تغییرات فراسنجه‌های زیستی بالتوری سبز، *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae)، در تماس با غلظت زیرکشنده تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید

ایاد السندی[۱]، محمدرضا هواسی[۱]، جاماسب نوذری[۲*] و غلامرضا گل‌محمدی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- *نویسنده مسوول: استادیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران (nozari@ut.ac.ir)

۳- دانشیار، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۰

چکیده

بالتوری‌ها از حشرات شکارگری هستند که در برنامه‌های کنترل زیستی به میزان زیادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این میان بالتوری سبز *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae) بیشترین توجه را به‌عنوان یک عامل زیستی امیدبخش برای کنترل با آفات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای به خود جلب نموده است. اثرات زیرکشندگی تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید بر فراسنجه‌های دموگرافی بالتوری سبز در شرایط آزمایشگاهی ۲±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۸:۱۶ ساعت (روشنایی: تاریکی) مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های بدست‌آمده بر اساس تئوری جدول زندگی دوجنسی تجزیه‌وتحلیل شد. تمام غلظت‌های زیرکشنده موجب کاهش معنی‌دار در دوره تخم‌ریزی، باروری کل، طول عمر و طول دوره زندگی نسبت به شاهد شدند. حداکثر و حداقل میانگین طول عمر افراد بالتوری سبز در گروه تیمار نشده و تیمارشده با LC_{30} تیامتوکسام مشاهده گردید. باروری کل از ۲۰۸/۷ (نتاج/فرد) در تیمار با غلظت LC_{30} تیامتوکسام تا ۳۰۲/۳ (نتاج/فرد) در شاهد متغیر بود. نرخ ذاتی (r) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) تحت تأثیر افزایش غلظت مصرفی ایمیداکلوپراید قرار نگرفت. نرخ خالص تولیدمثل (R_0) در تیمار استامی‌پراید به کمترین میزان خود (۱۴۱/۱ نتاج/فرد/نسل) رسید. مطابق با نتایج این مطالعه، استفاده از غلظت زیرکشنده تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید بر برخی فراسنجه‌های شکارگر *C. carnea* تأثیر داشته و از این نتایج می‌توان در برنامه‌های مدیریت آفات استفاده کرد.

***کلیدواژه‌ها:* حشره‌کش، جدول زندگی، دشمنان طبیعی، فراسنجه‌های زیستی، اثرات زیرکشندگی**

دبیر تخصصی: دکتر آرش راسخ

مقدمه

تأثیر سموم دفع آفات شیمیایی بر محیط زیست، بندپایان مفید و سلامت انسان، از جمله مواردی است که نگرانی‌های فزاینده‌ای را در خصوص ظهور مجدد آفات، ایجاد مقاومت در برابر آفت‌کش‌ها (Maia et al., 2016) آلودگی‌های زیست محیطی (Frank et al., 1990)، ظهور آفات ثانویه (Xu et al., 2008)، طغیان مجدد و همچنین کاهش تنوع زیستی به همراه داشته است (Osborne and Oetting, 1989; Antonious and Snyder, 2006). سازگاری آفت‌کش‌ها با عوامل کنترل زیستی ازجمله مسائل دارای اهمیت در مدیریت آفات گیاهی است (Stark et al., 2007). حشره‌کش‌های موجود همیشه با عوامل دشمنان طبیعی سازگاری نداشته و در مواردی منجر به بروز مقاومت در آفت هدف و ظهور آفت درجه دوم نیز می‌گردند (Amarasekare and Shearer, 2013). سازگاری آفت‌کش‌ها در کاربرد همزمان با عوامل کنترل زیستی، ازجمله نگرانی‌های عمده کاربران مدیریت تلفیقی آفات[1] (IPM) بوده و بهره‌مندی از دانش کافی در خصوص چگونگی تأثیر حشره‌کش‌ها نسبت به آفات، حشرات غیرهدف و محیط‌زیست بسیار مهم است (Stark et al., 2004). ازاین‌رو درک تأثیر آفت‌کش‌ها روی بندپایان مفید به‌منظور ادغام موفقیت‌آمیز کنترل زیستی در زیست‌بوم‌های کشاورزی امری ضروری به شمار می‌آید.

