

مدیریت تلفیقی بید کلم (*Plutella xylostella* (L.)) با استفاده از زنبور پارازیتوئید (*Cotesia vestalis* (Haliday) و حشره کش میکروبی *Bacillus thuringiensis* Berliner

جواد کریمزاده اصفهانی^{۱*} و محمد حسن بشارت نژاد^۲

- ۱- * نویسنده مسوول: دانشیار اکولوژی جمعیت، بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، اصفهان، ایران (jkarimzadeh@iripp.ir)
- ۲- کارشناس ارشد حشره شناسی کشاورزی، بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۰۵

چکیده

استفاده بیش از حد حشره کش‌ها علیه بید کلم، (*Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera, Plutellidae)) باعث مقاومت در بسیاری از جمعیت‌های مزرعه‌ای این حشره شده است. در مطالعه حاضر، مدیریت تلفیقی بید کلم با استفاده از زنبور *Cotesia vestalis* و آفت کش میکروبی *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* و در مقایسه با مدیریت رایج (کنترل شیمیایی) در مزارع کلم پیچ استان اصفهان بررسی گردید. نتایج نشان داد که درصد پارازیتسیم لاروهای بید کلم توسط زنبور *C. vestalis* در تمام دوره‌های رهاسازی بین دو شیوه مدیریتی مزرعه تفاوت معنی‌داری داشت. به طوری که، درصد پارازیتسیم در بخش تحت مدیریت تلفیقی (۲۱/۲-۵۹/۵) به طور معنی‌داری بیشتر از بخش تحت کنترل شیمیایی (۱۱/۹-۰) بود. به علاوه، شاخص شدت خسارت بید کلم در بخش تحت پوشش مدیریت تلفیقی (۳/۱۶±۰/۱۷) به طور معنی‌داری بیشتر از بخش تحت پوشش کنترل شیمیایی (۲/۲۴±۰/۱۱) بود. با وجود این، در هر دو شیوه مدیریتی خسارت قابل توجهی به قسمت اصلی کلم پیچ وارد نشد و روش مدیریتی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد نداشت. به طوری که، میانگین وزن یک عدد کلم پیچ آماده عرضه به بازار در مزرعه تحت پوشش مدیریت تلفیقی و کنترل شیمیایی به ترتیب ۱/۶۳±۰/۰۸ و ۱/۶۷±۰/۰۶ کیلوگرم بود. پارازیتسیم بالاتر و عدم کاهش عملکرد، حاکی از موفقیت مدیریت بید کلم با شیوه تلفیقی می‌باشد. مطالعه حاضر نشان داد که تلفیق پارازیتوئید بومی *C. vestalis* و آفت کش میکروبی Bt می‌تواند آفت مهمی چون بید کلم را در مزارع کلم پیچ استان اصفهان به خوبی مهار کند. این یافته‌ها نشان داد که مدیریت تلفیقی با محوریت مهار زیستی می‌تواند جایگزین روش کنترل شیمیایی شود و موجب کاهش خطرات زیست محیطی و جلوگیری از مقاومت بید کلم و طغیان مجدد آن گردد.

کلید واژه‌ها: کنترل بیولوژیک، پارازیتوئید، پارازیتسیم، مدیریت تلفیقی آفات، *Plutella xylostella*

جمعیت‌های مزرعه‌ای این حشره شده است (Furlong et al., 2013). در سال‌های اخیر، بید کلم در ایران حالت طغیانی پیدا کرده است. به طوری که، استفاده از انواع حشره کش‌های متداول حتی تا ۱۰ برابر دوزهای توصیه شده نیز قادر به کنترل این آفت نیستند

مقدمه

بید کلم، (*Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera, Plutellidae))، مهم‌ترین آفت چلیپانان در سرتاسر دنیاست و استفاده بیش از حد حشره کش‌ها علیه این آفت باعث مقاومت در بسیاری از

گونه‌های *Cotesia vestalis* (Haliday) و *Diadegma semiclausum* (Hellen) که پارازیتوئیدهای لاروی انفرادی و داخلی هستند دشمنان طبیعی کلیدی بید کلم محسوب می‌شوند. این دو گونه موفقیت‌هایی در کنترل جمعیت‌های بید کلم در جنوب-شرقی آسیا نشان داده‌اند و به‌عنوان الگویی برای پایه‌های یک برنامه مدیریت تلفیقی موفق شناخته می‌شوند (Talekar and Shelton, 1993; Furlong et al., 2013).

اخیرا به‌واسطه‌ی کاربرد روز افزون راهبردهای پایدار مدیریت آفات در اکوسیستم‌های کشاورزی، برهم‌کنش‌های بین پارازیتوئیدها و باکتری *Bt* اهمیت بسیار یافته‌اند (Groot and Dicke, 2002; Sharma et al., 2004). این برهم‌کنش‌ها بسته به شرایط محیطی و زمان برهم‌کنش از حالت تقویت‌کننده تا رقابتی متفاوت بوده‌اند (Chilcutt and Tabashnik, 1997a,b, 1999a,b). برای مثال، آلودگی به *Bt* می‌تواند روی اندازه بدن و دوره رشد و نمو یک حشره تاثیر بگذارد به طوری که چنین حشره‌ای به واسطه رشد و نمو کندتر اندازه کوچکتری خواهد داشت و بنابراین نسبت به حمله پارازیتوئیدها حساس‌تر خواهد بود (Mascarenhas and Luttrell, 1997). از طرف دیگر، لاروهای حشرات که قبل از تماس با *Bt* پارازیت شده‌اند اغلب تحریک تغذیه‌ای لازم برای خوردن یک دوز کشنده را ندارند (Nealis et al., 1992). در این رابطه، پیامدهای اکولوژیک تلفیق یک عامل بیماری‌زا و یک پارازیتوئید برای مدیریت حشرات آفت باید مورد توجه خاص قرار گیرند. مطالعات انجام‌شده در مورد امکان تلفیق *C. vestalis* و *Bt* (Grbin, 1997; Chilcutt and Tabashnik, 1997b, 1999b) نشان داده‌اند که برهم‌کنش بین این دو عامل زیستی بسته به فنوتیپ میزبان (بید کلم) می‌تواند متفاوت باشد. بدین معنی که، مقاومت میزبان به بیمارگر باعث کاهش موفقیت هر دو عامل پارازیتوئید و بیمارگر می‌شود. در

(Karimzadeh, 2013; Afiunizadeh and Karimzadeh, 2015). به‌علاوه، باقیمانده بالای سموم مصرفی در محصولات نظیر کلم پیچ، کلم گل و شلغم که بیشتر به‌صورت تازه مصرف می‌شوند (Zhang et al., 2007) اهمیت بررسی راهکارهای متفاوت کنترل این آفت را دو چندان ساخته است. تکوین سامانه مدیریت تلفیقی بید کلم در دنیا بر مبنای فناوری‌های پایدارتر شامل استفاده از زنبورهای پارازیتوئید و عوامل بیماری‌زا می‌باشد (Lewis et al., 1997; Karimzadeh and Sayyed, 2011; Furlong et al., 2013).

بیش از ۱۳۵ گونه زنبور پارازیتوئید در جهان ثبت شده است که به مراحل مختلف سیکل زندگی بید کلم حمله می‌کنند (Delvare, 2004) اما مهم‌ترین پارازیتوئیدهای بید کلم متعلق به پنج جنس زیر می‌باشند (Sarfranz et al., 2005): (۱) *Diadegma* (Ichneumonidae) - گونه‌های این جنس پارازیتوئیدهای لاروی و انفرادی هستند که از بین آن‌ها، ۹ گونه پارازیتوئید بید کلم می‌باشند؛ (۲) *Microplitis* (Braconidae) - گونه‌های این جنس پارازیتوئیدهای لاروی و انفرادی هستند که از بین آن‌ها، دو گونه پارازیتوئید بید کلم می‌باشند؛ (۳) *Cotesia* (Braconidae) - گونه‌های این جنس پارازیتوئیدهای لاروی و انفرادی هستند که از بین آن‌ها، یک گونه پارازیتوئید بید کلم می‌باشد؛ (۴) *Oomyzus* (Eulophidae) - گونه‌های این جنس پارازیتوئید لاروی-شفیرگی و گروهی هستند که از بین آن‌ها، یک گونه پارازیتوئید بید کلم می‌باشد؛ و (۵) *Diadromus* (Ichneumonidae) - گونه‌های این جنس پارازیتوئید پیش‌شفیرگی-شفیرگی و انفرادی هستند که از بین آن‌ها، دو گونه پارازیتوئید بید کلم می‌باشند. فراوان‌ترین و موثرترین پارازیتوئیدها، پارازیتوئیدهای لاروی هستند که بسیاری از آن‌ها تخصص میزبانی نسبی داشته و متعلق به دو جنس *Diadegma* و *Cotesia* می‌باشند.

