Journal of Vegetables Sciences, Spring & summer 2025, Vol 9, No 17(1), Pages 141-154

Ilam University

doi: 10.22034/IUVS.2023.1990277.1272 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Sensitivity of different populations of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lep: Gelechiidae) to thiocyclam hydrogen oxalate and the effect of three synergists there on its lethality

Anis Aboutalebian Soureshjani[1], Hooshang Rafiee-Dastjerdi[1*], Jahangir khajehali[2], Bahram Naseri[1], Mahdi Hassanpour[1]

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2- Department of Plant Protection, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, 84156-83111, Isfahan, Iran

[*]**Corresponding author:** hooshangrafiee@gmail.com

(**Received:** 23 February 2023 **Revise:** 13 April 2023 **Accepted:** 29 April 2023)

Extended Abstract

1. **Introduction:** The tomato leaf miner, Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), is one of the most serious pests affecting tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production worldwide. Originally from South America, it has rapidly spread to many regions, causing severe damage to both open-field and greenhouse tomato crops. Chemical insecticides have long been the primary tool for managing this pest. However, the intensive and often unregulated use of these chemicals has led to widespread resistance in many populations, greatly reducing the effectiveness of several commonly used insecticides. Thiocyclam hydrogen oxalate is among the insecticides recommended for controlling T. absoluta. It acts as a neurotoxin, disrupting nerve function by blocking the ion channels of nicotinic acetylcholine receptors (nAChRs), ultimately leading to paralysis and death in the insect. Despite its effectiveness, the repeated use of thiocyclam may lead to resistance over time, making it essential to monitor susceptibility levels and explore ways to enhance its efficacy .Understanding the resistance status and underlying mechanisms of T. absoluta to thiocyclam in regions like Iran, where tomato cultivation is widespread, is crucial for developing effective resistance management strategies. In this study, we evaluated the susceptibility of T. absoluta populations to thiocyclam hydrogen oxalate and investigated the use of synergists to potentially restore or enhance the insecticide's potency. These findings aim to support integrated pest management (IPM) approaches and ensure more sustainable control of this highly invasive pest.
2. **Materials and Methods:** The population of *T. absoluta* was collected from different greenhouses in Iran. The population with the lowest LC50 was selected as the sensitive population for the bioassay experiments. The insects were collected in 2020 and tested in the laboratory of Mohaghegh Ardabili University. The insecticidal efficacy of thiocyclam hydrogen oxalate alone and in combination with piperonyl butoxide (PBO) (monooxygenase inhibitor), diethyl maleate (DEM) (inhibitor of glutathione S-transferase), and triphenyl phosphate (TPP) (carboxylesterase inhibitor) was evaluated. For experiments with synergists, concentrations of 1000 ppm for TPP and 200 ppm for DEM and PBO were prepared. The bioassay was performed with second instar larvae, with leaves immersed for ten seconds. Laboratory conditions were 25±1°C, 60% RH, and 16:8 hours of light. A total of eight populations from Iranian greenhouses were studied with five replicates, five concentrations, and ten insects per replicate. Larvae were exposed to the synergists for 2 hours before being used for the bioassay test.
3. **Results and Discussion:** Based on the bioassay of the insecticide thiocyclam hydrogen oxalate on different populations of *T. absoluta* in the second larval instar, different levels of susceptibility can be observed between populations, and the resistance ratio in *T. absoluta* populations of Ardabil1, Yasouj, Borujen, Yazd, Bushkan, Kerman, Esfahan, and Ardabil2 was 3.65, 2.70, 3.05, 1.71, 1.63, and 1.062 fold, respectively. The population in Ardabil1 was the most resistant population, with a 3.65-fold resistance ratio and an LC_{50} value of 275.12 mg/L. The population in Yasouj was the most sensitive population, with an LC_{50} value of 82.75 mg/L. Synergistic effects on resistant and sensitive populations to thiocyclam hydrogen oxalate insecticides showed that the synergist piperonyl butoxide had the greatest reduction in LC_{50} in different populations of *T. absoluta*. In addition, the population in Ardabil1 had the highest resistance ratio, with the synergistic effects of piperonyl butoxide, diethyl maleate, and triphenyl phosphate on the tomato leaf miner being 1.95, 1.83, and 1.76-fold, respectively. The highest rate of synergists in the Yazd and Ardabil1 populations was related to the PBO synergist, which reduced the LC_{50} from 252.27 and 275.12 mg/L (without insecticide) to 102.15 and 141.18 mg/L (larvae were exposed to the synergist). In the Yasouj population, the synergist ratio was slightly reduced for PBO, but for DEM

and TPP, the synergist ratio was not reduced or was very low. The results show that the use of the insecticide thiocyclam hydrogen oxalate with the synergists piperonyl butoxide, diethyl maleate, and triphenyl phosphate increased the toxicity and decreased the resistance of thiocyclam hydrogen oxalate.

4. **Conclusion:** In general, the results seem to indicate that thiocyclam hydrogen oxalate is still effective against tomato leaf miner, and that resistance levels are not critical. Synergists can be used to delay low resistance, reduce spray pressure for this insecticide, and use alternative insecticides. The results of this research will be useful for managing the resistance of tomato leaf miner moths to this insecticide.

***Keywords*:** Bioassay, Moth, Resistance, Synergist, Toxicity.

Citation: Aboutalebian Soureshjani, A., Rafiee-Dastjerdi, H., khajehali, J., Naseri, B. & Hassanpour, M. (2025). Sensitivity of different populations of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lep: Gelechiidae) to thiocyclam hydrogen oxalate and the effect of three synergists there on its lethality. *Journal of Vegetables Sciences*, 17(1), 141-154. doi:10.22034/IUVS.2023.1990277.1272

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال۹ ، دوره ۱۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴، صفحات (۱۵۴-۱۴۱)

دانشگاه ایلام شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/IUVS.2023.1990277.1272

حساسیت چند جمعیت شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی (Lep.: Gelechiidae) *Tuta absoluta* به حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و تأثیر سه تشدید کننده بر کشندگی آن

انیس ابوطالبیان سورشجانی[۱]، هوشنگ رفیعی دستجردی[۱*]، جهانگیر خواجه علی[۲]، بهرام ناصری[۱]، مهدی حسن‌پور[۱]

۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

*نویسنده مسئول: hooshangrafiee@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹)