حضور دشمنان طبیعی به‌عنوان عوامل کنترل زیستی به دلیل کاستن از خسارت ناشی از حضور آفات کلیدی و جلوگیری از طغیان آفات ثانویه در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (Saber et al., 2018). یکی از مهم‌ترین انواع شکارگرها، بالتوری‌ها هستند که در این میان خانواده Chrysopidae از مهم‌ترین و مؤثرترین شکارگران در گلخانه‌ها، باغات و مزارع کشاورزی محسوب شده و از حشراتی مانند شته‌ها، شپشک‌ها، زنجرک‌ها، سفید بالک‌ها، پسیل‌ها و تریپس‌ها تغذیه می‌کنند (Fathipour and Jafari, 2004). در میان گونه‌های مربوط به این خانواده، گونه *Chrysoperla carnea* Stephens، شکارگری چندین‌خوار بوده که به دلیل پراکنش جغرافیایی گسترده، سازگاری بسیار بالا به شرایط محیطی مختلف، توان بالقوه قابل‌توجهی در تغذیه از گونه‌های متعددی از آفات، از اجزاء مهم برنامه‌های کنترل زیستی به شمار می‌آید (Mansfield and Mills, 2002; Horton et al., 2009; Jones et al., 2011; Zeb Khan et al., 2015). همچنین مقاومت بالای بالتوری سبز به تعداد زیادی از سموم آفت‌کش متداول، اهمیت این حشره مفید در برنامه‌های کنترل تلفیقی آفات را بیش از پیش مورد توجه قرار داده است (Pathan et al., 2008, 2010).

امروزه راهبردهای مدیریت تلفیقی آفات همانند ترکیب عوامل کنترل زیستی با آفت‌کش‌های صنعتی، توسط تعداد زیادی از پرورش دهندگان محصولات کشاورزی در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Calvo et al., 2011). در راستای تحقق این امر، علاوه بر ارزیابی اثرات کشنده غلظت‌های مختلف آفت‌کش‌ها، مطالعه روی غلظت‌های زیرکشنده نیز باید مورد توجه قرار گیرد. ازجمله روش‌های مورد استفاده به‌منظور حفاظت از دشمنان طبیعی و مدیریت مقاومت زودهنگام، کاربرد غلظت‌های زیرکشنده است (He et al., 2013; Song et al., 2013).

ترکیبات نئونیکوتینوئیدی (همچون تیامتوکسام[2]، ایمیداکلوپراید[3] و استامی‌پراید[4]) یکی از مهم‌ترین گروه‌های حشره‌کش‌ها بوده که در طیف وسیعی در سراسر جهان مصرف می‌شوند، به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۸، حدود ۲۴ درصد از فروش کل آفت‌کش‌ها در دنیا را به خود