توجهی از افراد حساس به داخل جمعیت اتفاق افتد یا نوعی پناهگاه از آفت کش‌ها برای جمعیت فراهم شود (Chilcutt and Tabashnik, 1999b).

مطالعات اخیر (۱۳۹۴-۱۳۸۷) بر روی چلیپاییانی چون کلم پیچ و کلم گل نشان داده است که ۷ گونه زنبور پارازیتوئید لارو، پیش‌سفیره و سفیره بید کلم را در استان اصفهان پارازیت می‌کنند (Afiunizadeh and Karimzadeh, 2010; Afiunizadeh et al., 2011; Karimzadeh and Broad, 2013; Afiunizadeh et al., 2013; Kazemzadeh et al., 2014; Afiunizadeh and Karimzadeh, 2015) که شامل پنج پارازیتوئید لاروی به‌نام‌های *Bracon*، *Cotesia vestalis* (Haliday) *Dolichogenidea appellator* و *hebetor* Say (Telenga) *Diadegma*، Braconidae از خانواده *semiclausum* (Hellen) از خانواده *Oomyzus sokolowskii* و Ichneumonidae (Kurdjumov) از خانواده Eulophidae و دو پارازیتوئید پیش‌سفیرگی-سفیرگی *Diadromus* *subtilicornis* (Gravenhorst) و *Diadromus* (Gravenhorst) *collaris* از خانواده Ichneumonidae می‌باشند. نکته حائز اهمیت این است که دو گونه *C. vestalis* و *D. semiclausum* که از موثرترین پارازیتوئیدهای بید کلم هستند (Talekar and Shelton, 1993; Sarfraz et al., 2005) در کلم کاری‌های اصفهان نیز بالاترین فراوانی را در بین کل پارازیتوئیدها داشته‌اند و بیشترین پارازیتسم طبیعی (به ترتیب ۲۱ و ۱۳ درصد) را روی بید کلم ایجاد نموده‌اند (Afiunizadeh and Karimzadeh, 2015; Karimzadeh, 2015). به همین دلیل، دو گونه فوق برای مطالعه حاضر در نظر گرفته شد ولی با توجه به حساسیت زنبور *D. semiclausum* به اوج گرمای تابستان و هم‌چنین شرایط مشکل‌تر پرورش آن، پژوهش حاضر بر روی گونه گرما دوست *C. vestalis* متمرکز گردید. در

میزبان حساس به Bt، پارازیتوئید عملکرد بیمارگر را تحت تاثیر قرار نداده اما بیمارگر اثرات منفی روی پارازیتوئید داشته است. در میزبان نیمه مقاوم به Bt، برهم‌کنش بین پارازیتوئید و بیمارگر حالت رقابتی از خود نشان داده است. به طوری که، هر دو روی عملکرد یکدیگر اثر منفی داشته‌اند. میزبان کاملاً مقاوم به Bt به بیمارگر حساسیت نداشته و به‌عنوان پناهگاهی برای پارازیتوئید در مقابل اثر رقابتی Bt می‌باشد (Chilcutt and Tabashnik, 1997a). با افزایش مقاومت میزبان به Bt، اثر این عامل میکروبی کم شده ولی اثر پارازیتوئید ثابت باقی می‌ماند. اثر تلفیقی این دو عامل بستگی به حساسیت میزبان به بیمارگر دارد. در میزبان حساس، بالاترین مرگ و میر بید کلم در اثر تلفیق بیمارگر و پارازیتوئید حاصل شده (در مقایسه با کاربرد هر عامل به تنهایی)، اما در میزبان‌های نیمه حساس و کاملاً حساس، پارازیتوئید به تنهایی به همان اندازه تلفیق پارازیتوئید و بیمارگر باعث مرگ و میر شده است. در میزبان مقاوم، تاخیر تیمار Bt تا ۴ روز بعد از پارازیتسم تاثیری در مرگ و میر بید کلم نداشته ولی بقای پارازیتوئید را افزایش داده است. درحالی که در میزبان حساس، مرگ و میر بید کلم و بقای پارازیتوئید تابع فاصله زمانی بین پارازیتسم و تیمارشدن با Bt نبوده است. بنابراین هنگام تلفیق این دو عامل، باید مرگ و میر مراحل نابالغ پارازیتوئید در میزبان‌های حساس مورد توجه قرار گیرد (Chilcutt and Tabashnik, 1997b). مدل‌سازی نشان داده است که این دو عامل می‌توانند به‌طور موثر جهت کنترل بید کلم استفاده شوند. کاربرد پارازیتوئیدهایی چون *C. vestalis* می‌تواند با کاهش تعداد نسل‌هایی که نیاز به تیمار با آفت‌کش‌ها دارند روند تکامل مقاومت به آفت‌کش‌ها را کندتر کند. در تلفیق با پارازیتوئیدها، دوزهای بالا و پایین آفت‌کش‌ها پیامدهای یکسانی بر تراکم آفت در طولانی مدت دارند. البته، راهبرد استفاده از دوزهای پایین برای کنترل آفات بهتر می‌باشد مگر در مواردی که مهاجرت قابل

Biolep®; *B. thuringiensis* var. *kurstaki*;) 32000 IU/mg; Iranian Agricultural به (Biopesticide Industries, Tehran, Iran همراه حشره کش‌های شیمیایی آوانت (Avaunt®); ایندوکساکارب (SC 15%)، کنسالت (Consalt®); هگزا فلومورون (EC 10%) و آتابرون (Atabron®); کلرفلوآزورون (SC 10%) آزمون گردید. به این منظور، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار و در ۴ تکرار در در یک مزرعه ۲/۵ هکتاری کلم- گل واقع در شهر قهدریجان از توابع شهرستان فلاورجان استان اصفهان اجرا گردید. تیمارهای مورد آزمایش و غلظت مورد استفاده آنها به شرح زیر بودند: (۱) آنتاریو به نسبت ۱ کیلوگرم در هکتار، (۲) بلتیرول به نسبت ۱ کیلوگرم در هکتار، (۳) بایولپ به نسبت ۲ کیلوگرم در هکتار، (۴) آوانت به نسبت ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار، (۵) کنسالت به نسبت ۱ لیتر در هکتار، (۶) آتابرون به نسبت ۵۰۰ میلی‌لیتر در هکتار، (۷) آتابرون به نسبت ۷۵۰ میلی‌لیتر در هکتار، (۸) آتابرون به نسبت ۱ لیتر در هکتار، و (۹) شاهد (آب). سطح هر کرت ۵۰ مترمربع (ابعاد ۵ × ۱۰ متر)، فاصله کرت‌ها از همدیگر ۱ متر و فاصله بلوک‌ها از همدیگر ۵ متر در نظر گرفته شد. یک روز قبل، ۵ و ۱۰ روز پس از انجام عملیات محلول‌پاشی نسبت به شمارش تعداد لاروهای زنده آفت روی ۵ بوته (با رشد تقریبی یکسان و متوسط) از هر کرت اقدام گردید. برای یکسانی و یکنواختی شرایط انجام کار، محلول‌پاشی بر روی بوته‌های ۱۰ هفته‌ای (۵ هفته پس از انتقال نشاء به مزرعه) که در مرحله ۱۲-۱۰ برگی بودند انجام شد و تعداد لاروها روی تمامی برگ‌ها به استثنای چهار برگ پیرامونی شمارش شد. مرگ و میر لاروها در اثر کاربرد هر حشره کش (درصد کارایی هر حشره کش) با استفاده از فرمول هندرسون تیلتون بصورت زیر تعیین شد:

$$Efficacy (\%) = 100 \times \left(1 - \frac{C_B T_B}{C_C T_C}\right)$$

ایران تاکنون هیچ مطالعه‌ای در مورد تلفیق پارازیتوئیدها با بیمارگر Bt برای کنترل بید کلم انجام نشده است. هدف پژوهش حاضر، تلفیق زنبور *C. vestalis* و باکتری Bt برای مدیریت پایدار بید کلم در مزرعه به- عنوان جایگزین مناسبی برای آفت‌کش‌های شیمیایی بود.

