

ثبات مقاومت به دلتامترین و احتمال ناکارآمدی آن در کنترل مینوز برگ گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae)

مریم ملک‌محمدی^۱ و امیرحسین اقبالیان^۱

۱- استادیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان.

*مسئول مکاتبه: m.malekmohamadi@basu.ac.ir, m.malek172@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۸

چکیده

ظهور و گسترش مقاومت در بین گونه‌های آفت، از دلایل اصلی ناکارآمدی ترکیبات حشره‌کش در کنترل آفات در دز یا غلظت توصیه شده روی برچسب جهت استفاده در مزرعه یا گلخانه به شمار می‌رود. نظر به اهمیت مسئله، در این بررسی پایداری مقاومت به دلتامترین به همراه احتمال عدم کارایی آن در کنترل جمعیت‌های گلخانه‌ای *Tuta absoluta* (Meyrick) در استان همدان مورد ارزیابی قرار گرفت. زیست‌سنجی به روش غوطه‌وری برگ در محلول سمی و روی لاروهای سن دوم انجام شد. بررسی احتمال ناکارآمدی دلتامترین در کنترل جمعیت‌های گلخانه‌ای مینوز برگ گوجه‌فرنگی با استفاده از یک غلظت افتراقی عملی (میزان توصیه شده روی برچسب جهت استفاده در مزرعه یا گلخانه) و بر مبنای حداقل کارایی (تلفات ۸۰٪) انجام گرفت. ضریب مقاومت برآورد شده برای جمعیت‌های مورد بررسی از ۱/۲۵ تا ۱۳/۹۱ برابر متغیر بود. نتایج زیست‌سنجی‌ها، عدم کارایی دلتامترین در کنترل جمعیت‌های گلخانه‌ای شماره ۶ و ۷ مینوز برگ گوجه‌فرنگی را تأیید نمود (۶۶-۵۲ درصد ناکارآمدی). کاهش معنی‌دار ضریب مقاومت به دلتامترین، از ۱۳/۹۱ به ۱/۸۷ برابر (ضریب کاهش مقاومت معادل ۰/۱۲)، پس از هفت نسل پرورش به دور از فشار انتخابی حشره‌کش، نشان دهنده وضعیت ناپایدار مقاومت به دلتامترین در بین جمعیت‌های گلخانه‌ای *T. absoluta* بود، وضعیتی که می‌تواند ناشی از هزینه‌های بالای شایستگی در فنوتیپ مورد نظر باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، به نظر می‌رسد تکیه‌ی مستمر بر مصرف حشره‌کش‌های پایرتروبییدی و احتمالاً ترکیبات فسفره بتواند ادامه‌ی استفاده از این دو گروه از ترکیبات حشره‌کش در گلخانه‌های استان همدان علیه مینوز برگ گوجه‌فرنگی را با چالش مواجه سازد.

واژه‌های کلیدی: دلتامترین، مینوز برگ گوجه‌فرنگی، ناکارآمدی کنترل، ثبات مقاومت، غلظت توصیه شده روی برچسب.

مقدمه

اسپلنتشتاین (۲۰۱۱). راه‌کارهای اصلی کشاورزان در مواجهه با *T. absoluta* عبارت است از افزایش غلظت حشره‌کش، افزایش تعداد دفعات کاربرد حشره‌کش و استفاده همزمان از مخلوط چند حشره‌کش. متأسفانه پیامد عملی چنین رویکردی کاهش کارایی آفت‌کش‌های مصرفی و گسترش مقاومت در بین جمعیت‌های آفت، به ویژه در منطقه‌ی آمریکای جنوبی بوده است. مقاومت به آبامکتین^۱، کارتاپ^۲، متامیدوفوس^۳ و پرمترین^۴ از برزیل (سیکورا و

مینوز برگ گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)، به عنوان مهمترین آفت گوجه‌فرنگی در منطقه‌ی آمریکای جنوبی (پیکانکو و همکاران ۲۰۰۷)، در سال ۲۰۰۶ از طریق اسپانیا وارد اروپا شد و به سرعت در اکثر مناطق اروپا و سپس آفریقای مدیترانه‌ای گسترش یافت. گیاه گوجه‌فرنگی از تمامی قسمت‌ها و در تمامی مراحل رشد ممکن است مورد حمله‌ی این آفت قرار گیرد. ورود عوامل بیماری‌زای گیاهی از محل زخم‌های ایجاد شده توسط این آفت در هنگام تغذیه، لهدیگی و فساد بخش‌های آلوده و در نتیجه افت شدید کمی و کیفی محصول را در پی خواهد داشت (بلوئم و

¹Abamectin

²Cartap

³Methamidophos

⁴Permethrin

حشره‌کش‌های آبامکتین، کلرفن‌پایر، اسپینوزاد، بیفنترین، تریفلومورون، تفلوبنزورون و اسپینوزاد در غلظت‌های توصیه شده روی برچسب^۴ را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که حشره‌کش‌های تریفلومورون، تفلوبنزورون و اسپینوزاد در مقایسه با دیگر حشره‌کش‌ها از شاخص ناکارآمدی بزرگتری برخوردار هستند. استفاده از غلظت‌های توصیه شده مزرعه‌ای/ گلخانه‌ای به عنوان کارایی افتراقی و کنترل ۸۰ درصدی جمعیت‌ها به عنوان کارایی هدف، دو معیار بکار رفته در تحقیق نامبرده بوده است. نتایج مطالعه دیگری در خصوص سازوکار مقاومت احتمالی جمعیت‌های برزیلی *T. absoluta* به حشره‌کش‌های پایرتروبییدی دلتامترین، آلفاسیپرمتترین و پرمترین، ضمن تایید وجود مقاومت ۱۱-۱۰ برابری در جمعیت‌های مورد بررسی، نشان داد که هیچ یک از حشره‌کش‌های پایرتروبییدی در غلظت‌های توصیه شده مزرعه‌ای/ گلخانه‌ای از کارایی لازم در کنترل جمعیت‌های هدف برخوردار نبوده و شاخص ناکارآمدی براساس تعریف جدید مقاومت از ۹۸ تا ۱۰۰ درصد در نوسان بود.

آگاهی از وضعیت ثبات مقاومت به ترکیبات حشره‌کش به لحاظ معرفی استراتژی‌های مدیریتی موفق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (افضل و همکاران ۲۰۱۵، خان و همکاران ۲۰۱۴). در صورت تایید ماهیت ناپایدار مقاومت نسبت به یک حشره‌کش خاص، حذف حشره‌کش از جدول سم‌پاشی‌ها کاهش سطح مقاومت و افزایش عمر مفید آن ترکیب در مبارزه علیه آفت هدف را در پی خواهد داشت (کریا و تباشنک ۲۰۰۱، باسیط و همکاران ۲۰۱۱، شاه و همکاران ۲۰۱۵). کاهش نرخ مقاومت و بازگشت وضعیت حساس به جمعیت‌های مقاوم می‌تواند ناشی از تبعات منفی ژن‌های مقاومت روی شایستگی جمعیت‌ها در شرایط حذف فشار انتخابی مصرف آفت‌کش‌ها باشد (روش ۱۹۹۳، کریستسن و همکاران ۲۰۰۰، عباس و همکاران ۲۰۱۴b، جان و همکاران ۲۰۱۵). در خصوص نقش هزینه‌های شایستگی در واژگونی مقاومت به آفت‌کش‌ها، نظریات

همکاران a و b ۲۰۰۰، سیکورا و همکاران ۲۰۰۱)، مقاومت به آبامکتین، دلتامترین^۱ و متامیدوفوس از آرژانتین (لیتی و همکاران ۲۰۰۵) و مقاومت به ارگانوفسفات‌ها و ترکیبات پایرتروبییدی از شیلی (لیتی و همکاران ۲۰۰۵)، مواردی از مقاومت‌های گزارش شده در بین جمعیت‌های این آفت بوده است.