1- Integrated pest management

2- Thiamethoxam
3- Imodacliprid
4- Acetamiprid

اختصاص داده‌اند (Krämer et al., 2012). این گروه با خواص شیمیایی و زیستی منحصربه‌فرد، ویژگی‌های سیستمیک مناسب و ایمنی مطلوب برای انسان‌ها و موجودات غیرهدف، به‌طور چشم‌گیری توسعه یافته‌اند (Jeschke and Nauenr, 2008). این گروه از حشره‌کش‌ها با اثر تماسی و تأثیر بر گیرنده‌های استیل‌کولین[1] در سیستم عصبی حشرات، به‌منظور کنترل طیف وسیعی از آفات مهم مورد استفاده قرار می‌گیرند (Maienfisch et al., 2001; Nauen et al., 2003). ارزیابی اثر آفت‌کش‌ها در شرایط آزمایشگاهی به‌منظور دستیابی به اطلاعاتی در مورد چگونگی اثرات بالقوه بر بندپایان می‌تواند مهم و مفید باشد (Havasi et al., 2019). از سوی دیگر به‌کارگیری روش مطالعه جدول زندگی و مطالعه دموگرافیک[2] به‌عنوان یک شیوه مطمئن و قابل‌اعتماد در تعیین شایستگی[3] (Chi et al., 2020)، تعیین میزان سمیت آفت‌کش‌ها (Chi, 1990)، ارزیابی اثرات جانبی آفت‌کش بر نرخ رشد جمعیت و باروری (Li et al., 2017) و مطالعه جمعیت آفات (Sakai et al., 2001; Kakde et al., 2014) مطرح است.

با توجه به این‌که بالتوری سبز به‌عنوان یکی از مؤثرترین و مفیدترین شکارگرهای عمومی آفات در محصولات مختلف زراعی و گلخانه‌ای به شمار می‌آید، از سوی دیگر به دلیل کاربرد و مصرف زیاد حشره‌کش‌هایی همچون تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید در محصولات مختلف، در این مطالعه اثرات کشندگی و زیرکشندگی این ترکیبات شیمیایی روی این عامل کنترل زیستی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در این مطالعه اثرات حشره‌کشی ترکیب‌های مذکور بر فراسنجه‌های دموگرافیک بالتوری سبز با استفاده از تئوری جدول زندگی دوجنسی سن-مرحله به منظور تعیین کارایی مناسب‌ترین ترکیب شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پرورش شب‌پره آرد *Ephestia kuehniella*

کلنی اولیه حشرات کامل شب‌پره آرد *Ephestia kuehniella* Zell (Lep: Pyralidae) از بخش تحقیقات حشره‌شناسی کشاورزی، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور تهیه گردید. از تخم‌های شب‌پره آرد به‌منظور تغذیه و پرورش بالتوری سبز استفاده شد. برای پرورش شب‌پره آرد از ظروف تشتک پلاستیکی به قطر ۷۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. در هر ظرف، ترکیبی از ۲/۵ کیلوگرم آرد گندم، ۰/۵ کیلوگرم سبوس گندم و ۴۰ گرم مخمر آرد اضافه گردید. سپس به میزان یک گرم از تخم شب‌پره آرد به‌صورت یکنواخت روی آن پخش گردید. درب تشتک‌های پلاستیکی با پارچه‌های توری پوشیده و سپس ظروف پلاستیکی در شرایط کنترل‌شده در اتاقک رشد با دمای ۲± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵± ۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت تاریکی و ۸ ساعت روشنایی قرار داده شد (Rezaei Torshizi et al., 2019a).

پرورش بالتوری *C. carnea*

کلنی اولیه بالتوری سبز از موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور تهیه شد. به‌منظور پرورش بالتوری سبز از استوانه پلاستیکی (با قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر) که روی درب آن‌ها با پارچه توری پوشانیده شده بود، استفاده گردید. افراد بالغ از رژیم مصنوعی شامل مخمر، عسل و آب مقطر (۵:۷:۴ گرم:گرم:میلی‌لیتر) و تخم شب‌پره آرد تغذیه کردند (Golmohammadi and Hejazi, 2014). هر لایه حاوی ۲۰ عدد لارو بالتوری سبز و مقدار کافی تخم شب‌پره آرد بود. لاروهای سن اول، لاروهای سن

1- Acetylcholine
2- Demographic studies
3- Fitness

دوم، لاروهای سن سوم و شفیره‌ها، بعد از ظهور، جمع‌آوری و به ظروف دیگری (به قطر دهانه‌ی ۱۷/۵ و ارتفاع ۷/۵ سانتی‌متر) منتقل شدند و در آزمایش‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفتند. این ظروف پرورش در شرایط کنترل‌شده دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۸:۱۶ ساعت (روشنایی:تاریکی) نگهداری شدند (Rezaei Torshizi et al., 2019a).

