

اثرات کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش گیاهی تنداکسیر[®] Tondexir و حشره‌کش شیمیایی ایندوکساکارب[®] Avaunt روی شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی (Lep.: Gelechiidae) *Tuta absoluta* Meyrick

مهدی کیبری رئیس‌آباد^{*۱}

۱- * نویسنده مسوول: دانشجوی دکتری حشره‌شناسی، گروه گیاهپزشکی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (kabiri_mahdi88@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۵

چکیده

شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* Meyrick آفت مهم و کلیدی گوجه‌فرنگی می‌باشد. در بررسی حاضر ابتدا اثرات کشندگی حشره‌کش گیاهی تنداکسیر[®] (Tondexir) و حشره‌کش شیمیایی ایندوکساکارب[®] (Avaunt) روی تخم این آفت مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایش دیگری اثرات غلظت زیرکشنده (LC₃₀) دو ترکیب ذکر شده روی پارامترهای جدول زندگی این آفت بررسی شد. از دستگاه برج پاشش (Potter tower) برای زیست سنجی‌ها استفاده شد. همچنین به منظور بررسی تاثیر ترکیبات ذکر شده در شرایط مزرعه‌ای، آزمایشی با سه تیمار و چهار تکرار در قالب طرح بلوک کامل تصادفی طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. در شرایط آزمایشگاهی حشره‌کش تنداکسیر سمیت بالاتری نسبت به ایندوکساکارب برای تخم *T. absoluta* داشت. میزان LC₅₀ ترکیبات ذکر شده به ترتیب ۸۳۷/۹ پی‌پی‌ام و ۱۱۳۹/۱ پی‌پی‌ام برآورد شد. غلظت زیرکشنده ترکیبات ذکر شده به طور معنی‌داری آماره‌های جدول زندگی این آفت را تحت تاثیر قرار دادند. طول دوره‌های جنینی، لاروی، شفیرگی و طول کل دوره پیش از تخم‌گذاری (TPOP) در تیمار تنداکسیر به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار شاهد بود. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) در تیمار حشره‌کش‌ها به طور معنی‌داری پایین‌تر از تیمار شاهد بود ($P < 0.05$). کمترین میزان نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) (۱/۱۰۵ بر روز) و طولانی‌ترین طول دوره یک نسل (T) (۳۹/۳۶ روز) در تیمار تنداکسیر مشاهده شد. در شرایط مزرعه‌ای دوام اثر حشره‌کشی تنداکسیر بالاتر از ایندوکساکارب بود، چنانچه در نمونه‌برداریهای بیست‌ویک روز پس از تیمار، درصد تلفات ایجاد شده در تخم و لارو مینوز گوجه‌فرنگی در قطعات تیمار شده با این حشره‌کش به طور معنی‌داری بالاتر از قطعات تیمار شده با ایندوکساکارب بود. نتایج به طور کلی نشان داد حشره‌کش گیاهی تنداکسیر اثرات کشندگی و زیرکشندگی بالایی برای مینوز گوجه‌فرنگی دارد و می‌تواند به عنوان یکی از گزینه‌های احتمالی در برنامه مدیریت تلفیقی این آفت (IPM) مطرح باشد.

کلیدواژه‌ها: *Tuta absoluta* تنداکسیر، ایندوکساکارب، جدول زندگی، دوام اثر حشره‌کشی، زیست‌سنجی

مقدمه

این گیاه یکی از مهمترین و سودآورترین محصولات صیفی است که به دلیل ارزش غذایی بالا در بسیاری از مناطق جهان کشت می‌شود (Bhatia et al., 2004). طی

گوجه‌فرنگی *Lycopersicon esculentum* Miller گیاهی متعلق به راسته‌ی دولپه‌ای‌ها و تیره‌ی سولاناسه^۱ است.

دموگرافیک یا آزمایش‌های ارزیابی سموم روی جدول زندگی حشرات ابزار مهمی برای تجزیه و تحلیل تاریخچه کامل زندگی حشرات با استفاده از آماره‌های جدول زندگی، پارامترهای مرگ‌ومیر و طول عمر است (De Franca et al., 2017). این روش سم‌شناسی به دلیل فراهم نمودن تصویر جامعی از تاریخچه زندگی یک حشره، اطلاعات دقیقی‌تری برای مطالعه تاثیر کلی یک ترکیب سمی روی جمعیت حشره در معرض قرار گرفته را فراهم می‌کند (Stark and Wennergren, 1995). چراکه برخی اثرات سمی در افراد زنده مانده‌ای که در معرض غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها قرار گرفته‌اند پس از رسیدن به سن بلوغ نمایان می‌شوند (Kakde et al., 2014). این اثرات سمی شامل حساسیت پایین نرها نسبت به فرمونهای جنسی ماده‌ها (Holscher and Barrett, 2003)، اختلال در تولید مثل (Myers and Hull, 2003)، تفریح تخم (Stark et al., 1992)، دوره پیش از بلوغ و جهش در نتاج (Stark and Banks, 2003)، کاهش طول عمر (Stark and Rangus 1994; Ahmad et al., 2015)، زادآوری (Liu and Trumble, 2005) و باروری (Ahmad et al., 2013b) می‌باشند.

ایندوکساکارب^۱ حشره‌کشی از گروه آگزاویازین‌ها است که اثرات کشندگی بالایی روی آفات برگخوار سبزیجات، درختان میوه، پنبه، غلات و ذرت دارد. یکی از ویژگیهای کلیدی این ترکیب نحوه اثر آن است که باعث بلوکه شدن کانال سدیم می‌شود (Wing et al., 2000). حشره‌کش تنداکسیر ترکیب طبیعی بر پایه عصاره فلفل است که در بررسی‌های قبلی کارایی خود را برای کنترل *Phylocnistis citrella* Stainton (Amiri-Besheli, 2009) و *Tetranychus urticae* Koch (Kabiri و Raiesabad and Zaree, 2017) نشان داده است.

فصل رشد، این گیاه مورد حمله آفات مختلفی قرار می‌گیرد که مینوز گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) یکی از مهمترین آفات این محصول است (Tumuhaise et al., 2016). این آفت توانایی فیزیولوژیکی بالایی برای سازگاری و بقا در شرایط نامساعد محیطی از جمله هوای سرد و مناطق گرم حاره‌ای دارد. خسارت مربوط به لاروهای آفت است که از بافت‌های نرم گیاه از قبیل برگ‌ها، میوه‌ها و قسمت‌های هوایی بوته‌ها در تمامی مراحل رشدی گیاه تغذیه می‌کنند. میزان خسارت ناشی از این آفت گاهی به ۸۰-۱۰۰ درصد نیز می‌رسد (Desneux et al., 2010).

روش‌های رایج مورد استفاده برای کنترل این آفت بیشتر بر پایه استفاده از ترکیبات شیمیایی می‌باشد. کشاورزان از طیف وسیعی از حشره‌کشهای ثبت شده در طول فصل زراعی برای کنترل این آفت استفاده می‌کنند اما اغلب موارد به دلایل تداخل نسل، چندین مرتبه تکرار سمپاشی نیاز است. استفاده غیر اصولی از حشره‌کش‌ها برای کنترل این آفت منجر به گسترش مقاومت در این آفت و همچنین باقیمانده مضر حشره‌کش‌ها در میوه‌ها شده است (Siqueira et al., 2000). برای این منظور کاربرد حشره‌کش‌های طبیعی به عنوان جایگزین مناسب برای حشره‌کش‌های سنتزی، می‌تواند راهکار مناسبی جهت کنترل شب‌پره مزبور باشد. زیرا نشان داده شده است که این حشره‌کش‌ها خطرات کمتری برای پستانداران و موجودات غیر هدف دارند (López et al., 2005). از طرفی هنگام انتخاب حشره‌کش بایستی اثرات باقیمانده سموم نیز در نظر گرفته شود زیرا برخی از حشرات ممکن است پس از قرار گرفتن در معرض غلظت‌های زیرکشنده سموم زنده بمانند ولی ویژگی‌های زیستی آنها تحت تاثیر قرار گیرد (Stark et al., 2007; Ahmad et al., 2013a). سم‌شناسی

1- Indoxacarb

کاشته شدند. از پیت ماس، خاکبرگ، ورمی کمپوست و پرلیت به عنوان بستر کاشت نشاء استفاده شد. پس از رشد نشاءها و زمانیکه قطر ساقه آنها به رنگ بنفش متمایل شد و گیاهچه‌ها به مرحله هشت برگی رسیدند، نشاءها به گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۲۰ سانتیمتر منتقل شدند. گلدان‌ها در دمای اتاق تا رشد کامل بوته‌ها نگه‌داری شدند.