شناخته شده‌ترین پیامد عملی مقاومت به آفت‌کش‌ها در یک جمعیت مشخص از آفت، شکست برنامه‌های کنترل علیه آن آفت خاص می‌باشد. تعریف اولیه‌ی مقاومت به حشره‌کش‌ها که توسط سازمان بهداشت جهانی^۲ ارائه شده است، عبارت است از ایجاد نوعی توانمندی در یک سویه از حشرات، طوری که سویه‌ی واجد این توانمندی بتواند غلظت یا دزی از یک ماده‌ی سمی را تحمل نماید که این غلظت یا دز برای اکثر افراد یک جمعیت عادی از همان گونه کشنده باشد (دبلیو. اچ. او ۱۹۵۷). وجود چنین ارتباط بالقوه‌ای بین مقاومت به حشره‌کش‌ها و شکست برنامه‌های کنترلی، موجب تغییر تعریف مقاومت به حشره‌کش‌ها گردیده است. تعریف جدید مقاومت توسط کمیته‌ی اقدام مقاومت به حشره‌کش‌ها^۳ ارائه شده است که بر اساس آن، مقاومت به حشره‌کش‌ها به مفهوم شکست برنامه‌های مبارزه علیه گونه‌های آفت در شرایط مزرعه یا گلخانه می‌باشد. طبق تعریف IRAC، مقاومت به نوعی تغییر ارثی در حساسیت جمعیت آفت نسبت به حشره‌کش‌های مصرفی در دز یا غلظت توصیه شده روی برچسب (جهت استفاده در مزرعه یا گلخانه) اطلاق می‌شود که تظاهر بیرونی و عملی چنین تغییری، ناکارآمدی مکرر حشره‌کش‌ها در رسیدن به سطح کنترل مورد انتظار برای آن آفت خاص خواهد بود (آیراک a ۲۰۱۲). متأسفانه بررسی‌ها در خصوص مقاومت گونه‌های آفت به ترکیبات آفت‌کش بر مبنای معیار جدید، بسیار محدود بوده است. گونتیجو و همکاران (۲۰۱۳) در طی یک تحقیق هفت ساله روی ۲۰ جمعیت مزرعه‌ای از *T. absoluta*، احتمال عدم کارایی

¹Deltamethrin

²World Health Organization, WHO

³Insecticide Resistance Action Committee, IRAC

⁴ label rates

کینتیکی کانال سدیم و در نتیجه افزایش هیجانان سیستم عصبی است (نرهای و همکاران ۱۹۹۲). علی‌رغم عدم توصیه به مصرف دلتامترین علیه مینوز برگ‌خوار گوجه‌فرنگی از طرف سازمان حفظ نباتات کشور (چراغیان ۱۳۹۰)، کشاورزان و گلخانه‌داران استان همدان به طور معمول جهت کنترل این آفت از دلتامترین استفاده می‌کنند. نتایج یک بررسی (ملک‌محمدی ۱۳۹۶) در خصوص سازوکار متابولیکی مقاومت جمعیت‌های مزرعه‌ای مینوز برگ گوجه‌فرنگی به حشره‌کش دلتامترین در استان همدان، ضمن تأیید وجود مقاومت ۲۱/۶ برابری جمعیت‌های مزرعه‌ای در مقایسه با سویه‌ی حساس آزمایشگاهی، نشان داد که بر خلاف منواکسیژنازهای وابسته به سیتوکروم پی ۴۵۰، نقش سم‌زدایی متابولیکی با دخالت گروه‌های آنزیمی استرازاها و گلوکوتایون‌اس - ترنسفرازها در مقاومت جمعیت‌های مزرعه‌ای *T. absoluta* به دلتامترین، ضعیف و بی‌اهمیت بوده است. بر این اساس و در ادامه‌ی بررسی‌ها در تحقیق حاضر احتمال عدم کارایی دلتامترین در کنترل جمعیت‌های گلخانه‌ای مینوز برگ گوجه‌فرنگی^۱ براساس مقدار مصرف توصیه شده روی برچسب به عنوان غلظت افتراقی و آستانه‌ی حداقل اثربخشی^۲ (تلفات ۸۰٪) به عنوان کارایی هدف مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی وضعیت ثبات مقاومت به دلتامترین در بین جمعیت‌های گلخانه‌ای در نبود فشار انتخابی دلتامترین در شرایط آزمایشگاهی، هدف دیگر تحقیق حاضر بوده است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری حشرات و پرورش کلنی

در تحقیق حاضر جهت پرورش انبوه *T. absoluta* و انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی از گوجه‌فرنگی رقم از میر استفاده شد. جمعیت‌های گلخانه‌ای مینوز برگ گوجه‌فرنگی (هشت جمعیت) از گلخانه‌های استان همدان جمع‌آوری شده (جدول ۱) و پس از انتقال به آزمایشگاه گروه گیاهپزشکی دانشگاه بوعلی‌سینا، درون اتاقک رشد با شرایط دمایی

متفاوتی ارائه شده است. به عقیده‌ی تباشنک و همکاران (۱۹۹۴) تبعات منفی آن دسته از هزینه‌های شایستگی که در نتیجه‌ی دخالت مستقیم آل‌های مقاومت بر جمعیت‌ها تحمیل می‌شود، در محیط مزرعه قابل توجه خواهد بود. در صورت همسویی و ارتباط مثبت صفت مقاومت با فرایند گزینش صفات مرتبط با شایستگی عمومی، مقاومت می‌تواند برای مدت طولانی علی‌رغم حذف فشار انتخابی مصرف حشره‌کش از روی جمعیت همچنان پایدار بماند (کرو ۱۹۵۷). در مواردی نیز حساسیت افراد مقاوم در نبود فشار گزینشی ناشی از مصرف حشره‌کش در شرایط آزمایشگاه ممکن است کاهش یابد (کریستنسن و همکاران ۲۰۰۰). در مواردی که سازوکار ایجاد کننده‌ی مقاومت باعث تغییر عملکرد طبیعی جایگاه هدف شده یا انحراف نیرو و منابع از صفات شایستگی را در پی داشته باشد، واژگونی مقاومت در نتیجه‌ی تأثیر منفی هزینه‌های شایستگی ظاهر خواهد شد (کریا و همکاران ۱۹۹۴، تباشنک و همکاران ۱۹۹۴، کلیت و غنیم ۲۰۱۲). ترکیبی از عوامل بیولوژیکی، اکولوژیکی و یا بیوشیمیایی (کاهش ظرفیت سم‌زدایی)، می‌تواند روند افزایشی ژنوتیپ‌های هتروزیگوت در جمعیت‌های مقاوم را بسیار کاهش داده و مقاومت را در آستانه‌ی مرحله ثبات قرار دهد (روش و همکاران ۱۹۹۰).

پایرتروبیدهای مصنوعی، گروه منحصر به فردی از آفت‌کش‌ها با خصوصیات عملکردی بالا در مقایسه با دیگر گروه‌های آفت‌کش هستند که بیش از ۳۰٪ کل آفت‌کش‌های مصرفی در سراسر جهان را به خود اختصاص داده‌اند (پرسانتی و همکاران ۲۰۰۵). ترکیبات پایرتروبیدهی از طریق مداخله در کانال ولتاژ سدیم و تغییر عملکرد کینتیکی آن، باعث مسمومیت و مرگ گونه‌های آفت می‌گردند (نرهای ۱۹۹۶، گلدن ۲۰۰۳، سودرلند و نیپل ۲۰۰۳). دلتامترین، حشره‌کش بسیار قوی با اثر تماسی - گوارشی است که به صورت گسترده علیه طیف وسیعی از آفات کشاورزی و جنگلی استفاده می‌شود (ویلیرنی و همکاران ۱۹۹۸). روش اصلی تأثیر دلتامترین، به عنوان یک ترکیب پایرتروبیدهی نوع ۲ (سودرلند و بلموکوست ۱۹۸۹)، تغییر

¹Control failure likelihood

²Minimum efficacy threshold

محلول سمی غوطه‌ور شدند. برگ‌ها سپس روی حوله‌های کاغذی در شرایط اتاق نگهداری شدند تا سطح آنها کاملاً خشک گردد. جهت حفظ شادابی برگ‌ها در طول انجام زیست‌سنجی، قسمت انتهایی دم‌برگ توسط پنبه مرطوب پوشانده شد. آزمایش‌های زیست‌سنجی درون ظروف پلاستیکی شفاف دارای تهویه مناسب و به حجم تقریبی یک لیتر انجام گرفت (سیلوا و همکاران ۲۰۱۵). لاروهای مورد استفاده در زیست‌سنجی‌ها، از برگ‌های نسبتاً جوان گیاه میزبان انتخاب شدند. هر آزمایش زیست‌سنجی شامل شش غلظت و یک شاهد، با حداقل هشت تکرار در روزهای مختلف و تعداد ۲۵-۳۰ عدد لارو در هر غلظت انجام گردید. پس از گذشت ۲۴ ساعت، تلفات مرحله‌ی لاروی ثبت گردید. لاروهایی که قادر به حرکت پاها و شکم خود در اثر تحریک با نوک سوزن نبودند، مرده به شمار آمدند. در صورت بالا بودن میزان تلفات در شاهد (بیش از ۱۰ درصد) تکرار مورد نظر حذف شده و در صورت وجود تلفات احتمالی در شاهد (کمتر از ۱۰ درصد) میزان مرگ‌و-میر مشاهده شده به کمک فرمول ابوت تصحیح گردید (ابوت ۱۹۲۵). براساس نتایج آزمون مقدماتی، تلفات ۱۰ و ۹۰ درصد به ترتیب به عنوان حد پایین و بالا در آزمون نهایی لحاظ گردید.