حشره‌کش‌های مورد آزمایش

حشره‌کش‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل تیامتوکسام (سینجنتا،سوئیس) (آکتارا[1] ٪WDG۲۵)، ایمیداکلوپراید (استنهیم، آلمان) (کونفیدور[2] ٪۳۵ SC) و استامی‌پراید (استنهیم، آلمان) (موسپیلون[3] ٪۲۰ SP) بودند.

آزمون زیست‌سنجی

جهت انجام زیست‌سنجی از حشرات بالغ بالتوری جنس نر و ماده هم‌سن (با عمر کمتر از ۲۴ ساعت) استفاده گردید جنسیت آن‌ها در زیر استریو میکروسکوپ با توجه به شکل استرنیت انتهای شکم تشخیص داده شد (Rezaei Torshizi et al., 2019b). زیست‌سنجی با استفاده از روش سمیت تماسی (Mohammadi et al., 2009) در ظروف پتری پلاستیکی (به قطر ۶ و ارتفاع ۱ سانتی‌متر) در شرایط دمایی ۲±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ (تاریکی: روشنایی) انجام شد. ابتدا آزمایش مقدماتی به‌منظور تعیین تلفات ۹۰-۱۰ درصدی روی حشرات بالغ انجام شد (Robertson et al., 2007)، سپس با استفاده از فاصله لگاریتمی، پنج غلظت شامل ۵۰۰، ۷۰۰، ۱۰۰۰، ۱۴۰۰ و ۲۰۰۰ (میلی‌لیتر بر لیتر) برای تیامتوکسام، ۱۰۰۰، ۱۴۰۰، ۱۸۰۰، ۲۳۰۰ و ۳۰۰۰ (میلی‌لیتر بر لیتر) برای ایمیداکلوپراید و ۱۰۰۰، ۱۴۰۰۰، ۲۰۰۰، ۲۸۰۰ و ۴۰۰۰ (میلی‌لیتر بر لیتر) برای استامی‌پراید در آب مقطر تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. بعد از تهیه غلظت‌ها، ابتدا مقدار دو میلی‌متر از هر غلظت در دو سطح ظروف پتری به قطر ۱۰ سانتی‌متر ریخته شد (هر سطح یک میلی‌متر) و در دمای اتاق به مدت سی دقیقه نگه داشته شدند تا سطح آن‌ها کاملاً خشک گردید. سپس ۱۰ جفت حشره کامل نر و ماده (۱۰:۱۰) در داخل هر ظرف به تفکیک قرار داده شد. در ادامه ظروف پتری به شرایط قابل‌کنترل در انکوباتور با دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵± ۶۵ درصد و دوره نوری ۸:۱۶ ساعت (روشنایی: تاریکی) منتقل و بعد از ۲۴ ساعت میزان تلفات حشرات نر و ماده به‌طور جداگانه شمارش گردید. آزمایش‌های اصلی در ۵ غلظت و ۴ تکرار انجام شد.

اثر زیرکشنده حشره‌کش‌ها بر فراسنجه‌های رشد جمعیت

اثر زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید روی فراسنجه‌های جدول زیستی بالتوری سبز با تیمار حشرات کامل با غلظت LC_{30} هر یک حشره‌کش‌ها آغاز شد. غلظت LC_{30} برای هر یک از حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید برآورد گردید (جدول ۱). پس از تهیه غلظت‌ها، تعداد ۱۰۰ جفت حشره کامل نر و ماده با عمر کمتر از ۲۴ ساعت برای تیمار با هر حشره‌کش انتخاب شد. برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده گردید. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، در هر یک از حشره‌کش‌ها، بالغین تیمارشده‌ای که زنده ماندند، انتخاب شدند. سپس ۲۰ جفت از حشرات کامل به ظروفی با قطر دهانه ۸ سانتی‌متر (ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر) جهت تخم‌ریزی انتقال داده شدند. در دیواره هر لیوان نوار طلق پلاستیکی با کش به دیواره بیرونی لیوان چسبانده شد و در روزهای تخم‌گذاری حشرات، غذای آماده شده (مخلوط مخمر، آب و عسل، به ترتیب به نسبت‌های، ۵:۷:۴ گرم:گرم:میلی‌لیتر از قبل روی این نوارها