مواد و روش‌ها

ایجاد و نگهداری کلنی‌های بید کلم و زنبور پارازیتوئید

کلم چینی (*Brassica pekinensis* Rupr.) در شرایط گلخانه (درجه حرارت ۲۵±۵ درجه سلسیوس و دوره نوری ۱۶ ساعت نور، ۸ ساعت تاریکی) و بدون کاربرد آفت‌کش، پرورش داده شد. بید کلم از مزارع کلم پیچ شهرستان‌های فلاورجان و مبارکه جمع‌آوری و جمعیت‌های آن روی کلم چینی چهار هفته‌ای در قفس‌های تهویه‌دار (به ابعاد ۴۰×۴۰×۴۰ سانتی‌متری) پرورش داده شد. برای ایجاد کلنی *C. vestalis*، لاروهای پارازیت بید کلم از مزارع کلم پیچ جمع‌آوری و پيله‌های این زنبور پارازیتوئید پس از تشکیل، جداسازی و روی بیده‌های پرورش یافته در قفس‌های مشابه پرورش داده شد. تمام پرورش‌ها در شرایط محیطی ثابت استاندارد (درجه حرارت ۲۵±۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰±۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) نگهداری شد (Karimzadeh et al., 2004).

تعیین موثرترین فرمولاسیون Bt در مزرعه

در این پژوهش، اثر کشندگی سه فرمولاسیون تجاری Bt شامل دو فرمولاسیون خارجی پودری قابل حل در آب (WP) به نام‌های آنتاریو (Antario) (*B. thuringiensis* var. *kurstaki*; 32K®; Russell IPM, UK) و بلتیرول (*B. thuringiensis* var. *kurstaki* PB 54 Strain; 32000 IU/mg; Probelte, Madrid, Spain) و یک فرمولاسیون ایرانی پودری قابل حل در آب (WP) به نام بایولپ

نظر گرفته شد و جمعیت بید کلم در هر قفس به ۱۲۰ حشره کامل رسانده شد. روزانه ۴ بوته کلم چینی ۸ هفته-ای در هر قفس قرار داده شد و این کار برای سه روز متوالی تداوم یافت. بدین ترتیب در عرض سه روز، ۱۲۰ بوته کلم چینی حاوی تخم بید کلم حاصل شد. پس از ظهور لاروهای سن سوم بید کلم (Liu et al., 2002)، یک چهارم بوته‌ها (۳۰ بوته) برای تکثیر مداوم بید کلم (برای تامین جمعیت لازم حشرات کامل در قفس‌های تخم‌گذاری) و سه چهارم باقیمانده (۹۰ بوته) جهت پرورش انبوه پارازیتوئیدها استفاده شد.

(۳) پرورش انبوه پارازیتوئید در ۶ دوره زمانی-شروع دوره‌ها در تاریخ‌های اول و دهم و بیستم تیر ماه، و اول و دهم و بیستم مرداد ماه تنظیم و در هر دوره مراحل زیر اجرا شد. برای شروع، ۶ قفس پارازیتیسیم (قفس‌های تهویه‌دار به ابعاد ۶۰×۷۰×۱۰۰ سانتی‌متری) در نظر گرفته شد و در هر قفس ۱۵ گیاه حامل لاروهای اوایل (۲-۱ روزه) سن سوم بید کلم قرار داده شد. سپس ۳۰ عدد حشره کامل زنبور *C. vestalis* (با نسبت جنسی ۲ ماده: ۱ نر) در هر قفس رهاسازی گردید و زنبورها با محلول آب و عسل ۳۰٪ تغذیه شدند. بوته‌های حاوی لارو بید کلم به مدت ۲ روز در این قفس‌ها نگهداری شد تا پارازیتیسیم صورت گیرد (Morrallo-Rejesus and Sayaboc, 1990; Ventura, 1996) و سپس طبق روش نگهداری کلنی‌های بید کلم و پارازیتوئید، پرورش داده شد تا پيله‌های زنبور ظاهر شدند. بدین ترتیب در عرض ۱۰-۷ روز پس از پارازیتیسیم، ۹۰ گیاه حاوی پيله‌های زنبور به دست آمد. پيله‌های به دست آمده از روی گیاهان جداسازی شده و تعداد ۵۰۰۰ پيله برای استفاده در مزرعه نگهداری و مابقی برای انجام پارازیتیسیم لاروها در دوره‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۱).

در این فرمول T_a ، T_b ، C_a و C_b بترتیب بیانگر تعداد لارو زنده در تیمار بعد از محلول‌پاشی، تعداد لارو زنده در تیمار قبل از محلول‌پاشی، تعداد لارو زنده در شاهد بعد از محلول‌پاشی و تعداد لارو زنده در شاهد قبل از محلول‌پاشی می‌باشد.

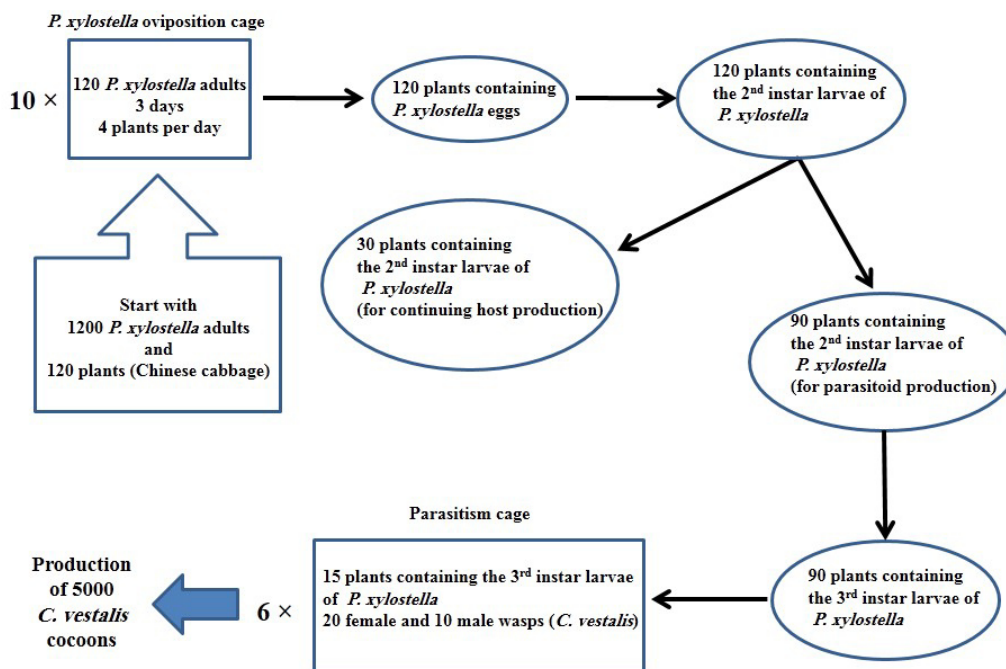
پرورش انبوه پارازیتوئید در آزمایشگاه

پس از آزمون و خطاهای متعدد، شیوه پرورش انبوه زنبور *C. vestalis* برای تامین تعداد مورد نیاز از این زنبور پارازیتوئید برای رهاسازی در مزرعه به صورت زیر و در سه مرحله بهینه‌سازی شد:

(۱) پرورش کلم چینی در گلخانه در ۶ دوره زمانی-شروع دوره‌ها در تاریخ‌های بیستم فروردین ماه، اول، دهم و بیستم اردیبهشت ماه، و اول و دهم خرداد ماه تنظیم شد. به این منظور، ابتدا بذور کلم چینی رقم Hero (شرکت Takii، کیوتو، ژاپن) در سینی‌های نشا در بستر پیت ماس کشت و پس از یک هفته به گلدان‌های پلاستیکی (قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر) منتقل شد. بوته‌ها تحت شرایط گلخانه‌ای (دمای 25 ± 5 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد) بدون مصرف هیچ آفت-کشی پرورش داده شدند. در زمان ۳-۶ هفتگی، برای رشد بهتر گیاهان از محلول‌پاشی (۱ در هزار) با کود کامل Librel® BMX (شرکت BASF، لودویگسهافن، آلمان) استفاده شد. در هر دوره به مدت یک هفته روزی ۵۰ عدد بوته کلم چینی کشت شد و پرورش بوته‌ها تا سن ۸ هفته‌ای ادامه داشت. بنابراین در هر دوره، ۳۵۰ بوته کلم چینی ۸ هفته‌ای آماده استفاده بود. از این تعداد، ۱۲۰ بوته جهت تخم‌ریزی در اختیار بید کلم قرار گرفت و بقیه برای تغذیه لاروها (در هر دو پرورش بید و پارازیتوئید) استفاده شد.

