

بررسی اثرات کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش‌های آزادیراکتین، فلونیکامید، تیاکلوپراید و تیوسیکلام روی زنبور انگل‌واره‌ی *Habrobracon hebetor*

مهدی فولادی^۱، غلامرضا گل‌محمدی^۲، حمید قاجاریه^۱

۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

۲- بخش تحقیقات حشره‌شناسی کشاورزی، موسسه‌ی تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مسئول مکاتبات: غلامرضا گل‌محمدی، پست الکترونیک: golmohammadi@iripp.ir

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۰۲

۱۸-۹ (۱) ۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۰۵

چکیده

زنبور *Habrobracon hebetor* یکی از انگل‌واره‌های مهم لارو بسیاری از آفات به‌ویژه بال‌پولک‌داران خانواده‌ی Noctuidae می‌باشد. در این بررسی، اثرات کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش‌های آزادیراکتین، فلونیکامید، تیاکلوپراید و تیوسیکلام روی حشرات بالغ این زنبور انگل‌واره مورد بررسی قرار گرفت. پرورش زنبور انگل‌واره روی لاروهای سن آخر شب‌پره‌ی مدیرانه‌ای آرد در اتاقک رشد با شرایط دمایی 27 ± 2 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 70 ± 5 درصد و دوره‌ی نوری $16:8$ ساعت (تاریکی: روشنایی) انجام شد. آزمایشات زیست‌سنجی روی حشرات کامل زنبور به‌روش تماسی و اثرات زیرکشندگی به‌روش سم‌شناسی دموگرافیک انجام شد. بنابر نتایج آزمون زیست‌سنجی مقادیر LC_{25} برآورد شده برای حشره‌کش‌های فلونیکامید، تیاکلوپراید و تیوسیکلام به‌ترتیب 277 ، 269 و $1/44$ و مقادیر LC_{50} به‌ترتیب برابر 551 ، 467 و $3/15$ میلی‌گرم ماده‌ی مؤثره بر لیتر برآورد شد. در مورد حشره‌کش آزادیراکتین تا سه برابر غلظت مزرعه‌ای حداکثر 19 درصد تلفات مشاهده شد. تیوسیکلام بالاترین میزان سمیت را روی حشرات کامل زنبور نشان داد. مقادیر نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) برای تیمار شاهد و حشره‌کش‌های آزادیراکتین، فلونیکامید، تیاکلوپراید و تیوسیکلام به‌ترتیب $0/24 \pm 0/004$ ، $0/26 \pm 0/005$ ، $0/23 \pm 0/005$ و $0/22 \pm 0/004$ و تخم در روز برآورد شد. همچنین نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) برای تیمارهای یاد شده به‌ترتیب $93/07 \pm 2/37$ ، $82/99 \pm 1/77$ ، $78/94 \pm 1/77$ ، $69/84 \pm 0/85$ و $62/01 \pm 1/01$ برآورد شد. به‌طور کلی براساس نتایج اثرات کشندگی و زیرکشندگی، حشره‌کش‌های آزادیراکتین و فلونیکامید اثر سوء کمتری روی زنبور نشان دادند. در صورت تأیید نتایج مزرعه‌ای، از این حشره‌کش‌ها می‌توان همراه با این عامل کنترل بیولوژیک در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: زیست‌سنجی، اثرات کشندگی، اثرات زیرکشندگی، جدول زندگی

مقدمه

گروه‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد حشرات (IGRs)، حشره‌کش‌های با منشأ زیستی و حشره‌کش‌های بیولوژیکی می‌توانند جایگزین مناسبی برای حشره‌کش‌های فسفره و کارباماتی باشند (Xu et al., 2004). کنترل شیمیایی و کنترل بیولوژیک دو استراتژی مهم مدیریت آفات بوده و تعامل بین این دو را برای موفقیت در برنامه‌های IPM ضروری و لازم می‌کند. انگل‌واره‌ها و شکارگرها نسبت به میزبان‌شان اغلب در برابر آفت‌کش‌های شیمیایی حساسیت

محیط اطراف ما در معرض انواع مختلفی از آلاینده‌ها و آفت‌کش‌های شیمیایی قرار گرفته و آلودگی‌های زیست‌محیطی روزبه‌روز در حال افزایش است و اثرات مداوم باقیمانده‌ی حشره‌کش‌های رایج فسفره، کارباماتی و کلره موجب بروز مشکلات متعددی برای موجودات غیرهدف به‌ویژه انگل‌واره‌ها شده است (Sak et al., 2009). حشره‌کش‌های انتخابی، از قبیل

کاربرد دارای کمترین اثر سوء روی زنبور *Bombus terrestris* (L.) از خود نشان داد (Fanigliulo et al., 2009). تیاکلوپراید از گروه نیکوتینوئیدها بوده و با تأثیر تماسی و گوارشی و با خواص سیستمیک روی گیرنده‌های نیکوتینیک استیل کولین در سیستم عصاب مرکزی حشره اثر می‌کند. تیاکلوپراید برای کنترل سفید بالک توتون، *Bemisia tabaci* (Gennadius) در مزارع پنبه و برای مبارزه با سوسک برگ‌خوار سیب زمینی *Leptinotarsa decemlineata* (say) و کرم سیب *Cydia pomonella* (L.) مورد استفاده قرار می‌گیرد. تیوسیکلوم از گروه نریستوتوکسین‌ها با منشأ طبیعی محسوب می‌شود که از کرم‌های رده آنالید دریایی استخراج شده است. ترکیبی سیستمیک با نحوه‌ی اثر تماسی و خوراکی می‌باشد. این حشره‌کش تأثیر مطلوبی در کنترل آفات از جمله سفید بالک‌ها و مینوزها دارد. در تحقیقی گسترده تأثیر تیوسیکلوم روی حشرات گرده افشان در زمانی که علیه مینوز برگ نخل به کار گرفته شده بود را بررسی کردند. نمونه‌های سوسک‌های گرده افشان *E. plagiatus* و *Elaeidobius kameronicus* (Faust) (Fahreus) و *E. bilineatus* (Faust) جمع‌آوری شده از گل آذین‌های ماده اثرات منفی جزئی از سم‌پاشی را متحمل شدند ولی نمونه‌های جمع‌آوری شده این سوسک‌ها از گل آذین‌های نر به شدت آسیب دیده بودند. در ضمن ۳ گونه از ۴ گونه اصلی گرده افشان نخل (جنس *Elaeidobius*) نسبت به بقیه‌ی موارد حساس تر بودند.