ارزیابی احتمال ناکارآمدی دلتامترین^۳ در کنترل مینوز برگ گوجه‌فرنگی

در آزمایش‌های زیست‌سنجی با هدف بررسی احتمال ناکارآمدی دلتامترین در کنترل مینوز برگ گوجه‌فرنگی، از میزان توصیه شده دلتامترین جهت کنترل این آفت به عنوان معیار استفاده گردید. مقدار توصیه شده دلتامترین علیه مینوز برگ گوجه‌فرنگی، ۷/۵ میلی‌گرم ماده‌ی موثره در هر لیتر آب^۴ برآورد شده است (گونتيجو و همکاران ۲۰۱۳). بنابراین از مقدار ۷/۵ میلی‌گرم ماده‌ی موثره در هر لیتر آب، به عنوان غلظت افتراقی و از تلفات ۸۰٪ نیز به عنوان شاخص کارآمدی دلتامترین در کنترل مینوز برگ

±۱۲۵ درجه‌ی سلسیوس، دوره‌ی نوری ۸:۱۶ (تاریکی: روشنایی) و رطوبت نسبی ±۵۶۵ درصد روی گیاه گوجه-فرنگی، به صورت مجزا پرورش داده شد (کمپاس و همکاران ۲۰۱۴). پس از گذشت سه نسل، آزمایش‌های زیست‌سنجی روی جمعیت‌های جمع‌آوری شده انجام گردید. از حساس‌ترین جمعیت در بین جمعیت‌های گلخانه-ای جمع‌آوری شده، به عنوان مبنا و شاخصی برای مقایسه‌ی داده‌های آزمایش‌های زیست‌سنجی، استفاده شد.

جدول ۱- مناطق جمع‌آوری جمعیت‌های *T. absoluta*

جمعیت	منطقه	محصول
جمعیت مرجع	همدان- ملایر	گوجه‌فرنگی- گلخانه
جمعیت گلخانه‌ای ۱	همدان- اسدآباد	گوجه‌فرنگی- گلخانه
جمعیت گلخانه‌ای ۲	همدان- امزاجرد	گوجه‌فرنگی- گلخانه
جمعیت گلخانه‌ای ۳	همدان- تویسرکان	گوجه‌فرنگی- گلخانه
جمعیت گلخانه‌ای ۴	همدان- رزن	گوجه‌فرنگی- گلخانه
جمعیت گلخانه‌ای ۵	همدان- کوریجان	گوجه‌فرنگی- گلخانه
جمعیت گلخانه‌ای ۶	همدان- نهاوند	گوجه‌فرنگی- گلخانه
جمعیت گلخانه‌ای ۷	همدان- همدان	گوجه‌فرنگی- گلخانه

زیست‌سنجی

زیست‌سنجی‌ها روی لارو سن دوم (۴۸-۲۴ ساعته) در شرایط دمایی 1 ± 25 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و دوره‌ی نوری ۸:۱۶ انجام شدند. لارو-های سن اول داخل ژرمیناتور به صورت روزانه و هر ۲۴ ساعت یکبار، مورد بازبینی قرار گرفته و با وارد شدن به سن دوم، به ظروف مخصوص جهت انجام آزمایشات زیست‌سنجی منتقل گردیدند. زیست‌سنجی با استفاده از دلتامترین فرموله شده توسط کارخانه بایر آلمان (۲/۵٪ EC^۱) (محدوده‌ی غلظت‌های ۱۱۵۰-۳۲ پی‌پی‌ام) و به روش توصیه شده از سوی IRAC^۲ (آیراک b ۲۰۱۲، سیلوا و همکاران ۲۰۱۱) انجام شد. برگ‌ها به مدت یک دقیقه در

³Control failure likelihood

⁴Decis 25 CE, Bayer CropScience S.A, recommended label rate, 7.5 mg AI/L of water

¹Emulsifiable Concentrate

²IRAC method No. 022

برچسب جهت کنترل ۸۰ درصدی جمعیت‌های گلخانه‌ای مینوز برگ گوجه‌فرنگی^۳ (احتمال شکست در کنترل آفت) براساس روش پیشنهادی گونتيجو و همکاران (۲۰۱۳) بررسی شد. گروه‌بندی جمعیت‌های جمع‌آوری شده از نظر سطح مقاومت طبق معیار ارایه شده توسط لای و همکاران (۲۰۱۱) انجام گرفت. براساس این معیار، جمعیت‌های دارای ضرایب مقاومت (RR^4) ۳ تا ۵، ۵ تا ۱۰ برابر، ۱۰ تا ۴۰ برابر، ۴۰ تا ۱۶۰ و بیش از ۱۶۰ برابر به ترتیب در گروه‌های حساسیت کاهش‌یافته، مقاومت پایین، مقاومت متوسط، مقاومت بالا و مقاومت بسیار بالا قرار می‌گیرند.

نتایج و بحث

زیست‌سنجی

نتایج زیست‌سنجی حشره‌کش پایرترویدی دلتامترین روی لاروهای سن دوم جمعیت‌های گلخانه‌ای مینوز برگ گوجه‌فرنگی در جدول ۲ آمده است. بررسی‌های اولیه در خصوص مقاومت *T. absoluta* به حشره‌کش‌های مصرفی، به روش کاغذ صافی (آغشته به حشره‌کش) یا روش قطره‌گذاری (کاربرد موضعی) و با استفاده از ماده‌ی تکنیکال بوده است (سیکورا و همکاران ۲۰۰۰، سیکورا و همکاران ۲۰۰۱، لیتی و همکاران ۲۰۰۵). اخیراً سعی شده است شرایط انجام زیست‌سنجی‌ها تا حد امکان به شرایط مزرعه و یا گلخانه نزدیک بوده و در زیست‌سنجی‌ها از روش فرو بردن برگ در محلول حشره‌کش و از فرمولاسیون‌های تجاری به جای ماده‌ی تکنیکال استفاده گردد (سیلوا و همکاران ۲۰۱۱، گونتيجو و همکاران ۲۰۱۳، ردیتاکیس و همکاران ۲۰۱۳، سیلوا و همکاران ۲۰۱۵). در این بررسی، جمعیت گلخانه‌ای دارای کمترین میزان غلظت کشنده ۵۰٪ (۱۲۵/۳۱ پی‌پی‌ام)، به عنوان حساس‌ترین جمعیت مبنای مقایسه‌ی داده‌های زیست‌سنجی قرار گرفت. به همین علت ضریب‌های مقاومت برآورد شده، ممکن است به مراتب کمتر از ضریب‌های مقاومت برآورد شده در صورت وجود یک سویه حساس واقعی باشد. دامنه‌ی

گوجه‌فرنگی در شرایط مزرعه یا گلخانه استفاده گردید. شرط تایید آماری تلفات کمتر از ۸۰٪ یک حشره‌کش در غلظت توصیه شده روی برچسب، کمتر بودن میزان توصیه شده روی برچسب از حد پایین فاصله اطمینان ۹۵٪ غلظت کشنده ۸۰٪ جمعیت‌های مورد بررسی عنوان شده است (گونتيجو و همکاران ۲۰۱۳).