1- Actara
2- Confidor
3- Mospilan

قرار داده شد. دهانه این لیوان‌ها با پارچه توری پوشانده شده و یک تکه اسفنج کوچک روی این توری‌ها جهت تأمین آب موردنیاز حشره قرار گرفت (Golmohammadi and Hejazi, 2014). ظروف با شروع تخم‌ریزی افراد بالغ به‌صورت روزانه تعویض شدند و تخم‌های گذاشته‌شده در هر ظرف به‌صورت روزانه شمارش گردید. تمامی آزمایش‌ها در شرایط کنترل‌شده در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵± ۶۵ درصد و دوره نوری ۸:۱۶ ساعت (روشنایی:تاریکی) نگهداری شدند. ثبت داده‌ها تا پایان عمر آخرین بالتوری‌ها ادامه یافت. فراسنجه‌های زیستی حشرات کامل بالتوری سبز شامل طول دوره‌های زیستی، طول عمر و طول کل دوره زندگی هر دو جنس نر و ماده محاسبه شد. همچنین، طول دوره‌های تولیدمثلی، زادآوری و میانگین زادآوری کل برآورد شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

برای تعیین غلظت‌های زیرکشنده از نرم‌افزارهای IBM SPSS Software version 19.0 با روش پروبیت استفاده شد. داده‌های به‌دست‌آمده از یادداشت‌برداری‌های روزانه بر اساس نظریه جدول زندگی دوجنسی[1] (Chi and Liu, 1985; Chi, 1988) و با استفاده از نرم‌افزار TWOSEX-MSChart (Chi, 2020) تجزیه شد. میانگین‌ها به همراه خطاهای استاندارد تمامی فراسنجه‌های زیستی با استفاده از روش بوت استرپت جفت شده[2] با ۱۰۰ هزار بار تکرار محاسبه گردید.

نتایج

نتایج حاصل از آزمایش‌های زیست‌سنجی جهت تعیین غلظت‌های کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید روی بالتوری سبز در جدول ۱ ارائه شده است. مقادیر LC_{50} برای تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید به ترتیب ۱۰۳۹/۶، ۱۸۱۰/۹ و ۲۰۱۶/۳ میلی‌لیتر بر لیتر محاسبه شد.

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌ها بر مراحل رشدی و طول دوره زندگی بالتوری سبز

نتایج تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید بر طول مراحل مختلف رشدی بالتوری سبز در مقایسه با شاهد در جدول ۲ نشان داده شده است. طول دوره‌های رشدی بالتوری‌های نر تیمار شده با غلظت LC_{30} حشره‌کش‌های مزبور در مقایسه با شاهد هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری نداشت. در این مطالعه اختلافات معنی‌دار در میانگین طول عمر بالغین در جنس نر و ماده (به‌جز جنس نر در تیمار ایمیداکلوپراید) در مقایسه با شاهد ملاحظه شد. میانگین طول دوره بلوغ بالتوری‌های نر و ماده به ترتیب ۴۳/۱۱ تا ۲۹/۱۷ و ۴۳/۶۷ تا ۳۶/۳۵ روز بود. میانگین طول دوره زندگی نر و ماده به ترتیب از ۸۲/ ۶۱ تا ۵۰/۱۱ و از ۶۷/۷۸ تا ۵۸/۲۵ روز متغیر بود. غلظت زیرکشنده (LC_{30}) باعث کاهش معنی‌داری بر طول دوره زندگی بالتوری ماده تیمار شده نسبت به حشرات شاهد شد.