سم شناسی دموگرافیک روش مناسبی برای بررسی اثرات کلی آفت‌کش‌ها است، زیرا همه‌ی اثرات جانبی را که یک ماده‌ی سمی ممکن است روی جمعیتی داشته باشند را در بردارد (Stark & Banks, 2003).

با توجه به این که آفت‌کش‌های آزادیراکتین، فلونیکامید، تیاکلوپراید و تیوسیکلوم در کشور برای کنترل آفات محصولات که زنبور *H. hebetor* در آنها فعال است، استفاده می‌شود. براین اساس هدف از پژوهش حاضر، مطالعه‌ی اثرات آفت‌کش‌های یاد شده روی حشرات کامل زنبور یاد شده بود تا خواص آن‌ها از نظر میزان خطرناک

بیشتری دارند (Wright & Verkert, 1995). اثرات کشندگی آفت‌کش‌ها روی انگل‌واره‌ها و شکارگرها سبب افزایش جمعیت آفات درجه‌ی اول و نیز ظهور آفت ثانوی می‌شود (Galvan et al., 2005).

تشخیص آفت‌کش‌های انتخابی بستگی به شناخت صحیحی از اثرات آفت‌کش‌ها روی جمعیت آفات و دشمنان طبیعی دارد (Croft, 1990). پس از کاربرد حشره‌کش‌ها، کاهش جمعیت آفات و یا انگل‌واره‌ها براساس حساسیت نسبی آن‌ها به حشره‌کش‌ها و نرخ‌های تولیدمثلی به‌طور متفاوتی جبران می‌شود (Desneux et al., 2006).

زنبور انگل‌واره *Habrobracon hebetor* Say, یکی از انگل‌واره‌های مهم (Hymenoptera: Braconidae) می‌باشد که برای کنترل بیولوژیک لارو شب پره‌های خانواده‌ی Noctuidae مورد استفاده قرار می‌گیرد (Magro & Parra, 2001). کاربرد این زنبور در کنترل تلفیقی برخی از آفات به‌ویژه کرم قوزه‌ی پنبه، گوجه‌فرنگی و نخود به‌عنوان یکی از اهرم‌های کنترل جمعیت آفات مورد نظر است (Foruzan, 2003).

آزادیراکتین یکی از ترکیبات مؤثر برای کنترل آفات است که در فرآیندهای فیزیولوژیک بندپایان اختلال ایجاد می‌کند (Hoffmann & Lorenz, 1998). آزادیراکتین دارای سمیت مستقیم برای حشرات بوده و روی سیستم هورمونی و رفتار تغذیه‌ای حشرات تأثیر می‌گذارد. دو اثر ضد تغذیه‌ای و تنظیم‌کنندگی رشد مهم‌ترین اثرات آزادیراکتین هستند و اثرات ثانویه آن شامل اثر دورکنندگی، ضد تخم‌ریزی، عقیم‌کنندگی، کاهش باروری، کاهش توانایی پرواز و اختلال در ارتباط جنسی می‌باشد (Schmutterer, 1990; Ilio et al., 1999).

فلونیکامید یکی از حشره‌کش‌های جدید سیستمیک است که در اواخر دهه ۱۹۹۰ توسط شرکت ایشی‌هارای ژاپن به‌بازار معرفی شد. این ترکیب کارایی بالایی در کنترل گونه‌های مختلف شته‌ها روی سیب، هلو، سیب‌زمینی، گندم و سایر محصولات سبزی و صیفی از خود نشان داده است. بنابر تحقیقی حشره‌کش جدید فلونیکامید تا ۱۴ روز پس از

شرکت آفت‌کش‌های صنایع زیستی ایرانیان، فلونیکامیدبا نام تجاری تپکی (WG[®] 50) تولید شده توسط شرکت ISK (Ishihara Sangyo Kaisha) ژاپن، تیاکلوپراید با نام تجاری کالیسو (SC[®] 48)، تولید شرکت بایر آلمان و تیوسیکلام با نام تجاری اویسکت (SP[®] 50)، محصول شرکت Arista life Science بود.

زیست‌سنجی

برای زیست‌سنجی حشرات کامل از روش تماس با باقی‌مانده‌ی حشره‌کش‌ها استفاده شد (Golmohammadi & Hejazi, 2014). پس از آزمایش‌های مقدماتی، دامنه‌ی غلظت‌های تعیین شده برای تیمارهای فلونیکامید (۱۰۰۰-۳۵۰)، تیاکلوپراید (۱۰۰۰-۴۰۰) و تیوسیکلام (۱۰-۱) میلی‌گرم ماده‌ی مؤثر بر لیتر بودند. برای آزادیراکتین به دلیل کم بودن تلفات در آزمایش‌های مقدماتی (کمتر از ۱۹ درصد) از انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی صرفه نظر شد. برای هر تیمار ۵ غلظت در نظر گرفته شد. پس از آماده‌سازی غلظت‌های مورد نظر (به حجم ۵۰ میلی‌لیتر)، ۲ سی‌سی از هر غلظت روی هر یک از دو سطح پتری‌دیش‌های شیشه‌ای به قطر ۹ ریخته شد به نحوی که پس از تکان دادن همه‌ی دیواره دوسطح پتری خیس شده بودند. نیم ساعت پس از خشک شدن در دمای اتاق، حشرات کامل حداکثر ۳۶ ساعته به‌درون آن‌ها انتقال یافتند. بعد از ۲۴ ساعت میزان مرگ و میر آن‌ها تعیین شد. حشراتی که در صورت تحریک قادر به حرکت نبودند به‌عنوان مرده در نظر گرفته شدند. برای هر حشره‌کش ۵ تکرار در روزهای مختلف در نظر گرفته شد.