چکیده

شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* (Lep.: Gelechiidae) یکی از آفات اقتصادی گلخانه‌های گوجه‌فرنگی ایران است. در این پژوهش اثر حشره‌کشی تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (تیوسیکلام) به‌تنهایی و همراه با تشدید کننده‌های پروپانیل بوتوکساید PBO، دی اتیل مالئات DEM و تری فنیل فسفات TPP بر روی لاروهای سن ۲ شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش‌های زیست‌سنجی به روش غوطه‌وری برگ با استفاده از لارو سن دوم این آفت در دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری L:D 16:8 ساعت انجام شد. آزمایش‌ها با پنج تکرار، پنج غلظت و ۱۰ حشره در هر تکرار بر روی هشت جمعیت از جمعیت‌های گلخانه‌های ایران انجام شد. برای آزمایش‌های مربوط به تأثیر تشدید کننده‌ها، غلظت‌های 1000 ppm برای TPP و 200 ppm برای DEM و PBO تهیه گردید و لاروها ۲ ساعت قبل از استفاده در آزمایش زیست‌سنجی با حشره‌کش تیوسیکلام، در معرض تماس با برگ‌های آغشته به تشدید کننده‌ها قرار گرفتند. نتایج زیست‌سنجی نشان داد LC_{50} حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات در جمعیت‌های مختلف متغیر بود، به‌طوری‌که در جمعیت اردبیل با ۲۷۵/۲ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین مقدار و در جمعیت یاسوج با ۸۲/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر کمترین مقدار را داشته است. بیشترین نسبت تشدید کننده در جمعیت‌های یزد و اردبیل مربوط به تشدید کننده PBO بود که به ترتیب LC50 را از ۲۵۲/۲ و ۲۷۵/۱ به ۱۰۲/۱ و ۱۴۱/۱ میلی‌گرم بر لیتر کاهش داد. استفاده هم‌زمان از حشره‌کش تیوسیکلام و تشدید کننده‌ها به‌خصوص تشدید کننده PBO باعث افزایش سمیت تیوسیکلام هیدروژن اکسالات می‌شود. نتایج این تحقیق در مدیریت مقاومت آفت مینوز گوجه‌فرنگی مفید خواهد بود.

***واژه‌های کلیدی*: زیست‌سنجی، تشدید کننده‌ها، سمیت، شب‌پره‌ی توتا، مقاومت.**

استناد: ابوطالبیان سورشجانی، ا.، رفیعی دستجردی، ه.، خواجه علی، ج، ناصری، ب. و حسن‌پور، م. (۱۴۰۴). حساسیت چند جمعیت شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* (Lep.: Gelechiidae) به حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و تأثیر سه سینرژیست بر کشندگی آن. *علوم سبزی‌ها*، ۱۷(۱)، ۱۵۴-۱۴۱.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

گوجه‌فرنگی، (*Solanum lycopersicum* L.) متعلق به خانواده Solanaceae است. این گیاه پس از سیب‌زمینی به یکی از پرمصرف‌ترین سبزی‌ها به‌خصوص در ایران تبدیل‌شده است، تولید جهانی گوجه‌فرنگی در سال ۲۰۲۲ تقریباً ۱۸۶ میلیون تن بوده است و ایران در این سال با تولید ۴/۲ میلیون تن گوجه‌فرنگی در جایگاه هفتم جهان قرار داشته است (Faostat, 2023; Fatemi *et al.*, 2018; Gerszberg *et al.*, 2015; Robertson et *al.*, 2017). این گیاه توسط آفات زیادی موردحمله قرار می‌گیرد (Ashtari *et al.*, 2020) که از آن جمله می‌توان شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) را نام برد. این آفت مهاجم از تهدیدهای اصلی برای کشت گوجه‌فرنگی در سراسر جهان است (Biondi *et al.*, 2018; Desneux *et al.*, 2010). این آفت از پرو منشأ گرفته است و در اواخر دهه ۲۰۰۰ به خارج از آمریکای جنوبی راه یافته است (Campos *et al.*, 2017). این‌گونه در حال حاضر محصولات گوجه‌فرنگی را در کارائیب، آفریقا، اروپا و آسیا آلوده می‌کند (Caparros Megido *et al.*, 2013; Desneux *et al.*, 2010; González-Cabrera *et al.*, 2011).

لاروهای این آفت وارد بخش مزوفیل اندام‌هایی هوایی گیاه شده و نهایتاً برگ‌ها، ساقه‌ها، جوانه‌های اصلی و گل‌ها را آلوده کرده و خسارت سنگینی وارد می‌کنند (Biondi *et al.*, 2018; Desneux *et al.*, 2011; Mansour *et al.*, 2018; Verheggen & Fontus, 2019) . همچنین لاروها به میوه‌های گوجه‌فرنگی حمله می‌کنند و باعث کاهش تولید محصول می‌شوند (Desneux *et al.*, 2010; Guedes & Picanço, 2012). استفاده بی‌رویه از حشره‌کش‌ها برای کنترل این آفت کارایی آن‌ها را کاهش داده‌است و این موضوع باعث افزایش تعداد و دز مصرف حشره‌کش‌ها شده‌است (Biondi *et al.*, 2018).

مقاومت به اکثر حشره‌کش‌ها هم در آمریکای جنوبی و اروپا وهم در آسیا گزارش‌شده است. پیشرفت مقاومت بسیار سریع بوده است و علت این افزایش مقاومت به تغییر حساسیت محل هدف و افزایش سم‌زدایی برمی‌گردد. برنامه‌های کنترل یکپارچه و استراتژی‌های مدیریت مقاومت بخشی از فعالیت‌های لازم برای نگه‌داشتن آفت زیر سطح زیان اقتصادی است (Guedes *et al.*, 2019). در آسیا مانند اروپا، کنترل شیمیایی اولین انتخاب برای جلوگیری از گسترش این آفت است (Biondi *et al.*, 2018). در ایران، شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی برای نخستین بار در سال ۱۳۸۹ از استان آذربایجان غربی گزارش شد و به‌تدریج در استان‌های غربی و جنوب‌غربی کشور گسترش یافت. این آفت هم‌اکنون در بیش‌تر مناطق زیر کشت گوجه‌فرنگی در کشور وجود دارد و به‌عنوان مشکل اصلی برای تولید گوجه‌فرنگی در این مناطق به‌حساب می‌آید (Baniameri & Cheraghian, 2012) و مقاومت بالایی در برابر حشره‌کش‌های ارگانوفسفره و پیرتروئید در ایران برای این آفت گزارش‌شده است (Zibaee *et al.*, 2018). علاوه بر آن مقاومت به آبامکتین و دیازینون نیز در ایران گزارش‌شده‌است (Azizi & Khajehali, 2022; Barati, Hejazi, & Mohammadi, 2018). هرچند نتایج آزمایشگاهی بروز مقاومت این حشره به برخی حشره‌کش‌ها را نشان داده‌است اما هنوز گزارش علمی دقیقی از شکست مبارزه علیه این آفت با حشره‌کش‌ها در گلخانه‌ها و مزارع در ایران گزارش نشده است. بااین‌حال، این بدان معنی نیست که کنترل شیمیایی در آینده برای این شب‌پره مؤثر خواهد ماند زیرا اخیراً شاهد افزایش مقاومت این شب‌پره به بسیاری از حشره‌کش‌ها بوده‌ایم (Roditakis *et al.*, 2018). علاوه بر آن حساسیت این آفت و برخی دشمنان طبیعی آن به حشره‌کش‌های رایج مورد استفاده برای مبارزه ارزیابی شده‌است (Ashtari *et al*, 2020). از جمله این حشره‌کش‌ها تیوسیکلام یا تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (Thiocyclam Hydrogen Oxalate SP 50%) می‌باشد که جزء حشره‌کش‌های گروه نرئیس (Nereistoxin) محسوب