پرورش مینوز گوجه‌فرنگی

کلنی اولیه مینوز گوجه‌فرنگی از مزارع آلوده به این آفت در شهرستان بهشهر جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. در ادامه تعداد ۵۰ عدد حشره کامل جهت تخم‌ریزی درون قفسه‌های پلاستیکی حاوی گلدان‌های گوجه‌فرنگی انتقال داده شدند. حشرات کامل با استفاده از مخلوط آب عسل ۱۰ درصد تغذیه شدند. با گذشت ۲۴ ساعت از زمان رهاسازی، برگ‌های حاوی تخم جداسازی شده و برای زیست‌سنجی‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

حشره‌کش‌های مورد استفاده

در تحقیق حاضر از حشره‌کش گیاهی تنداکسیر Tondexir® و حشره‌کش شیمیایی ایندوکساکارب Avaunt® برای زیست‌سنجی‌ها استفاده شد. خصوصیات ترکیبات مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش‌های زیست‌سنجی در شرایط آزمایشگاهی

الف- اثرات کشندگی روی تخم *T. absoluta*

به منظور بررسی اثرات کشندگی ترکیبات مورد استفاده در تحقیق، از تخم‌های یک روزه *T. absoluta* استفاده شد. ابتدا یکسری آزمایش مقدماتی به منظور بدست آوردن محدوده غلظت‌ها با حداقل تلفات ۲۰ تا ۲۵ درصد و حداکثر تلفات ۸۰ تا ۸۵ درصد روی تخم‌های مینوز گوجه‌فرنگی انجام گرفت. سپس براساس نتایج آزمایش مقدماتی، هفت غلظت اصلی به صورت لگاریتمی انتخاب شدند (Robertson et al., 2007).

طرفی سمیت این ترکیب برای برخی گونه‌های دشمنان طبیعی نیز پایین بوده است (Kabiri Raeisabad, 2012).

برخی تحقیقات اثرات کشندگی (Smedt et al., 2016; Sallam et al., 2015) و زیرکشندگی (Nozad-Bonab et al., 2017; Esmaily et al., 2015) حشره‌کش‌های مختلف را روی جمعیت مینوز گوجه‌فرنگی *T. absoluta* بررسی کرده‌اند. به عنوان مثال (Sohrabi et al., 2015) اثرات کشندگی حشره‌کش‌های آتامکتین^۱، امامکتین بنزوات^۲، استامی‌پراید^۳ و ایندوکساکارب را روی مراحل مختلف رشدی مینوز گوجه‌فرنگی بررسی کرده و نشان دادند مرحله لاروی بیشترین و مرحله تخم کمترین حساسیت را به آفت‌کش‌های مذکور داشتند. همچنین حشره‌کش‌های آتامکتین و ایندوکساکارب به ترتیب بیشترین و کمترین سمیت را برای این آفت داشتند. در تحقیق دیگری غلظت زیرکشنده (LC₃₀) حشره‌کش‌های ایندوکساکارب و امامکتین بنزوات فراسنجه‌های طول عمر، باروری، وزن شفیرگی و طول دوره لاروی و شفیرگی مینوز گوجه‌فرنگی را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار دادند (Esmaily et al., 2015). در پژوهش حاضر اثرات کشندگی و زیرکشندگی تنداکسیر به همراه حشره‌کش شیمیایی ایندوکساکارب روی *T. absoluta* در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

کاشت گیاه میزبان

گیاه گوجه‌فرنگی به عنوان میزبان شب‌پره‌ی مینوز گوجه‌فرنگی *T. absoluta* پرورش داده شد. ابتدا بذور گیاه گوجه‌فرنگی رقم Ch-Falat درون سینی‌های نشاء

-
- 1- Abamectin
 - 2- Emamectin benzoate
 - 3- Acetamipride

جدول ۱- حشره کش های مورد استفاده در تحقیق

Table 1. Insecticides used in research

Common name	Trade name	Chemical group	Formulation	RFC* (ppm)	Company
tondexir	Tondexir®	Biorational insecticide	EC	1500	Kimia Sabzavar
indoxacarb	Avaunt®	Oxadiazine	SC 15%	2000	Aria Shimi

*Recommended field concentration

گوجه فرنگی قرار داده شد. به منظور حفظ طروات برگ ها، انتهای دم برگ آن ها درون پنبه آغشته به آب قرار داده شده و هر برگ به صورت مجزا درون پتری های شیشه ای به قطر دهانه ۹ سانتی متر منتقل شد. در ادامه مشابه آزمایش اثرات کشندگی، هر کدام از برگ های گوجه فرنگی با غلظت های مذکور تیمار شده و درون پتری های آزمایش گذاشته شدند. سپس پتری ها به ژرمیناتور با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری $16:8$ ساعت (تاریکی: روشنایی) منتقل شدند. با گذشت شش روز از زمان تیمار، لاروهای حاصل از تخم ها به ظروف پتری جدید منتقل شدند. ظروف به ژرمیناتور با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری $16:8$ ساعت (تاریکی: روشنایی) منتقل شدند. لاروها روزانه با برگ های تازه گوجه فرنگی تغذیه شدند تا مراحل رشدی خود را طی کرده و به حشره کامل تبدیل شوند. طول دوره تخم، لاروی و شفیرگی برای هر تیمار به صورت جداگانه ثبت شد. همچنین تعداد ۲۰ عدد شفیره (یک روزه) برای هر تیمار انتخاب و با استفاده از ترازوی حساس دیجیتالی با دقت 0.01 گرم (Sartorius Inc., Edgewood, NY, USA) وزن شدند تا میزان کاهش وزن ناشی از غلظت زیرکشنده ترکیبات مورد استفاده مشخص شود. در ادامه تعداد ۲۰ جفت از این حشرات کامل، جمع آوری شده و به صورت یک جفت نر و ماده درون یک لیوان یکبار مصرف که درب آن با توری پوشانده شده بود و محتوی پنبه آغشته به آب عسل 10% بود، قرار گرفتند. اطراف لیوان ها با فویل آلومینیومی

آزمایش های نهایی با این هفت غلظت و با در نظر گرفتن تیمار شاهد انجام شد. غلظت های مورد استفاده از حشره کش تنداکسیر، 600 ، 683 ، 777 ، 883 ، 1005 ، 1143 و 1300 پی پی ام و حشره کش ایندوکساکارب 700 ، 840 ، 1009 ، 1211 ، 1455 ، 1747 و 2100 پی پی ام بودند. به این منظور تعداد ۲۰ عدد تخم برای هر تیمار در نظر گرفته شد. تخم ها به آرامی توسط قلم موی ظریف روی دیسک های برگ قرار داده شدند. برگ ها به ظروف پتری شیشه ای منتقل شده و سپس با استفاده از دستگاه برج پاشش به میزان 500 میکرولیتر از هر کدام از غلظت های فوق تیمار شدند. برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. درب ظروف پتری جهت تهویه با توری نازک پوشانده شد و در ادامه ظروف به ژرمیناتور با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری $16:8$ ساعت (تاریکی: روشنایی) منتقل شدند. با گذشت شش روز از زمان تیمار، ظروف بررسی و تعداد تخم های تفریح شده و تفریح نشده شمارش و ثبت شد. این آزمایش ها پنج مرتبه تکرار شدند.

ب- اثرات غلظت زیرکشنده (LC_{30}) حشره کش هاروی پارامترهای جدول زیستی *T. absoluta*

بر اساس نتایج زیست سنجی آزمایشگاهی، اثر غلظت زیرکشنده (LC_{30}) مربوط به تخم هر کدام از حشره کش ها در آزمایشات مربوطه مورد استفاده قرار گرفت. غلظت های LC_{30} مورد استفاده از حشره کش تنداکسیر و ایندوکساکارب به ترتیب $726/4$ و $886/3$ پی پی ام بودند. تعداد ۱۰۰ عدد تخم به صورت انفرادی روی هر برگ

آزمایش‌های زیست‌سنجی در شرایط مزرعه‌ای

آزمایش‌ها در یک مزرعه آزمایشی به مساحت تقریبی ۰/۲ هکتار در منطقه بهشهر (با عرض جغرافیایی " ۱۰' ۳۵° ۵۳ شرقی و طول جغرافیایی " ۳۹' ۴۱° ۳۶ شمالی) طی سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم‌زدن، کودپاشی (۲۰۰ کیلوگرم کود ازته در هکتار)، دیسک‌زنی، مرزبندی، تسطیح و تشکیل جوی و پشته در فروردین‌ماه انجام شد. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تیمار و چهار تکرار انجام گرفت. تیمارهای مورد آزمایش شامل تنداکسیر ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام، ایندوکساکارب ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام و شاهد (آب پاشی) بودند. بذرهاى گوجه‌فرنگی در فروردین ماه هر سال آزمایشی در خزانه واقع در دانشگاه علمی و کاربردی مرکز بهشهر کشت شدند و پس از آن که ارتفاع نشاءها به ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر رسید به کرت‌های آزمایشی در مزرعه اصلی انتقال یافتند. گیاه گوجه‌فرنگی روی پشته‌هایی به عرض ۳۰ سانتیمتر به صورت دو ردیفه کشت شد. فاصله بین ردیف‌ها از هم ۷۵ سانتیمتر بود (تعداد ۸۰ بوته در هر کرت). آبیاری با توجه به دمای هوا و همچنین نیاز آبی گیاهان هر هفته یک‌بار انجام شد. کوددهی (کود ازته به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و وجین علف‌های هرز در دو مرحله رشدی شش برگ کامل و گلدهی انجام شد. پس از اینکه بوته‌های گوجه‌فرنگی به مینوز آلوده شدند (با توجه به وجود آفت در منطقه آزمایشی، بوته‌ها به صورت طبیعی به مینوز آلوده شدند) عملیات سم‌پاشی در مزرعه انجام گرفت. عملیات سم‌پاشی در ۸ تیر ۱۳۹۶ و ۱۷ تیر ۱۳۹۷ با استفاده از سم‌پاش پستی و سرلانس معمولی صورت گرفت. نمونه‌برداری از جمعیت آفت در نوبت‌های یک روز قبل از سم‌پاشی و سه، هفت، چهارده و بیست‌ویک روز پس از سم‌پاشی انجام گرفت. در این تحقیق واحد نمونه‌برداری یک بوته گوجه‌فرنگی انتخاب شد. در هر

پوشانده شد و درون هر لیوان قطعه برگ تازه گوجه‌فرنگی قرار داده شد تا موجب جلب و تخم‌ریزی حشرات گردند. روزانه حشرات به کمک آسپیراتور از ظروف گرفته شده و به لیوان‌های جدید منتقل می‌شدند. تعداد تخم‌های گذاشته شده برای هر فرد ماده تا زمان مرگ به صورت روزانه ثبت شد تا در محاسبه جدول زندگی مورد استفاده قرار گیرد. طول دوره پیش از تخم‌گذاری و طول عمر حشرات کامل مربوط به هر تیمار و در هر تکرار به صورت جداگانه ثبت شد. تمامی مراحل آزمایش برای حشراتی که تحت تاثیر حشره‌کش قرار نگرفتند نیز انجام شد تا به عنوان شاهد از نتایج آن استفاده گردد. در ادامه از داده‌های حاصل به منظور بررسی فراسنجه‌های جدول زیستی مینوز گوجه‌فرنگی به شرح زیر استفاده شد.