شاخص‌های تولیدمثلی

در جدول ۳ نتایج حاصل از اثر زیرکشندگی (LC_{30}) حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید بر طول دوره‌های تولیدمثلی و باروری کل بالتوری سبز نشان داده شده است. میانگین طول دوره تخم‌ریزی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده بود به‌طوری‌که از ۳۱/۸ تا ۳۹/۲ روز در تیمارهای مختلف، متغیر بود. نتایج نشان داد که دوره پیش از تخم‌گذاری در بالغین تحت تأثیر هیچ‌کدام از تیمارها قرار نگرفت. باروری کل از ۳۰۲/۳۲ در شاهد تا ۲۰۸/۷ (نتاج/ماده) در غلظت LC_{30} تیامتوکسام متغیر بود، به‌طوری‌که تحت تأثیر غلظت‌های آزمایشی به‌طور معنی‌دار روند نزولی نشان داد.

1- Age-stage two-sex
2- Paired bootstraps

جدول ۱- تجزیه پروبیت برای پاسخ غلظت-تلفات مرحله بالغ بالتوری سبز نسبت به حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید

Table 1. Probit analysis for the concentration-mortality response of adult stage of *Chrysoperla carnea* to thiamethoxam, imidacloprid and acetamiprid insecticides

Insecticide	N	LC_{30} (ml/L) (95% confidence intervals)	LC_{50} (ml/L) (95% confidence intervals)	*df*	Slope ± SE	χ^2
Thiamethoxam	480	754.8 (673.5-827.8)	1039.6 (955.3-1133.1)	4	3.99 ± 0.36	1.34
Imidacloprid	480	1441.3 (1326.4-1541.9)	1810.9 (1702.3-1926.1)	4	5.13 ± 0.48	1.09
Acetamiprid	480	1470.7 (1311.7-1612.9)	2016.3 (1853.7-2193.8)	4	3.82 ± 0.035	1.04

*20 individuals per replicate, four replicates per concentration, six concentrations per assay.

جدول ۲- میانگین (± خطای معیار) طول دوره رشدی و بقا بالتوری *Chrysoperla carnea* تیمار شده با غلظت زیرکشنده (LC_{30}) حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید در مقایسه با شاهد

Table 2. Means (±SE) of the growth duration and survival of *Chrysoperla carnea* treated with sub-lethal concentration (LC_{30}) of the insecticides Thiamethoxam, Imidacloprid and Acetamiprid in comparison with the control

Parameters	Control	Thiamethoxam	Imidacloprid	Acetamiprid	*F*	*P*
			Male			
Developmental time (day)	20.11 ± 0.33^a	21.22 ± 0.31^a	21.35 ± 0.22^a	20.15 ± 1.30^a	41.39	0.1
Longevity (day)	41.61 ± 1.77^a	29.17 ± 1.52^b	43.11 ± 0.31^a	29.92 ± 1.59^b	29.86	0.023
Total life span (day)	61.82 ± 1.66^a	50.11 ± 1.58^b	64.45 ± 0.36^a	50.45 ± 1.59^b	9.32	0.031
			Female			
Developmental time (day)	24.08 ± 1.21^a	22.12 ± 0.25^b	22.08 ± 0.28^b	20.11 ± 1.22^c	13.36	0.033
Longevity (day)	43.67 ± 2.28^a	36.35 ± 2.22^b	37.73 ± 2.16^b	38.12 ± 3.14^b	3.23	0.029
Total life span (day)	67.78 ± 2.32^a	58.25 ± 2.24^b	59.51 ± 2.12^b	58.41 ± 3.18^b	11.69	0.041

The standard errors were calculated using the bootstrap procedure with 100,000 samples. Means followed by different letters in the same row are significantly different using the paired bootstrap test at 5% significance level.