می‌شود. نرئیس‌ها اولین بار از بدن کرم دریازی *Lumriconereis heteropoda* (Polychaeta: Eunicidae) استخراج شدند. تیوسیکلام برای کنترل آفاتی نظیر لارو بالپولکداران و سخت بالپوشان توصیه می‌شود و سمیت آن برای انسان و جانوران خونگرم نسبتاً زیاد است. در بالپولکداران مثل شب‌پره پشت الماسی سطوح بالایی از مقاومت به تیوسیکلام ۴۲/۲۴ برابر مشاهده شد (Diab, 2011). نرئیس‌ها مهارکننده کانال یونی گیرنده نیکوتینیک استیل کولین (nAChR) می‌باشند (Guedes *et al.*, 2019). اولین گزارش مقاومت به کارتاب که از گروه نرئیس‌ها می‌باشد بر روی *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) گزارش شده‌است (Luogen *et al.*, 1999) و پس‌ازآن توسط Siqueira و همکاران (۲۰۰۰) بر روی مینوز گوجه‌فرنگی، از برزیل گزارش شد. پاپیرونیل بوتوکساید مؤثرترین تشدید کننده آن بوده است. افزایش فعالیت آنزیم مونوکسیژنازهای وابسته به سیتوکروم P_{450} به‌عنوان یک مکانیسم مقاومت در جمعیت‌های *T. absoluta* محسوب می‌شوند. گلوتاتیون اس ترانسفرازها و استرازها نقش ثانویه در مقاومت جمعیت‌های برزیلی *T. absoluta* بازی می‌کنند (Siqueira *et al.*, 2001; Siqueira *et al.*, 2000). مقاومت به تیوسیکلام در سایر حشرات نیز مشاهده‌شده است برای مثال مقاومت چندگانه بین چند گروه مختلف حشره‌کش در حشره *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) (Hemiptera: Pseudococcidae) گزارش‌شده‌است (Ahmad & Akhtar, 2016). علاوه بر آن مقاومت به تیوسیکلام و کارتاپ در شب‌پره پشت الماسی *P. xylostella* گزارش‌شده است (Liu *et al.*, 1982; Ninsin, 2015).

هدف از این مطالعه بررسی حساسیت جمعیت‌های شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی در برخی گلخانه‌های گوجه‌فرنگی کشور به تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و بررسی احتمال بروز مقاومت شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی به این حشره‌کش در ایران هست. تأثیر تشدید کننده‌های پاپرونیل بوتوکساید PBO (مهارکننده‌ی منواکسیژنازها)، دی اتیل مالئات DEM (مهارکننده گلوتاتیون اس ترانسفراز) و تری فنیل فسفات TPP (مهارکننده‌ی کربوکسیل استرازها) در کاهش مقاومت به حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات نیز بررسی شد. این مطالعه می‌تواند در طراحی یک استراتژی مدیریتی مفید و مؤثر علیه شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی و مدیریت مقاومت به حشره‌کش‌های توصیه‌شده به این آفت کمک کند. تاکنون بررسی جامعی بر احتمال بروز مقاومت جمعیت‌های این آفت در ایران به حشره‌کش تیوسیکلام انجام نگرفته است و این تحقیق می‌تواند نتایج ارزشمندی برای مدیریت مقاومت به این آفت برای ما ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و پرورش شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی

احتمال مقاومت در جمعیتی که تحت‌فشار سم‌پاشی قرار داشته باشد، بالاست؛ بنابراین برای جمعیت‌های مختلف، از چند گلخانه از مناطقی از ایران (طبق جدول شماره ۱) که با بررسی سابقه مصرف حشره‌کش در این گلخانه‌ها استفاده از تیوسیکلام هیدرژن اکسالات علیه شب‌پره *T. absoluta* دارند و امکان دسترسی به آن‌ها بود جمع‌آوری شد. برگ‌های حاوی لارو آفت به آزمایشگاه انتقال داده شد و تا ظهور بالغین در جعبه‌ای نگهداری شدند. بالغین در قفس‌های حاوی گیاه گوجه‌فرنگی سالم رهاسازی شده و اجازه داده شد تا تخم‌گذاری کنند. با ظهور لاروهای سن دوم، آزمایش‌های زیست‌سنجی با حشره‌کش یا همراه با پیش تیمار تشدید کننده‌ها انجام شد. در آزمایش‌های زیست‌سنجی جمعیتی که پایین‌ترین LC_{50} را داشت به‌عنوان جمعیت حساس انتخاب شد. حشرات در سال ۲۰۲۰ جمع‌آوری و در آزمایشگاه محقق اردبیلی مورد آزمایش قرارگرفته‌اند. آزمایشات روی نسل دوم جمعیت‌های *T. absoluta* انجام گرفت. برای تعیین

غلطت سم ابتدا آزمایشات مقدماتی انجام شد و ۵ غلظت از حشره‌کش با مرگ‌ومیر بین ۲۰ تا ۸۰ درصد انتخاب شد به این منظور آزمون‌های اولیه برای تعیین دامنه غلظت حشره‌کش‌های مصرفی انجام شد. این آزمون با یک تکرار، پنج غلظت متفاوت و یک شاهد انجام شد. سپس آزمایش اصلی تعیین غلظت انجام شد و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش مقدماتی، آزمایش اصلی با ۵ غلظت از حشره‌کش در محدوده‌ی مرگ‌ومیر بیست‌تا هشتاد درصد به همراه تیمار شاهد، انجام شد این محدوده برای حشره‌کش تیوسیکلام از ۲۰ تا ۲۰۰ پی پی ام بود. فاصله غلظت‌ها به‌صورت لگاریتمی و با رابطه (۱) مشخص شد. هر غلظت از پنج تکرار و در هر تکرار ۱۰ لارو سن دو استفاده شد.

رابطه (۱)

$$d = \frac{logup - logdown}{n - 1}$$

در این رابطه d فاصله لگاریتمی، up غلظت حداکثر، down غلظت حداقل و n تعداد غلظت‌های سم بدون در نظر گرفتن شاهد می‌باشد. برای هر جمعیت به‌صورت جداگانه از ۵ غلظت و از آب مقطر به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شد.