نرخ ناخالص تولید مثل^۱

$$GRR = \sum_{x=a}^{\beta} m_x$$

نرخ خالص تولید مثل^۲

$$R_0 = \sum_{x=a}^{\beta} L_x m_x$$

نرخ ذاتی افزایش جمعیت^۳

$$1 = \sum_{x=a}^{\beta} e^{-rx} L_x m_x$$

نرخ متناهی افزایش جمعیت^۴

$$\lambda = e^r$$

مدت زمان دو برابر شدن جمعیت^۵

$$DT = \frac{Lm_2}{r m_1}$$

متوسط مدت زمان یک نسل^۶

$$T = \frac{LmR_0}{r m_1}$$

- 1- Gross reproductive rate
- 2- Net reproductive rate
- 3- Intrinsic rate of increase
- 4- Finite rate of increase
- 5- Doubling time
- 6- Mean generation time

تصادفی با سه تیمار و چهار تکرار تجزیه واریانس شدند. اختلافات بین میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد (SAS Institute, 2005). در ادامه درصد تاثیر هر یک از سموم با استفاده از فرمول هندرسون-تیلیتون تعیین گردید (Henderson and Tilton, 1995).

$$\{1 - [(Cb \times Ta) \div (Ca \times Tb)]\} \times 100 = \text{درصد تلفات}$$

در این فرمول $Tb = \text{میانگین تعداد آفت در قطعه تیمار قبل از آزمایش}$ ، $Ta = \text{میانگین تعداد آفت در قطعه تیمار بعد از آزمایش}$ ، $Cb = \text{میانگین تعداد آفت در قطعه شاهد قبل از آزمایش}$ و $Ca = \text{میانگین تعداد آفت در قطعه شاهد بعد از آزمایش می‌باشد}$. نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel (Ver. 2010) ترسیم شدند.

نتایج

اثرات کشندگی روی تخم *T. absoluta*

نتایج تجزیه پروبیت داده‌های زیست سنجی روی تخم *T. absoluta* در جدول ۲ ارائه شده است. حشره کش گیاهی تنداکسیر سمیت ۱/۳ برابر نسبت به حشره کش ایندوکساکارب روی تخم این آفت داشت. میزان LC_{50} ترکیبات ذکر شده به ترتیب ۸۷۳/۹ و ۱۱۳۹/۱ پی‌پی‌ام برآورد شد (جدول ۲). مقایسه سموم با مد نظر فرا دادن شاخص سمیت بر مبنای LC_{50} ها نیز نشان داد، سمیت تنداکسیر (شاخص سمیت ۱۰۰) بیشتر از ایندوکساکارب (شاخص سمیت ۷۶/۷۱) بود.

اثرات زیرکشندگی (LC_{30}) حشره کش‌ها روی پارامترهای جدول زیستی *T. absoluta*

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به دوره پیش از بلوغ *T. absoluta* در جدول ۳ ارائه شده است. طول دوره جنینی در تیمار شاهد به طور معنی‌داری پایین‌تر از دو تیمار حشره کش بود ($F_{2,35} = 7.58$; $P = 0.001$).

مرتب نمونه برداری، چهار بوته از هر یک از چهار کرت مربوط به هر تیمار (در مجموع شانزده بوته برای هر تیمار) به طور تصادفی با حرکت زیگزاگ در مزرعه انتخاب شده و با استفاده از ذره بین دستی 20X، تعداد تخم‌ها و تعداد لاروهای زنده به ازای یک گیاه شمارش و یادداشت شدند (Fathi and Behroo-Benamar, 2015).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

قبل از تجزیه داده‌ها به منظور نرمال کردن غیریکنواختی واریانس‌ها از تبدیل داده‌ها $\log(x+2)$ استفاده شد. مقادیر LC_{30} ، LC_{50} و LC_{90} تخم *T. absoluta* به روش Finney (1971) و با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۶، تجزیه پروبیت شدند (IBM Corp, 2007). شاخص سمیت^۱ با استفاده از فرمول Sun محاسبه شد (Sun, 1950).

$$TI = \left(\frac{\text{غلظت کشته 50 یا 90 درصدی موثرترین ترکیب}}{\text{غلظت کشته 50 یا 90 درصدی سایر ترکیبات}} \right) \times 100$$

داده‌های مربوط به ویژگی‌های زیستی *T. absoluta* حاصل از تخم‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده حشره کش‌های تنداکسیر و ایندوکساکارب در شرایط آزمایشگاهی در قالب طرح کامل تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه شدند. همچنین پارامترهای جدول زندگی شامل GRR ، R_0 ، r_m ، λ ، T و DT بر اساس روش‌های ارائه شده توسط کری (Carey, 1993) و چی (Chi, 1998) و با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه شده و با استفاده از روش جک نایف تکراردار شدند (Maia et al., 2000). سپس داده‌های حاصله در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه واریانس شدند و در صورت وجود اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون توکی گروه‌بندی شدند.

در آزمایش مزرعه‌ای داده‌های مربوط به تراکم تخم‌ها و لاروهای مینوز گوجه‌فرنگی در هر یک از سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به طور جداگانه در قالب طرح بلوک کامل

جدول ۲- تجزیه پروبیت داده‌های زیست‌سنجی روی تخم *T. absoluta*

Pesticide	Total	LC ₃₀ (ppm) CL*	LC ₅₀ (ppm) CL	LC ₉₀ (ppm) CL	Slope (±SE)	χ^2 (df)	p-value	Toxicity index**	Relative potency
Indoxacarb	800	886.3 (824.6 - 940.7)	1139.1 (1082.7 - 1196.6)	2103.2 (1927.3 - 2354.7)	4.81 (±0.36)	3.61 (5)	0.60	76.71	1.30
Tondexir	800	726.4 (690.2 - 757.7)	873.9 (842.6 - 906.1)	1373.1 (1283.4 - 1499.9)	6.53 (±0.50)	6.06 (5)	0.30	100	-

*Denote confidence limit

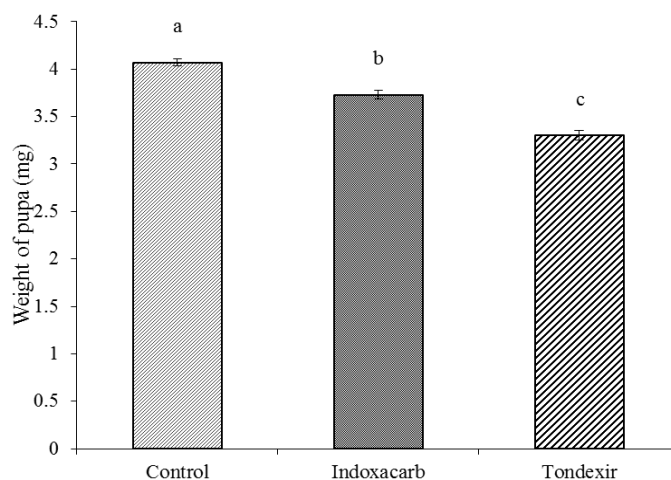
**Toxicity index and Relative potency based on LC₅₀جدول ۳- دوره رشد و نمو مراحل مختلف *T. absoluta* حاصل از تخم‌های تیمار شده با غلظت LC₃₀ تنداکسیر و ایندوکساکاربTable 3. Developmental times of different stages of *T. absoluta* when eggs were treated with LC₃₀ of tondexir and indoxacarb

Stages	Treatment		
	Unexposed	Indoxacarb	Tondexir
Egg	6.87±0.10 b	7.54±0.21 a	7.87±.20 a
1 st Instar	3.87 ± 0.09 b	4.14±0.15 b	4.87±0.11 a
2 nd Instar	3.09 ± 0.07 b	3.41±0.10 b	3.95±0.17 a
3 rd Instar	2.15±0.13 b	2.47±0.14 ab	2.87±0.12 a
4 th Instar	3.28±0.07 b	3.73±0.18 b	4.36±0.14 a
Pupa	10.67±0.12 b	10.91±0.26 b	12.62±0.28 a
APOP ¹	1.35±0.10 a	1.70 ± 0.17 a	1.85±0.19 a
TPOP ²	31.15±0.33 c	33.90±0.54 b	36.50±0.47 a
Mean number of eggs (per female)	114.85±1.35 a	108.45±1.06 b	104.7±1.08 b

¹Adult preovipositional period; ²Total preovipositional period. Means (±SE) in each row with the same letter do not differ statistically when compared by Tukey's HSD test (P> 0.05).