(۲) پرورش بید کلم در ۶ دوره زمانی-شروع دوره-ها در تاریخ‌های بیستم خرداد ماه، اول، دهم و بیستم تیر ماه، و اول و دهم مرداد ماه تنظیم و در هر دوره مراحل زیر اجرا شد. برای شروع، ۱۰ قفس تخم‌ریزی بید کلم (قفس‌های تهویه‌دار به ابعاد ۴۰×۴۰×۴۰ سانتی‌متری) در

کریم زاده اصفهانی و بشارت نژاد: مدیریت تلفیقی بید کلم ...



شکل ۱- دیاگرام مراحل پرورش انبوه زنبور *Cotesia vestalis* در هر دوره زمانی

Figure 1. The step diagram of mass rearing of *Cotesia vestalis*

نشاگیری در خزانه کشت شد و یک ماه بعد (۲۰ خرداد)، نشاها در مزرعه کشت شد. لازم به ذکر است که ۶ مزرعه مورد آزمایش طوری انتخاب شد که به طور همزمان و یا با فاصله زمانی حداکثر ۱۰-۷ روزه مراحل کشت در آنها انجام پذیرد. مزرعه شماره یک در منطقه فلاورجان به عنوان الگو در نظر گرفته شد و مراحل کاشت، داشت و برداشت انجام شده توسط زارع در این مزرعه ثبت شد. زمین مورد نظر قبل از کشت، دوبار شخم زده شد و با کود اوره (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و فسفات آمونیوم (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) تغذیه شد. نشاهای کلم در خزانه دو مرتبه با ترکیبی از حشره کش‌هایی چون آوانت، کاسکید، ریکورد (و یا آبامکتین) و کنفیدور محلول پاشی شده بود. در طی فصل رشد، از سکوسترون آهن و کودهای شیمیایی اوره، نترات آمونیوم، سولفات آمونیوم، سولفات پتاسیم، گوگرد و آهک برای تقویت گیاه استفاده شد. همچنین، از محلول سولفات مس (کات کبود) برای

رهاسازی انبوه پارازیتوئیدها در مزرعه و محلول پاشی با Bt

دو شهرستان مبارکه و فلاورجان که مناطق عمده کلم کاری استان اصفهان هستند و در سال‌های اخیر آلودگی شدید به بید کلم نشان داده‌اند به عنوان سایت‌های انتخابی برای آزمایش در نظر گرفته شدند. در هر سایت، سه مزرعه کلم پیچ انتخاب شد و از هر مزرعه ۱۰۰۰ متر مربع آن برای آزمایش در نظر گرفته شد. به طوری که، نیمی از این مساحت (۵۰۰ متر مربع) به مدیریت تلفیقی اختصاص یافت و نیمی دیگر به روش معمول توسط زارع مدیریت شد. بین دو بخش مزرعه، یک مانع پارچه‌ای، به ارتفاع ۱/۵ متر تعبیه گردید. به جز روش‌های مدیریت بید کلم، بقیه عملیات داشت مزرعه برای هر دو بخش یکسان بود. بذر کلم پیچ (*Brassica oleracea* var. *capitata*) رقم Globe Master (شرکت Takii، کیوتو، ژاپن) در تاریخ ۲۰ اردیبهشت توسط زارع جهت

اندازه‌گیری درصد پارازیتیسیم، شدت خسارت و میزان عملکرد

یک هفته پس از هر رهاسازی، در تمامی ۶ مزرعه آزمایشی (متعلق به دو سایت انتخابی مبارکه و فلاورجان) از هر یک از دو بخش مزرعه (بخش تحت مدیریت تلفیقی و بخش تحت مدیریت شیمیایی) تعداد ۱۰۰ لارو سن سوم یا چهارم بید کلم جمع‌آوری شد و درصد پارازیتیسیم (نسبت "تعداد پيله تشکیل‌شده زنبور" به "مجموع تعداد پيله تشکیل‌شده زنبور و تعداد شفیره تشکیل‌شده بید کلم") تعیین شد (Karimzadeh et al., 2004). برای مقایسه میزان خسارت در دو بخش مزرعه، هنگام برداشت محصول تعداد ۵۰ بوته در هر بخش مزرعه شماره یک به‌طور تصادفی انتخاب شد و شدت خسارت در هر بوته روی اندام‌های هوایی (شامل یک قسمت خوراکی بنام سر (head)، برگ‌های متصل به سر بنام برگ‌های پوشه (wrapper leaf) و برگ‌های پیرامونی (frame leaf)) بر اساس سیستم گرین (Greene et al., 1969) با درجه‌بندی زیر تعیین شد (Mailloux & Bellonci, 1995): ۱ (بدون تغذیه حشره)، ۲ (۱-۰٪ سطح برگ‌های پوشه و پیرامونی خورده‌شده)، ۳ (۵-۲٪ سطح برگ‌های پوشه و پیرامونی خورده‌شده و بدون خسارت به سر)، ۴ (۱۰-۶٪ سطح برگ‌های پوشه و پیرامونی خورده‌شده و با تغذیه جزئی از سر)، ۵ (۳۰-۱۱٪ سطح برگ‌های پوشه و پیرامونی خورده‌شده و تعداد متوسط زخم‌های تغذیه‌ای روی سر) و ۶ (بیش از ۳۰٪ سطح برگ‌های پوشه و پیرامونی خورده‌شده و زخم‌های متعدد تغذیه‌ای روی سر). به‌علاوه، برای مقایسه عملکرد در دو بخش مزرعه، هنگام برداشت محصول تعداد ۳۰ نمونه (هر نمونه شامل ۵ عدد کلم پیچ) از هر بخش مزرعه شماره یک به‌طور تصادفی انتخاب شد و پس از جدا کردن برگ‌های اضافی، محصول آماده عرضه به بازار وزن شد.

آنالیز داده‌ها

داده‌های آزمایش آفت‌کش‌ها توسط فرمول هندرسون تیلتون تصحیح شد و تفاوت در درصد مرگ و میر بین

جلوگیری از خزه‌بستن کف کرت‌ها و از قارچ‌کش‌های مانکوزب، بنومیل و اکسی کلرور مس برای جلوگیری از بیماری‌های قارچی استفاده شد. آبیاری بصورت غرقابی و دور ۶ روزه انجام شد. در بخش تحت مدیریت زارع، ۱۰ روز پس از نشا اولین محلول‌پاشی با مخلوطی از حشره-کش‌های فوق انجام شد. به‌طوری‌که، در اثر فشار زیاد سمپاش بوته‌ها کاملاً شسته شده و لاروهای بید کلم در محلول سمی غوطه‌ور شدند. محلول‌پاشی با ترکیب فوق هر ۴ روز یک‌بار ادامه داشت و به ۱۷ بار در طول فصل رشد رسید.

در بخش تحت مدیریت تلفیقی، در کلیه مزارع تحت آزمایش اولین رهاسازی زنبورهای پارازیتوئید در تاریخ ۱۰ تیرماه و در زمانی که بوته‌های کلم به سن ۳ هفته‌ای پس از نشا در مزرعه رسیدند انجام شد. به‌این‌منظور، ۵۰۰ پيله سه روزه زنبور *C. vestalis* به‌همراه محلول آب و عسل ۳۰٪ در یک قفس کوچک رهاسازی (به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی‌متری) در وسط هر مزرعه کلم قرارداد شد. رهاسازی‌های بعدی (۵ نوبت) با همین تعداد پارازیتوئید و به فواصل ۱۰ روزه (در تاریخ‌های ۲۰ تیر، ۳۰ تیر، ۱۰ مرداد، ۲۰ مرداد و ۳۰ مرداد) صورت گرفت. هم‌چنین، از دو هفته پس از نشاکاری، تعداد لاروهای بید کلم روی ۵۰ بوته بصورت الگوی X بطور هفتگی شمارش شد و در صورتی‌که به آستانه زیان اقتصادی (Loke et al., 1996; Morallo-Rejesus et al., 1996) (دو عدد لارو در بوته از مرحله گیاهچه تا رویشی (۴-۱ هفته پس از انتقال نشاء به مزرعه) و چهار عدد لارو در بوته از مرحله رویشی تا پرشدن (۱۲-۵ هفته پس از انتقال نشاء به مزرعه)) رسیده بودند با Bt محلول‌پاشی شد (Eusebio and Morallo-Rejesus, 1996; Ventura, 1996; Mitchell et al., 1997). لازم به ذکر است که محلول‌پاشی با Bt (بلیتول؛ ۱ کیلوگرم در هکتار) در مزارع ۶ گانه، ۴-۲ مرتبه (بر اساس آستانه زیان اقتصادی) در طول فصل رشد انجام شد.