اثرات زیرکشنده‌گی

برای این منظور، تعداد ۵۰ عدد زنبور ماده‌ی حداکثر ۲۴ ساعته به‌صورت گروه‌های ۱۰ تایی در لوله‌های شیشه‌ای قرار داده شد و پس از اضافه کردن ۱۰ عدد زنبور نر به هر لوله، اجازه‌ی جفت‌گیری یافتند (Rafiee et al., 2010). پس از ۲۴ ساعت حشرات نر را از هر لوله جدا کرده و حشرات ماده تحت مقادیر LC25 حشره‌کش‌های فلونیکامید (۲۷۷)، تیاکلوپراید (۲۶۹)، تیوسیکلام (۱/۴) و دز مزرعه‌ای آزادیراکتین (۲۵۰۰) پی‌پی‌ام قرار گرفتند. برای

بودن روی زنبور *H. hebetor* بررسی شود. تا در نهایت از طریق مدیریت صحیح استفاده از آفت‌کش‌های مناسب در شرایط مزرعه در کنترل مطلوب آفات اقدام مناسبی به‌عمل آورد.

مواد و روش‌ها

پرورش پروانه بید آرد

برای ایجاد کلنی اولیه از تخم‌های پروانه بید آرد که از بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک موسسه‌ی تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور تهیه شده بود، استفاده شد. پرورش بید آرد، در ظروف (تشت پلاستیکی) با قطر ۷۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر انجام شد. در هر ظرف مقدار ۲/۵ کیلوگرم آرد گندم و ۰/۵ کیلوگرم سیوس گندم به‌همراه ۴۰ گرم مخمر آرد اضافه شد، سپس به‌میزان یک گرم تخم کرم آرد به‌صورت یکنواخت بر روی آن پخش شد. ظروف یاد شده، در اتاق با دمای ثابت 27 ± 2 درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شدند. پس از ۴۵ روز لاروهای سن پنجم بید آرد، جدا گردید.

پرورش زنبور انگل‌واره

حشرات کامل زنبور از بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک موسسه‌ی تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور تهیه شد. برای پرورش از ظرفی به قطر ۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. در هر ظرف ۵۰ عدد لارو سن پنجم پروانه بید آرد قرار داده شد و سپس ۱۰ جفت زنبور نر و ماده به آن اضافه شد. در هر ظرف یک نوار کاغذی به‌ابعاد $4 * 30$ میلی‌متر آغشته به یک لایه نازک عسل در اختیار زنبورها قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت زنبورها را خارج کرده و ظرف حاوی لاروهای بید آرد و تخم‌های زنبور برای پرورش در دمای 27 ± 2 درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی تا ظهور حشرات کامل نسل جدید زنبور قرار داده شدند.

حشره‌کش‌های مورد بررسی

در این تحقیق حشره‌کش‌های مورد استفاده شامل آزادیراکتین با نام تجاری نیمارین (EC[®] 1500)، تولید

تجزیه داده‌ها

تجزیه‌ی داده‌های حاصل از زیست‌سنجی مراحل مختلف رشدی به‌روش تجزیه پروبیت با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Ver. 13) انجام شد. برای نرمال نمودن داده‌های حاصل از مطالعه‌ی اثرات غیرکشندگی قبل از تجزیه‌ی واریانس از تبدیل داده‌های لگاریتمی استفاده شد. از نرم افزار SAS برای تجزیه‌ی واریانس داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد و از نرم افزار Excel برای تشکیل جداول و محاسبه‌ی فراسنجه‌های مختلف جدول زندگی و رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج

زیست‌سنجی حشرات کامل

نتایج زیست‌سنجی حساسیت حشرات کامل به حشره‌کش‌های فلونیکامید، تیاکلوپراید و تیوسیکلام در جدول ۱ نشان داده شده است. مقایسه‌ی مقادیر LC_{50} حشره‌کش‌های مورد آزمایش به‌روش رابرتسون و پریسلر (۱۹۹۲) نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد، کمترین مقدار LC_{50} (۳/۵۵ میلی گرم ماده‌ی مؤثر بر لیتر) مربوط به حشره‌کش تیوسیکلام و بالاترین مقدار (۵۵۱ میلی گرم ماده مؤثر بر لیتر) مربوط به تیمار فلونیکامید بود. حشره‌کش آزادیراکتین با توجه به این که تا سه برابر غلظت مزرعه‌ایی تلفات چندانی در بر نداشت بنابراین آزمایشات زیست‌سنجی انجام نشد. میانگین تلفات در غلظت‌های ۶۰۰۰، ۴۵۰۰، ۳۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۷۵۰ ppm به ترتیب برابر ۱۹، ۱۶، ۱۰، ۸ و ۳ درصد برآورد شد.

پارامترهای رشد جمعیت پایدار

امید زندگی حشرات کامل در تیمارهای شاهد، آزادیراکتین، فلونیکامید، تیاکلوپراید و تیوسیکلام به ترتیب ۲۳/۴۸، ۲۳/۹۴، ۲۳/۲۱، ۲۲/۱۳ و ۲۲/۱۰ روز بود که تیمارهای آزادیراکتین و تیوسیکلام به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار امید زندگی را داشتند (شکل ۱).