(TPOP) در تیمار تنداکسیر و ایندوکساکارب به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار شاهد بود (P=۰/۰۰۱) (F_{۲,۵۷}=۳۳/۸۱; در حالی که میانگین تعداد تخم‌های گذاشته شده به ازای هر فرد ماده در تیمار شاهد به طور معنی‌داری بالاتر از دو تیمار حشره‌کش بود (P=۰/۰۰۱) (F_{۲,۵۷}=۱۹/۰۱). غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌های تنداکسیر و ایندوکساکارب به طور معنی‌داری بر وزن شفیره‌ها تاثیر گذاشتند (شکل ۱). چنانچه بیشترین وزن شفیره در تیمار شاهد (۴/۰۷ میلی‌گرم) و کمترین وزن شفیره در تیمار تنداکسیر (۳/۳ میلی‌گرم) مشاهده شد. هرچند وزن شفیره‌ها در تخم‌های تیمار شده با حشره‌کش ایندوکساکارب نیز به طور معنی‌داری پایین‌تر از تیمار شاهد بود (P=۰/۰۰۵) (F_{۲,۵۷}=۷۲/۷۱);

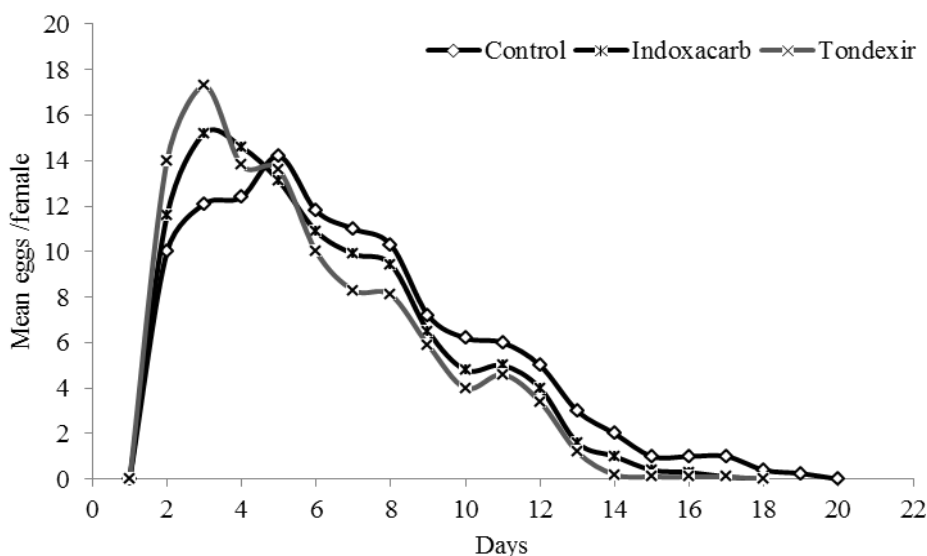
طولانی‌ترین طول دوره لاروی مربوط به تیمار تنداکسیر بود. در حالی که بین طول دوره لاروی سن یک (P=۰/۰۰۰۱) و سن دو (F_{۲,۵۷}=۱۷/۲۵; P=۰/۰۰۰۱) و سن چهار (F_{۲,۵۷}=۷/۰۷; P=۰/۰۰۱۸) و سن چهار (F_{۲,۵۷}=۱۴/۶۶; در تخم‌های تیمار شده با حشره‌کش ایندوکساکارب و شاهد اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد طول دوره شفیرگی در تیمار تنداکسیر به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار ایندوکساکارب و شاهد بود (P=۰/۰۰۱) (F_{۲,۵۷}=۲۰/۴۵). حشره‌کش‌های مورد مطالعه در طول دوره پیش از تخم‌گذاری (APOP) تاثیر معنی‌داری نداشتند و به همراه شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند (P=۰/۰۸۱) (F_{۲,۵۷}=۲/۴۰; اما طول کل دوره پیش از تخم‌گذاری



شکل ۱- وزن شفیره‌های *T. absoluta* حاصل از تخم‌های تیمار شده با غلظت زیر کشنده تنداکسیر و ایندوکساکارب
 Figure 1. Pupal weight (mg) of *T. absoluta* emerged from treated eggs with sublethal concentration of tondexir and indoxacarb

مقادیر مربوط به فراسنجه‌های رشد جمعیت *T. absoluta* حاصل از تخم‌های تیمار شده با غلظت‌های زیر کشنده حشره کش گیاهی تنداکسیر و حشره کش شیمیایی ایندوکساکارب در جدول ۴ ارائه شده است. گرچه نرخ ناخالص تولید مثل (*GRR*) در تیمار شاهد

روند تخم‌گذاری حشرات ماده در تیمارهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین تعداد تخم‌گذاری در تمامی تیمارها در فاصله دو تا پنج روز پس از ظهور حشرات بالغ صورت گرفت و طول دوره تخم‌گذاری در تیمار شاهد (۱۹ روز) بیشتر از تیمار ایندوکساکارب و تنداکسیر (۱۷ روز) بود.



شکل ۲- روند تخم‌گذاری *T. absoluta* حاصل از تخم‌های تیمار شده با غلظت زیر کشنده تنداکسیر و ایندوکساکارب
 Figure 2. Egg-laying process of *T. absoluta* emerged from treated eggs with sublethal concentration of tondexir and indoxacarb

جدول ۴- پارامترهای جدول زندگی *T. absoluta* حاصل از تخم‌های تیمار شده با غلظت زیر کشنده تنداکسیر و ایندوکساکارب

Table 4. Life table parameters of *T. absoluta* emerged from treated eggs with sublethal concentration of tondexir and indoxacarb

Treatment	Parameters ^A					
	GRR	R_0	r_m	λ	T	DT
Unexposed	64.242 ± 2.803 a	57.425 ± 0.856 a	0.116±0.001 a	1.123±0.001 a	34.665±0.424 b	5.932±0.70 c
Indoxacarb	61.271 ± 1.204 a	54.225 ± 0.674 b	0.108±0.002 b	1.114±0.002 b	36.786 ±0.789 b	6.385±0.134 b
Tondexir	60.145 ± 2.617 a	52.351± 0.685 c	0.100±0.001 c	1.105±0.002 c	39.365 ±0.689 a	6.893 ±0.135 a
df between groups	2	2	2	2	2	2
df total	57	57	57	57	57	57
F	1.39	11.91	18.05	18.12	12.92	16.63
P- value	<0.2579	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

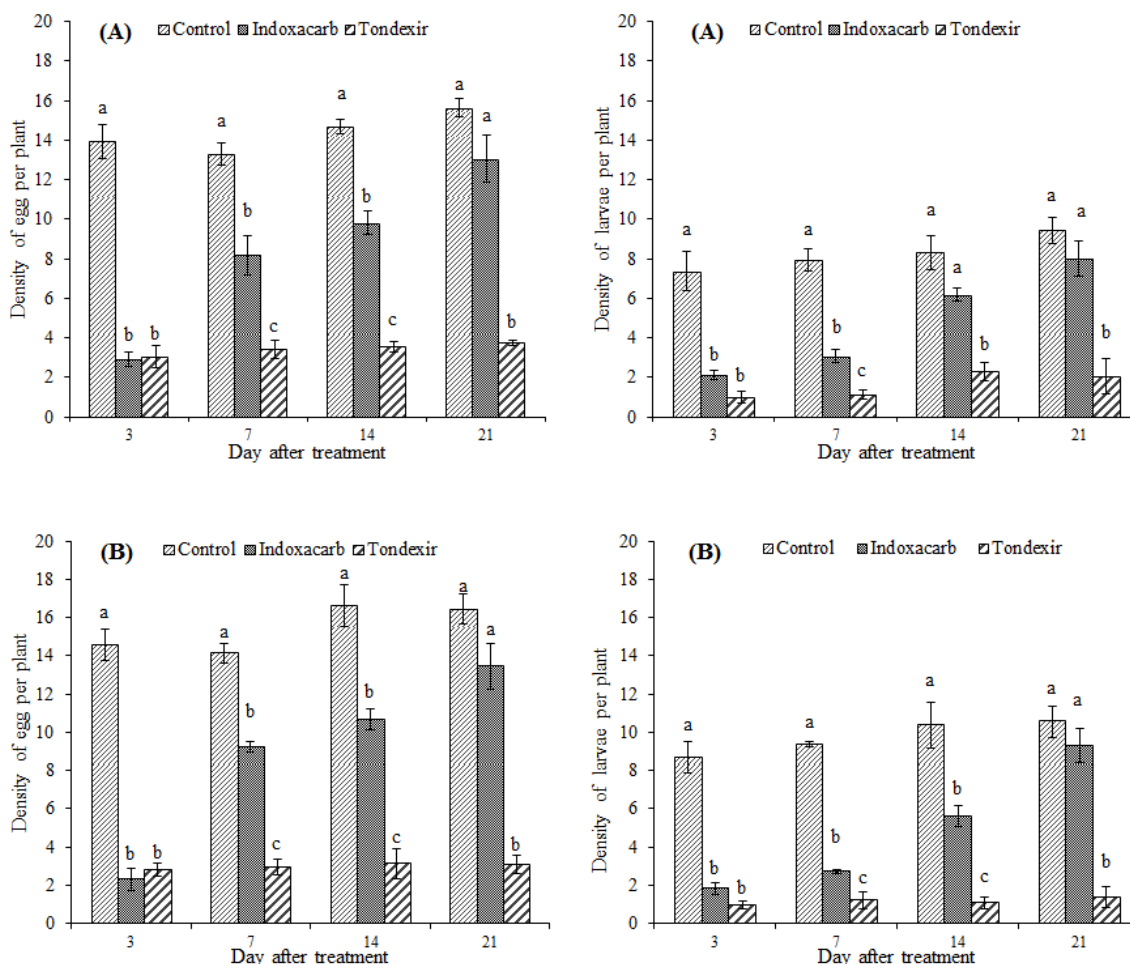
^A Gross reproductive rate (GRR) (offspring per female), net reproductive rate (R_0) (offspring per female), intrinsic rate of increase (r_m) (per day), finite rate of increase (λ) (per day), mean generation time (T) (day) and time requirement to double in number (DT) (per day). Means (\pm SE) in each column with the same letter do not differ statistically when compared by Tukey's HSD test ($P > 0.05$).