نتایج نشان داد که درصد پارازیتسم لاروهای بید کلم توسط زنبور *C. vestalis* در تمام دوره‌های رهاسازی بین دو بخش مزرعه تفاوت معنی دار داشت (جدول ۲). به طوری که، درصد پارازیتسم در بخش تحت مدیریت تلفیقی (۵۹/۵-۷۱/۲) به طور معنی داری بیشتر از آن در بخش تحت کنترل شیمیایی (۰-۱۱/۹) بود. شدت خسارت بید کلم روی کلم بین دو بخش مزرعه تفاوت معنی دار داشت ($df = 98$, $z\text{-value} = 1.97$, $P < 0.05$). به طوری که، شدت خسارت در بخش تحت مدیریت تلفیقی ($3/16 \pm 0/17$) به طور معنی داری بیشتر از آن در بخش تحت کنترل شیمیایی ($2/24 \pm 0/11$) بود. در حالی که، روش مدیریتی تاثیر معنی داری بر عملکرد نداشت ($df = 58$, $t = -0.4137$, $P = 0.681$). میانگین وزن یک سر کلم آماده عرضه به مصرف کننده، حاصل شده تحت مدیریت تلفیقی و کنترل شیمیایی به ترتیب $1/67 \pm 0/06$ و $1/63 \pm 0/08$ کیلوگرم بود.

بحث

مطالعه حاضر نشان داد که تلفیق پارازیتوئید بومی *C. vestalis* و آفت کش میکروبی *Bt* می تواند آفت بسیار مهمی چون بید کلم را در مزارع کلم استان اصفهان به خوبی مهار کند. این تلفیق موفق علاوه بر این که باعث مهار جمعیت بید کلم شد هم چنین نشان داد که می تواند جایگزین روش های معمول کنترل آفات (عمدتا استفاده از حشره کش های شیمیایی) شده و باعث کاهش خطرات زیست محیطی و جلوگیری از مقاومت بید کلم و طغیان مجدد آن گردد. کارآمدترین پارازیتوئیدهای بید کلم در دنیا، گونه های *O. D. semiclausum*, *C. vestalis* و *D. subtilicornis sokolowskii* می باشند (Talekar and Shelton, 1993; Sarfraz et al., 2005; Furlong et al., 2013). زنبور *C. vestalis* در بیش از ۲۰ نوبت واردسازی به منظور کنترل بیولوژیکی کلاسیک استفاده شده که بسیاری از آنها موفق بوده اند. این گونه دارای گسترش طبیعی وسیع تری نسبت به زنبور *D. semiclausum* می باشد و بید کلم را در

تیمارها توسط تجزیه انحراف لجستیکی (logistic analysis of deviance) تجزیه و تحلیل شد. داده های درصد پارازیتسم نیز توسط تجزیه انحراف لجستیکی تجزیه و تحلیل شد. به علت وجود پراکنش مازاد (overdispersion) در داده ها، به جای خطای باینومیل (binomial) از خطای کازی باینومیل (quasi-binomial) استفاده شد. داده های شدت خسارت توسط مدل های لگاریتمی خطی (log-linear models) با خطای پویسون و داده های عملکرد توسط آزمون *t* (Student's *t* test) تجزیه و تحلیل گردید (Crawley, 2013). تمام تجزیه و تحلیل آماری در محیط R 2.10.0 انجام شد (R Development Core Team).

نتایج

کارایی فرمولاسیون های Bt

تجزیه انحراف لجستیکی نشان داد که تیمارهای مورد آزمایش تفاوت معنی داری ($F_{7,24} = 3.739$; $P < 0.001$) از نظر ایجاد مرگ و میر بر روی لاروهای بید کلم در مزرعه داشتند. بطوریکه بیشترین و کمترین مرگ و میر بترتیب در اثر آتابرون ۱ لیتر در هکتار و آتابرون ۰/۵ لیتر در هکتار بوجود آمد (جدول ۱). بطور کلی آتابرون (۱ لیتر در هکتار) و بلتیرول نتیجه نسبتا قابل قبولی از خود نشان دادند و بیشترین مرگ و میر (بترتیب ۷۲/۵۲ و ۷۰/۹۲ درصد) را روی لاروهای بید کلم ایجاد کردند. بررسی کارایی فرمولاسیون های *Bt* روی بید کلم نشان داد که همه این فرمولاسیون ها از کارایی قابل قبولی برخوردار هستند و حتی از حشره کش های آوانت و کنسالت کارایی بالاتری داشتند. در میان فراورده های بیولوژیک، بلتیرول بالاترین درصد کارایی را نشان داد و عملکرد بهتری نسبت به دو فرمولاسیون دیگر داشت. بنابراین، در این پروژه جهت سرکوب جمعیت بید کلم در صورت رسیدن به آستانه زیان اقتصادی، از بلتیرول استفاده شد.

درصد پارازیتسم، شدت خسارت و میزان عملکرد

بسیاری از مناطق، نظیر مالزی، تایوان، ویتنام، چین و ژاپن، شده باشد (Sarfranz et al., 2005). مورد حمله قرار داده است بدون اینکه به آن مناطق وارد

جدول ۱- کارایی حشره کش‌های مختلف علیه بید کلم (میانگین \pm SE مرگ‌ومیر) در طی روزهای نمونه برداری‌های بعد از سمپاشی

Table 1. The efficacy of different pesticides against *P. xylostella* (mean \pm SE mortality) on sampling dates after pesticide application

Insecticide treatment dosage	Formulation (AI%)	Pesticide efficacy (%) (mean \pm SE)	
		Sampling date after application time	
		5 days after	10 days after
Atabron (1 lit ha ⁻¹)	SC10	63.4 \pm 7.4 a ¹	72.5 \pm 7.6 a
Belthirul (1 kg ha ⁻¹)	WP 32UL/g	61.2 \pm 6.5 ab	70.9 \pm 7.4 ab
Biolep (2 kg ha ⁻¹)	SC 32UL/g	50.4 \pm 6.3 abc	62.8 \pm 6.0 abc
Antario (1 kg ha ⁻¹)	WP 32UL/g	43.9 \pm 6.9 bcd	57.9 \pm 6.2 cd
Avaunt (0.25 lit ha ⁻¹)	SC15	39.4 \pm 4.9 cd	54.5 \pm 4.8 cd
Consalt (1 lit ha ⁻¹)	EC 10	30.5 \pm 5.1 d	47.9 \pm 4.1 d
Atabron (0.75 lit ha ⁻¹)	SC10	19.7 \pm 3.5 e	39.8 \pm 3.7 e
Atabron (0.5 lit ha ⁻¹)	SC10	15.5 \pm 2.6 e	36.6 \pm 3.2 e

1. The different letters within columns show a significant ($P < 0.05$) difference (Tukey's HSD).

جدول ۲- درصد پارازیتسم لاروهای بید کلم توسط زنبور *Cotesia vestalis* در شرایط صحرائی (شهرستان‌های مبارکه و فلاورجان، استان اصفهان)

Table 2. Percentage parasitism of the diamondback moth larvae by *Cotesia vestalis* in field (Mobarakeh and Flavarjan counties, Isfahan province, Iran)

Sampling time (date)	Percentage parasitism (mean \pm SE; n ¹ = 6)		df	t-value	P
	IM ²	CC			
The 1 st (8 July 2014)	59.5 \pm 9.9	6.9 \pm 0.5	10	5.31	< 0.001
The 2 nd (18 July 2014)	71.2 \pm 7.1	11.9 \pm 1.0	10	8.27	< 0.001
The 3 rd (29 July 2014)	70.2 \pm 4.7	1.3 \pm 0.2	10	14.65	< 0.001
The 4 th (8 August 2014)	66.9 \pm 9.0	0.0 \pm 0.0	10	7.43	< 0.001
The 5 th (18 August 2014)	68.6 \pm 6.6	1.1 \pm 0.2	10	10.22	< 0.001
The 6 th (29 August 2014)	63.0 \pm 8.3	7.8 \pm 0.8	10	6.62	< 0.001

1. The means and standard errors were estimated from the data of 6 different farms.

2. IM and CC denote integrated management and chemical control, respectively.

کنترل بیولوژیکی کلاسیک به‌طور عمده کاربرد وسیع حشره‌کش‌های با طیف وسیع یا واردسازی گونه‌ها در اقلیم‌های نامساعد بوده است. به‌طور کلی، در صورت کاهش کاربرد حشره‌کش‌های با طیف وسیع، *D. semiclausum* و *D. collaris* در اقلیم‌های معتدل و خنک‌تر، نظیر مناطق مرتفع استوایی، و *O. sokolowskii* و *O. sokolowskii* در اقلیم‌های گرم‌تر، شامل مناطق پست استوایی بهتر عمل می‌کنند (Furlong et al., 2013).