جدول ۳- اثر زیرکشنده حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید بر برخی ویژگی‌های زیستی (میانگین ± خطای معیار) بالتوری *Chrysoperla carnea* در مقایسه با شاهد

Table 3. Insecticidal effect of Thiamethoxam, Imidacloprid and Acetamideprid on some biological characteristics (Means ±SE) of *Chrysoperla carnea* compared to control

Parameter	Control	Thiamethoxam	Imidacloprid	Acetamiprid	*F*	*P*
Oviposition (day)	39.21 ± 2.18[a]	31.85 ± 2.21[b]	34.95 ± 2.09[b]	32.71 ± 2.95[b]	11.36	0.001
APOP (day)	3.71 ± 0.16[a]	4.01 ± 0.17[a]	3.11 ±0.21[a]	3.87±0.14[a]	9.87	0.2
TPOP (day)	27.71 ± 0.27[a]	26.02 ± 0.33[a]	24.12±0.29[b]	24.07±0.31[b]	8.36	0.001
Total Fecundity (offspring/female)	302.32 ± 20.11[a]	208.72 ± 17.18[d]	267.12 ± 18.71[b]	235.27 ± 22.73[c]	25.56	0.021

The standard errors were calculated using the bootstrap procedure with 100,000 samples. The means followed by different letters in the same row are significantly different using the paired bootstrap test at 5% significance level. APOP: adult pre-oviposition period (the duration from adult emergence to the first oviposition); TPOP= total pre-oviposition period (the duration from egg to the first oviposition).

شاخص‌های جمعیتی

پارامترهای رشد جمعیت ازجمله نرخ خالص تولیدمثل[1] (R_0)، نرخ متناهی افزایش جمعیت[2] (λ)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت[3] (r)، طول دوره یک نسل[4] (T) و نرخ ناخالص تولیدمثل[5] (GRR) جمعیت در جدول ۴ ارائه شده است. در میان حشره‌کش‌های مورد استفاده، تیامتوکسام نرخ ذاتی افزایش جمعیت *C. carnea* را به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار r در تیمار ایمیداکلوپراید (۰/۱۳۹۴ بر روز) و کمترین آن (۰/۱۲۴۵ بر روز) با مصرف غلظت LC_{30} تیامتوکسام ثبت شد.

نرخ ناخالص تولیدمثل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر غلظت‌های آزمایشی کاهش یافت. به‌طوری‌که در غلظت LC_{30} تیامتوکسام و استامی‌پراید به کمترین مقدار خود برابر با ۲۲۲/۴۵ و ۲۲۷/۶۹ نتاج/فرد/نسل رسید. نرخ خالص تولیدمثل بالتوری‌های سبز تیمار شده با استامی‌پراید و تیامتوکسام به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که کمترین میزان آن (۱۴۱/۱۶ نتاج/فرد/نسل) مربوط به بالتوری‌های تیمار شده با غلظت LC_{30} استامی‌پراید بود که با شاهد (۲۴۵/۰۶ نتاج/فرد/نسل) اختلاف معنی‌دار داشت. حشره‌کش‌های ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید موردمطالعه اثرات معنی‌داری بر طول دوره یک نسل (T) بالتوری *C. carnea* داشتند. کمترین طول دوره یک نسل بالتوری سبز (۳۷/۱۶ روز) برای غلظت LC_{30} ایمیداکلوپراید به دست آمد. بیشترین طول دوره یک نسل (۴۲/۴۴ روز) مربوط به شاهد بود (جدول ۴).

