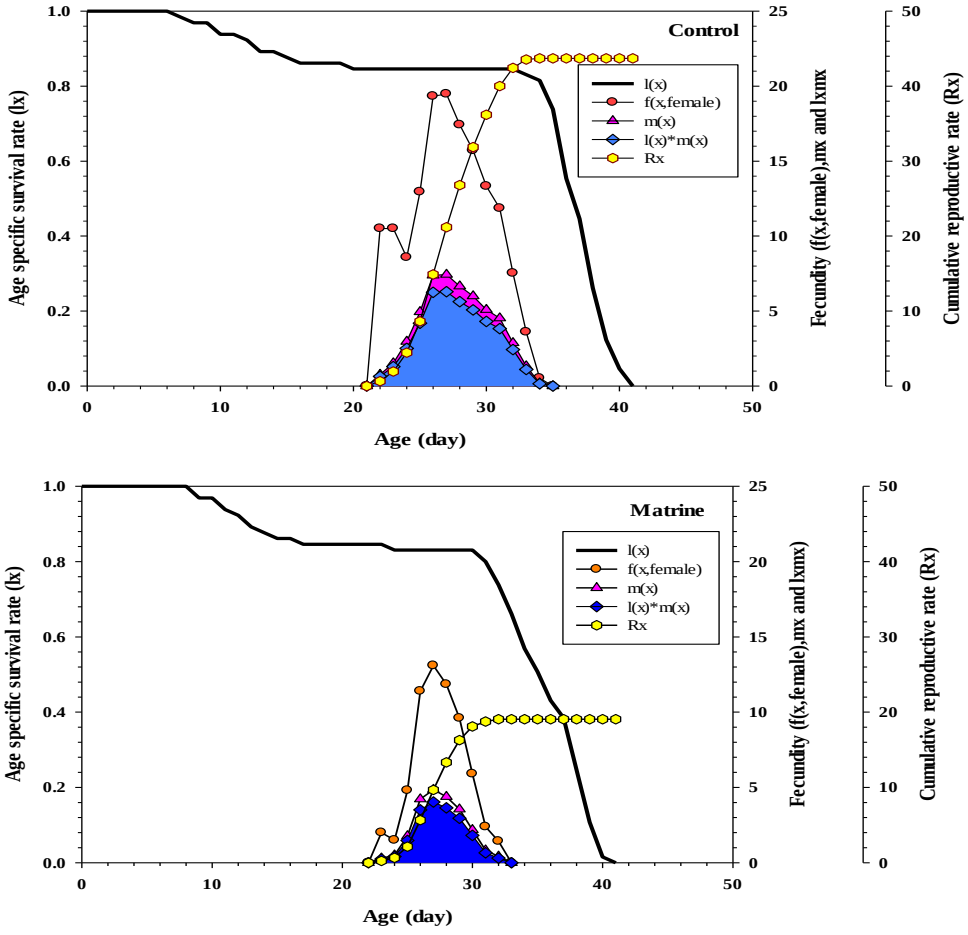
روند کلی رشد جمعیت شب پره مینوز گوجه فرنگی نیز حاکی از بالا بودن سرعت رشد و نمو در تیمار شاهد و کاهش قابل توجه روند افزایشی جمعیت در غلظت زیر کشنده ماترین بود (شکل ۶).

اثر کشندگی حشره‌کش ماترین روی سن شکارگر Macrolopuus pygmaeus

با تجزیه پروبیت داده‌های به دست آمده از زیست سنجی پوره سن پنجم شکارگر *M. pygmaeus* غلظت کشنده ۵۰ درصد حشره‌کش ماترین برای این شکارگر بعد از گذشت ۲۴ ساعت، ۱۱۱۰ میلی‌گرم بر لیتر برآورد گردید (جدول ۴) و در محاسبه نسبت انتخابی و ارزیابی خطر مورد استفاده قرار گرفت.