زنبور *O. sokolowskii* هم‌چنین از کشورهای چین، استرالیا، ژاپن، آفریقای جنوبی و کره شمالی، که به آنها وارد نشده بوده است، ثبت شده است. اگرچه، این گونه با هدف به چین و تایوان وارد شده است. دو گونه زنبور *D. collaris* و *D. subtilicornis* دارای گسترش طبیعی وسیعی هستند. از زمان رهاسازی اولیه در زلاندنو، *D. collaris* به بسیاری از کشورها وارد شده است ولی *D. subtilicornis* هرگز برای کنترل بیولوژیک وارد نشده است. عوامل کاهش‌دهنده یا مانع‌شونده موفقیت

۴۰-۲۶٪ در کشت‌های اکتبر تا جولای گردید. در سال ۱۹۹۲، بعد از دو سال رهاسازی مداوم پارازیتسم به ۱۰۰-۷۰٪ در کشت‌های ژانویه تا مارس و کشت‌های آوریل تا آگوست رسید. پارازیتسم در تمام نواحی یکنواخت و بالا بود. پراکنش پارازیتوئید تا ۶ کیلومتری محل رهاسازی ثبت شد. در سال‌های ۱۹۹۴-۱۹۹۶ رهاسازی نزدیک به ۱۲۰ هزار پیله *D. semiclausum* موجب کاهش ۸۰ درصدی استفاده از آفت‌کش‌ها شده است. در مناطق مرتفع فیلیپین، ۹۰۰۰ هکتار به کشت کلم اختصاص دارد و هزینه استفاده از آفت‌کش‌ها، ۸۳۸ دلار در هکتار (بیش از ۷/۵ میلیون دلار در سال) می‌باشد. درحالی‌که، با مدیریت تلفیقی به کمک پارازیتوئیدها، این مبلغ به ۳ میلیون دلار در سال کاهش یافته است (Eusebio and Morallo-Rejesus, 1996).

در مناطق پست فیلیپین گونه *C. vestalis* وجود نداشت. به‌همین علت، یک نژاد کارآمدتر این گونه از تایوان به مناطق پست فیلیپین وارد گردید. فناوری مدیریت تلفیقی بید کلم بصورت زیر انجام شده است: (۱) ۷-۳ نوبت رهاسازی زنبور *C. vestalis* (در هر نوبت ۱۰۰۰۰-۳۰۰۰ پیله یا حشره کامل در هکتار) برای کشت اول و دوم و همین تعداد رهاسازی‌ها در فصول کشت بعدی در صورت کندی افزایش جمعیت پارازیتوئید یا درصد پارازیتسم زیر ۷۵٪؛ (۲) پاشش تکمیلی حشره‌کش‌های میکروبی (*Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* و *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai*) بر اساس آستانه زیان اقتصادی. بررسی‌های قبل از رهاسازی در سال ۱۹۸۹ نشان داد که *C. vestalis* بومی در نواحی تحت کشت چلیپانیان در مناطق پست و مناطق با ارتفاع متوسط وجود ندارد. رهاسازی *C. vestalis* موجب کاهش جمعیت بید کلم تا زیر آستانه زیان اقتصادی در تمام سایت‌های رهاسازی گردید. میانگین و حداکثر درصد پارازیتسم ۶۸٪ و ۸۶٪ بود. در سال ۱۹۹۶، در کشت اول، مزارع تحت مدیریت تلفیقی ۵-۳ نوبت با حشره‌کش‌های

خوش‌بختانه، هر ۵ گونه پارازیتوئید نامبرده که مهم‌ترین پارازیتوئیدهای بید کلم هستند به‌طور طبیعی در مزارع کلم استان اصفهان وجود دارند. البته، به دلیل جمعیت بالاتر و عملکرد بهتر دو پارازیتوئید *C. vestalis* و *D. semiclausum* (Karimzadeh, 2014, 2015)، بجاست که از این دو گونه در کنترل بیولوژیکی علیه بید کلم استفاده شود. بطور کلی *D. semiclausum* عملکرد بهتری نسبت به *C. vestalis* نشان داده است اما به دلیل آن‌که گونه‌ی *D. semiclausum* در اوج گرمای تابستان کارایی بالایی ندارد پیشنهاد می‌گردد که از هر دو گونه بطور تکمیلی استفاده شود. در این رابطه، می‌توان آن‌ها را به صورت انبوه پرورش داد و با در نظر گرفتن شرایط مطلوب جهت رشد و فعالیت آن‌ها، نسبت به رهاسازی آن‌ها در منطقه اقدام نمود.

تجربه‌های موفقی از تلفیق پارازیتوئیدهای لاروی و شفیرگی و آفت‌کش میکروبی Bt در کشورهای دیگر بدست آمده است. به عنوان مثال، در فیلیپین کنترل موفق بید کلم توسط *D. semiclausum* و Bt باعث شده است که کاربرد حشره‌کش‌های شیمیایی از ۱۸ بار به ۲-۱ بار، آن هم برای کنترل آفات دیگر، در طول فصل رشد کاهش یابد (Ventura, 1996). فناوری مدیریت تلفیقی بید کلم در فیلیپین شامل رهاسازی *D. semiclausum* و *C. vestalis* و پشتیبانی این دشمنان طبیعی توسط آفت‌کش‌های میکروبی براساس آستانه زیان اقتصادی می‌باشد. به‌علت کنترل موثر بید کلم توسط *D. semiclausum* در بعضی از کشورهای اروپایی و زلاند نو، نژادی از این گونه به فیلیپین وارد گردید. در مناطق مرتفع، در یک آزمایش راهبر نزدیک به ۱۴۵ هزار پیله *D. semiclausum* در منطقه‌ای به وسعت حدود ۵ هکتار تحت کشت کلم در ۴-۳ مرحله رهاسازی شد (۲۰۰ پارازیتوئید برای هر ۵۰۰ بوته کلم). رهاسازی‌های اولیه در سال ۱۹۹۱ موجب نرخ پارازیتسم ۳۷-۲۶٪ در کشت‌های فوریه تا جولای و

اخیرا در یک پژوهش صحرائی بر روی جمعیت‌های بید کلم و زنبور *C. vestalis* نشان داده شده است که در شرایط استوایی که جمعیت‌های بید کلم به سرعت افزایش می‌یابند و هم‌چنین امکان تشکیل کلونی جدید از نواحی مجاور وجود دارد، کنترل بیولوژیکی بید کلم توسط یک پارازیتوئید اختصاصی که به‌خوبی هم مستقر شده باشد دارای حد و مرز است و استفاده از روش‌های کنترلی کمکی ضرورت دارد (Arvanitakis et al., 2014). در این رابطه، استفاده از روش‌های اکولوژیک که با کنترل بیولوژیک سازگار باشند توصیه می‌گردد. زیرا که حفظ تنوع زیستی بخصوص جمعیت طبیعی پارازیتوئیدها و شکارگرها (Fusaro et al., 2016) می‌تواند به مدیریت پایدار این آفت کمک کند (Karimzadeh and Farazmand, 2011). از مهم‌ترین روش‌های سازگار با کنترل بیولوژیک بید کلم (با استفاده از پارازیتوئیدها) می‌توان به استفاده از ارقام یا میزبان‌های گیاهی مناسب (Karimzadeh and Wright, 2008; Karimzadeh et al., 2013) و استفاده از حشره کش میکروبی Bt (Jafary et al., 2016) اشاره کرد.