تیمار شاهد نیز از آب مقطر استفاده شد. تمامی سطوح پتری‌های شیشه‌ایی (بخش زیرین و رویی) توسط ۴ میلی‌لیتر از غلظت‌های ترکیبات ذکر شده آغشته شد. نیم ساعت پس از خشک شدن شیشه‌ها در دمای اتاق، حشرات ماده بارور درون پتری‌ها قرار دادند پس از ۲۴ ساعت حشراتی که تحت غلظت‌های LC_{25} زنده مانده بودند، را برداشت کرده و ۲۴ عدد از آن‌ها به‌طور تصادفی انتخاب شده و به‌صورت انفرادی و جداگانه به‌ظروف پتری منتقل شدند. روزانه سه عدد لارو سن آخر پروانه بید آرد داخل ظروف پتری در اختیار هر زنبور قرار گرفت. ظروف پتری پس از شمارش روزانه تعداد تخم گذاشته شده توسط هر زنبور تا ظهور حشرات کامل داخل اتاقک رشد نگهداری شدند. در این مدت تعداد تخم تفریخ شده، تعداد لارو و شفیره تشکیل شده و تعداد حشرات کامل نر و ماده ظاهر شده در هر ظرف ثبت شدند. این کار تا مرگ تمام زنبورهای مورد آزمایش ادامه یافت و با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده جداول تولید مثلی، زیستی و جمعیتی زنبور، تشکیل شدند. برای تعیین نسبت جنسی و درصد تفریخ برای شاهد و حشره‌کش‌های آزادیراکتین، فلونیکامید، تیاکلوپراید و تیوسیکلام به ترتیب ۵۴، ۵۰، ۵۰، ۴۸ و ۵۱ عدد تخم از سه روز متفاوت گرفته شد و تا خروج آخرین حشره از تیمار شاهد تعداد حشرات خارج شده و جنسیت آن‌ها ثبت شد.

برای تعیین اثرات کلی حشره‌کش‌ها روی زنبور از روش جدول‌های زیستی سم شناختی استفاده شد (Walshal & Stark, 1996; Elzen, et al., 2000). برای مقایسه‌ی پارامترهای رشد جمعیت پایدار از روش کروی و برای برآورد مقادیر دورغین پارامترها از روش جکک نایف استفاده شد (معادله ۱). در این روش ابتدا مقدار هر فراسنجه برای تمام تکرارها محاسبه شد (p_{total}). در مرحله‌ی بعد مقادیر دروغین (p_i) جکک نایف برای هر فراسنجه از معادله‌ی زیر محاسبه شد (Meyer et al., 1986):

$$p_i = np_{total} - (n-1)p_i \quad (1)$$

در این معادله n تعداد حشرات ماده استفاده شده برای تشکیل جدول زیستی است.

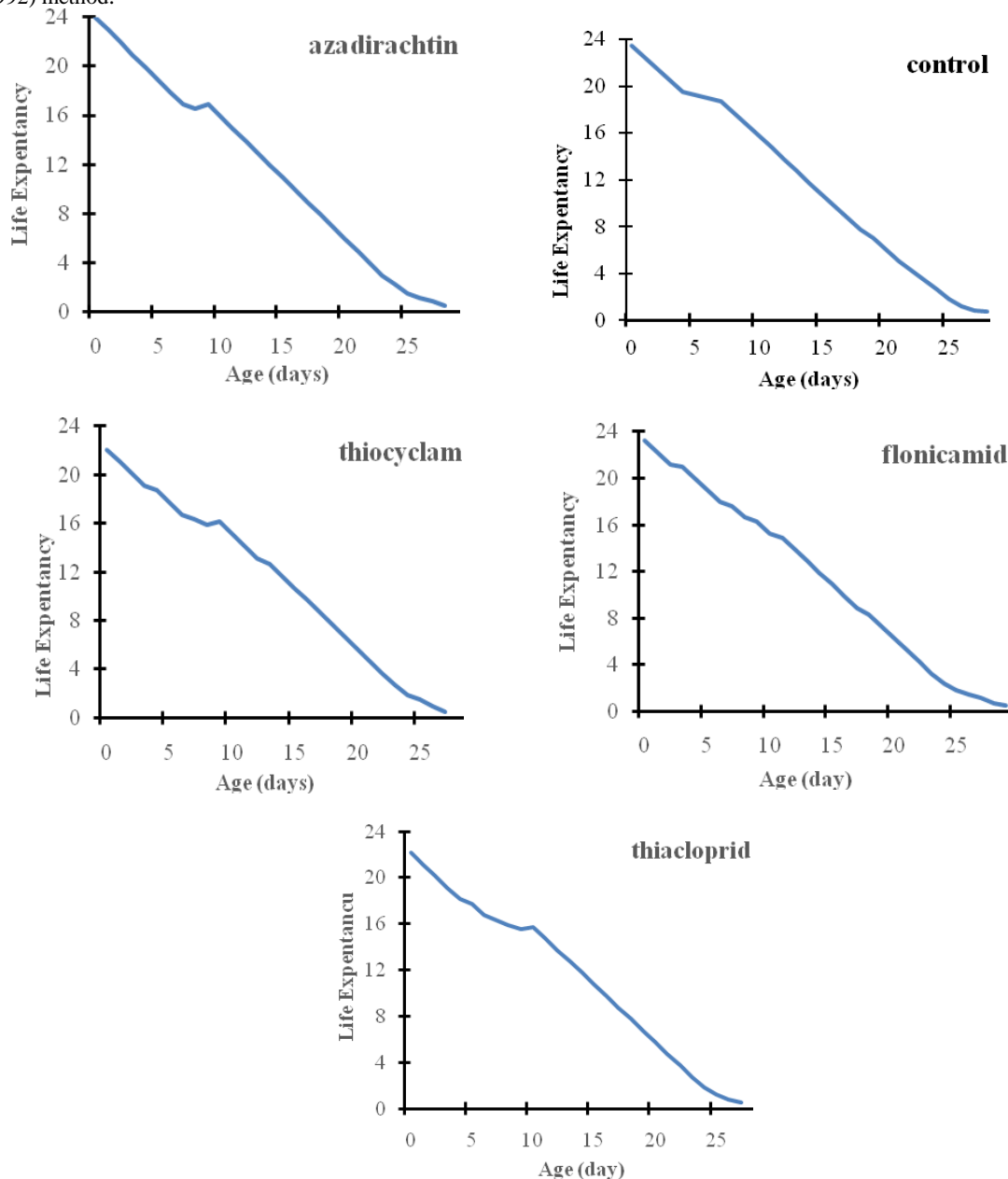
جدول ۱- نتایج زیست سنجی حشره کش های مورد آزمایش روی حشرات کامل زنبور *Habrobracon hebetor*.