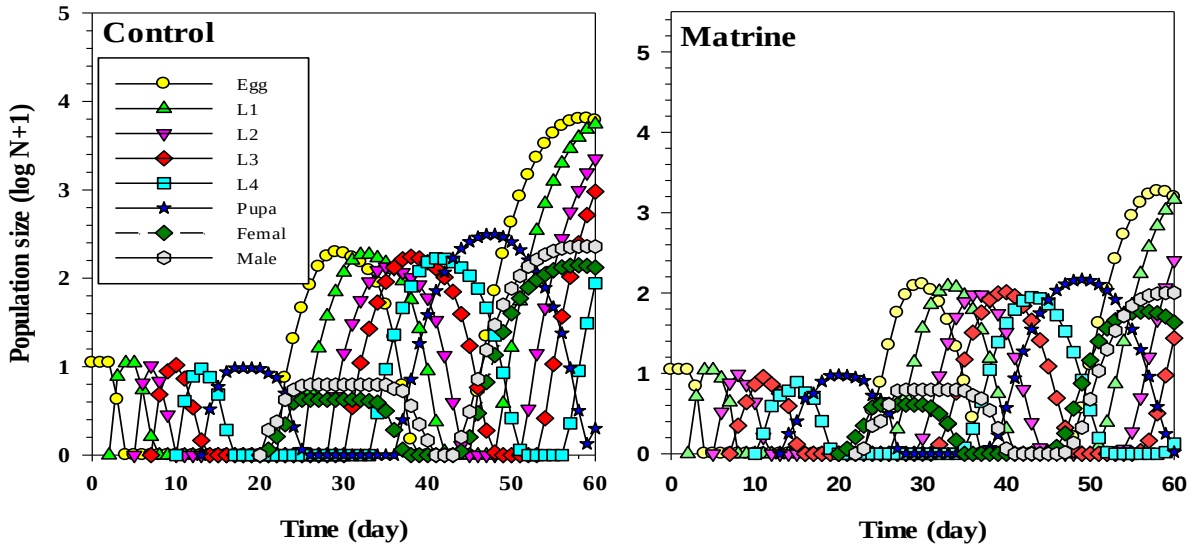
همچنین، کای اسکور (χ^2) محاسباتی از کای اسکور جدول در سطح احتمال آماری ۱ درصد کوچکتر بوده و نشان می‌دهد که داده‌ها به خوبی با مدل پروبیت برازش داده شده‌اند.

بر اساس بررسی ارزیابی خطر نیز حشره‌کش ماترین برای سن شکارگر *M. pygmaeus* در گروه حشره‌کش‌های انتخابی و ایمن قرار دارد (جدول ۵).



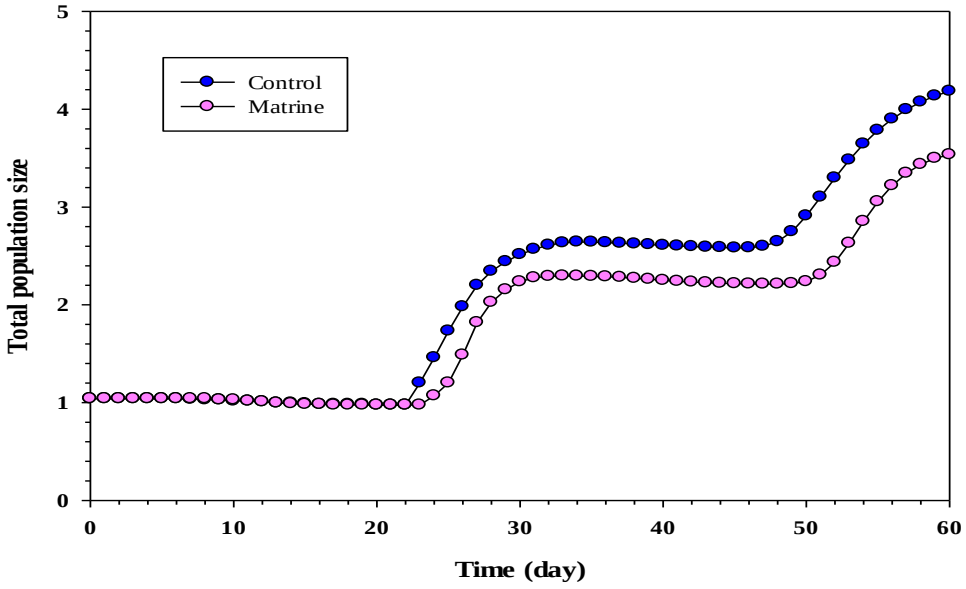
شکل ۴. منحنی نرخ بقای ویژه سنی (l_x) ، باروری ویژه سنی (m_x)، باروری ویژه سن-مرحله رشدی (F_{xj})، تولیدمثل خالص روزانه (l_xm_x) و نرخ تولید مثل تجمعی (Rx) در *Tuta absoluta* تحت تاثیر غلظت زیر کشنده حشره‌کش ماترین و شاهد.