پایداری مقاومت به دلتامترین

جمعیت گلخانه‌ای شماره ۷، به عنوان مقاوم‌ترین جمعیت در بین جمعیت‌های گلخانه‌ای جمع‌آوری شده جهت بررسی پایداری مقاومت به دلتامترین انتخاب گردید و به مدت هفت نسل متوالی بدون هر گونه تماس با حشره‌کش درون اتاقک رشد با شرایط دمایی 25 ± 1 درجه‌ی سلسیوس، دوره‌ی نوری ۱۶:۸ (تاریکی: روشنایی) و رطوبت نسبی 65 ± 5 پرورش داده شد. میزان کاهش مقاومت^۱ از فرمول زیر محاسبه گردید (عباس و همکاران ۲۰۱۵):

$$DR = [\log(\text{final LC}_{50}) - \log(\text{initial LC}_{50})] / n$$

n تعداد نسل‌هایی از حشره است که در نبود فشار انتخابی ناشی از مصرف حشره‌کش پرورش یافته است.

تجزیه تحلیل داده‌ها

تجزیه‌ی پروبیت داده‌های حاصل از زیست‌سنجی با استفاده از نرم‌افزار پولو-پلاس^۲ انجام شد. در صورت وجود مرگومیر در شاهد، درصد مرگومیر تیمار با فرمول ابوت (۱۹۲۵) تصحیح گردید. ضریب مقاومت به همراه فواصل اطمینان ۹۵٪ برای هریک از جمعیت‌های مورد بررسی، با استفاده از روش رابرتسون و همکاران (۲۰۰۷) محاسبه شد. نبود هم‌پوشانی بین محدوده‌های اطمینان ۹۵٪، نشان دهنده‌ی وجود تفاوت معنی‌دار بین مقادیر LC_{50} جمعیت‌های مورد بررسی و عدم پوشش عدد یک در محدوده‌ی اطمینان ۹۵٪ نرخ‌های مقاومت برآورد شده، دلیلی بر معنی‌داری ضریب‌های مقاومت بوده است. احتمال ناکارآمدی دلتامترین در غلظت توصیه شده روی

³Control failure likelihood

⁴Resistance ratio

¹Decrease in resistance, DR

²POLO-Plus

یک غلظت افتراقی عملی (میزان توصیه شده روی برچسب جهت استفاده در مزرعه یا گلخانه) بر مبنای حداقل کارایی مورد قبول (تلفات ۸۰٪) مورد ارزیابی قرار گرفت (گونتیجو و همکاران ۲۰۱۳). نتایج زیست‌سنجی‌ها، عدم کارایی دلتامترین در کنترل جمعیت‌های مزرعه‌ای ۶ و ۷ مینوز برگ گوجه‌فرنگی را تأیید نمود (۶۶-۵۲ درصد احتمال ناکارآمدی دلتامترین در کنترل *T. absoluta* در صورت مصرف دلتامترین به میزان توصیه شده روی برچسب) (جدول ۳).

روش معمول تشخیص مقاومت به آفت‌کش‌ها در بین جمعیت‌های آفت، محاسبه‌ی ضریب مقاومت (RR) است. البته جهت ردیابی جمعیت‌های مقاوم و نیز شناسایی هموزیگوت‌های حساس (SS) از هموزیگوت‌های مقاوم (RR) و هتروزیگوت‌ها (RS) از دزهای افتراقی^۲ یا دزهای تشخیصی^۳ نیز می‌توان بهره گرفت. پیامد استفاده از دزهای افتراقی در یک جمعیت، مرگ تمامی افراد حساس و زنده‌مانی افراد مقاوم خواهد بود (موتا- سانچز و همکاران ۲۰۰۸). در اغلب موارد به سختی می‌توان از روی نتایج زیست‌سنجی‌های انجام شده با هدف تشخیص مقاومت، شکست عملیات مبارزه علیه آفت و یا احتمال شکست آن در شرایط مزرعه یا گلخانه را پیش‌بینی نمود. رویکرد مورد استفاده در مطالعه‌ی حاضر، در عین حال با تعریف جدید مقاومت به حشره‌کش‌ها مورد تأیید شرکت‌های سازنده سموم و نیز IRAC همخوانی بیشتری دارد (آیراک ۲۰۱۲ a). اگر چه دیدگاه IRAC در خصوص مقاومت به حشره‌کش‌ها، می‌تواند تشخیص به موقع مقاومت و تلاش‌ها جهت کاهش وخامت اوضاع را به تأخیر اندازد، اما در عین حال ارزیابی دقیقی از پیامدهای اقتصادی ظهور مقاومت در اختیار کارشناسان قرار می‌دهد.

به نظر می‌رسد مقاومت به پایرتروبیدها در میان جمعیت‌های مینوز برگ گوجه‌فرنگی در جنوب آمریکا، شمال آفریقا و اروپا به طور گسترده وجود داشته باشد (هدی و همکاران ۲۰۱۲). ثبت ترکیبات پایرتروبییدی در

عددی مقادیر LC_{50} های برآورد شده به ترتیب از ۱۲۵/۳۱ تا ۱۷۴۳ (ppm) متغیر بود. هم‌پوشانی محدوده‌های اطمینان ۹۵٪ محاسبه شده برای جمعیت گلخانه‌ای شماره ۱ و جمعیت مرجع (طبق قرارداد)، نشان دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین LC_{50} های بدست آمده برای این دو جمعیت بوده است (جدول ۲). ضریب‌های مقاومت برآورد شده برای جمعیت‌های مورد بررسی از ۱/۲۵ تا ۱۳/۹۱ برابر متغیر بود، دلیل چنین تفاوتی می‌تواند تاریخچه‌ی متفاوت سم‌پاشی، شدت فشار انتخابی وارده بر جمعیت و نیز مقاومت تقاطعی به دیگر ترکیبات حشره‌کش باشد.

براساس معیار ارائه شده توسط لای و همکاران (۲۰۱۱) جمعیت‌های شماره ۳، ۴ و ۵ در گروه حساسیت کاهش یافته، جمعیت شماره ۶ در گروه مقاومت کم و جمعیت شماره ۷ در گروه مقاومت متوسط قرار گرفتند. در برنامه‌های مربوط به پایش جمعیت‌ها به لحاظ بررسی امکان مقاومت گونه‌های هدف به ترکیبات آفت‌کش، محاسبه‌ی ضریب مقاومت یک ضرورت است. ضریب مقاومت معادل ۱۰ یا بزرگتر به عنوان آستانه شروع مقاومت در نظر گرفته می‌شود (موتا- سانچز و همکاران ۲۰۰۸). براساس نتایج این بررسی، حساسیت جمعیت‌های گلخانه‌ای به دلتامترین در مقایسه با جمعیت حساس حداکثر تا ۱۳/۹ برابر با کاهش مواجه بوده است (جدول ۲). شیب خطوط غلظت-مرگومیر^۱ جمعیت‌های گلخانه‌ای ۳، ۴ و ۷ در مقایسه با دیگر جمعیت‌های گلخانه‌ای و نیز جمعیت حساس دارای تفاوت معنی‌داری بوده است. به عقیده سیلوا و همکاران (۲۰۱۱)، تفاوت معنی‌دار شیب منحنی‌های غلظت-تلفات، ضمن تأیید پاسخ ناهمگن جمعیت‌ها به ترکیبات حشره‌کش، نشان دهنده‌ی پتانسیل و قابلیت بالای جمعیت‌ها در گذر از مرحله‌ی حساس به مرحله‌ی مقاوم در صورت تداوم فشار گزینشی حشره‌کش‌های مصرفی بر آنها نیز می‌باشد.

ارزیابی احتمال ناکارآمدی دلتامترین در کنترل مینوز برگ گوجه‌فرنگی

در این بررسی احتمال ناکارآمدی دلتامترین در کنترل جمعیت‌های گلخانه‌ای مینوز برگ گوجه‌فرنگی با استفاده از

²Discriminating dosages

³Resistance diagnostic dosages

¹Concentration-mortality curves

جدول ۲- نتایج زیست‌سنجی حشره‌کش دلتامترین روی لاروهای سن ۲ جمعیت‌های گلخانه‌ای مینوز برگ گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta*.