Table 1. Bioassay Results of insecticides tested on adults *Habrobracon hebetor* in the laboratory.

Insecticide	df	n	slope \pm SE	LC ₂₅ (mg ai/L) (95%CL)	LC ₅₀ (mg ai/L) (95%CL)	χ^2
flonicamid	3	320	0.40 \pm 2.26	277 ^c (164-365)	551 ^c (437-653)	3.138
thiacloprid	3	330	0.61 \pm 2.83	269 ^b (142-353)	467 ^b (142-353)	1.369
thiocyclam	3	320	0.26 \pm 0.99	1.448 ^b (1-1.85)	3.15 ^a (2.56-3.87)	2.404

*حروف متفاوت در هر ستون اختلاف معنی دار را بین حشره کش ها را طبق روش Robertson-Preisler (1992) نشان می دهد.

* LC₂₅ and LC₅₀ values of each sex, followed by different letters in each column are significantly different based on Robertson-Preisler (1992) method.



شکل ۱- تغییرات امید زندگی ویژه سنی (e_x) زنبور *H. hebetor* تیمار شده با غلظت زیر کشنده (LC_{25}) حشره کش های مورد آزمایش و شاهد.

Fig. 1. Age-specific life expectancy (e_x) of adults *H. hebetor* exposed to experiment insecticides compared with the control.

حشره‌کشی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد که نشانگر اثر کاهش دهنده تیمارهای حشره‌کش روی مقدار r_m بود. تیوسیکلام بیشترین تأثیر منفی روی مقدار r_m داشت. نرخ ذاتی تولد (b) در شاهد در بیشترین مقدار (۰/۲۸) و تیوسیکلام در کمترین مقدار خود (۰/۲۲) بود. نرخ ذاتی تولد بین تیمارهای آزادیراکتین و فلونیکامید و همچنین بین تیمارهای تیاکلوپراید و تیوسیکلام اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با این‌که نرخ ذاتی مرگ (d) اختلاف معنی‌داری بین شاهد و تیمارهای حشره‌کشی مشاهده نگردید ولی بیشترین و کمترین مقدار نرخ ذاتی مرگ به ترتیب در تیوسیکلام (۰/۰۰۱) و شاهد (۰/۰۱۷۸) بود. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، در شاهد در بالاترین مقدار (۱/۳ بر روز) بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای حشره‌کش داشت و کمترین مقدار λ مربوط به تیمار تیوسیکلام (۱/۲۳ بر روز) بود. کمترین مقدار متوسط مدت زمان یک نسل (T) در تیمار شاهد (۱۶/۵۴ روز)، و بیشترین مقدار در تیمارهای حشره‌کش تیوسیکلام (۱۷/۹۸ روز) بود. بین تیمار شاهد و سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود داشت اما بین تیمارهای حشره‌کش اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

براساس نتایج حاصل همه‌ی تیمارها اثر معنی‌داری روی پارامترهای جمعیت پایدار از جمله نرخ ناخالص تولید مثل ($df_{4,137}$; $F=100$; $P<0.0001$) و خالص تولید مثل ($df_{4,137}$; $F=18.8$; $P<0.0001$)، نرخ متناهی جمعیت ($df_{4,137}$; $F=180$; $P<0.0001$) و نرخ ذاتی افزایش جمعیت ($df_{4,137}$; $F=12$; $P=0.004$)، میانگین مدت زمان یک نسل ($df_{4,137}$; $F=12.5$; $P=0.004$) و دوبرابر شدن جمعیت ($df_{4,137}$; $F=10$; $P=0.0035$) نشان دادند.

مقایسه‌ی میانگین پارامترهای رشد جمعیت پایدار در جدول شماره‌ی ۲ نشان داده شده است. نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR) در شاهد با مقدار ۹۳/۰۷ تخم بیشتر از تیمارهای حشره‌کش بود. بیشترین و کمترین نرخ ناخالص تولیدمثل در بین تیمارها به ترتیب مربوط به حشره‌کش‌های فلونیکامید (۸۲/۹۹) و تیوسیکلام (۶۲/۰۱) بود. نرخ خالص تولیدمثل (R_0) در شاهد در بیشترین مقدار (۷۸/۶۸) خود می‌باشد. R_0 در تیمار آزادیراکتین اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت اما با سایر تیمارها بجز فلونیکامید اختلاف معنی‌داری داشت.

بیشترین مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) مربوط به شاهد (۰/۲۶ در روز) بود. بین شاهد و تیمارهای

جدول ۲- میانگین پارامترهای جمعیت پایدار زنبور انگل‌واره *H. hebetor* (Mean \pm SE) در تیمارهای قرار گرفته در معرض حشره‌کش‌ها.