جدول ۱- جمعیت‌های شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی جمع‌آوری‌شده از گلخانه‌های گوجه‌فرنگی برخی مناطق ایران

Table 1- Populations of *T. absoluta* collected from tomato greenhouses in some Iranian provinces

Sample	یاسوج Yasouj	کرمان Kerman	یزد Yazd	اردبیل ۲ Ardabil2	بوشکان Bushkan	اصفهان Esfahan	اردبیل ۱ Ardabil	بروجن Borojen
موقعیت جغرافیایی Location	30°39'08.03"N 51°35'21.94"E	28°27'13"N 56°20'54"E	31°55'4.34"N 54°16'53.84"E	38°12'41"N 48°17'37"E	28°49'27.77"N 51°42'7.59"E	32°34'04"N 53°34'51E	38°16'35.23"N 48°14'35.76"E	31°59'35.27"N5 51°12'30.00"E

آزمایش‌های زیست‌سنجی

حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات Evisect ® (Thiocyclam hydrogen oxalate) (50%WP) ساخت شرکت نیپون کایاکو ژاپن واردات شرکت بازگان کالا، است. آزمایش‌های زیست‌سنجی طبق روش IRAC شماره ۲۲ انجام شد (Roditakis *et al.*, 2013). در این آزمایش برگ‌ها به مدت ۱۰ ثانیه در غلظت‌های موردنظر حشره‌کش غوطه‌ور شدند و پس از خشک شدن برگ‌ها لاروهای سن ۲ روی برگ قرار گرفتند و آزمایش‌ها تحت شرایط دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۸:۱۶ ساعت (تاریکی: روشنایی) انجام گرفتند و مرگ‌ومیر پس از ۲۴ ساعت بررسی و ثبت شد. پنج غلظت، پنج تکرار و در هر تکرار حداقل از ۱۰ عدد لارو سن ۲ هم‌سن استفاده شد و پس از انجام چند آزمایش زیست‌سنجی مقدماتی برای هر حشره‌کش، LC_{50} آن‌ها محاسبه شد.

سنجش تشدید کننده‌ها

در این آزمایش لاروهای سن ۲ از جمعیت‌ها انتخاب شد. چند تشدید کننده (تشدیدکننده) مثل پاپرونیل بوتوکساید PBO(مهارکننده‌ی منواکسیژنازها) Piperonyl butoxide، دی اتیل مالئات DEM (مهارکننده گلوتاتیون اس ترانسفراز) و تری فنیل فسفات (مهارکننده‌ی کربوکسیل استرازها) TPP (Triphenyl phosphate) استفاده شد.

تعیین غلظت مناسب تشدید کننده‌ها

ابتدا مرگ‌ومیر حاصل از غلظت‌های مختلف هریک از تشدید کننده‌ها تعیین گردید. مناسب‌ترین غلظت در استفاده از تشدید کننده‌ها استفاده از بالاترین غلظتی است که مرگ‌ومیر حدود ۱۵-۱۰ درصد در مینوز برگ گوجه‌فرنگی ایجاد کند. غلظت‌های 1000 ppm برای

TPP و ppm 200 برای DEM و PBO تهیه گردید و برای ساخت این غلظت‌ها ابتدا از با مقدار کمی استون (۲ میلی‌لیتر) حل‌شده و سپس با آب به غلظت موردنظر می‌رسد.

سطح برگ با تشدید کننده رقیق‌شده، خیسانده شد و پس از خشک شدن سطح برگ، لاروهای سن ۲ به مدت ۲ ساعت قبل از تیمار با حشره‌کش، در معرض تشدیدکننده‌ی موردنظر قرار گرفتند. برای شاهد به‌جای تشدید کننده تنها از آب مقطر و استون استفاده شد. سپس برگ‌های هم‌اندازه انتخاب شدند و در محلول تیوسیکلام هیدروژن اکسالات با غلظت آزمایش زیست‌سنجی به مدت ۳۰ ثانیه غوطه‌ور شدند. پس از خشک شدن برگ‌ها، لاروهای سن ۲ تیمار شده با تشدید کننده‌ها روی برگ قرار داده شدند و تلفات بعد از گذشت ۲۴ ساعت ثبت شد. طبق روش (Azizi & Khajehali, 2022; Roditakis *et al.*, 2017). در این آزمایش تعداد لاروها در هر تکرار ۱۰ عدد و ۵ تکرار در نظر گرفته شد.

تجزیه‌ی داده‌ها

برای محاسبه‌ی مقادیر غلظت‌های کشنده LC_{50} از رگرسیون پرو بیت نرم‌افزار Polo Plus استفاده شد. مقایسه‌ی مقادیر LC_{50} حشره‌کش‌های مختلف با استفاده از روش محاسبه‌ی حدود اطمینان نسبت دوزهای کشنده انجام گرفت.

LC_{50} هر جمعیت بدون استفاده از تشدید کننده را بر LC_{50} جمعیت‌های تیمار شده با تشدید کننده تقسیم کرده و نسبت تشدید کنندهی محاسبه شد (Robertson *et al.*, 2017).

رابطه (۲)

$$SR=\frac{LC_{50}\ (\text{بدون تشدید کننده})}{LC_{50}\ (\text{به‌همراه تشدید کننده})}$$

میزان مقاومت در جمعیت‌های مقاوم نسبت به جمعیت حساس (مرجع)، با پارامتر نسبت مقاومت محاسبه می‌شود. بدین منظور پس از تعیین LC_{50} جمعیت‌ها، برای بررسی تعیین نسبت مقاومت، LC_{50} جمعیت‌ها به جمعیتی که دارای کمترین میزان LC_{50} بود، تقسیم شد و نتایج مورد مقایسه قرار گرفت (Robertson *et al.*, 2017).

رابطه (۳)

$$RR=\frac{LC_{50}\ (\text{هر جمعیت})}{LC_{50}\ (\text{جمعیت حساس})}$$

نتایج و بحث

نتایج زیست‌سنجی

نتایج حاصل از زیست‌سنجی حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات روی جمعیت‌های مختلف *T. absoluta* به روش غوطه‌وری دیسک برگی روی لاروهای سن ۲ در جدول ۲ نشان داده‌شده است با توجه به این نتایج سطوح مختلفی از حساسیت در بین جمعیت‌ها دیده می‌شود. جمعیت اردبیل با نسبت مقاومت ۳/۶۷ و مقدار LC_{50} ۲۷۵/۱۲ میلی‌گرم بر لیتر و شیب‌خط ۱/۶۲ مقاوم‌ترین جمعیت و جمعیت یاسوج با مقدار LC_{50} ۸۲/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر حساس‌ترین جمعیت نشان داد. جمعیت یاسوج بالاترین شیب‌خط دز- پاسخ را نشان داد و درنتیجه این حشره‌کش روی جمعیت یاسوج در کوتاه‌ترین زمان نسبت به سایر جمعیت‌ها اثر گذاشته است. می‌توان نتیجه گرفت مقاومت کمتری در این جمعیت به این ترکیب ایجاد می‌نماید و بروز سمیت در این جمعیت در دز پایین‌تری صورت می‌گیرد (جدول ۲ و شکل شماره ۱).