RR ^c (95% CL ^a)	χ^2 ^b	غلظت‌های کشندگی (ppm)		خطای استاندارد \pm شیب	تعداد	جمعیت
		LC ₉₀ (95% CL ^a)	LC ₅₀ (95% CL ^a)			
-	۳/۷۵	۵۱۳/۶۱ (۳۴۷/۹۷-۹۷۸/۸۳)	۱۲۵/۳۱ (۸۷/۵۰-۱۶۹/۹۱)	۱/۳۷ \pm ۰/۰۸	۲۵۰	جمعیت مرجع
۱/۲۵ (۱/۰۶-۱/۴۷)	۰/۷۲	۶۱۰/۵۸ (۵۱۶/۹۵-۷۴۵/۴۳)	۱۵۶/۵۶ (۱۳۹/۸۸-۱۷۴/۷۹)	۱/۴۲ \pm ۰/۰۸	۲۵۰	جمعیت گلخانه‌ای ۱
۲/۲۷ (۱/۹۱-۲/۶۹)	۰/۸۳	۱۰۹۰/۷۸ (۸۹۱/۱۵-۱۳۹۶/۰۸)	۲۸۴/۲۶ (۲۵۳/۸۴-۳۲۱/۲۰)	۱/۴۴ \pm ۰/۰۸	۲۵۰	جمعیت گلخانه‌ای ۲
۲/۹۲ (۲/۵۶-۳/۳۴)	۴/۶	۷۲۷/۱۶ (۶۷۳/۳۷-۷۹۵/۹۳)	۳۶۶/۳۹ (۳۴۴/۹۷-۳۸۷/۸۸)	۲/۸۳ \pm ۰/۱۶	۲۵۰	جمعیت گلخانه‌ای ۳
۳/۳۲ (۲/۹۰-۳/۸۰)	۰/۷۷	۸۶۴/۸۴ (۷۹۰/۹۰-۹۶۲/۶۲)	۴۱۶/۵۴ (۳۹۲/۱۰-۴۴۱/۹۲)	۲/۶۵ \pm ۰/۱۵	۲۵۰	جمعیت گلخانه‌ای ۴
۵/۰۷ (۴/۲۶-۶/۰۴)	۰/۸۵	۲۶۲۳/۹۶ (۲۱۲۰/۲۹-۳۴۰۳/۸۴)	۶۳۵/۷۱ (۵۶۴/۲۱-۷۲۳/۰۹)	۱/۳۶ \pm ۰/۰۸	۲۵۰	جمعیت گلخانه‌ای ۵
۵/۹۸ (۵/۰۴-۷/۱۳)	۴/۵۱	۲۸۵۳/۰۹ (۲۳۱۶/۷۵-۳۶۷۵/۶۵)	۷۵۱/۵۸ (۶۶۸/۲۹-۸۵۴/۰۰)	۱/۴۵ \pm ۰/۰۸	۲۵۰	جمعیت گلخانه‌ای ۶
۱۳/۹۱ (۱۲/۰۳-۱۶/۰۹)	۴/۵۵	۴۱۸۶/۶۹ (۳۶۵۱/۴۴-۴۹۴۴/۷۲)	۱۷۴۳/۰۰ (۱۶۱۳/۵۸-۱۸۹۶/۸۶)	۲/۲۱ \pm ۰/۱۳	۲۵۰	جمعیت گلخانه‌ای ۷

^a حدود اطمینان ^b کای اسکور ^c ضریب مقاومت

جدول ۳- تلفات حاصل از تیمار لاروهای سن ۲ جمعیت‌های گلخانه‌ای *Tuta absoluta* با دلتامترین در غلظت توصیه شده روی برچسب.

درصد تلفات اصلاح شده (اشتباه استاندارد)	جمعیت
۱۰۰ (۰)	حساس
۹۹/۵۰ (۰/۸۶)	جمعیت گلخانه‌ای ۱
۹۶ (۰/۷۱)	جمعیت گلخانه‌ای ۲
۹۸/۵۰ (۱/۱۲)	جمعیت گلخانه‌ای ۳
۹۳/۲۵ (۰/۸۳)	جمعیت گلخانه‌ای ۴
۸۵ (۰/۷۰)	جمعیت گلخانه‌ای ۵
۴۷/۷۵ (۰/۸۰)*	جمعیت گلخانه‌ای ۶
۳۴ (۰/۷۰)*	جمعیت گلخانه‌ای ۷

تلفات ناشی از تیمار لاروهای سن ۲ با دلتامترین در میزان توصیه شده روی برچسب از نظر آماری کمتر از ۸۰٪ بوده است (گوتیجو و همکاران ۲۰۱۳).

حاضر استفاده از سه ترکیب پرمترین^۱، دلتامترین و آلفا-سیپرمتترین^۲ در غلظت توصیه شده روی برچسب روی جمعیت‌های برزیلی این آفت فاقد هرگونه اثر کنترلی است (سیلوا و همکاران ۲۰۱۱، گوتیجو و همکاران ۲۰۱۳). متأسفانه در ایران بررسی خاصی در این خصوص انجام نشده است.

برزیل، جهت کاربرد علیه *T. absoluta* به سال ۱۹۸۰ میلادی برمی‌گردد. گزارش اولین مورد مقاومت به پایرتروبیدها در بین جمعیت‌های برزیلی مینوز برگ گوجه-فرنگی مربوط به سال ۲۰۰۰ میلادی بوده است (سیکورا و همکاران b ۲۰۰۰). از آن زمان تاکنون روند مقاوم شدن جمعیت‌های برزیلی *T. absoluta* به این گروه از حشره-کش‌ها رو به گسترش بوده است، به گونه‌ای که در حال

^۱Permethrin

^۲Alpha- cypermethrin

پایداری مقاومت به دلتامترین

پس از گذشت هفت نسل، نرخ مقاومت جمعیت گلخانه-ای شماره ۷ به میزان معنی‌داری از ۱۳/۹۱ به ۱/۸۷ برابر با ضریب کاهش مقاومت (DR) معادل ۰/۱۲ کاهش پیدا کرد. این میزان کاهش، نشان دهنده‌ی ناپایداری مقاومت جمعیت‌های مینوز برگ گوجه‌فرنگی به دلتامترین در نبود فشار انتخابی ناشی از مصرف این حشره‌کش پایرترویدی می‌باشد (جدول ۳)، وضعیتی که می‌تواند ناشی از هزینه-های بالای شایستگی^۱ در فنوتیپ مورد نظر باشد. بین شیب منحنی‌های غلظت- تلفات نسل G_1 جمعیت جمع‌آوری شده از گلخانه و شیب منحنی غلظت- تلفات نسل G_7 جمعیت تحت فشار انتخابی با دلتامترین تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نبود تفاوت معنی‌دار بین شیب منحنی‌های G_1 و G_7 نشان می‌دهد تفاوت ژنتیکی جمعیت گلخانه‌ای شماره ۷ در نسل‌های اول و هفتم اندک بوده است. شیب منحنی‌های غلظت- تلفات می‌تواند نشان دهنده‌ی تفاوت فنوتیپی در حساسیت یک جمعیت در مواجهه با عوامل محیطی و ژنتیکی نیز باشد (هسکینز ۱۹۶۰). به عقیده چیلکات و تباشنک (۱۹۹۵)، شیب خط غلظت تلفات^۲، شاخص مناسبی جهت ارزیابی تفاوت‌های ژنتیکی جمعیت‌ها به لحاظ مقاومت به ترکیبات حشره‌کش تحت تأثیر تغییرات محیطی به شمار نمی‌آید.

ژن‌های مقاومت، هزینه‌های شایستگی، هیبریداسیون افراد حساس و فشار انتخابی مصرف آفت‌کش‌ها روی جمعیت‌های هدف از جمله عواملی هستند که می‌توانند ضریب مقاومت یک گونه خاص به ترکیبات آفت‌کش مصرفی را در بازه‌های زمانی مختلف تحت تأثیر قرار دهند (عباس و همکاران ۲۰۱۵). نتایج بررسی‌های انجام گرفته در شرایط آزمایشگاهی نشان می‌دهد که ضریب مقاومت جمعیت‌های آفت به ترکیبات حشره‌کش در صورت قطع استفاده از آنها بسته به ماهیت مقاومت ممکن است تغییر یابد (روش ۱۹۹۳، کریستنسن و همکاران ۲۰۰۰، عباس و همکاران ۲۰۱۴b). توقف استفاده از ترکیبات آفت‌کش در

مواقع مشخصی از سال، می‌تواند منجر به کاهش نرخ مقاومت به آن گروه از حشره‌کش‌ها، در دوره‌های مشخصی از سال گردد. مشابه این وضعیت در برخی از گونه‌ها نظیر *Plutella xylostella* L. (سید و همکاران ۲۰۰۵) و *Musca domestica* L. (عباس و همکاران ۲۰۱۵) مشاهده شده است.