Figure 4. Age-specific survival value (l_x), fecundity (m_x), age-stage specific fecundity (f_{xj}), age-specific maternity and cumulative reproductive rate (R_x) of *Tuta absoluta* exposed to sublethal concentration (LC_{25}) of matrine and control treatment.



شکل ۵. پیش‌بینی پتانسیل رشد جمعیت و ساختار مرحله *Tuta absoluta* تحت تاثیر غلظت زیر کشنده حشره‌کش ماترین و شاهد در طول ۶۰ روز.

Fig.ure 5. Projection of population growth potential and stage structure of *Tuta absoluta* exposed to sublethal concentration (LC_{25}) of Matrine and control treatment during 60 days.



شکل ۶. رشد جمعیت کل *Tuta absoluta* تحت تاثیر غلظت زیر کشنده حشره‌کش ماترین و شاهد در طول ۶۰ روز.

Figure 6. Population projection of total stage of *Tuta absoluta* exposed to sublethal concentration (LC_{25}) of Matrine and control treatment during 60 days.

جدول ۴. نتایج تجزیه پروبیت اثر حشره‌کش ماترین روی پوره سن پنجم شکارگر *Macrolophus pygmaeus* بعد از گذشت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی.

Table 4. Results of probit analysis of effect of matrine on 5th nymph of *Macrolophus pygmaeus* after 24 h in laboratory condition.

Insecticide	Growth stage	N	χ^2(df)	Slope ± SE	LC_{25} (mg/l) (Lower-Upper) 95% CL	LC_{50} (mg/l) (Lower-Upper) 95% CL	R^2
Matrine	5th nymph	300	1.24 (3)	3.30 ± 0.6	773.75 (647.06-861.95)	1110.02 (1022.42-1208.13)	0.97

جدول ۵. نتایج نسبت انتخابی و ارزیابی خطر حشره کش ماترین روی سن شکارگر *Macrolophus pygmaeus*

Table 5. Results of selectivity ratio and hazard quotient of Matrine on *Macrolophus pygmaeus*.

Insecticide	Growth stage of predator/pest	Selectivity		Recommended dose (g/ha)	Hazard Quotient	
		Selectivity	Category		Hazard Quotient	Category
Matrine	5^{th} nymph/egg	1.04	Selective	1000	0.90	Safe
	5^{th} nymph/L1	8.39	Selective			
	5^{th} nymph/L2	5.54	Selective			
	5^{th} nymph/L3	3.61	Selective			
	5^{th} nymph/L4	2.13	Selective			
	5^{th} nymph/adult	1.67	Selective			

بحث

طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق حشره‌کش ماترین نتایج کنترلی خوب و اثرات منفی قابل ملاحظه‌ای روی پارامترهای بیولوژیکی و رشد جمعیتی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی داشت. مرحله تخم و مراحل مختلف لاروی، مقاوم‌ترین و حساس‌ترین مراحل زیستی آفت در برابر ماترین بودند. همچنین در بین سنین مختلف لاروی؛ لارو سن اول نسبت به سایر سنین لاروی حساسیت بیشتری در برابر حشره‌کش داشت. ظاهرا دلیل احتمالی این موضوع این است که لاروهای سنین بالاتر به دلیل داشتن وزن بیشتر، مقاومت بالاتری در برابر دز معینی ازحشره‌کش‌ها از خود نشان می‌دهند. همچنین در سنین بالاتر لاروی، سطح فعالیت آنزیم‌های موثر در سم‌زدایی بیشتر است (Soleymanzade *et al*. 2019; Roy *et al*. 2020; Hajipour Jarchelou *et al*. 2022).