مطالعه حاضر نشان داد که با در نظر گرفتن آستانه زیان اقتصادی و تاکید بر مبانی زیست محیطی و بهداشتی می‌توان بید کلم را بدون استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی به خوبی مهار نمود. به‌طوری‌که، مدیریت تلفیقی بید کلم در مزارع کلم پیچ استان اصفهان با استفاده از ۶ مرحله رهاسازی زنبور *Cotesia vestalis* (۱۰۰۰۰ پیله در هکتار) و ۲-۴ نوبت محلول‌پاشی با آفت‌کش میکروبی *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (بلیتروول ۱ کیلو در هکتار) حاصل گردید. در مقایسه با روش سمپاشی پیشگیرانه توسط زارعین که بدون در نظر گرفتن دشمنان طبیعی صورت می‌گیرد، این شیوه مدیریت تلفیقی چه از نظر اقتصادی (تعداد سمپاشی کمتر) و چه از نظر سلامت مصرف‌کنندگان (بدون باقیمانده سم در محصول برداشت شده) منافع بیشتری

میکروبی محلول‌پاشی شد. درحالی‌که، در مزارع تحت مدیریت به شیوه زارعین بترتیب ۱۷-۵ نوبت با حشره-کش‌های شیمیایی سمپاشی گردید. در سایت‌های رهاسازی در منطقه لاگونا *C. vestalis* بعد از ۵-۶ سال مستقر گردید و پارازیتسم حاصل از استقرار این گونه ۳۰ تا ۸۸ درصد متغیر بود. در باتانگاس و کوزون نیز *C. vestalis* پس از دو سال از آخرین رهاسازی مستقر شد و موجب پارازیتسم ۲۵ تا ۵۱ درصدی بید کلم گردید. این فناوری مدیریت تلفیقی بید کلم افزایش تولید تا ۷۲/۰۲ تن در هکتار و کاهش هزینه تولید تا ۳۹۰۲/۴۳ دلار در هکتار را در مقایسه با مدیریت به شیوه زارعین در پی داشت (Morallo-Rejesus et al., 1996).

در مالزی، مدیریت تلفیقی بید کلم بر اساس چندین بار آزمون و پالایش به‌صورت زیر توصیه شده است: الف- برای گیاهان ۴-۱ هفته‌ای: (۱) اگر تراکم لارو بید کلم در بوته کمتر از ۴ باشد سمپاشی انجام نمی‌شود، (۲) اگر تراکم لارو بید کلم در بوته بین ۴ تا ۷ باشد و پارازیتسم (توسط *C. vestalis*، *D. semiclausum* و *D. collaris*) بیش از ۴۰ درصد باشد باز سمپاشی انجام نمی‌شود، (۳) اگر تراکم لارو بید کلم در بوته بین ۴ تا ۷ باشد و پارازیتسم کمتر از ۴۰ درصد باشد محلول-پاشی با Bt انجام می‌شود، و (۴) اگر تراکم لارو بید کلم در بوته بیش از ۷ باشد محلول‌پاشی با حشره‌کش‌های مصنوعی انجام می‌شود؛ ب- برای گیاهان ۱۰-۵ هفته-ای: (۱) اگر تراکم لارو بید کلم در بوته کمتر از ۸ باشد سمپاشی انجام نمی‌شود، (۲) اگر تراکم لارو بید کلم در بوته بین ۸ تا ۱۴ باشد و پارازیتسم بیش از ۴۰ درصد باشد باز سمپاشی انجام نمی‌شود، (۳) اگر تراکم لارو بید کلم در بوته بین ۸ تا ۱۴ باشد و پارازیتسم کمتر از ۴۰ درصد باشد محلول‌پاشی با Bt انجام می‌شود، و (۴) اگر تراکم لارو بید کلم در بوته بیش از ۱۴ باشد محلول‌پاشی با حشره‌کش‌های شیمیایی انجام می‌شود (Loke et al., 1996).

پرورش بید کلم جستجو شود. لازم به ذکر است که کنترل بیولوژیکی بید کلم در صورتی می‌تواند بعنوان یک راهبرد پایدار بکار رود که استفاده از حشره کش-های شیمیایی مصنوعی کاهش یابد تا بتوان حتی به پارازیتسم طبیعی قابل قبولی دست یافت. در خاتمه می‌توان به بهینه‌سازی روش‌های مختلف تولید انبوه زنبور *Cotesia vestalis*، کنترل کیفی زنبورهای پارازیتوئید تولید شده، استفاده از غذای مصنوعی در تولید انبوه بید کلم و پارازیتوئیدهای آن و همچنین آزمایش سایر پارازیتوئیدهای بومی بید کلم در تلفیق با-آفت‌کش‌های میکروبی به‌عنوان موضوعات پیشنهادی اشاره نمود.

سپاس‌گزاری

مقاله حاضر نتیجه سه پروژه تحقیقاتی به شماره‌های ۸۸۰۷۵-۱۶-۳۸-۲، ۹۰۰۲۷-۱۶-۳۸-۴ و ۹۰۰۴۱-۱۶-۱۶-۴ می‌باشد که با استفاده از امکانات بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان اجرا گردیده است.

دارد. حتی بدون در نظر گرفتن نتایج نامحسوسی چون کاهش آلودگی‌های محیطی و آشفستگی کمتر در توازن طبیعی و پایداری اکولوژیک، تنها کاهش مصرف حشره‌کش‌ها مدیریت تلفیقی را به شیوه زارعین که با استفاده بیش از حد مواد شیمیایی همراه است ارجح می‌سازد. لازم به توضیح است که استفاده از این شیوه مدیریت تلفیقی در دراز مدت منافع اکولوژیک آن را روشن خواهد ساخت. البته تا وقتی که پارازیتسم طبیعی بید کلم در مزرعه به حد مطلوب نرسد و همچنین استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی محدود یا ممنوع نشود برای کنترل بیولوژیکی بید کلم توسط پارازیتوئیدهای لاروی و شفیرگی نیاز به پرورش مداوم و رهاسازی این دشمنان طبیعی خواهد بود. این شیوه به نوبه خود خالی از اشکال نیست زیرا تولید انبوه این پارازیتوئیدها، نیاز به پرورش انبوه بید کلم دارد که در حال حاضر فقط روی گیاه میزبان میسر است. در مقایسه با پرورش انبوه سایر حشرات که روی غذای غیرزنده (برای مثال، غذای مصنوعی و یا غلات) انجام می‌گردد پرورش بید کلم بسیار پرهزینه و زمان‌بر است. در مطالعات بعدی باید تلاش نمود که راهی جایگزین و کم‌هزینه‌تر برای

REFERENCES

- Afiunizadeh, M., and Karimzadeh, J. 2010. Larval and pupal parasitoids of *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae) in Isfahan province, Iran. *Plant Protection Journal*, 2: 79-97. (in Farsi with English abstract).
- Afiunizadeh, M., and Karimzadeh, J. 2015. Assessment of naturally-occurring parasitism of diamondback moth in field using recruitment method. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48: 43-49.
- Afiunizadeh, M., Karimzadeh, J., and Lotfalizadeh, H. 2013. *Mokrzeckia obscura* (Hym.: Pteromalidae), a hyperparasitoid of diamondback moth and a new record from Iran. *Journal of Entomological Society of Iran*, 33: 91-91.
- Afiunizadeh, M., Karimzadeh J., and Shojai, M. 2011. Naturally-occurring parasitism of diamondback moth in central Iran. *Proceedings of the 6th International Workshop on*

Management of the Diamondback Moth and Other Crucifer Insect Pests, Nakhon Pathom, Thailand. Pp. 93-96.

Arvanitakis, L., David, J.F., and Bordat, D. 2014. Incomplete control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, by the parasitoid *Cotesia vestalis* in a cabbage field under tropical conditions. *BioControl*, 59: 671-679.

Chilcutt, C.F., and Tabashnik, B.E. 1997a. Host-mediated competition between the pathogen *Bacillus thuringiensis* and the parasitoid *Cotesia vestalis* of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Environmental Entomology*, 26: 38-45.

Chilcutt, C.F., and Tabashnik, B.E. 1997b. Independent and combined effects of *Bacillus thuringiensis* and the parasitoid *Cotesia vestalis* (Hymenoptera: Braconidae) on susceptible and resistant diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 90: 397-403.

Chilcutt, C.F., and Tabashnik, B.E. 1999a. Effects of *Bacillus thuringiensis* on adults of *Cotesia vestalis* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Biocontrol Science and Technology*, 9: 435-440.

Chilcutt, C.F., and Tabashnik, B.E. 1999b. Simulation of integration of *Bacillus thuringiensis* and the parasitoid *Cotesia vestalis* (Hymenoptera: Braconidae) for control of susceptible and resistant diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Environmental Entomology*, 28: 505-512.

Crawley, M.J. 2013. *The R book*. Wiley, Chichester.

Delvare, G. 2004. The taxonomic status and role of Hymenoptera in biological control of DBM, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Proceedings of the International Symposium on Improving Biocontrol of Plutella xylostella*, Montpellier, France. Pp. 17-49.

Eusebio, J.E., and Morallo-Rejesus, B. 1996. Integrated pest management of diamondback moth: the Philippine highlands' experience. *Proceedings of the 3rd International Workshop on the Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*, Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 253-256.

Furlong, M.J., Wright, D.J., and Dossall, L.M. 2013. Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. *Annual Review of Entomology*, 58: 517-541.