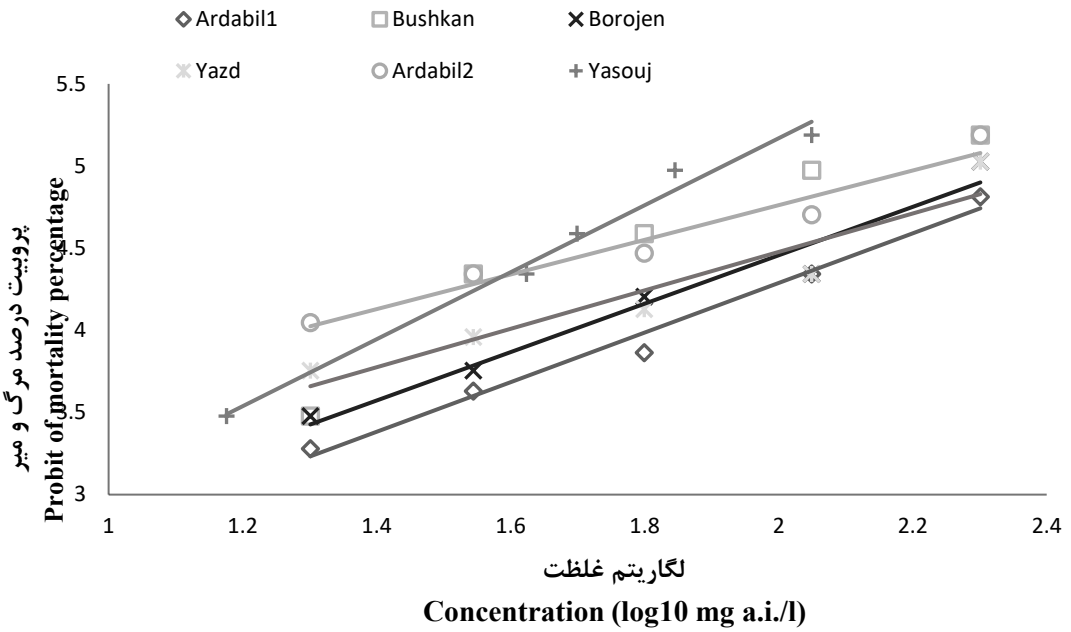
جدول ۲- برآورد غلظت کشنده ۵۰ درصد (LC_{50})، با محدوده اطمینان ۹۵ درصد و پارامترهای خطوط پاسخ لارو سن ۲ جمعیت‌های مختلف شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی به حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات

Table 2- Lethal Concentration 50 %(LC50), 95% [d] CI Confidence interval, and parameters of the response lines of larvae (second instar) of different populations of *T. absolua* to the insecticide thiocyclam hydrogen oxalate.

جمعیت Population	پنجاه‌درصد غلظت کشنده (میلی‌گرم بر لیتر) حدود اطمینان ۹۵ درصد LC_{50}±SE	۳۰ درصد غلظت کشنده (میلی‌گرم بر لیتر) حدود اطمینان ۹۵ درصد LC_{30}	۹۰ درصد غلظت کشنده (میلی‌گرم بر لیتر) حدود اطمینان ۹۵ درصد LC_{90}	(RR) نسبت مقاومت حدود اطمینان ۹۵ درصد RR±SE	شیب‌خط±SE Slop±SE	کای اسکور Chi-square	تعداد Number	سطح معناداری درجه آزادی *Pvalue* df
اردبیل Ardabil	275.12(179.67±817.39)	130.49(94.05- 211.69)	1703.060(642.92- 30173.30)	3.65 (1.846- 7.224)	1.62±0.42	0.29	250	0.004
یاسوج Yasouj	82.75(66.45-118.26)	45.235 (32.51 - 56.13)	362.02 (206.71- 1348.39)	1	1.99±0.42	0.69	250	0.004
بروجن Borojen	223.29(152.44-510.01)	102.57 (73.64- 149.50)	494.66(607.811 - 15189.670)	2.70 (1.521- 4.788)	1.55±0.36	1.23	250	0.004
یزد Yazd	252.27(157.48-819.60)	98.38(66.87 - 157.65)	2519.280 (789.35 - 74519.42)	2.70(1.52-4.79)	1.28±0.33	2.14	250	00.04
بوشکان Bushkan	128.65(95.03-207.18)	56.13(37.685 -75.173)	976.83(464.64 - 4839.1)	3.05(1.50-6.19)	1.46±0.28	1.93	250	0.0174
کرمان Kerman	135.03(95.05-250.69)	51.205 (31.13 - 71.55)	1444.05(568.68 - 13735.19)	1.71(1.05-2.80)	1.24±0.27	2.59	250	0.0074
اصفهان Esfahan	91.31(64.68-158.71)	35.47 (22.28- 49.488)	920.34 (389.725 - 6143.827)	1.63(0.99-2.69)	1.28±0.25	2.64	250	0.0044

نسبت مقاومت:LC_{50} جمعیت دارای بیشترین LC_{50} تقسیم بر جمعیت دارای کمترین LC_{50} (جمعیت حساس، جمعیت یاسوج می‌باشد)

RR: resistance ratio (LC_{50} resistant/LC_{50} susceptible)



شکل ۱- نمودار لگاریتم دز و پروبیت درصد پاسخ در جمعیت‌های مختلف شب پره مینوز گوجه‌فرنگی در برخی گلخانه های ایران (جمعیتی که بالاترین شیب‌خط دز- پاسخ را نشان دهد. مقاومت کمتری نسبت به سایر جمعیت‌ها به حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات نشان می‌دهد)

Figure 1- Diagram of logarithm dose and response percentage in some *T. absoluta* populations in greenhouses of Iran (The population that shows the highest slope of the dose-response line. It shows less resistance than other populations to the insecticide thiocyclam hydrogen oxalate)

اثر تشدید کننده بر حساسیت جمعیت‌های مقاوم و حساس به حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات

تشدید کننده‌های PBO، DEM و TPP به همراه حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات بکار برده شدند که نتایج حاصل از آن در جدول ۳ نشان داده‌شده است. نتایج نشان داد که به‌طورکلی تشدید کننده‌های PBO بیشترین کاهش LC_{50} را طبق جدول ۳ در اکثر جمعیت‌های *T. absoluta* موجب شد. علاوه بر آن در جمعیت اردبیل که بیشترین نسبت مقاومت را نشان داده بود مقادیر PBO، DEM و TPP به ترتیب نسبت تشدید کنندهی معادل ۱/۹۵، ۱/۸۳ و ۱/۷۶ برابر و شیب خط حدود ۲/۰۵، ۲/۰۱ و ۱/۶۶ را در شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی ایجاد نمودند. بیشترین نسبت سینرزیستی و شیب خط دز- پاسخ مربوط به تشدید کننده PBO بود که LC_{50} را در جمعیت اردبیل از ۲۷۵/۱۲ میلی‌گرم بر لیتر (حشره‌کش بدون تشدید کننده) به حدود ۱۴۱/۱۸ میلی‌گرم بر لیتر معادل ۱/۹۵ برابر کاهش داد و با توجه به شیب بالاتر آن با افزایش غلظت تشدید کننده در زمان کمتری مرگ‌ومیر بیشتری داشته است و در جمعیت یزد هم این تشدید کننده کاهش حدود دو برابری نشان داد و LC_{50} را از ۲۵۲/۲۷ به ۱۰۲/۱۵ شیب خط دز- پاسخ در این جمعیت حدود ۱/۴۷ بود.