با توجه به بررسی منابع قبلی، تاکنون مطالعه‌ای در مورد اثرات کشندگی و زیرکشندگی ماترین روی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی انجام نشده است. در مورد کارایی ماترین روی سایر آفات بالپولکدار؛ در تحقیقی Wu *et al*. (2019) اثر کشندگی حشره‌کش ماترین را روی برگخوار مصری، *Spodoptera litura* Fabricius بررسی کردند و مقدار LC_{50} آن را روی لارو سن دوم آفت برابر با ۰/۸ میلی‌گرم بر لیتر گزارش دادند. در تحقیق دیگری Zanardi *et al*. (2015) مقدار LC_{50} حشره‌کش ماترین را روی لارو نئونات برگخوار پاییزه، *Spodoptera frugiperda* JE Smith بعد از گذشت ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت به ترتیب برابر با ۱۶۰۰<، ۱۶۰۰<، ۸۳۶، ۵۱۴ و ۳۸۴ پی‌پی‌ام گزارش کردند. مطابق با نتایج آنها، غلظت زیر کشنده ماترین طول دوره رشد و نمو لارو برگخوار پاییزه را افزایش داد. نتایج تحقیق Wang *et al*. (2022) در بررسی اثر حشره‌کش ماترین و چندین حشره‌کش دیگر روی بید کلم *Plutella xylostella* L. نشان داد که ماترین در دز توصیه شده بعد از گذشت ۲ روز اثر ضعیف و بعد از گذشت ۴ روز اثر متوسطی در کنترل آفت داشت. همچنین Li *et al*. (2023) در بررسی اثر حشره‌کش ماترین روی لارو سن سوم *S. frugiperda* مقدار LC_{50} آن را بعد از گذشت ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت به ترتیب ۳۶، ۲۶، ۱۶ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. مطابق بررسی آنها طول دوره لاروی آفت در ترکیب ماترین با ساپونین به نسبت ۱:۱۰ در غلظت‌های زیرکشنده LC_{10} و LC_{20} به ترتیب ۱۸ و ۲۰ روز به دست آمد که در مقایسه با شاهد (۱۵ روز) غلظت‌های زیرکشنده موجب افزایش طول دوره لاروی شده بودند. همچنین طول دوره شفیرگی تحت تاثیر غلظت‌های کشنده LC_{10} و LC_{20} از ۹ روز در تیمار شاهد به ترتیب به ۱۱ و ۱۲ روز افزایش یافت. در تحقیق حاضر مقدار LC_{50} ماترین روی لارو سن دوم مینوز گوجه‌فرنگی ۲۰۰/۳۴ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. این اختلاف در نتایج می‌تواند به دلیل متفاوت بودن عوامل مختلفی مانند نوع فرمولاسیون و درجه خلوص ماترین، نوع گونه‌های حشره مورد آزمایش و میزان مقاومت آنها در برابر سموم مختلف شیمیایی و گیاهی و همچنین نوع روش زیست سنجی مورد استفاده باشد.