Table 2. Mean values of population parameters of wasp *Habrobracon hebetor* exposed to insecticides.

parameters	Mean \pm SE(Treatments)				
	thiocyclam	thiacloprid	flonicamid	azadirachtin	Control
GRR	62.01 \pm 1.01 ^d	69.84 \pm 0.85 ^c	78.94 \pm 1.17 ^b	82.99 \pm 1.77 ^b	93.07 \pm 2.37 ^a
R_0	47.65 \pm 4.48 ^c	53.97 \pm 5.04 ^c	62.99 \pm 5.40 ^{bc}	70.09 \pm 5.11 ^{ab}	78.68 \pm 6.12 ^a
r_m	0.21 \pm 0.005 ^d	0.22 \pm 0.004 ^c	0.23 \pm 0.005 ^{bc}	0.24 \pm 0.004 ^b	0.26 \pm 0.005 ^a
b	0.22 \pm 0.003 ^c	0.23 \pm 0.003 ^c	0.25 \pm 0.004 ^b	0.25 \pm 0.003 ^b	0.28 \pm 0.004 ^a
d	0.001 \pm 0.0003 ^a	0.0143 \pm 0.003 ^a	0.0117 \pm 0.005 ^a	0.0132 \pm 0.002 ^a	0.0178 \pm 0.004 ^a
λ	1.23 \pm 0.007 ^d	1.24 \pm 0.007 ^{cd}	1.26 \pm 0.007 ^{bc}	1.27 \pm 0.007 ^b	1.30 \pm 0.007 ^a
T	17.98 \pm 0.15 ^a	17.96 \pm 0.17 ^a	17.82 \pm 0.21 ^a	17.68 \pm 0.19 ^a	16.54 \pm 0.19 ^b
DT	3.22 \pm 0.08 ^a	3.11 \pm 0.08 ^{ab}	2.97 \pm 0.07 ^{bc}	2.88 \pm 0.06 ^c	2.62 \pm 0.5 ^d

حروف متفاوت نشان‌گر تفاوت بین تیمارها در مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن می‌باشد ($P<0.05$).

*: Mean values in each row followed by similar uppercase letters are not significantly different using Duncan's Multiple Range Test, ($P<0.05$).

1- GRR = Gross reproductive rate, R_0 = net reproduction rate r_m = intrinsic rate of natural increase, b = birth rate, d = death rate, DT = doubling time, T = mean generation time, and λ = finite rate of increase.

به‌سموم عصبی داشتند (Rafiee Dastjerdi *et al.*, 2008). در این تحقیق نیز ترکیب آزادیراکتین (نحوه اثر مشابه ترکیبات IGRs) و فلونیکامید اثر کمتری نسب به‌سموم سریع‌ال‌اثر عصبی داشتند.

عابدی و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر حشره‌کش‌های آزادیراکتین (بیونیم®)، آزادیراکتین (نیم‌گارد®)، پایریدالیل، سایپرترین و متوکسی فنوزاید را روی حشرات بالغ ۲۴ ساعته آزمایش کردند و مقدار LC₅₀ حشره‌کش‌ها به‌ترتیب ۱۱۲۹۳، ۴۳۵۴، ۲۴۵۱، ۱۳/۵۶ و ۶۸۹ گزارش نمودند. در این بین سایپرترین بیشترین سمیت و بیونیم® کمترین سمیت را داشته است که در تحقیق حاضر نیز آزادیراکتین در آزمایش‌های مقدماتی نشان داد که سمیت کمی روی حشرات کامل زنبور *H. hebetor* در شرایط آزمایشگاهی داشت که با نتایج حاصل از این بررسی هم‌خوانی دارد.

مقایسه‌ی شیب خطوط غلظت-اثر حشره‌کش‌ها نشان می‌دهد که شیب همه‌ی تیمارها کمتر از یک می‌باشد که شیب ترکیب تیاکلوپرید بالانتر از بقیه تیمارها است. به‌عبارتی با افزایش غلظت در مقادیر مرگ و میر بیشتری نسبت به‌سایر تیمارها حاصل می‌شود. مقادیر به‌دست آمده برای مربع کای اسکوار در همه‌ی تیمارها غیر معنی‌دار بود، این موضوع نشان می‌دهد برازش خط غلظت اثر به‌درستی انجام شده است و جمعیت یک‌نواخت بوده و هتروژنی در جمعیت وجود نداشته است.

کاهش امید زندگی در همه‌ی تیمارها روند یک‌نواختی داشت که می‌تواند به‌علت مرگ و میر بیشتر افراد حساس در روزهای اول و باقی ماندن افراد مقاوم با امید زندگی بالا باشد. امید زندگی در همه‌ی تیمارها اختلاف چندانی با شاهد نداشتند. در مطالعه‌ی امید زندگی حشرات کامل زنبور *H. hebetor* را در اولین روز زندگی در شاهد و تیمارهای ایندوکساکارب، ایمیداکلوپراید و دلتامترین به‌ترتیب ۲۸/۸۳، ۲۵/۳۶، ۱۹/۸ و ۲۷/۷۳ روز تعیین شد که نتایج حاصل در تیمار شاهد، با نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر منطبق است (Sarmadi *et al.*, 2010).

مقادیر مربوط به‌مدت زمان دو برابر شدن جمعیت (DT) نشان داد که جمعیت زنبور انگل‌واره در شاهد بعد از ۲/۶۲ روز می‌تواند دو برابر شود و بیشترین زمان لازم برای دو برابر شدن جمعیت مربوط به‌تیمار تیوسیکلام، ۳/۲۲ روز بود. در تیمارهای تیوسیکلام و تیاکلوپراید و بین تیمارهای تیاکلوپراید و فلونیکامید و همچنین بین فلونیکامید و آزادیراکتین اختلاف معنی‌داری در دو برابر شدن جمعیت مشاهده نشد.