نتایج زیست‌سنجی‌ها روی لارو سن ۲ جمعیت‌های مختلف شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی LC_{50} های مختلفی را بین ۸۲/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۲۷۵/۱۲ میلی‌گرم بر لیتر برای حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات نشان داد. یکی از مهم‌ترین تحقیقات انجام‌شده بر روی حشره‌کش‌های نریستوکسین تحقیقات سیگوره (Siqueira) در سال ۲۰۰۰ بوده است و LC_{50} در جمعیت‌های مختلف متفاوت بود و مقاومت ۲۱ برابری در جمعیت‌های برزیلی گزارش شد (Siqueira *et al.*, 2000). در یک تحقیق مقاومت حدود ۱۴ تا ۱۳۱ برابری حشره *P. xylostella* به کارتاپ که از گروه

نریستوکسین‌هاست دیده شد که نسبت به تحقیق ما مقاومت بالایی بوده است که می‌تواند ناشی از تفاوت نوع گونه و روش متفاوت آزمایش‌ها و نوع آفت‌کش باشد (Ninsin, 2015). نسبت مقاومت در آزمایش‌های این تحقیق حدود ۲ برابر است اما غلظت کشنده ۵۰ درصد در جمعیت‌های ایرانی شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی بالاتر بوده است به نظر می‌رسد با توجه به منبع مشترک این آفت که از جنوب آمریکا منشأ گرفته است و به ایران نیز حمله کرده است (Biondi *et al.*, 2018) احتمالاً در طی مهاجرت جمعیت‌های مقاوم وارد ایران شده‌اند و کارایی حشره‌کش‌ها کاهش‌یافته است بااین‌حال این تفاوت در پاسخ به حشره‌کش در میان جمعیت‌های شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی که سطوح مختلفی از مقاومت را نشان می‌دهند، می‌تواند به دلیل تفاوت در الگوی استفاده از تیوسیکلام هیدروژن اکسالات در مکان‌های مختلف جمع‌آوری جمعیت‌ها باشد (Biondi *et al.*, 2018). سطوح مختلف مقاومت به این حشره‌کش نشان‌دهنده فشار انتخاب متفاوت در بین جمعیت‌ها، تنوع ژنتیکی در مکانیسم‌های مقاومت بین جمعیت‌ها یا هر دو است (Kerns & Gaylor, 1992). نتایج این تحقیق نشان‌دهنده اثر بیشتر تشدیدکننده‌ی پیپرونیل بوتاکسید می‌باشد و با نتایج سیگوره در سال ۲۰۰۰ روی کارتاپ هم‌خوانی دارند و آن‌ها نیز اثر ۲۱ برابری تشدید کننده پیپرونیل بوتاکسید و اثر آنزیم‌های مونوکسیژناز در بروز مقاومت در جمعیت‌های برزیلی شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی را اثبات کردند. بطور کلی نتایج کاهش بیشتری در میزان ۵۰ درصد کشندگی تیوسیکلام وقتی‌که این حشره‌کش همراه با تشدیدکننده PBO استفاده شد، نشان داد. درواقع بیشترین نسبت تشدید کنندهی مربوط به بازدارنده PBO بود. سیستم MFO انواع گوناگونی از واکنش‌های مربوط به آفت‌کش‌ها را کاتالیز می‌کند و نقش مهمی در متابولیسم حشره‌کش‌ها بازی می‌کند و PBO مهارکننده این گروه آنزیم‌ها است (Kotze & Sales, 1995). جمعیت اردبیل و یزد که نسبت مقاومت نسبتاً بالایی در مقایسه با سایر جمعیت‌های مورد مطالعه داشتند. تشدید کننده پیپرونیل بوتوکساید بالاترین کارایی را نشان داد که می‌تواند ناشی از اثر فعالیت بالاتر آنزیم‌های مونوکسیژناز در بروز مقاومت باشد فعالیت بالاتر آنزیم در جمعیت‌های ذکرشده می‌تواند ناشی از سابقه طولانی‌تر مصرف این حشره‌کش یا حشره‌کش‌های گوناگون در آن شهرها باشد با این‌حال در برخی جمعیت‌ها این موضوع صدق نمی‌کرد.

برای کاهش نسبت مقاومت حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات یا اویسکت در این جمعیت‌ها می‌توان از تشدیدکننده‌های PBO، TPP و DEM استفاده کرد بااین‌حال چون کاهش بیشتری در میزان ۵۰ درصد کشندگی آفت وقتی‌که حشره‌کش تیوسیکلام همراه با تشدیدکننده PBO استفاده شد، دیده‌شده است بنابراین می‌توان از این تشدید کننده‌ها و به‌خصوص PBO برای جلوگیری از بروز مقاومت همراه تیوسیکلام استفاده شود، بنابراین تشدید کننده می‌تواند در کاهش مقاومت با کاهش غلظت‌های مورداستفاده مؤثر باشد.

نتیجه‌گیری کلی

کنترل شیمیایی ابزار اصلی مبارزه با آفت مینوز گوجه‌فرنگی است. مدیریت مقاومت به حشره‌کش‌ها بر عدم استفاده از ترکیبات با مکانیسم‌های عمل یکسان تأکید دارد لذا شناخت مکانیسم مؤثر در بروز مقاومت به یک حشره‌کش بسیار مهم است تا از انتخاب حشره‌کش با مکانیسم مقاومت یکسان خودداری شود (Biondi *et al.*, 2018; Guedes & Picanço, 2012). نتایج تحقیق پیش رو نشان داد که مقاومت به حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات به نسبت پایین هست ازآنجایی‌که بالاترین دوز مشاهده‌شده در بین جمعیت‌ها ۲۵۲ میلی‌گرم بر لیتر بوده و دز توصیه‌شده مزرعه‌ای این آفت ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت این حشره‌کش و همچنان می‌توانند برای کنترل آفت مینوز گوجه‌فرنگی استفاده شوند. البته ذکر این نکته هم قابل‌توجه است که درصورتی‌که از جمعیت حساس استاندارد استفاده شود می‌تواند نتیجه‌گیری متفاوتی داشته باشد و پی

برد که جمعیت‌های گلخانه‌های ایران به تیوسیکلام هیدروژن اکسالات مقاومت نشان داده‌اند. بااین‌حال استفاده از این بایدحشره‌کش با فشار انتخابی کمتر و در یک برنامه تناوبی صحیح انجام شود. لذا نتایج این تحقیق و تحقیقات گذشته می‌تواند ما را در شناخت مکانیسم حشره‌کش تیوسیکلام و انتخاب یک برنامه تناوبی صحیح برای مبارزه با *T. absoluta* به‌خصوص در ایران هدایت کند.