کارایی حشره‌کش ماترین روی چندین آفت دیگر از جمله تریپس غربی گل *Frankliniella occidentalis* Pergande، سوسک برگخوار غلات *Lema melanopus* L.، عسلک پنبه *Bemisia tabaci* Gennadius، شته جالیز *Aphis gossypii* Glover و کنه تار عنکبوتی *Tetranychus urticae* Koch مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج کنترلی خوبی روی این آفات داشته است (Ali *et al*. 2017; Sharifi *et al*. 2019; Saleem *et al*. 2019; Kordestani *et al*. 2022a,b). در تحقیقی Amirfanak *et al*. (2023) غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین (LC_{25}) را روی فراسنجه‌های زیستی شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* L. بررسی کردند. طول عمر و باروری شته‌های بالغ و میانگین طول دوره پوره‌زایی در تیمار حشره‌کش نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت. پارامترهای رشد جمعیت نیز از جمله نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و نرخ خالص تولید مثل (R_0) در تیمار غلظت

زیرکشنده حشره‌کش ماترین کمتر از تیمار شاهد بودند.

در مورد سایر حشره‌کش‌های دیگر نیز نتایج تحقیقات مختلفی ثابت کرده‌اند که قرار گرفتن شب پره مینوز گوجه‌فرنگی در معرض غلظت‌های زیرکشنده آنها می‌تواند پیامدهای نامطلوب طولانی مدتی را برای آن ایجاد کند. طولانی شدن زمان رشد و نمو مراحل مختلف زندگی، کاهش میزان باروری، کاهش دوره تخمریزی، افزایش مراحل قبل از تخمریزی، کاهش پارامترهای رشد جمعیت از جمله نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و نرخ خالص تولید مثل (R_0)، کاهش سرعت نرخ رشد جمعیت، افزایش مدت زمان یک نسل (T) (Kabiri Raeisabad 2019; Ebneabbasi *et al*. 2023) و کاهش طول عمر افراد نر و ماده نسبت به شاهد (Zibaee & Esmaeily 2017; Qu *et al*. 2023) از جمله این پیامدها می‌باشند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارند.

سن‌های خانواده Miridae حاوی بیش از ۱۰۰۰۰ گونه هستند. سن‌های شکارگر جنس Macrolophus از این خانواده در کنترل زیستی آفات مختلفی مورد توجه قرار گرفته‌اند. سن شکارگر *M. pygmaeus* به عنوان شکارگر آفاتی مانند سفیدبالک‌ها، شته‌ها و بالپولکداران در گلخانه‌ها و مزارع استفاده می‌شود (Moerkenz *et al*. 2017; Zhang *et al*. 2017). در تحقیق حاضر بررسی نسبت انتخابی حشره‌کش ماترین نشان داد که این حشره‌کش در برابر سن شکارگر در گروه حشره‌کش‌های بی‌خطر و انتخابی قرار دارد. محققینی اثرات کشندگی و زیرکشندگی ماترین و چند حشره‌کش شیمیایی دیگر را در تلفیق با کنه شکارگر *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot و سن شکارگر *Orius laevigatus* Fieber بررسی کردند. مطابق نتایج آنها حشره‌کش ماترین با کنه شکارگر سازگاری داشت و موجب افزایش مقادیر نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ خالص تولید مثل (R_0) آن شد. همچنین در سن شکارگر نیز پارامترهای بیولوژیکی و رشد جمعیتی در غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد نداشتند. طبق نتایج آنها استفاده همزمان ماترین با کنه شکارگر و سن شکارگر در برنامه‌های مدیریت تلفیقی تریپس غربی گل *Frankliniella occidentalis* Pergande قابل توصیه بود (Kordestani *et al*. 2022a,b). در تحقیق دیگری Li *et al*. (2023) اثر انتخابی بودن حشره‌کش ماترین را روی گونه‌های شکارگری از خانواده‌های Coccinellidae، Syrphoidea و Araneida مورد بررسی قرار دادند و مطابق نتایج آنها ماترین برای هر سه گروه شکارگری در گروه حشره‌کش‌های بی‌خطر یا دارای خطر ناچیز قرار گرفت.