بحث

در این تحقیق حشره‌کش با منشاء گیاهی آزادیراکتین تا چند برابر غلظت مزرعه‌ای تلفات چندانی نشان نداد. تحقیقات دیگر نیز چنین نتایجی را گزارش نمودند. برای مثال در مطالعه‌ی حشره‌کش‌های رایج و معمولی (کارباریل، کلروپریفوس، دیمتوات و پاراتیون) که در مزارع استفاده می‌شوند، اغلب سمیت بیشتری روی انگل‌واره‌ها و شکارگرها نسبت به‌حشرات آفت دارند اما فرمولاسیون‌های آزادیراکتین به‌طور معمول سمیت کمتری روی حشرات مفید در مقایسه با حشرات آفت دارند (Sak *et al.*, 2010).

صابر و همکاران (۲۰۰۴) مقدار LC₅₀ آزادیراکتین را روی حشرات کامل زنبور *T. cacoeciae* ۱۳۲۹ پی‌پی‌ام به‌دست آوردند. اما در تحقیق ما به‌دلیل سمیت بسیار پایین آزادیراکتین روی زنبور *H. hebetor* مقدار LC₅₀ آزادیراکتین اندازگیری نشد. دلیل نتیجه‌ی متفاوت احتمالاً تفاوت در حساسیت جنس و گونه مورد نظر باشد. چرا که یکی از عوامل مهم در حساسیت دشمنان طبیعی به‌یک ترکیب اختلافات جنس و گونه‌ای است (Saber *et al.*, 2004).

رفیعی دستجردی و همکاران (۲۰۰۸) حشره‌کش‌های دیفلوبنزوران، هگزافلوموران، پروفنوفوس، اسپاینوسد و تیودی‌کارب را روی حشرات کامل زنبور *H. hebetor* با استفاده از روش سطح آغشته به‌حشره‌کش آزمایش کردند و مقادیر LC₅₀ را به‌ترتیب ۲۰۰۰، ۱۲/۴۴، ۱۵/۶۴ و ۸۱/۰۴ میلی‌گرم ماده‌ی مؤثر در لیتر برای حشرات ماده گزارش کردند، که سموم تنظیم‌کننده‌ی رشد (هگزافلوموران و دیفلوبنزوران) سمیت کمتری نسبت

که منجر به کاهش r_m می‌شود در واقع مهمترین واکنش حشرات نسبت به غلظت‌های زیرکشندگی حشره‌کش‌ها می‌باشد که منجر به کاهش جمعیت انگل‌واره در نسل‌های بعدی می‌شود که از نتایج فوق حشره‌کش تیوسی‌کلام بیشترین تأثیر منفی روی مقدار r_m داشت.

به‌طور کلی و براساس نتایج به‌دست آمده، حشره‌کش‌های آزادیراکتین و فلونیکامید کمترین تأثیر سوء را روی زنبور انگل‌واره *H. hebetor* داشتند. پس از مطالعات تکمیلی و در صورت تأیید نتایج مزرعه‌ای، از این حشره‌کش‌ها می‌توان همراه با این عامل کنترل بیولوژیک در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات استفاده نمود.

در بررسی اثرات زیرکشندگی مقدار LC_{25} حشره‌کش‌ها روی پارامترهای جدول زندگی، جدول زیستی و جمعیت پایدار زنبور مورد بررسی قرار گرفت که در میان تیمارهای حشره‌کشی تیاکلوپراید و تیوسی‌کلام بیشترین تأثیر سوء روی این پارامترها داشت و سمیت بقیه‌ی حشره‌کش‌ها متوسط بود. در مطالعه‌ای، بیشترین و کمترین نرخ ناخالص تولید مثل در بین تیمارهای حشره‌کش به‌ترتیب مربوط به بیونیم (۵۹/۳۴) و سایپرمترین (۴۱/۶۳) بود که همسو با نتایج پژوهش حاضر بود (Abedi et al., 2012).

مهم‌ترین پارامتر تعیین‌کننده‌ی رشد جمعیت، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) است. کاهش در میزان بقا و باروری

References

- Abedi, Z. 2013. Residual Toxicity of Some Pesticides on the Larval Ectoparasitoid, *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). Journal of Plant Protection Research, 53: 27-31.
- Carey, J.R. 1993. Applied Demography for Biologists. Oxford University Press, 206pp.
- Croft, B.A. 1990. Arthropod Biological Control Agents and Pesticides. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Desneux, N., Denoyelle, R. & Kaiser, L. 2006. A multi- step bioassay to assess the effect of the deltamethrin on the parasitic wasps, *Aphidius ervi*. Chemosphere, 62: 1697-1706.
- Elzen, G.W., Maldonado, S.N. & Rojas, M.G. 2000. Lethal and sublethal effects of selectes and an insect growth regulator on the boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) Ectoparasitoid *Catolaccas grandis* (Hymenoptera: Pteromalidae). Journal of Economic Entomology, 2: 300-303.
- Fanigliulo, A., Fili, V., Pacella, R., Comes, S. & Crescenzi, A. 2009. Teppeki, selective insecticide about *Bombus terrestris*. Commun Agricultural Applied Biology and Science, 74(2): 407-10.
- Forouzan, M., Sahragard A. & Airmafi, M. 2003. Study on the biology of *Habrobracon hebetor* SAY (Hym.: Braconidae) under laboratory. Journal of Entomological Society of Iran, (3): 62-77.
- Galvan, T.L., Koch, R.L. & Hutchison, W.D. 2005. Effects of spinosad and indoxacarb on survival, development, and reproduction of the multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae). Biological Control, 34: 108-114.
- Golmohammadi, Gh. & Hejazi, M. 2014. Toxicity and side-effects of three insecticides on adult *Chrysoperla carnea* (Neur. Chrysopidae) under laboratory conditions. Journal of Entomological Society of Iran, 33(4): 23-28.
- Hoffmann, K.H. & Lorenz, M.W. 1998. Recent advances in hormones in insect pest control. Phytoparasitica, 26: 323-330.
- Ilio, V.W., Cristofaro, M., Marchini, D., Nobili, P. & Dallai, R. 1999. Effects of a neem compound on the fecundity and longevity of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). Journal of Economic Entomology, 92: 76-82.
- Magro, S.R. & Parra, J.R.P. 2001. Biology of ectoparasitoid *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) on seven lepidopteran species. Science Agriculture, 58 (4): 693-698.