تیمار ایندوکساکارب (۶/۳۸ روز) و شاهد (۵/۹۳ روز) نیاز بود ($F_{2,57}=16/63$; $P=0/0001$).

نتایج آزمایش‌های زیست‌سنجی در شرایط مزرعه‌ای

در شرایط مزرعه ای و در نمونه برداریهای سه روز پس از تیمار، تراکم تخم‌ها و لاروهای *T. absoluta* در تیمار شاهد به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار ایندوکساکارب و تنداکسیر بود (شکل ۳). اما تراکم تخم‌ها و لاروها بین دو تیمار حشره‌کش معنی‌دار نبود (تخم: $F_{2,57}=101/53$; $P=0/0001$ در سال ۱۳۹۶ و $F_{2,57}=128/02$; $P=0/0001$ در سال ۱۳۹۷؛ لارو: $F_{2,57}=31/76$; $P=0/0001$ در سال ۱۳۹۶ و $F_{2,57}=70/00$; $P=0/0001$ در سال ۱۳۹۷). با گذشت زمان میزان اثر حشره‌کش شیمیایی کاهش یافت. اما حشره‌کش گیاهی دوام اثر طولانی‌تری داشت. چنانچه در نمونه‌برداریهای ۲۱ روز پس از تیمار، تراکم تخم‌ها و لاروها در هر دو سال مورد مطالعه در تیمار شاهد و ایندوکساکارب در یک گروه آماری قرار گرفت، در حالی که تراکم مراحل ذکر شده در قطعات تیمار شده با حشره‌کش گیاهی تنداکسیر در پایین‌ترین گروه آماری بود (تخم: $F_{2,57}=64/64$; $P=0/0001$ در سال ۱۳۹۶ و $F_{2,57}=65/64$; $P=0/0001$ در سال ۱۳۹۷؛ لارو: $F_{2,57}=22/15$; $P=0/0003$ در سال ۱۳۹۶ و $F_{2,57}=39/26$; $P=0/0001$ در سال ۱۳۹۷).

بالاتر از دو تیمار حشره‌کش بود اما از لحاظ آماری این اختلاف معنی‌دار نبود ($F_{2,57}=1/39$; $P=0/2579$). نرخ خالص تولید مثل (R_0) در جمعیت‌های تیمار شده با غلظت زیر کشنده تنداکسیر به طور معنی‌داری پایین‌تر از تیمار شاهد و ایندوکساکارب بود ($F_{2,57}=11/91$; $P=0/0001$). کمترین میزان نرخ ذاتی افزایش جمعیت در حشرات حاصل از تخم‌های تیمار شده با غلظت زیر کشنده تنداکسیر مشاهده شد (۰/۱۰۰ بر روز) در حالی که میزان این شاخص در تیمار ایندوکساکارب و شاهد به ترتیب ۰/۱۰۸ و ۰/۱۱۶ ماده/روز بود ($F_{2,57}=18/05$; $P=0/0001$). نرخ متناهی افزایش جمعیت که بیانگر میزان افزایش جمعیت هر روز نسبت به روز قبل است در تیمار شاهد به طور معنی‌داری بالاتر از دو تیمار حشره‌کش بود ($F_{2,57}=18/12$; $P=0/0001$). کمترین و بیشترین طول دوره یک نسل به ترتیب در تیمار شاهد (۳۴/۶۶ روز) و تنداکسیر (۳۹/۳۶ روز) مشاهده شد. هر چند میزان این شاخص بین دو تیمار ایندوکساکارب و شاهد معنی‌دار نبود ($F_{2,57}=12/92$; $P=0/0001$). مدت زمان بیشتری برای دو برابر شدن جمعیت مینوز گوجه‌فرنگی در تیمار تنداکسیر (۶/۸۹ روز) نسبت به



شکل ۳- میانگین تراکم تخم‌ها و لاروهای *T. absoluta* (به ازای یک گیاه) در شرایط مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۶ (A) و ۱۳۹۷ (B)
 Figure 3. Mean density of *T. absoluta* eggs and larvae (per plant) in field trial during 2017 (A) and 2018 (B)

حشره کش تنداکسیر بود ($F_{V,21}=27/14$; $P=0/0001$) در سال ۱۳۹۶ و ($F_{V,21}=44/46$; $P=0/0001$) در سال ۱۳۹۷. مورد لاروها نیز درصد تلفات در قطعات تیمار شده با حشره کش ایندوکساکارب در نمونه برداری‌های ۱۴ و ۲۱ روز پس از تیمار به طور معنی‌داری کاهش یافت ($F_{V,21}=11/97$; $P=0/0001$) و سال ۱۳۹۶ ($F_{V,21}=14/92$; $P=0/0001$) در سال ۱۳۹۷. اثر سال به جز در تیمار تنداکسیر و در نمونه برداری‌های ۱۴ روز پس از تیمار از جمعیت لاروهای *T. absoluta* ($F_{1,3}=39/05$; $P=0/0008$) در هیچ کدام از تیمارها معنی‌دار نبود و تلفات ایجاد شده توسط دو حشره کش طی دو سال مورد آزمایش اختلاف معنی‌دار آماری را نشان نداد.

میانگین درصد تلفات تخم‌ها و لاروهای *T. absoluta* در قطعات تیمار شده با دو حشره کش تنداکسیر و ایندوکساکارب طی زمان‌های مختلف نمونه برداری در جدول ۵ ذکر شده است. بیشترین درصد تلفات در تخم‌های *T. absoluta* در هر دو سال مورد مطالعه در نمونه برداری‌های سه روز پس از تیمار مشاهده شد. درصد تلفات ایجاد شده در تخم توسط حشره کش تنداکسیر در زمان‌های مختلف نمونه برداری تغییر معنی‌داری نداشت اما میزان دوام اثر حشره کش شیمیایی چندان بالا نبود. چنانچه درصد تلفات ایجاد شده در قطعات تیمار شده با این حشره کش و در نمونه برداری‌های ۱۴، ۷ و ۲۱ روز پس از تیمار به طور معنی‌داری پایین‌تر از تلفات ایجاد شده توسط

جدول ۵- میانگین درصد تلفات (\pm خطای استاندارد) *T. absoluta* در قطعات تیمار شده با حشره کش های تنداکسیر و ایندوکساکارب در آزمایش مزرعه ای

Table 5. Mean mortality % (\pm SE) of *T. absoluta* treated with tondexir and indoxacarb in field trial*

Pesticides	Day after treatment	Stage			
		Egg		Larvae	
		2017	2018	2017	2018
Tondexir	3	78.64 \pm 3.16 ^{a (A)}	81.46 \pm 1.95 ^{a (A)}	86.68 \pm 3.95 ^{a (A)}	89.56 \pm 2.16 ^{a (A)}
	7	74.33 \pm 4.05 ^{a (A)}	80.01 \pm 2.77 ^{a (A)}	86.45 \pm 1.96 ^{a (A)}	87.61 \pm 4.84 ^{a (A)}
	14	76.11 \pm 2.31 ^{a (A)}	80.36 \pm 6.96 ^{a (A)}	74.22 \pm 1.54 ^{a (B)}	90.29 \pm 2.05 ^{a (A)}
	21	76.36 \pm 1.47 ^{a (A)}	81.41 \pm 4.10 ^{a (A)}	76.40 \pm 3.64 ^{a (A)}	86.92 \pm 5.08 ^{a (A)}
Indoxacarb	3	78.11 \pm 3.45 ^{a (A)}	83.27 \pm 4.86 ^{a (A)}	72.17 \pm 5.35 ^{a (A)}	79.68 \pm 3.29 ^{a (A)}
	7	37.70 \pm 5.95 ^{b (A)}	33.03 \pm 3.94 ^{b (A)}	63.95 \pm 5.59 ^{a (A)}	72.38 \pm 2.03 ^{ab (A)}
	14	32.19 \pm 2.92 ^{b (A)}	34.24 \pm 3.47 ^{b (A)}	27.88 \pm 4.73 ^{b (A)}	43.55 \pm 6.13 ^{bc (A)}
	21	27.94 \pm 8.13 ^{b (A)}	17.49 \pm 3.50 ^{b (A)}	22.58 \pm 7.84 ^{b (A)}	23.89 \pm 6.94 ^{c (A)}

*Different lowercase and uppercase letters showed significant differences in each column and row respectively (P>0.05).