با وجود اینکه تکنیک‌های مدیریتی زیادی برای شب پره مینوز گوجه‌فرنگی استفاده می‌شوند؛ اما همچنان کنترل این آفت به روش‌های شیمیایی متکی است. کاربرد بی‌رویه و نامناسب حشره‌کش‌ها منجر به مقاومت این آفت در برابر گروه‌های مختلف حشره‌کش‌های شیمیایی از جمله پایرتروئیدها، ارگانوفسفات‌ها، آورمکتین‌ها، کاربامات‌ها و حشره‌کش‌های دی‌آمیدی شده است. علاوه بر این، استفاده نادرست و بی‌رویه از حشره‌کش‌های شیمیایی خطراتی برای انسان و موجودات غیر هدف در پی خواهد داشت. در نتیجه مطالعه و بررسی ترکیبات گیاهی مانند ماترین می‌تواند علاوه بر داشتن اثرات سوء کمتر برای موجودات غیر هدف؛ توسعه مقاومت در آفت شب پره مینوز گوجه‌فرنگی را به تاخیر بیاندازد و در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آن موثر واقع شود.

با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق و کارایی موثر ماترین در کنترل مینوز گوجه‌فرنگی و انتخابی بودن آن برای سن شکارگر *M. pygmaeus*، تحقیقات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی بیشتر می‌تواند در استفاده همزمان از این حشره‌کش گیاهی و سن شکارگر *M. pygmaeus* در برنامه‌های مدیریت تلفیقی شب پره مینوز گوجه‌فرنگی موثر واقع شود.

References

Ahmed SS, Kader MHA, Fahmy MA, Abdelgawad KF, 2024. Control of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) by the new trend of photosensitizer and nanocomposites and their effects on productivity and storability of tomato. *International Journal of Tropical Insect Science* 44(1): 273–296.

Ali S, Zhang C, Wang Z, Wang XM, Wu JH, *et al*., 2017. Toxicological and biochemical basis of synergism between the entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* and the insecticide matrine against *Bemisia tabaci* (Gunnadius). *Scientific Reports* 7(1): 1–14.

Amirfanak V, Safavi SA, Forouzan M, 2023. Study on the life table parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) influenced by sublethal concentrations of the matrine. *Plant Protection Scientific Journal of Agriculture 45*(4): 19–35. (In Persian with English abstract).

Bloomquist JR, Jiang S, Taylor-Wells J, Yang L, Li YX, 2018. Insecticidal activity and physiological actions

of matrine, a plant natural product. In: Norris EJ, Bartholomay LC, Coates, JR (eds). Advances in the Biorational Control of Medical and Veterinary Pests, American Chemical Society. Pp. 175–186.

Cheng X, He H, Dong F, Xu CC, Zhang HI, *et al.*, 2022. Synthesis of halopyrazole matrine derivatives and their insecticidal and fungicidal activities. *Molecules* 27(15): 4974.

Chi H, 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology* 17(1): 26–34.

Chi H, 2020a. TWOSEX-MSChart: a computer program for age stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan; available from http://140.120.197.173/ Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.rar.

Chi H, 2020b. TIMING-MSChart: a computer program for the population projection based on agestage, two-sex life table. Taichung, Taiwan: National Chung Hsing University; Available from http://140.120.197.173/Ecology/Download/Timing MSChart.rar

Desneux N, Luna MG, Guillemaud T, Urbaneja A, 2011. The invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: The new threat to tomato world production. *Journal of Pest Science* 84: 403–408

Desneux N, Han P, Mansour R, Arnó J, Brévault T, *et al.*, 2021. Integrated pest management of *Tuta absoluta*: Practical implementations across different regions around the world. *Journal of Pest Science* 95: 17–39.

Ebne Abbasi S, Mehrkhou F, Forouzan M, 2023. Lethal and sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and flubendimide on the population growth parameters and population projection of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Entomological Society of Iran 43*(3): 219–231. (In Persian with English abstract).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2022. FAOSTAT Database. http://faostat3.fao.org/

Hajipour Jarchelou S, Valizadegan O, Soleymanzade A, 2022. Laboratory assessment of cabbage seed oil and *Alhagi maurorum* extract in enhanced insecticidal activity of chlorantraniliprole and lambda-cyhalothrin against *Pieris brassicae* (Lepidoptera: Pieridae). *Journal of Entomological Society of Iran* 41(4): 321–340. (In Persian with English abstract).