- Meyer, J.S., Igersoll, C.G., Mac Donald, L.L., Boyce & M.S. 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: jackknife vs. bootstrap techniques. *Ecology*, 67: 1156-1166.
- Rafiee Dastjerdi, H., Hejazi, M.J., Nouri Ganbalani, G. & Saber, M. 2008. Toxicity of some biorational and conventional insecticides to cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and its ectoparasitoid, *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 28: 27-37.
- Robertson, J.L. & Preisler, H.K. 1992. *Pesticides Bioassays with Arthropods*. CRC Press. 127pp.
- Sarmadi, S., Nouri Ganbalani, G., Rafiee Dastjerdi, H., Hassanpour, M. & Farshbaf Pourabad, R. 2010. The effects of imidacloprid, indoxacarb and deltamethrin on some biological and demographic parameters of *Habrobracon hebetor* Say (Hymymenoptera: Braconidae) in adult stage treatment. *Munnis Entomology and Zoology*, 5: 641-656.
- Saber, M., Hejazi & M.J., Hassan, S.A. 2004. Effects of Azadirachtin/Neemazal on different stages and adult life table parameters of *Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of Economic Entomology*, 97(3): 905-910.
- Sak, O., Gülgönül, E.E. & Uckan, F. 2009. Effects of cypermethrin exposed to host on the developmental biology of *Pimpla turionellae* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 102(2): 288-294.
- Schmutterer, H. 1988. Potential of azadirachtin containing pesticides for integrated pest control in developing and industrialized countries. *Journal of Insect Physiology*, 34: 713-719.
- Stark, J.D. & Banks, J.E. 2003. Population-level effects of pesticides and other toxicant on arthropods. *Annual of Review Entomology*, 48: 505-519.
- Suh, C.P., Orr, D.B. & Van Duyn, J.W. 2000. Effect of insecticides on *Trichogramma exiguum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) preimaginal development and adult survival. *Journal of Economic Entomology*, 93: 577-583.
- Walthal, W.K. & Stark, J.D. 1996. A comparison of acute mortality and population growth rates as endpoints of toxicological effect. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 37: 45-52.
- Wright, D.J. & Verkert, R.H.J. 1995. Integration of chemical and biological control systems for arthropods; evaluation in a multitrophic context. *Pesticide Science*, 44: 207-218.
- Xu, Y.Y., Liu, T.X., Leibe, G.L. & Jones, W.A. 2004. Effects of selected insecticides on *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Biocontrol Science and Technology*, 14: 713-723.

Lethal and sublethal effects of insecticides azadirachtin, flonicamid, thiacloprid and thiocyclam on parasitoid wasp *Habrobracon hebetor*

Mahdi Fooladi¹, Gholamreza Golmohammadi², Hamidreza Ghajarieh¹

1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Abureyhan Parids- University of Tehran, Iran

2. Department of Agricultural Entomology, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Corresponding author: Gholamreza Golmohammadi, email: golmohammadi@iripp.ir

Received: August, 03, 2014

2 (2) 9-18

Accepted: April, 23, 2015

Abstract

Habrobracon hebetor is one of the most important parasitoid wasps of larvae of many lepidopteran pests, particularly the family Noctuidae. In this study, the lethal and sub-lethal effects of four insecticides including azadirachtin, flonicamid, thiacloprid and thiocyclam were examined on adult parasitoid. Parasitoid larvae were reared on last instar of Mediterranean flour moth in a growth chamber at $27\pm 2^\circ\text{C}$, relative humidity 70 ± 5 and a photoperiod of 16 h light and 8 h dark. Bioassay tests on adults were conducted based on contact method and sub-lethal effect studies were done based on demographic tests. Estimated LC_{25} values for azadirachtin, flonicamid, thiacloprid and thiocyclam were 277, 269 and 44.1 mg ai per l, respectively. Estimated LC_{50} values for azadirachtin, flonicamid, thiacloprid and thiocyclam were 551, 467 and 15.3 mg ai per l, respectively. The LC_{25} and LC_{50} values for azadirachtin were not estimated because mortality was 19% at a rate, which was three times the field rate (6000 ppm). Thiocyclam was the most toxic component against females. The intrinsic rate of increase (r_m) for control and azadirachtin, flonicamid, thiacloprid and thiocyclam were 0.26 ± 0.005 , 0.24 ± 0.004 , 0.23 ± 0.005 , 0.22 ± 0.04 and 0.21 ± 0.005 (day^{-1}), respectively. Gross reproduction rate (GRR) for control and azadirachtin, flonicamid, thiacloprid and thiocyclam were 93.07 ± 2.37 , 82.99 ± 1.77 , 78.94 ± 1.17 , 69.84 ± 0.85 , and 62.01 ± 1.01 , (egg), respectively. Based on the results, azadirachtin and flonicamid were the least toxic compounds. If results were confirmed by field tests, the pesticides may be associated with the biological control agents in integrated pest management programs.

Keywords: bioassay, lethal effects, sublethal effects, life table