داده‌های مربوط به حساسیت پایه گونه‌های (Hubner) *Helicoverpa armigera* (احمد و همکاران ۲۰۰۳، برد ۲۰۱۵)، *Spodoptera litura* Fab. (سو و همکاران ۲۰۱۲، رهان و فرید ۲۰۱۴)، *Helicoverpa zea* (Boddie) (تمپل و همکاران ۲۰۰۹) و *Plutella xylostella* (L.) (لی و همکاران ۲۰۱۵)، نسبت به برخی از حشره‌کش‌ها موجود است. پیش از این واژگونی مقاومت^۳ مگس‌خانگی *Musca domestica* L. نسبت به اسپینوزاد و پری‌پروکسیفن (خان و همکاران ۲۰۱۴، شاه و همکاران ۲۰۱۵) و نیز واژگونی مقاومت کرم غوزه‌ی خال خال پنبه (*Earias vittella* fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) به حشره‌کش‌های سیپرترین، دلتامترین و اسپینوزاد (جان و همکاران ۲۰۱۵) بررسی و اثبات شده است. مشابه وضعیت مشاهده شده در خصوص ماهیت مقاومت به دلتامترین در جمعیت‌های گلخانه‌ای مینوز برگ گوجه‌فرنگی (تحقیق حاضر)، برگشت مقاومت به دلتامترین قبلاً در گونه *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) (Fabricius) (جان و همکاران ۲۰۱۵) و *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Homoptera: Pseudococcidae) (صدیق و همکاران ۲۰۱۶) نیز مشاهده شده است، البته بر خلاف موارد ذکر شده، ماهیت مقاومت گونه‌های *Chrysoperla carnea* (Steph.) (سید و همکاران ۲۰۱۰)، *Spodoptera exiguae* (Hubner) (همکاران ۲۰۱۲) و *M. domestica* (خان و همکاران ۲۰۱۵) پایدار و باثبات بوده است. نتایج یک سری از آزمایشات مشابه در محیط میکروکازم^۴ روی ۷ نسل از جمعیت پاکستانی گونه *P. xylostella* تحت فشار انتخابی ناشی از

³Reversion of resistance

⁴Microcosm

¹Fitness costs

²Concentration- mortality line

ترکیبات، افزایش تماس جمعیت‌های آفات با سموم مصرفی و در نهایت ظهور و گسترش مقاومت را به دنبال خواهد داشت (اسکات و همکاران ۲۰۰۰). موکول نمودن زمان استفاده از ترکیبات آفت‌کش به مقاطع مشخصی از سال که در آن مقاطع آفت مورد نظر دارای بیشترین حساسیت نسبت به آفت‌کش‌های مصرفی است، در کنار استفاده متناوب از گروه‌های مختلف ترکیبات آفت‌کش با بیشترین تأثیر روی گونه هدف و اجتناب از کاربرد مکرر حشره-کش‌های هم گروه، ضمن کاستن از فراوانی آل‌های مقاوم در بین افراد جمعیت هدف، مدیریت موثر مقاومت را نیز در پی خواهد داشت (خان و اکرم ۲۰۱۴، عباس و همکاران ۲۰۱۴a). علی‌رغم وجود تفاوت‌ها به لحاظ میزان حساسیت جمعیت‌ها به دلتامترین، به نظر می‌رسد این حشره‌کش بتواند در کنترل جمعیت‌های گلخانه‌ای مینوز برگ گوجه-فرنگی در استان همدان بر اساس یک سری ملاحظات موثر باشد. در تناوب قرار دادن دلتامترین با آفت‌کش‌های دارای سازوکار تأثیر متفاوت، یکی از مهمترین این موارد است. احتیاط در استفاده از ترکیبات فسفره نیز می‌تواند در بهبود شرایط موثر باشد. مقاومت تقاطعی حشره‌کش‌های پیرترویدی و فسفره در تعدادی از گونه‌ها نظیر *Spodoptera litura* (F.) (احمد و همکاران ۲۰۰۷، هوانگ و همکاران ۲۰۰۶) و *Helicoverpa armigera* (Hubner) (گانینگ و همکاران ۱۹۹۹) به اثبات رسیده است، از این رو، تکیه‌ی مستمر بر مصرف حشره‌کش‌های پیرترویدی و احتمالاً ترکیبات فسفره ممکن است ادامه استفاده از این دو گروه از ترکیبات حشره‌کش در گلخانه‌های استان همدان علیه مینوز برگ گوجه‌فرنگی را با چالش‌های جدی مواجه سازد. توقف استفاده از ترکیبات حشره‌کشی که هنوز از کارایی لازم در کنترل گونه‌های هدف برخوردار هستند، برای دوره‌های زمانی مشخص و به شرط نبود مقاومت تقاطعی مثبت^۳ یا مقاومت چندگانه^۴ با حشره‌کش‌های جدید جایگزین در مدیریت مقاومت به حشره‌کش‌ها مفید بوده و

مصرف دلتامترین در محیط آزمایشگاه، نشان دهنده‌ی کاهش شدید مقاومت در شرایط حذف فشار مصرف دلتامترین از روی جمعیت بوده است (سعید و همکاران ۲۰۰۵). بنابراین استفاده غیر مداوم از حشره‌کش‌های دارای الگوی مقاومت ناپایدار می‌تواند در طولانی کردن دوره‌ی عمر مفید آنها در شرایط مزرعه موثر باشد. نتایج تحقیق انجام شده توسط احمد و همکاران (۲۰۰۷) در خصوص ژنتیک و سازوکار مقاومت به دلتامترین در یک جمعیت مزرعه‌ای از *Spodoptera litura* Fab. نشان داد که مقاومت به دلتامترین در گونه‌ی مورد نظر در طی ۵ نسل و در نبود فشار گزینشی ناشی از کاربرد دلتامترین دارای وضعیت با ثبات و پایداری بوده است. به عقیده‌ی نویسندگان این مقاله، در توجیه وضعیت پایدار مقاومت در جمعیت^۱ Delta-SEL، دو توضیح کاملاً مستقل وجود داشته است. اول آنکه، هزینه‌های شایستگی سویه‌های مقاوم وابسته به شرایط محیطی بوده و امکان ظهور آنها در شرایط پرورش آزمایشگاهی جمعیت‌های آفت، وجود نداشته است (کریا و همکاران ۲۰۰۱، سعید و همکاران ۲۰۰۵). دوم آنکه، مقاومت جمعیت Delta-SEL به دلتامترین ممکن است به نزدیکی مرحله‌ی ثبات رسیده باشد، در صورت صحت این فرض، افزایش ناهمگنی^۲ در بین جمعیت‌های آفت بسیار بطئی و آرام خواهد بود. البته با توجه به تغییرات مقاومت در بین زمان‌های نمونه‌برداری و دوره‌های پرورش جمعیت‌ها در شرایط آزمایشگاهی، به نظر می‌رسد احتمال اول به واقعیت نزدیک‌تر باشد. به عقیده کریا و همکاران (۲۰۰۱)، مقاومت به دلتامترین در راسته پروانه‌ها، صرف نظر از این که آیا گزینش جمعیت-های مقاوم در شرایط مزرعه اتفاق افتاده یا در شرایط آزمایشگاه، ناپایدار و بی‌ثبات خواهد بود (کریا و همکاران ۲۰۰۱).

در معرض قرارگیری کمتر ترکیبات آفت‌کش با نور خورشید در محیط‌های گلخانه‌ای، دوام بیشتر این دسته از

³ Positive cross-resistance

⁴ Multiple resistance

¹ Deltamethrin-selected population

² Heterogeneity

هستند که در تدوین تمامی برنامه‌های مدیریتی مینوز برگ گوجه‌فرنگی باید مورد توجه قرار گیرند.