از آنها از اهمیت بالایی برخوردار است (Stark and Rangu, 1994; Chen et al., 2016). چراکه اغلب حشره کش ها پس از کاربرد در مزرعه در معرض تجزیه شدن قرار می گیرند. بنابراین آفات هدف و غیر هدف در معرض غلظت های زیرکشنده این ترکیبات قرار می گیرند (Guedes et al., 2016; Desneux et al., 2005). در تحقیق حاضر به منظور دستیابی به نتایج جامع تر هر دو اثرات کشندگی و زیرکشنندگی این حشره کش ها روی تخم های مینوز گوجه فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. حشره کش گیاهی تنداکسیر باعث افزایش معنی دار طول دوره تخم و لاروهای *T. absoluta* شد. افزایش طول دوره لاروی ممکن است با تاخیر در دگرذیسی در ارتباط باشد (Babu et al., 2000). دوره شفیرگی مینوز گوجه فرنگی از ۱۰/۶۷ روز در تیمار شاهد تا ۱۲/۶۲ روز در تیمار تنداکسیر متغیر بود. در تحقیق مشابهی طول دوره های لاروی و شفیرگی این آفت به ترتیب از ۱۰/۹۶ و ۸/۲۹ روز (تیمار شاهد) تا ۱۴/۷۵ و ۱۰/۹۴ روز (تیمار *Bacillus thuringiensis*) متغیر بود (Younes et al., 2018). در تحقیق حاضر دو حشره کش به کار برده شده باعث کاهش تخم گذاری مینوز گوجه فرنگی شدند. با مد نظر قرار دادن

بحث

در تحقیق حاضر میزان سمیت حشره کش گیاهی تنداکسیر در مقایسه با حشره کش شیمیایی ایندوکساکارب بر روی تخم *T. absoluta* مورد بررسی قرار گرفت. گرچه لایه سطحی کوریون تخم نفوذپذیری محدودی نسبت به آفت کش ها دارد، اما برخی از مواد شیمیایی می توانند از آن عبور کنند. این ترکیبات بر رشد و نمو جنین اثرات مضر داشته و یا باعث مرگ آن می شوند (Trisyono et al., 2000). نتایج آزمایشگاهی نشان داد سمیت حشره کش گیاهی تنداکسیر برای تخم آفت به طور معنی داری بالاتر از حشره کش ایندوکساکارب بود. گرچه سمیت تنداکسیر روی این آفت تاکنون بررسی نشده است اما بررسی های قبلی نشان داده این ترکیب سمیت بالایی برای تخم کنه تارتن دولکه ای *Tetranychus urticae* دارد (Kabiri Raeisabad and Zaree, 2017). در بسیاری از مطالعات تنها اثرات کشندگی حشره کش ها روی آفات و دشمنان طبیعی مورد بررسی گرفته است. در حالی که اثرات زیرکشنندگی در پیش بینی اثر آفت کش ها روی آفت قابل اعتمادتر از اثرات کشندگی است و مطالعه اثرات این غلظت ها به منظور استفاده منطقی

حالی که هر دو T و TPOP در تیمارهای حشره کش بالاتر از تیمار شاهد بودند. بررسی این پارامترها نشان می دهد که غلظت های زیرکشنده ایندوکساکارب و تنداکسیر می توانند رشد جمعیتی مینوز گوجه فرنگی را متوقف یا کندتر کنند. به نظر می رسد بالاتر بودن TPOP با کاهش r_m در ارتباط است. ارتباط منفی بین نرخ ذاتی افزایش جمعیت و میزان TPOP در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Jha et al., 2012). غلظت زیرکشنده حشره کش گیاهی تنداکسیر به طور معنی داری طول دوره یک نسل (T) مینوز گوجه فرنگی را افزایش داد. این پارامتر یکی از معیارهای مهم در جدول زندگی محسوب می شود که به نوبه خود تاثیر مستقیمی بر نرخ افزایش جمعیت دارد. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، منجر به برهم خوردن هماهنگی فنولوژیک در حشرات شده و از این جهت تاثیرات منفی در جمعیت ایجاد می کند (Croft, 1990).

گرچه روش های کنترلی متفاوتی برای مینوز گوجه فرنگی پیشنهاد شده است اما به نظر می رسد بهترین روش کنترل، استفاده از سموم کم خطر به جهت حفظ و حمایت از دشمنان طبیعی باشد. Arno et al. (2009) بیان کردند بهترین روش کنترل کرم مینوز گوجه فرنگی استفاده از شکارگرها و حشره کش های انتخابی است.

در شرایط مزرعه ای نیز حشره کش تنداکسیر سمیت بالایی برای مینوز گوجه فرنگی داشت. چنانچه در برداری های بیست و یک روز پس از تیمار، تلفات بالای ۷۵ درصدی را در جمعیت تخم و لارو این آفت ایجاد نمود. در شرایط آزمایشگاهی حشره کش ایندوکساکارب نیز سمیت نسبتاً بالایی برای مینوز گوجه فرنگی داشت. اما در شرایط مزرعه ای دوام اثر حشره کشی این ترکیب چندان بالا نبود. تحقیقات نشان داده برخی از حشره کش ها ممکن است سمیت بالایی برای آفات در شرایط آزمایشگاهی داشته باشند اما در شرایط مزرعه ای این اثرات چندان بالا

ارتباط بین طغیان آفات و کاربرد حشره کش ها، محققان به این نتیجه رسیدند که برخی حشره کش ها تخم ریزی حشرات را تحریک نمی کنند (Vojoudi et al., 2011) در حالی که برخی محققین دیگر افزایش تخم ریزی حشرات در نتیجه کاربرد غلظت های زیرکشنده سموم را اثبات کردند (Sota et al., 1998). وزن شفیره ها در هر دو تیمار حشره کش به طور معنی داری پایین تر از شاهد بود. Esmaily et al. (2015) نتایج مشابهی پس از کاربرد غلظت های کشنده و زیرکشنده امامکتین بنزوات و ایندوکساکارب روی *T. absoluta* به دست آوردند. این محققین نشان دادند دو ترکیب به کار برده شده باعث کاهش وزن شفیرگی و ظرفیت باروری در این آفت شدند. حشره کش های مورد استفاده باعث کاهش نرخ خالص تولید مثل (R_0) مینوز گوجه فرنگی شدند. در تحقیقی غلظت های زیرکشنده ایندوکساکارب باعث کاهش نرخ ناخالص تولید مثل و نرخ خالص تولید مثل در *T. absoluta* شدند (Nozad-Bonab et al., 2017). هر چند اثرات زیرکشنده حشره کش گیاهی تنداکسیر تاکنون بررسی نشده است، اما محققین در بررسی های خود اثرات زیرکشندگی سایر ترکیبات گیاهی را روی آفات مختلف بررسی کرده اند (Khan et al., 2007; Barati et al., 2013; Esmaily et al., 2014). به عنوان مثال Ma et al. (2000) نشان دادند عصاره نیم تاثیر معنی داری در رشد و نمو دومین سن لاروی *Helicoverpa armigera* (Hübner) داشت.

نرخ ذاتی افزایش جمعیت r_m یکی از پارامترهای مهم در تعیین نوع و میزان رشد جمعیت ها است که به نوبه خود بیانگر افزایش ثبات یا افت جمعیت است. در تحقیق حاضر مقدار این پارامتر و همچنین مقدار شاخص λ در تیمارهای حشره کش به طور معنی داری پایین تر از تیمار شاهد بود در

L. و زنبور *Psyllaephaus pistaciae* Friere (Kabiri Raiesabad, 2012) دارد. در حالی که اثرات مضر حشره کش ایندوکساکارب بر روی برخی از گونه‌های مهم پارازیتوئید از جمله زنبورهای خانواده Aphelinidae (Gonzalez-Zamora et al., 2004)، Ichneumonidae (Cordero et al., 2007) و Braconidae (Newman et al., 2004) و Trichogrammatidae (Hussain et al., 2010) اثبات رسیده است. Khoshabi et al. (2016) اثرات کشندگی و زیرکشندگی آبامکتین، استامی پراید و ایندوکساکارب را روی سن *Nesidiocoris tenuis* Reuter یکی از شکارگرهای مینوز گوجه‌فرنگی بررسی کرده و نشان دادند حشره کش ایندوکساکارب در گروه سموم زیان آور برای این دشمن طبیعی دسته بندی شد. همچنین Arno and Gabbara (2011) نشان دادند حشره کش ایندوکساکارب سمیت بسیار بالایی برای نمف و بالغ سن‌های *Macrolophus pygmaeus* Rambur و *N. tenuis* دو گونه از مهترین شکارگرهای *T. absoluta* داشت.