Isman MB, 2020. Bioinsecticides based on plant essential oils: A short overview. *Zeitschrift für Naturforschung C* 75(7–8): 179–182.

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* 42 (1): 45–63. (In Persian with English abstract).

Kordestani M, Mahdian K, Baniameri V, Garjan AS, 2022a. Compatibility of Proteus®, matrine, and pyridalyl pesticides with *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot: Sublethal studies and persistence effect. *Systematic & Applied Acarology* 27(6): 1109–1119.

Kordestani M, Mahdian K, Baniameri V, Garjan AS, 2022b. Proteus, matrine, and pyridalyl toxicity and their sublethal effects on *Orius laevigatus* (Hemiptera: Anthocoridae). *Journal of Economic Entomology* 115(2): 573–581.

Li W, Abudukadier A, Chen Z, Zhan C, Zhang S, Liu J, *et al.*, 2023. Combining tea saponin and matrine botanical insecticides is highly effective against fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Entomologia Generalis* 43(6): 1089–1098.

Malkeshi SH, Talaei-Hassanloui R, Mohaghegh J, Allahyari H, 2017. Predation rate and prey preference of *Nesidiocoris tenuis* on *Ephestia kuehniella* and *Tuta absoluta* eggs in laboratory. *BioControl in Plant Protection* 5(1): 31–43. (In Persian with English abstract).

Marcic D, Prijovic M, Drobnjakovic T, Medo I, Peric P, *et al.*, 2012. Greenhouse and field evaluation of two biopesticides against *Tetranychus urticae* and *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae). *Pesticides & Phytomedicine* 27(2):313 –320.

Martinou AF, Seraphides N, Stavrinides MC, 2014. Lethal and behavioral effects of pesticides on the insect predator *Macrolophus pygmaeus*. *Chemosphere* 96: 167–173.

Mesri H, Valizadegan O, Soleymanzade A, 2023. Laboratory assessment of some chemical insecticides toxicity on *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) and their selectivity for its predator, *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Iranian Journal of Plant Protection*

Science 54(1): 165–186. (In Persian with English abstract).

Moeini-Naghade A, Sheikhigarjan A, Moeini-Naghadeh N, Zamani AA, 2020. Effects of different insecticides on egg, larva and adult of tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Crop Protection* 9(3): 439–446.

Moerkens R, Berckmoes E, Van Damme V, Wittemans L, *et al*., 2017. Inoculative release strategies of *Macrolophus pygmaeus* Rambur (Hemiptera: Miridae) in tomato crops: population dynamics and dispersal. *Plant Diseases & Protection* 124(3): 295–303.

Moradeshaghi MJ, Pourmirza AA, 1974. Survey on the resistance of different stages of mediterranean flour moth (*Plodia interpunctella*) to *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Entomological Society of Iran* 2(1): 25–34. (In Persian with English abstract).

Preetha G, Stanley J, Suresh S, Samiyappan R, 2010. Risk assessment of insecticides used in rice on miridbug, *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter, the important predator of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal.). *Chemosphere* 80(5): 498–503.

Qu C, Chen CL, Li YY, Yin YQ, Feng YF, *et al*., 2023. Lethal, sublethal and transgenerational effects of broflanilide on *Tuta absoluta*. *Entomologia Generalis* 44(2): 385-393.

Robertson JL, Preisler HK, 1992. Pesticide bioassay with arthropods. 2th edition, CRC Press, Florida.199 pp.

Roy S, Babu A, Handique G, Dutta R, Bora A, *et al*., 2021. Stage specific differential expression of three detoxifying enzymes of larvae of tea defoliator, *Hyposidra talaca* Walker (Geometridae: Lepidoptera) and its bearing on their insecticide tolerance status. *International Journal of Tropical Insect Science* 41: 541–545.