جدول ۳. تأثیر تشدید کننده‌های مختلف بر سمیت حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات روی لارو سن *T. absoluta*

Table 4. The effect of synergists on the toxicity of thiocyclam hydrogen oxalate insecticide on the 2nd instar larvae of *T. absoluta*.

جمعیت Population	تشدید کننده Synergist	نسبت تشدید کننده (SR) حدود اطمینان ۹۵ درصد SR±SE	LC_{50} (میلی‌گرم بر لیتر) حدود اطمینان ۹۵ درصد LC_{50}±SE (mg a.i. L-1)	کلی اسکور Chi- Square	شیب‌خط±SE Slop±SE
اردبیل Ardabil1	No synergist	-	275.12 (179.68-817.39)	0.29	0.42±0.42
	PBO	1.95 (0.90-4.23)	141.18 (99.99-370.54)	0.84	2.05±0.58
	DEM	1.83 (0.82-04.08)	150.44 (104.09-436.03)	1.01	2.01±0.57
	TPP	1.76 (0.74-4.20)	156.05 (101.69-561.94)	0.03	1.66±0.47
اصفهان Esfahan	No synergist	-	91.31(64.68-158.71)	2.09	1.44±0.29
	PBO	1.34 (0.81-2.23)	59.14(44.13-99.35)	0.17	1.72±0.39
	DEM	1.09 (0.66-1.81)	72.84(53.69-116.09)	1.91	1.39±0.28
	TPP	1.11 (0.62-2.01-)	71.42(50.13-156.63)	1.17	1.53±0.39
یاسوج Yasouj	No synergist	-	82.75(66.4-118.26)	0.69	1.99±0.42
	PBO	1.21 (0.84-1.73)	68.60 (56.77-114.40)	0.60	2.81±0.87
	DEM	1.02 (0.71-1.46)	81.25 (65.54-114.80)	1.34	2.03±0.44
	TPP	0.92 (0.62-1.37)	89.88 (70.31-141.38)	0.76	1.84±0.42
بوشکان Bushkan	No synergist	-	128.65 (95.03-207.18)	1.93	1.45±0.28
	PBO	1.12 (0.67-1.88)	114.36 (83.29-186.31)	1.52	1.32±0.27
	DEM	1.13 (0.68-1.84)	114.35 (85.21-176.46)	1.52	1.44±0.28
	TPP	1.15 (0.70-1.87)	112.31 (83.70-172.60)	1.93	1.44±0.27
بروجن Borujen	No synergist	-	223.29 (152.44-510.01)	0.53	1.55±0.36
	PBO	1.94 (0.99-3.81)	115.04 (82.77-243.30)	0.42	1.77±0.44
	DEM	1.23 (3.13-0.49)	98.18 (109.30-129.61)	0.01	1.57±0.51
	TPP	1.47 (0.62-3.50)	223.29 (152.44-510.01)	0.53	1.55±0.36
کرمان Kerman	No synergist	-	135.03 (95.05-250.69)	2.59	1.24±0.27
	PBO	1.39 (0.75-2.59)	96.65 (68.79-204.55)	1.98	1.48±0.38
	DEM	1.25 (0.66-2.38)	107.51 (75.50-246.37)	1.28	1.52±0.40
	TPP	1.12 (0.77-2.00)	120.07 (86.82-201.64)	1.40	1.31±0.27
اردبیل ۲ Ardabil2	No synergist	-	166.24 (107.91-435.69)	0.90	1.07±0.27
	PBO	1.53 (3.31-0.70)	108...94 (74.31-292.20)	0.45	1.39±0.39
	DEM	1.41 (3.39-0.59)	117.68 (74.59-554.64)	0.32	1.17±0.38
	TPP	1.49 (0.71-3.15)	111.21 (77.99-258.05)	0.20	1.56±0.41
یزد Yazd	No synergist	-	252.27 (157.48-819.60)	2.14	1.28±0.33
	PBO	2.47 (1.10-5.55)	102.15 (71.76-233.97)	0.081	1.47±0.39
	DEM	1.69 (0.70-4.06)	149.08 (99.87-465.71)	0.18	1.74±0.49
	TPP	1.67 (0.64-04.36)	151.59 (93.86-773.75)	0.23	1.36±0.42

نسبت مقاومت:LC_{50} جمعیت دارای بیشترین LC_{50} تقسیم بر جمعیت دارای کمترین LC_{50} (یاسوج)، تعداد حشره در هر آزمایش ۲۵۰

Resistance ratio: LC_{50} of the population with the highest LC50 divided by the population with the lowest LC_{50} (Yasouj), the number of insects in each test is 250

SR (synergistic ratio): LC_{50} of insecticide alone/LC_{50} of insecticide with a synergist

Reference

Ahmad, M., & Akhtar, S. (2016). Development of resistance to insecticides in the invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Pakistan. *Crop Protection, 88*, 96-102. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.06.006

Ashtari, S., Sabahi, Q. & Talebi Jahromi, K. (2020). Survey of Parasitism Effect of Two Species of Trichogramma on Eggs of *Tuta absoluta* under the Effect of Pesticides. *Journal of Vegetables Sciences*, 4(1), 1-11. (In Farsi). https://doi.org/10.22034/iuvs.2020.125738.1094

Ashtari, S., Sabahi, Q. & Talebi Jahromi, K. (2020). Investigation of lethal effects of spirotetramat, citrowett oil, and their mixture against *Bemisia tabaci* on tomato in greenhouse conditions. *Journal of Vegetables Sciences*, 5(2), 105-119. (In Farsi). https://doi.org/10.22034/iuvs.2021.535823.1176

Azizi, M., & Khajehali, J. (2022). Evaluation of Resistance to Abamectin in the Populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), Collected from Isfahan Province, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology, 24*(2), 379-391 .