حشره کش گیاهی مورد استفاده در پژوهش حاضر (تنداکسیر) نشان داد سمیت بالایی هم در شرایط آزمایشگاهی و هم در شرایط مزرعه‌ای برای *T. absoluta* یکی از مهمترین آفات گوجه‌فرنگی داشت. علاوه بر این، اثرات زیرکشندگی این ترکیب روی برخی پارامترهای جدول زندگی این آفت نیز بیشتر از حشره کش شیمیایی ایندوکساکارب بود. با مد نظر قرار دادن گیاهی بودن این ترکیب و در نظر گرفتن اثرات مضر حشره کش‌های شیمیایی برای محیط زیست (Relyea and Hoverman, 2008)، سلامتی انسان (Mahmood et al., 2016) و موجودات غیر هدف (Pekar, 2012; Gonzalez-Zamora et al., 2004)، به نظر می‌رسد حشره کش

نباشد. یکی از دلایل این امر می‌تواند تجزیه شدن حشره کش در شرایط طبیعی و در نتیجه کاهش کارایی آن برای حشرات آفت باشد (Eijaza et al., 2015). دوام اثر حشره کشی ایندوکساکارب نیز چندان بالا نبود و با گذشت سه روز از زمان تیمار، تراکم تخم و لاروها در قطعات تیمار شده با این حشره کش افزایش یافت. ایندوکساکارب حشره کش تماسی-گوارشی از گروه آگزادیاژین‌ها که اثرات سمی کوتاه مدتی برای آفات داشته در حالی که دوام اثر این ترکیب چندان بالا نیست. اثرات سریع و کوتاه مدت ایندوکساکارب برای *T. absoluta* به دلیل فعالیت سریع این ترکیب به عنوان یک مسدود کننده کانال سدیم در اعصاب آکسونی است که مانع انتشار پیام عصبی می‌شود (Derbalah et al., 2012). دوام اثر کوتاه مدت این آفت در شرایط مزرعه‌ای در آزمایش‌های دیگری نیز اثبات شده است. به عنوان مثال Nazarpour et al. (2016) نشان دادند این حشره کش اثرات کوتاه مدت شدیدتری نسبت به *Bacillus thuringiensis* آزادیراختین و ترکیب آزادیراختین و باسیلوس برای لاروهای مینوز گوجه‌فرنگی داشت، در حالی که دوام اثر این حشره کش کوتاه بود. یکی دیگر از دلایل اختلاف تراکم جمعیت مینوز گوجه‌فرنگی در قطعات تیمار شده با این دو حشره کش می‌تواند با تراکم جمعیت و فعالیت دشمنان طبیعی در ارتباط باشد. چرا که کاهش جمعیت دشمنان طبیعی منجر به افزایش تراکم آفات می‌شود. از طرفی هنگامی که حشره کش‌ها اثرات انتخابی نداشته باشند با وجود دشمنان طبیعی در مزرعه ممکن است طغیان آفات رخ دهد (Trumper and Holt, 1998). در بررسی‌های قبل مشخص شده حشره کش تنداکسیر سمیت پایینی برای برخی دشمنان طبیعی از جمله کنه شکارگر *Phytoseiulus persimilis* Kabiri Raiesabad and Zaree, (2017)، کفشدوزک شکارگر *Oenopia conglobata*

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از دانشگاه علمی کاربردی بهشهر و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به دلیل فراهم نمودن امکانات انجام تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

گیاهی تنداکسیر می‌تواند گزینه مناسبی در برنامه مدیریت تلفیقی (IPM) شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی باشد. هر چند برای تایید این یافته‌ها، مطالعات بیشتری باید روی عوامل کنترل بیولوژیک مینوز گوجه‌فرنگی انجام شود.

REFERENCES

- Ahmad, S., Ansari, M. S., and Ahmad, N. 2013a. Acute toxicity and sublethal effects of the neonicotinoid imidacloprid on the fitness of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 33: 264–275.
- Ahmad, S., Ansari, M. S., and Moraiet, M. A. 2013b. Demographic changes in *Helicoverpa armigera* after exposure to neemazal (1% EC azadirachtin). *Crop Protection*, 50: 30–36.
- Ahmad, S., Ansari, M. S., and Muslim, M. 2015. Toxic effects of neem based insecticides on the fitness of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Crop Protection*, 68: 72–78.
- Amiri-Besheli, B. 2009. Toxicity evaluation of tracer, palizin, sirinol, runner and tondexir with and without mineral oils on *Phylocnistis citrella* Stainton. *African Journal of Biotechnology*, 8(14): 3382–3386.
- Arno, J., and Gabarra, R. 2011. Side effects of selected insecticides on the *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) predators *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae). *Journal of Pest Science*, 84: 513-520.
- Arno, J., Gabarra, R., Estopa, M., Gorman, K., Peterschmitt, M., Bonato, O., and Albajes, R. 2009. Implementation of IPM programs in European greenhouse tomato production areas: tools and constraints. UDL Editions and Publications, Lleida. P. 44.
- Babu, R., Murugan, K., Kavitha, R., and Sivaramakrishnan, S. 2000. Synergistic effects of extract from *Azadirachta indica*, *Pongamia pinnata* and *Vitex negundo* on feeding, survival and fecundity of *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). *Indian Journal of Environment and Toxicology*, 10: 42–44.
- Barati, R., Golmohammadi, Gh., Ghajarie, H., Zarabi, M., and Mansouri, R. 2013. The effects of some botanical insecticides and pymetrozine on life table parameters of silver leaf whitefly *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Pesticides and Phytomedicine*, 28(1): 47-55.
- Bhatia, P., Ashwath, N., Senaratna, T., and Midmore, D. 2004. Tissue culture studies of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 78: 1–21.

- Carey, J. R. 1993. Applied demography for biologists. New York, NY: Oxford University Press.
- Chen, X., Ma, K., Li, F., Lianq, P., Liu, Y., Guo, T., Song, D., Desneux, N., and Gao, X. 2016. Sublethal and transgenerational effects of sulfoxafor on the biological traits of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Ecotoxicology*, 25: 1841–1848.
- Chi, H. 1988. Life table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17: 26-34.
- Cordero, R. J., Bloomquist, J. R., and Kuhar, T. P. 2007. Susceptibility of two diamondback moth parasitoids, *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera; Ichneumonidae) and *Oomyzuss okolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera; Eulophidae), to selected commercial insecticides. *Biological Control*, 42: 48-54.
- Croft, B. A. 1990. Arthropoda biological control agents and pesticides. Wiley, New York. P. 723.
- De Franca, S. M., Breda, M. O., Barbosa, D. R. S., Araujo, A. M. N., and Guedes, C. A. 2017. The sublethal effects of insecticides in insects. *Biological Control of Pest and Vector Insects*. Chapter 2, 23-39.
- Derbalah, A. S., Morsey, S. Z., and El-Samahy, M. 2012. Some recent approaches to control *Tuta absoluta* in tomato under greenhouse conditions. *African Entomology*, 20: 27–34.
- Desneux, N., Fauverque, X., Dechaume-Moncharmont, F. X., Kerhoas, L., Ballanger, Y., and Kaiser, L. 2005. *Diaeretiella rapae* limits *Myzus persicae* populations after applications of deltamethrin in oilseed rape. *Journal of Economic Entomology*, 98: 9-17.
- Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K. A. G., Burgio, G., Arpaia, S., Narvaez-Vasquez, C. A., Gonzalez-Cabrera, J., Ruescas, D. C., Tabone, E., and 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: 197–215.
- Eijaza, S., Khan, M. F., Mahmood, K., Anwar, M., Alamgir, A., and Khatri, I. 2015. Studies on degradation and efficacy of synthetic pesticides on Okra. *Academic Journal of Entomology*, 8:12-18.
- Esmaily, M., Saber, M., Bagheri, M., and Gharekhani, Gh. 2015. Effect of emamectin benzoate and indoxacarb on tomato leaf miner, *Tuta absoluta* Meyrick (Lep.: Gelechiidae) in laboratory conditions. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 40(2): 161- 169. (in Farsi with English abstract).
- Esmaily, S., Samith, M. A., Zarabi, M., and Jafarbeigi, F. 2014. Sublethal effects of some synthetic and botanical insecticides on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Plant Protection Research*, 54(2): 171-178.

Fathi, S. A. A., and Behroo-Benamar, R. 2015. Evaluation of the damage level caused by the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) in six cultivars of potato under field condition in Ardabil region. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 38(3): 25-36. (in Farsi with English abstract).

Finney, D. J. 1971. *Probit analysis*, 3rd Edition. Cambridge University Press, London, UK. P. 333.

Gonzalez-Zamora, J. E., Leira, D., Bellido, M. J., and Avilla, C. 2004. Evaluation of the effect of different insecticides on the survival and capacity of *Eretmocerus mundus* Mercet to control *Bemisia tabaci* (Gennadius) populations. *Crop Protection*, 23: 611–618.

Guedes, R., Smagghe, G., Stark, J. and Desneux, N. 2016. Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annual Review of Entomology*, 61: 43–62.

Henderson, C.F., and Tilton, E.W., 1955. Tests with acaricides against the brown wheat mite. *Journal of Economic Entomology*, 48: 157–161.

Holscher, J. A., and Barrett, B. A. 2003. Effects of methoxyfenozide-treated surfaces on the attractiveness and responsiveness of adult codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology*, 96: 623–628.

Hussain, D., Akram, M., Iqbal, Z., Ali, A., and Saleem, M. 2010. Effect of some insecticides on *Trichogramma chilonis* Ishii. (Trichogrammatidae: Hymenoptera) immature and adult survival. *Journal of Agricultural Research*, 48(4): 531-537.

IBM Corp. 2007. *IBM SPSS Statistics for Windows Version 16.0*. IBM Corporation, Chicago Spss Inc.

Jha, R. K., Chi, H., and Tang, L. C. 2012. A comparison of artificial diet and hybrid sweet corn for the rearing of *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) based on life table characteristics. *Environmental Entomology*, 41: 30–39.