Safari-Monjezi Y, Yarahmadi F, Zandi-Sohani N, 2021. Sublethal Effects of Commonly Used Insecticides in Tomato Crop on Functional Response and Biological Parameters of *Macrolophus pygmaeus* Rumber (Hemiptera: Miridae). *Journal of Agricultural Science & Technology* 23(3):589–602.

Salazar AM, Arismendi N, López MD, Vargas M, Schoebitz M, *et al*., 2022. Stability of the oil-based nanoemulsion of *Laureliopsis philippiana* (Looser) and its insecticidal activity against tomato borer (*Tuta absoluta* Meyrick). *Industrial Crops & Products* 188: 115635.

Saleem MS, Batool TS, Akbar MF, Raza S, Shahzad S, 2019. Efficiency of botanical pesticides against some pests infesting hydroponic cucumber, cultivated under greenhouse conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 29(1): 1–7.

Sharifi M, Taghi Mobasheri M, Ghaderi K, Malek Shahkoei S, 2019. Comparison of the efficiency of rui agro as new insecticides if cereal leaf beetle *Lema melanopa* (Col.: Chrysomelidae) in field conditions. *Journal of Entomological Research* 1(12): 51–60. (In Persian with English abstract).

Skouras PJ, Demopoulos V, Mprokaki M, Anagnostelis K, Darras AI, *et al*., 2022. Relative toxicity of two insecticides to *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae): Implications for Integrated Management of the aphids, *Myzus persicae* and *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Phytoparasitica* 50(1): 141–150.

Soleymanzade A, Valizadegan O, Askari Saryazdi G, 2019. Biochemical mechanisms and cross resistance patterns of chlorpyrifos resistance in a laboratory-selected strain of Diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Agricultural Science and Technology* 21(7): 1859–1870.

Soleymanzadeh A, Valizadegan O, Saber M, Hamishehkar H, 2025. Toxicity of *Foeniculum vulgare* essential oil, its main component and nanoformulation against *Phthorimaea absoluta* and the generalist predator *Macrolophus pygmaeus*. *Scientific Reports* 15: 16706.

Stark JD, Banks JE, 2003. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology* 48: 505–519.

Taleh M, Sheikhi Garjan A, Rafiee-Dastjerdi H, Ebadollahi A, Noruzinia S, 2023. Monitoring the susceptibility of different populations of tomato leaf miner, *Tuta absoluta* to indoxacarb and its combination with azadirachtin. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 11(4): 131–139. (In Persian with English abstract).

Talepour F, Zibaee A, Seyahooei MA, Sendi JJ, 2021. Toxicity and physiological effects of diallyl sulfide and dialyl disulfide on *Tuta absoluta* Meyrick. *Physiological & Molecular Plant*

Pathology 116: 101741.

Wang D, Lv W, Yuan Y, Zhang T, Teng H, *et al*., 2022. Effects of insecticides on malacostraca when managing diamondback moth (*Plutella xylostella*) in combination planting-rearing fields. *Ecotoxicology & Environmental Safety* 229: e113090.

Wu JH, Yu X, Wang XS, Tang LD, Ali S, 2019. Matrine enhances the pathogenicity of *Beauveria brongniartii* against *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Frontiers in Microbiology* 10: 1812.

Zanardi OZ, do Prado Ribeiro L, Ansante TF, Santos MS, Bordini GP, *et al*., 2015. Bioactivity of a matrine-based biopesticide against four pest species of agricultural importance. *Crop Protection* 67: 160–167.

Zhang NX, Messelink GJ, Alba JM, Schuurink RC, Kant MR, *et al*., 2017. Phytophagy of omnivorous predator *Macrolophus pygmaeus* afects performance of herbivores through induced plant defences. *Oecologia* 186(1): 101–113.

Zibaee I, Esmaeily M, 2017. Effect of sublethal doses of abamectin on demographic traits of tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Plant Protection Research* 57(3): 256–267.