Baniameri, V., & Cheraghian ,A. (2012). The first report and control strategies of *Tuta absoluta* in Iran. *EPPO Bulletin, 42*(2), 322-324. https://doi.org/10.1111/epp.2577

Barati, R., Hejazi, M. J., & Mohammadi, S. A. (2018). Insecticide Susceptibility in *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) and Metabolic Characterization of Resistance to Diazinon. *Journal of Economic Entomology, 111*(4), 1551-1557. https://doi.org/10.1093/jee/toy134

Biondi, A., Guedes, R. N. C., Wan, F.-H., & Desneux, N. (2018). Ecology, Worldwide Spread, and Management of the Invasive South American Tomato Pinworm, *Tuta absoluta*: Past, Present, and Future. *Annual Review of Entomology, 63*(1), 239-258. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-034933

Campos, M. R., Biondi, A., Adiga, A., Guedes, R. N. C., & Desneux, N. (2017). From the Western Palaearctic region to beyond: *Tuta absoluta* 10 years after invading Europe. *Journal of Pest Science, 90*(3), 787-796. https://doi.org/10.1007/s10340-017-0867-7

Caparros Megido, R., Haubruge, E., & Verheggen, F. (2013). Pheromone-based management strategies to control the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). A review. [Synthèse bibliographique : les stratégies de lutte phéromonale utilisées pour contrôler la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae).]. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 17*(3), 475 .

Desneux, N., Luna, M. G., 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*(4), 403-408. https://doi.org/10.1007/s10340-011-0398-6

Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K. A. G., Burgio, G., Arpaia, S., Narváez-Vasquez, C. A., Frandon, J. (2010). Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science, 83*(3), 197-215 .

Diab, H. S. T. (2011). Resistance categories of Kalubia and Menufia diamondback moth strains to some insecticides. *Journal of Plant Protection and Pathology, 2*(10), 835-843. https://doi.org/10.21608/jppp.2011.86608

FAO. 2023. FAO Statistical Yearbook 2023: World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. [Online] Available at.

https://openknowledge.fao.org/bitstreams/28cfd24e-81a9-4ebc-b2b5-4095fe5b1dab/download

Fatemi, M., Azadi, H., Rafiaani, P., Taheri, F., Dubois, T., Van Passel ,S., & Witlox, F. (2018). Effects of supply chain management on tomato export in Iran: application of structural equation modeling. *Journal of food products marketing, 24*(2), 177-195. https://doi.org/10.1080/10454446.2017.1266552

Gerszberg, A., Hnatuszko-Konka, K., Kowalczyk, T., & Kononowicz, A. K. (2015) .Tomato (Solanum lycopersicum L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 120*(3), 881-902. https://doi.org/10.1007/s11240-014-0664-4

González-Cabrera, J., Mollá, O., Montón, H., & Urbaneja, A. (2011). Efficacy of *Bacillus thuringiensis* (Berliner) in controlling the tomato borer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *BioControl, 56*(1), 71-80. https://doi.org/10.1007/s10526-010-9310-1

Guedes, R. N. C., & Picanço, M. C. (2012). The tomato borer *Tuta absoluta* in South America: pest status, management and insecticide resistance. *EPPO Bulletin, 42*(2), 211-216. https://doi.org/10.1111/epp.2557

Guedes, R. N. C., Roditakis, E., Campos, M. R., Haddi, K., Bielza, P., Siqueira, H. A. A., & Nauen, R. (2019). Insecticide resistance in the tomato pinworm *Tuta absoluta*: patterns, spread, mechanisms, management and outlook. *Journal of Pest Science, 92*(4), 1329-1342. https://doi.org/10.1007/s10340-019-01086-9

Kerns, D. L., & Gaylor, M. J. (1992). Insecticide resistance in field populations of the cotton aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology, 85*(1), 1-8 https://doi.org/10.1093/jee/85.1.1

Kotze, A. C., & Sales, N. (1995). Elevated In Vitro Monooxygenase Activity Associated with Insecticide Resistance in Field-Strain Larvae of the Australian Sheep Blowfly (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Economic Entomology, 88*(4), 782-787. https://doi.org/10.1093/jee/88.4.782

Liu, M.-Y., Tzeng, Y.-J., & Sun, C.-N. (1982). Insecticide Resistance in the Diamondback Moth1. *Journal of Economic Entomology, 75*(1), 153-155.

Luogen, C., Fengliang, L., Zhihao, C., & Yinchang, W. (1999). Genetic analysis of cartap resistance in diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Kun Chong xue bao. Acta Entomologica Sinica, 42*(1), 12-18 .

Mansour, R., Brévault, T., Chailleux, A., Cherif, A., Grissa-Lebdi, K., Haddi, K., . . . Sylla, S. (2018). Occurrence, biology, natural enemies, and management of *Tuta absoluta* in Africa. *Entomologia Generalis, 38*(2), 83-112 . https://doi.org/10.1127/entomologia/2018/0749

Ninsin, K. D. (2015). Cross-resistance assessment in cartap-and esfenvalerate-selected strains of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.)(Lepidoptera: Plutellidae). *West African Journal of Applied Ecology, 23*(2), 1-6 .

Robertson, J. L., Jones, M. M., Olguin, E., & Alberts, B. (2017). Bioassays with arthropods(3rd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315373775

Roditakis, E., Mavridis, K., Riga, M., Vasakis, E., Morou, E., Rison, J. L., & Vontas, J. (2017). Identification and detection of indoxacarb resistance mutations in the para sodium channel of the tomato leafminer, *Tuta absoluta*. *Pest Management Science, 73*(8), 1679-1688. https://doi.org/10.1002/ps.4513

Roditakis, E., Skarmoutsou, C., & Staurakaki, M. (2013). Toxicity of insecticides to populations of tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) from Greece. *Pest Manag Sci, 69*(7), 834-840. https://doi.org/10.1002/ps.3442

Roditakis, E., Vasakis, E., García-Vidal, L., del Rosario Martínez-Aguirre, M., Rison, J. L., Haxaire-Lutun, M. O., . . . Bielza, P. (2018). A four-year survey on insecticide resistance and likelihood of chemical control failure for tomato leaf miner *Tuta absoluta* in the European/Asian region. *Journal of Pest Science, 91*(1), 421-435. https://doi.org/10.1007/s10340-017-0900-x

Siqueira, H. A. A., Guedes, R. N. C., Fragoso, D. B., & Magalhaes, L. C. (2001). Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick)

(Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Pest Management, 47*(4), 247-251. https://doi.org/10.1080/09670870110044634

Siqueira, H. A. A., Guedes, R. N. C., & Picanço, M. C. (2000). Cartap resistance and synergism in populations of *Tuta absoluta* (Lep., Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology, 124*(5-6), 233-238. https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2000.00470.x

Verheggen, F., & Fontus, R. B. (2019). First record of *Tuta absoluta* in Haiti. *Entomologia Generalis, 38*(4), 349-353 . https://doi.org/10.1127/entomologia/2019/0778

Zibaee, I., Mahmood, K., Esmaeily, M., Bandani, A. R., & Kristensen, M. (2018). Organophosphate and pyrethroid resistance in the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) from Iran. Journal of *Applied Entomology*, 142(1-2), 181-191. https://doi.org/10.1111/jen.12425