Kabiri Raeisabad, M. 2012. The effect of three botanical insecticides palizin, sirinol and tondexir on the common pistachio psylla *Agonoscena pistaciae* and their two natural enemies. M.Sc. thesis. Sari Agricultural Science and Natural Resources University. P. 110. (in Farsi).

Kabiri Raeisabad, M., and Zaree, E. 2017. Comparing toxicity of plant pesticides, Tondexir® and chemical acaricides, Ortus® on two spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) and its natural enemies *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 40(3): 53-70. (in Farsi with English abstract).

Kakde, A. M., Patel, K. G., and Tayades, S. 2014. Role of life table in insect pest management - A Review. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7: 40-43.

Khan, M., Hossain, A. M., and Islam, S. M. 2007. Effects of neem leaf dust and a commercial formulation of a neem compound on the longevity, fecundity and ovarian development of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) and the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae). Pakistan Journal of Biological Sciences, 10(20): 656-661.

Khoshabi, J., Sabahi, Q., and Sharifian, I. 2016. Lethal and sublethal effects of abamectin, acetamiprid and indoxacarb on predatory bug, *Nesidiocoris tenuis* feeding on tomato leaf miner, *Tuta absoluta*. Iranian Journal of Plant Protection Science, 47(1): 79-90. (in Farsi with English abstract).

Liu, D. G., and Trumble, J. T. 2005. Interactions of plant resistance and insecticides on the development and survival of *Bactericerca cockerelli* [Sulc] (Homoptera: Psyllidae). Crop Protection, 24: 111–117.

López, O., Fernández-Bolaños, J. G., and Gil, M. V. 2005. New trends in pest control: The search for greener insecticides. Green Chemistry, 7(6): 431-442.

Ma, D. L., Gordh, G., and Zalucki, M. P. 2000. Biological effects of azadirachtin on *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) fed on cotton and artificial diet. Australian Journal of Entomology, 39: 301 – 304.

Mahmood, I., Imadi, S. R., Shazadi, K., Gul, A., and Hakeem, K. R. 2016. Effects of pesticides on environment. Plant Soil and Microbes, 1: 253-269.

Maia, A. H. N., Liu, A. J. B., and Campanhola, C. 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique, computational aspects. Journal of Economic Entomology, 93: 511- 518.

Myers, C. T., and Hull, L. A. 2003. Insect growth regulator impact on fecundity and fertility of adult tufted apple bud moth, *Platynota idaeusalis* Walker. Journal of Entomological Science, 38: 420–430.

Nazarpour, L., Yarahmadi, F., Saber, M., and Rajabpour, A. 2016. Short and long term effects of some bio-insecticides on *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) and its coexisting generalist predators in tomato fields. Journal of Crop Protection, 5(3): 331-342.

Newman, I. C., Walker, J. T. S., and Rogers, D. J. 2004. Mortality of the leaf roller parasitoid *Dolichogenidea tasmanica* (Hymenoptera: Braconidae) exposed to orchards pesticide residues. New Zealand Plant Protection, 57: 8-12.

Nozad-Bonab, Z., Hejazi, M. J., Iranipour, Sh., and Arzanlou, M. 2017. Lethal and sublethal effects of some chemical and biological insecticides on *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs and neonates. Journal of Economic Entomology, 110(3): 1138–1144.

Pekar, S. 2012. Spiders (Araneae) in the pesticide world: an ecotoxicological review. Pest Management Science, 68: 1438-1446.

- Relyea, R. A., and Hoverman, J. T. 2008. Interactive effects of predators and a pesticide on aquatic communities. *Oikos*, 117:1647–1658.
- Robertson, J. L., Russell, R. M., Preisler, H. K., and Savin, N. 2007. Bioassays with arthropods. Boca Raton, CRC Press. P. 199.
- Sallam, A. A., Soliman, M. A., and Khodary, M. A. 2015. Effectiveness of certain insecticides against the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Advances in Applied Agricultural Science*, 3(2): 54-64.
- SAS Institute. 2005. SAS/STAT user's guide, version 9.1. SAS Institute, Cary, NC.
- Siqueira, H. A. A., Guedes, R. N. C., and Picanco, M. C. 2000. Cartap resistance and synergism in populations of *Tuta absoluta* (Lep., Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology*, 124: 233–238
- Smedt, C. D., Damme, V. V., Clercq, P. D., and Spanoghe, P. 2016. Insecticide effect of Zeolites on the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Insects*, 7(4):1-13.
- Sohrabi, F., Modarresi, M., and Hosseini, S. J. 2015. Susceptibility of different developmental stages of tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) to different insecticides under laboratory conditions. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 38(3): 1-12. (in Farsi).
- Sota, N., Motoyama, N., Fujisaki, K., and Nakasuji, F. 1998. Possible amplification of insecticide hormoligosis from resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Applied Entomology and Zoology*, 33: 435-440.
- Stark, J. D., and Banks, J. E. 2003. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology*, 48: 505–519.
- Stark, J. D., and Rangus, T. M. 1994. Lethal and sublethal effects of the neem insecticide formulation, 'Margosan-O', on the pea aphid. *Pest Management Science*, 41: 155– 160.
- Stark, J. D., Vargas, R., and Banks, J. E. 2007. Incorporating ecologically relevant measures of pesticide effect for estimating the compatibility of pesticides and biocontrol agents. *Journal of Economic Entomology*, 100: 1027–1032.
- Stark, J. D., and Wennergren, U. 1995. Can population effects of pesticides be predicted from demographic toxicological studies? *Journal of Economic Entomology*. 88(5): 1089-1069.
- Stark, J. D., Wong, T. T. Y., Vargas, R. I., and Thalman, R. K., 1992. Survival, longevity, and reproduction of tephritid fruit fly parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) reared from fruit flies exposed to azadirachtin. *Journal of Economic Entomology*, 85: 1125–1129.

Sun, Y. P. 1950. Toxicity index- an improved method of comparing the relative toxicity of insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 43(1): 45-53.

Trisyono, A., Puttler, B., Chippendale, G. M. 2000. Effect of the ecdysone agonists, methoxyfenozide and tebufenozide, on the lady beetle, *Coleomegilla maculata*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 94: 103–105.

Trumper, E. V., and Holt, J. 1998. Modelling pest population resurgence due to recolonization of fields following an insecticide application. *Journal of Applied Ecology*, 35: 273–285.

Tumuhaise, V., Khamis, F. M., Agona, A., Sseruwu, G., and Mohamed, S. A. 2016. First record of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Uganda. *International Journal of Tropical Insect Science*, 36: 135–139.

Vojoudi, S., Saber, M., Hejazi, M. J., and Talaei-Hassanloui, R. 2011. Toxicity of chlorpyrifos, spinosad and abamectin on cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* and their sublethal effects on fecundity and longevity. *Bulletin of Insectology*, 64(2): 189-193.

Wing, K. D., Sacher, M., Kagaya, Y., Tsurubuchi, Y., Mulderig, L., Connair, M., and Schnee, M. 2000. Bioactivation and mode of action of the oxadiazine indoxacarb in insects. *Crop Protection*, 19: 537-545.

Younes, A. A., Zohdy, N. Z. M., Abul fal, A. A., and Fathy, R. 2018. Microbial biopesticides affected age-stage life table of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera – Gelechiidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28(10):1-8.



© 2019 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/>).

Lethal and sublethal effects of botanical insecticide, tondexir (Tondexir[®]) and chemical insecticide, indoxacarb (Avaunt[®]) on the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lep.: Gelechiidae)

M. Kabiri Raeisabad^{1*}

1. ***Corresponding Author:** Ph.D. Student of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran (kabiri_mahdi88@yahoo.com)

(DOI): 10.22055/ppr.2019.14443

Received: 5 January 2019

Accepted: 12 May 2019

Abstract

Background and Objectives

The tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) is the most damaging tomato insect pest. In the present study, the lethal effects of plant insecticide, tondexir (Tondexir[®]) and chemical insecticide, indoxacarb (Avaunt[®]) were assessed against *T. absoluta* under laboratory and field conditions.

Materials and Methods

The sublethal (LC₃₀) effects of the insecticides were evaluated on the life table parameters of *T. absoluta*. The potter tower was used for the bioassays. In order to define the effect of these compounds, an experimental field was carried out in a randomized complete block design with three treatments replicated four times during two consecutive seasons in 2017 and 2018.

Results

The LC₅₀ values of tondexir and indoxacarb on eggs of *T. absoluta* were 837.9 and 1139.1 ppm, respectively. Sublethal concentration of insecticides affected life table parameters of *T. absoluta* significantly. Embryonic, larval, pupal and TPOP periods were significantly higher in tondexir than the control. Intrinsic rate of increase (r_m) value in both insecticide treatments was significantly lower than control ($P < 0.05$). The minimum value of λ (1.105 day^{-1}) and the longest generation time (39.36 day) was observed in tondexir. The persistency effect of tested insecticides under field conditions was higher in tondexir than indoxacarb. Even 21 days after treatment, the percentage mortality of eggs and larvae of *T. absoluta* were significantly higher in plot treated with tondexir than indoxacarb treatment.

Discussion

The total results revealed that tondexir had high lethal and sublethal effects on tomato leafminer and can be recommendable to be applied in an integrated pest management program (IPM) of this pest.

Keywords: *Tuta absoluta*, *Tondexir*, *Indoxacarb*, *Life table*, *Persistency effect*, *Bioassay*