Fusaro, S., Gavinelli, F., Sommaggio, D., and Paoletti, M.G. 2016. Higher efficiency in organic than in conventional management of biological control in horticultural crops in north-eastern Italy. *Biological Control*, 97: 89-101.

Grbin, L.C. 1997. Sublethal effects of *Bacillus thuringiensis* Berliner on the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), and its natural enemy, *Cotesia vestalis* Kurdjumov: implications for resistance management. Ph.D. thesis, University of Adelaide, Adelaide, Australia.

Greene, G.L., Genung, W.G., Workman, R.B., and Kelsheimer, E.G. 1969. Cabbage looper control in Florida- a cooperative program. *Journal of Economic Entomology*, 62: 798-800.

- Groot, A.T., and Dicke, M. 2002. Insect-resistant transgenic plants in a multi-trophic context. *Plant Journal*, 31: 387-406.
- Jafary, M., Karimzadeh, J., Farazmand, H., and Rezapanah, M. 2016. Plant-mediated vulnerability of an insect herbivore to *Bacillus thuringiensis* in a plant-herbivore-pathogen system. *Biocontrol Science and Technology*, 26: 104-115.
- Karimzadeh, J. 2013. Efficacy of some biological and chemical insecticides against the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). No. 44003, Agricultural Information and Technology Center, IRIPP, Tehran. (in Farsi with English abstract).
- Karimzadeh, J. 2014. Integrated management of diamondback moth using native parasitoids and commercial Bt products. No. 45292, Agricultural Information and Technology Center, IRIPP, Tehran. (in Farsi with English abstract).
- Karimzadeh, J. 2015. Integrated management of diamondback moth using parasitoid wasps and Bt. No. 47740, Agricultural Information and Technology Center, IRIPP, Tehran. (in Farsi with English abstract).
- Karimzadeh, J., Bonsall, M.B., and Wright, D.J. 2004. Bottom-up and top-down effects in a tritrophic system: the population dynamics of *Plutella xylostella* (L.)-*Cotesia plutellae* (Kurdjumov) on different host plants. *Ecological Entomology*, 29: 285-293.
- Karimzadeh, J., and Broad, G. 2013. Amendment to "report of the parasitoid wasp, *Diadegma anurum* (Hym.: Ichneumonidae), from Iran". *Journal of Entomological Society of Iran*, 33: 91-92. (in Farsi with English abstract).
- Karimzadeh, J., and Farazmand, H. 2011. Ecological pest management. *Zeitun*, 31: 11-16. (in Farsi).
- Karimzadeh, J., Hardie, J., and Wright, D.J. 2013. Plant resistance affects the olfactory response and parasitism success of *Cotesia vestalis*. *Journal of Insect Behavior*, 26: 35-50.
- Karimzadeh, J., and Sayyed, A.H. 2011. Immune system challenge in a host-parasitoid-pathogen system: interaction between *Cotesia plutellae* (Hym.: Braconidae) and *Bacillus thuringiensis* influences parasitism and phenoloxidase cascade of *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 30: 27-38.
- Karimzadeh, J., and Wright, D.J. 2008. Bottom-up cascading effects in a tritrophic system: interactions between plant quality and host-parasitoid immune responses. *Ecological Entomology*, 33: 45-52.
- Kazemzadeh, Z., Shaw, M.R., and Karimzadeh, J. 2014. A new record for Iran of *Dolichogenidea appellator* (Hym.: Braconidae: Microgasterinae), a larval endoparasitoid of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 33: 81-82.
- Lewis, W.J., van Lenteren, J.C., Phatak, S.C., and Tumlinson, J.H. 1997. A total system approach to sustainable pest management. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94: 12243-12248.

- Liu, S.S., Chen, F.Z., and Zalucki, M.P. 2002. Development and survival of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) at constant and alternating temperatures. *Environmental Entomology*, 31: 221-231.
- Loke, W.H., Syed, A.R., Sivapragasam, A., Fauziah, I., MdJusoh, M., and Hussan, A.K. 1996. Dynamism in diamondback moth IPM development: the Malaysian experience. *Proceedings of the 3rd International Workshop on the Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*, Kuala Lumpur, Malaysia. Pp. 249-252.
- Mailloux, G., and Belloncik, S. 1995. Repression of *Artogeia rapae* (L.) (Lepidoptera: Pieridae) and *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) on fresh-market and processing cabbage, using composite action thresholds for chemical and biological control. *Applied Entomology and Zoology*, 30: 43-56.
- Mascarenhas, V.J., and Luttrell, R.G. 1997. Combined effect of sublethal exposure to cotton expressing the endotoxin protein of *Bacillus thuringiensis* and natural enemies on survival of bollworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Environmental Entomology*, 26: 939-945.
- Mitchell, E.R., Tingle, F.C., Navasero-Ward, R.C., and Kehat, M. 1997. Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae): parasitism by *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) in cabbage. *The Florida Entomologist*, 80: 477-489.
- Morallo-Rejesus, B., Inocencio, E.L., Eusebio, J.E., and Barroga, S.F. 1996. Technology transfer of *Cotesia*-based IPM for diamondback moth on lowland crucifers in the Philippines. *Proceedings of the 3rd International Workshop on the Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*, Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 267-275.
- Morallo-Rejesus, B., and Sayaboc, A.S. 1990. Management of diamondback moth with *Cotesia plutellae*: prospects in the Philippines. *Proceedings of the 2nd International Workshop on the Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*, Tainan, Taiwan. pp. 279-286.
- Nealis, V.G., Vanfrankenhuyzen, K., and Cadogan, B.L. 1992. Conservation of spruce budworm parasitoids following application of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Berliner. *Canadian Entomologist*, 124: 1085-1092.
- Sarfraz, M., Keddie, A.B., and Dossdall, L.M. 2005. Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. *Biocontrol Science and Technology*, 15: 763-789.
- Sharma, H., Sharma, K., and Crouch, J. 2004. Genetic transformation of crops for insect resistance: potential and limitations. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23: 47-72.
- Talekar, N.S., and Shelton, A.M. 1993. Biology, ecology and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology*, 38: 275-301.
- Ventura, O.D. 1996. Experiences with biological control of diamondback moth in the Philippines. *Proceedings of the 3rd International Workshop on the Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*, Kuala Lumpur, Malaysia. Pp. 67-70.

کریم زاده اصفهانی و بهار نژاد: مدیریت تلفیقی بید کلم ...

Zhang, Z.Y., Liu, X.J., Yu, X.Y., Zhang, C.Z., and Hong, X.Y. 2007. Pesticide residues in the spring cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) grown in open field. Food Control, 18: 723-730.

Integrated management of diamondback moth (*Plutella xylostella* (L.)) using *Cotesia vestalis* (Haliday) and *Bacillus thuringiensis* Berliner

J. Karimzadeh Esfahani^{1*} and M.H. Besharatnejad²

1. ***Corresponding author:** Associate Professor in Population Ecology, Department of Plant Protection, Isfahan Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran (jkarimzadeh@iripp.ir)
2. M.Sc. in Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Isfahan Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

Received: 25 June 2016

Accepted: 5 November 2016

Abstract

The overuse of insecticides against the diamondback moth (*Plutella xylostella*) has developed pesticide resistance in many field populations of this pest. In the present study, the integrated management (IM) of *P. xylostella* using the parasitoid *Cotesia vestalis* and the microbial pesticide *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, in comparison with chemical control (CC) was examined in common cabbage fields of Isfahan province (central Iran). The results indicated that the percentage of parasitism of the *P. xylostella* larvae by *C. vestalis* was significantly different between the two management strategies for all the release times. The percentage of parasitism was significantly higher in IM (59.5-71.2) compared with the CC (0-11.9) section of the fields. In addition, the mean damage index of *P. xylostella* was higher on the part under IM (3.16±0.17) compared with the CC part (2.24±0.11). However, there was no significant effect of management strategies on yield; the mean weight of a marketable cabbage head was 1.63±0.08 and 1.67±0.06 under IM and CC practices, respectively. IM resulted in a greater parasitism with no yield reduction, which is indicative of success of biological control-based pest management. The study proved that combining the native parasitoid *C. vestalis* and the microbial pesticide Bt may successfully check natural populations of *P. xylostella* in common cabbage fields of Isfahan province. These findings indicated that chemical control of *P. xylostella* can be replaced by integrated management, which reduces environmental risks and prevents pesticide resistance and pest resurgence.

Keywords: *Biocontrol, Integrated pest management, Parasitism, Parasitoids, Plutella xylostella*