سیاسکزاری

تحقیق حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا انجام شده است که بدین وسیله از آن معاونت محترم تشکر می‌گردد.

در صورت ناپایدار بودن ماهیت مقاومت ایجاد شده، در افزایش طول عمر مفید ترکیب مورد نظر نیز موثر خواهد بود (باسیط وهمکاران ۲۰۱۱). توجه به فون گونه‌های آفت موجود روی گیاه میزبان از جمله تریپس‌ها و سفیدبالک‌ها و نوع حشره‌کش‌های مصرفی علیه آنها، نکات مهم دیگری

جدول ۴- پایداری مقاومت به دلتامترین در نسل‌های اول و هفتم جمعیت مقاوم *Tuta absoluta*

نرخ کاهش	RR ^C (95% CL ^C)	χ^2 ^b	LC ₅₀ (95% CL ^a)	شیب (اشتباه استاندارد)	تعداد	حشره‌کش
-	۱/۸۷ (۱/۵۸ - ۱/۸۷)	۱/۳۲	۲۳۴/۲۲ (۲۰۹/۲۸ - ۲۶۳/۶۰)	۱/۴ (۰/۰۸)	۲۵۰	دلتامترین (نسل هفتم)
-۰/۱۲	۱۳/۹۱ (۱۲/۰۳ - ۱۶/۰۹)	۴/۵۵	۱۷۴۳/۰۰ (۱۶۱۳/۵۸ - ۱۸۹۶/۸۶)	۲/۲۱ (۰/۱۳)	۲۵۰	دلتامترین (نسل اول)
				ضرب مقاومت ^c	کای اسکور ^b	حدود اطمینان ^a

منابع مورد استفاده

چراغیان ا. ۱۳۹۰. راهنمایی شناسایی، ردیابی و کنترل آفت شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی. سازمان حفظ نباتات وزارت جهاد کشاورزی.

ملک محمدی م. ۱۳۹۶. سازوکار مقاومت به دلتامترین در جمعیت‌های مزرعه‌ای مینوز برگ گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta*. نامه انجمن حشره‌شناسی ایران، جلد ۳۷، شماره ۳. صفحه‌های ۳۳۳-۳۴۸.

Abbas N, Khan HAA and Shad SA, 2014a. Cross-resistance, genetics, and realized heritability of resistance to fipronil in the house fly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae): a potential vector for disease transmission. *Parasitology Research* 113: 1343-1352.

Abbas N, Khan HAA and Shad SA, 2014b. Resistance of the house fly *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) to lambda- cyhalothrin: mode of inheritance, realized heritability, and cross-resistance to other insecticides. *Ecotoxicology* 23: 791-801.

Abbas N, Ijaz M, Shad SA and Khan H, 2015. Stability of field-selected resistance to conventional and newer chemistry insecticides in the house fly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Neotropical Entomology* 44: 402-409.

Abbott WS, 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18: 265-267.

Afzal MBS, Shad SA, Abbas N, Ayyaz M, Walker WB, 2015. Cross-resistance, the stability of acetamiprid resistance and its effect on the biological parameters of cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Homoptera: Pseudococcidae), in Pakistan. *Pest Management Science* 71: 151-158.

Ahmad M, Arif MI and Ahmad Z, 2003. Susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to new chemistries in Pakistan. *Crop Protection* 22: 539-544.

Ahmad M, Sayyed AH, Crickmore N, and Saleem, MA, 2007. Genetics and mechanism of resistance to deltamethrin in a field population of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Management Science* 63:1002-1010.

- Basit M, Sayyed AH, Saleem MA and Saeed S, 2011. Cross-resistance, inheritance and stability of resistance to acetamiprid in cotton whitefly, *Bemisia tabaci* Genn (Hemiptera: Aleyrodidae). *Crop Protection* 30: 705–712.
- Bird LJ, 2015. Baseline susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to indoxacarb, emamectin benzoate, and chlorantraniliprole in Australia. *Journal of Economic Entomology* 108: 294–300.
- Bloem S and Spaltenstein E, 2011. New Pest Response Guidelines. Tomato Leaf miner (*Tuta absoluta*). United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection, Service Cooperating State Departments of Agriculture.
- Campos MR, Silva TBM, Silva WM, Silva JE and Siqueira HAA, 2014. Susceptibility of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) Brazilian populations to ryanodine receptor modulators. *Pest Management Science* 71: 537–544.
- Carriere Y, Deland JP, Roff D and Vincent C, 1994. Life history costs associated with the evolution of insecticide resistance. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 258: 35–40.
- Carriere Y, Ellers-Kirk C, Patin AL, Sims MA, Meyer S, Liu YB, Dennehy TJ and Tabashnik BE, 2001. Overwintering cost associated with resistance to transgenic cotton in the pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology* 94: 935–941.
- Carriere Y and Tabashnik B, 2001. Reversing insect adaptation to transgenic insecticidal plants. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 268: 1475–1480.
- Chilcutt CF and Tabashnik BE, 1995. Evaluation of pesticide resistance and slope of the concentration–mortality line: are they related? *Journal of Economic Entomology* 88: 11–20.
- Crow JF, 1957. Genetics of insect resistance to chemicals. *Annual Review of Entomology* 2: 227–246.
- Fragoso DB, Guedes RNC, Picanco MC and Zambolim L, 2002. Insecticide use and organophosphate resistance in the coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Bulletin of Entomological Research* 92: 203–212.
- Goldin AL, 2003. Mechanisms of sodium channel inactivation. *Current Opinion in Neurobiology* 13: 284–290.
- Gontijo PC, Picanco MC, Pereira EJJ, Martins JC, Chediak M and Guedes RNC, 2013. Spatial and temporal variation in the control failure likelihood of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*. *Annals of Applied Biology* 162: 50–59.
- Gunning RV, Moores GD and Devonshire AL, 1999. Esterase Inhibitors Synergise the Toxicity of Pyrethroids in Australian *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 63: 50–62.
- Haddi K, Berger M, Bielza P, Cifuentes D, Field LM, Gorman K, Rapisarda C, Williamson MS and Bass C, 2012. Identification of mutations associated with pyrethroid resistance in the voltage-gated sodium channel of the tomato leaf miner (*Tuta absoluta*). *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 42: 506–513.
- Huang SJ, Xu JF and Han ZJ, 2006. Baseline toxicity data of insecticides against the common cutworm *Spodoptera litura* (Fabricius) and a comparison of resistance monitoring methods. *International Journal of Pest Management* 52: 209–213.
- IRAC, Insecticide Resistance Action Committee, 2012a. Resistance: definition, background, development. Available from: <http://www.irc-online.org/about/resistance> (accessed 8 August 2010).
- IRAC, Insecticide Resistance Action Committee, 2012b. IRAC method no. 022: insecticide bioassay for *Tuta absoluta*. Available from: http://www.irc-online.org/wpcontent/uploads/2009/09/Method_022_Tuta_.pdf (accessed 8 August 2012).

- Ishtiaq M, Saleem MA and Wright DJ, 2012. Stability, cross resistance and effect of synergists, PBO and DEF, on deltamethrin resistant strain of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) from Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology* 44: 1677–1682.
- Jan MT, Abbas N, Shad SA, Rafiq M and Saleem MA, 2015. Baseline susceptibility and resistance stability of *Earias vittella* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) to cypermethrin, deltamethrin and spinosad. *Phytoparasitica* 43: 577–582.
- Khan HAA and Akram W, 2014. The effect of temperature on the toxicity of insecticides against *Musca domestica* L.: implications for the effective management of diarrhea. *PLoS One* 9: e95636.
- Khan HAA, Akram W and Shad SA, 2014. Genetics, cross resistance and mechanism of resistance to spinosad in a field strain of *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Acta Tropica* 130: 148–154.
- Khan HAA, Akram W and Haider MS, 2015. Genetics and mechanism of resistance to deltamethrin in the house fly, *Musca domestica* L., from Pakistan. *Ecotoxicology* 24: 1213–1220.
- Kliot A and Ghanim M, 2012. Fitness costs associated with insecticide resistance. *Pest Management Science* 68: 1431–1437.
- Kristensen M, Knorr M, Spencer AG and Jespersen JB. 2000. Selection and reversion of azamethiphos-resistance in a field population of the housefly *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), and the underlying biochemical mechanisms. *Journal of Economic Entomology* 93: 1788–1795.
- Lai T, Li J and Su J, 2011. Monitoring of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to chlorantraniliprole in China. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 101:198–205.
- Li W, Zhang J, Zhang P, Lin W, Lin Q, Li Z, Hang F, Zhang Z and Lu Y, 2015. Baseline susceptibility of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) to the novel insecticide spinetoram in China. *Journal of Economic Entomology* 108: 736–741.
- Lietti MMM, Botto E and Alzogaray RA, 2005. Insecticide resistance in Argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotropical Entomology* 34: 113–119.
- Miranda MMM, Picanco MC, Zanuncio JC and Guedes RNC, 2010. Ecological life table of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Biocontrol Science and Technology* 8: 597–606.
- Mota-Sanchez D, Whalon ME, Hollingworth RM and Xue, Q, 2008. Documentation of Pesticide Resistance in Arthropods. Cromwell Press, Trowbridge, UK.
- Narahashi T, 1996. Neuronal ion channels as the target sites of insecticides. *Pharmacology and Toxicology* 79: 1–14.
- Narahashi T, Frey J, Ginsburg K and Roy M, 1992. Sodium and GABA-activated channels as targets of pyrethroids and cyclodienes. *Toxicology Letters* 64: 429–436.
- Picanco MC, Bacci L, Crespo ALB, Miranda MMM and Martins JC, 2007. Effect of integrated pest management practices on tomato *Lycopersicon esculentum* production and preservation of natural enemies of pests. *Agricultural and Forest Entomology* 9: 201–212.
- Picanco MC, Leite GLD, Guedes RNC and Silva EA, 1998. Yield loss in trellised tomato affected by insecticidal sprays and plant spacing. *Crop Protection* 17: 447–452.
- Prasanthi K, Muralidhara and Rajini PS, 2005. Fenvalerate-induced oxidative damage in rat tissues and its attenuation by dietary sesame oil. *Food and Chemical Toxicology* 43: 299–306.
- Rehan A and Freed S, 2014. Selection, mechanism, cross resistance and stability of spinosad resistance in *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). *Crop Protection* 56: 10–15.

- Robertson JL, Russel RM, Preisler HK and Savin NE, 2007. Bioassays with Arthropods. 2nd ed. CRC Press, Inc, Boca Raton, FL.
- Roditakis, E., Skarmoutsou, C. & Staurakaki, M. (2013) Toxicity of insecticides to populations of tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) from Greece. Pest Management Science 69: 834-840.
- Roush R, 1993. Occurrence, genetics and management of insecticide resistance. Parasitology Today 9: 174–179.
- Roush R, Hoy C, Ferro D and Tingey W, 1990. Insecticide resistance in the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae): influence of crop rotation and insecticide use. Journal of Economic Entomology 83: 315–319.
- Saddiq B, Shahzad Afzal MB and Shad SAJ, 2016. Studies on genetics, stability and possible mechanism of deltamethrin resistance in *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Homoptera: Pseudococcidae) from Pakistan. Journal of Genetics 95: 1009-1016.
- Sayyed AH, Attique MNR, Khaliq A and Wright DJ, 2005. Inheritance of resistance and cross-resistance to deltamethrin in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from Pakistan. Pest Management Science 61: 636–642.
- Sayyed AH, Pathan AK and Faheem U, 2010. Cross-resistance, genetics and stability of resistance to deltamethrin in a population of *Chrysoperla carnea* from Multan, Pakistan. Pesticide Biochemistry and Physiology 98: 325–332.
- Scott JG, Alefantis TG, Kaufman PE and Rutz DA, 2000. Insecticide resistance in house flies from caged-layer poultry facilities. Pest Management Science 56: 147–153.
- Shah RM, Abbas N, Shad SA and Sial AA, 2015. Selection, resistance risk assessment, and reversion toward susceptibility of pyriproxyfen in *Musca domestica* L. Parasitology Research 114: 487-494.
- Silva WM, Berger M, Bass C, Balbino VQ, Amaral MHB, Campos MR Siqueira HAA, 2015. Status of pyrethroid resistance and mechanisms in Brazilian populations of *Tuta absoluta*. Pesticide Biochemistry and Physiology 122: 8–14.
- Silva GA, Picanco MC, Bacci L, Crespo ALB and Rosado JF, 2011. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. Pest Management Science 67: 913-920.
- Siqueira HAA, Guedes RNC, Fragoso DB, Magalhaes LC, 2001. Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). International Journal of Pest Management 47: 247–251.
- Siqueira HAA, Guedes RNC and Picanco MC, 2000a. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). Agriculture and Forest Entomology 2: 147–153.
- Siqueira HAA, Guedes RNC and Picanco MC, 2000b. Cartap resistance and synergism in populations of *Tuta absoluta* (Lep., Gelechiidae). Journal of Applied Entomology 124: 233–238.
- Soderlund DM and Bloomquist JR, 1989. Neurotoxic actions of pyrethroid insecticides. Annual Review of Entomology 34: 77–96.
- Soderlund DM and Knipple DC, 2003. The molecular biology of knockdown resistance to pyrethroid insecticides. Insect Biochemistry and Molecular Biology 33: 563–577.
- Tabashnik BE, Finson N, Groeters FR, Moar WJ, Johnson MW, Luo K and Adang MJ, 1994. Reversal of resistance to *Bacillus thuringiensis* in *Plutella xylostella*. Proceedings of the National Academy of Sciences 91: 4120–4124.

- Tabashnik BE, Mota-Sanchez D, Whalon ME, Hollingworth RM and Carriere Y, 2014. Defining terms for proactive management of resistance to Bt crops and pesticides. *Journal of Economic Entomology* 107: 496–507.
- Temple J, Pommireddy P, Cook D, Marçon P and Leonard B, 2009. Susceptibility of selected lepidopteran pests to rynaxypyr®, a novel insecticide. *Journal of Cotton Science* 13: 23–31.
- Villarini M, Moretti M, Pasquini R, Scassellati-Sforzolini G, Fatigoni C, Marcarelli M, Monarca S and Rodriguez AV, 1998. In vitro genotoxic effects of the insecticide deltamethrin in human peripheral blood leukocytes: DNA damage ('comet' assay) in relation to the induction of sister-chromatid exchanges and micronuclei. *Toxicology* 130: 129–139.
- WHO, World Health Organization, 1957. *Expert Committee on Malaria, seventh report*. WHO Technical Report Series No. 125. Geneva, Switzerland: WHO.

Stability of Resistance to Deltamethrin in Tomato Leaf Miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) and Control Failure Likelihood

M Malekmohammadi^{1*} and AH Eghbalian

¹Assistance Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.

*Corresponding author: m.malek172@yahoo.com

Received: 7 October 2017

Accepted: 13 January 2018

Abstract

Resistance to insecticides is one of the several factors responsible for control failures of *Tuta absoluta* (Meyrick), but this phenomenon has been very little studied to date. The aims of the present study were to: 1) assess the susceptibility of seven greenhouse populations of *T. absoluta* to deltamethrin, in comparison with the most susceptible population 2) assess the likelihood of deltamethrin control failures in the surveyed populations. 3) determine the stability of resistance to deltamethrin in greenhouse populations of *Tuta absoluta*. Bioassays were done using 2nd instar larvae and dipping method to determine the resistance level. Calculated resistance ratios varied from 1.25- to 13.91 fold. Additionally, the control failure likelihood, the narrow meaning of insecticide resistance, was surveyed using the insecticide recommended label rate as the discriminating concentration, and the 80% efficacy in greenhouse populations of the tomato leaf miner. The 80% mortality is the lowest expected efficacy level without control failure due to resistance to insecticides. Mortality due to treatment with deltamethrin at the label rate was considered significantly lower than 80%, when the recommended label rate was lower than the lower threshold of the 95% fiducial limits of LC₈₀. Deltamethrin exhibited the expected control efficacy (between 85% and 100%) against the tomato leaf miner populations at the recommended label rates with the exception of two populations that were resistant to this insecticide. The significant decrease in resistance ratio over seven generations without any selection pressure indicated that resistance to deltamethrin remained obviously unstable.

Keywords: Deltamethrin, Tomato leaf miner, Control failure likelihood, Resistance stability, Label rate.