بقاء و باروری

در شکل ۱ روند تغییرات بقای ویژه سنی (m_x) نتاج حاصل از بالتوری سبز تیمارشده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید، نشان داده شده است. حداکثر میزان باروری ویژه سنی (m_x) بالتوری‌های ماده در غلظت LC_{30} برابر ۷/۳۶ در روز پنجاه و دوم، ۱۰/۷۰ در روز پنجاه و دوم، ۷/۰۵ در روز پنجاه و هفتم (تخم/فرد برای همه موارد) به ترتیب برای تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید ثبت شد. بالاترین مقدار این پارامتر، ۸/۷۰ (تخم/فرد) در روز پنجاه و پنجم برای بالتوری‌های تیمار نشده به دست آمد (شکل ۱).

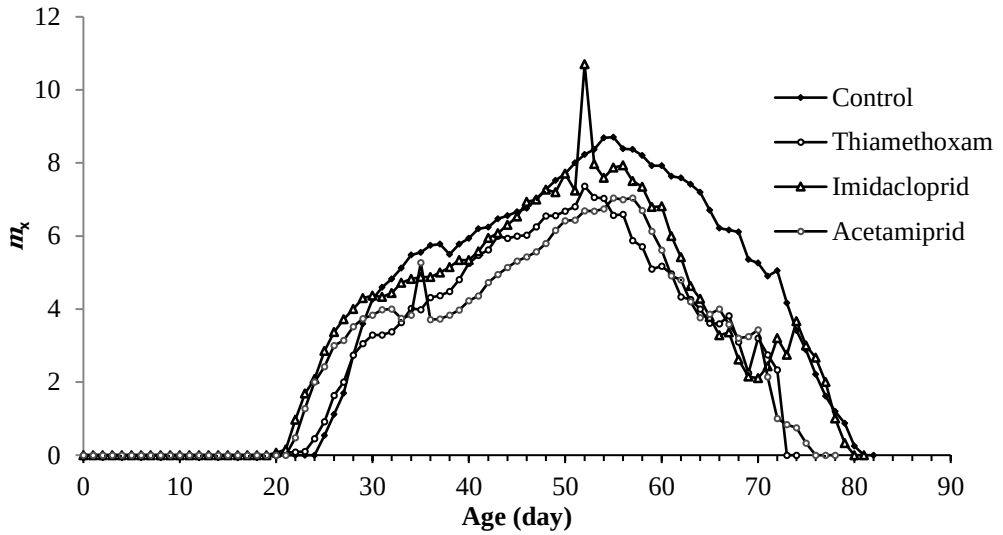
1- Net reproductive rate
2- Finite rate of increase
3- Intrinsic rate of increase
4- Mean generation time
5- Gross reproduction rate

جدول ۴- فراسنجه‌های رشد جمعیت (میانگین± خطای معیار) بالتوری *Chrysoperla carnea* تحت تأثیر غلظت زیر کشنده (LC_{30}) حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید در مقایسه با شاهد

Table 4. Population growth parameters (Mean ± SE) of *Chrysoperla carnea* under the influence of sub-lethal concentration (LC_{30}) of the insecticides Thiamthoxam, Imidacloprid and Acetamidprid in comparison with the control

Population growth parameters	Control	Thiamethoxam	Imidacloprid	Acetamiprid	Unit	*F*	*P*
Gross reproduction rate (*GRR*)	311.72 ± 20.61^{a}	222.45 ± 15.30^{c}	279.41 ± 24.98^{b}	227.69 ± 21.51^{c}	offspring/individual/ Generation	23.36	0.03
Net reproductive rate (R_0)	245.06 ± 23.47^{a}	143.94 ± 17.22^{c}	178.08 ± 20.44^{b}	141.16 ± 21.09^{c}	offspring/individual/ Generation	45.25	0.002
Intrinsic rate of increase (r)	0.1296 ± 0.002^{b}	0.1245 ± 0.003^{c}	0.1394 ± 0.003^{a}	0.1324 ± 0.004^{b}	Day^{-1}	19.88	0.002
Finite rate of increase (λ)	1.138 ± 0.002^{b}	1.132 ± 0.003^{c}	1.149 ± 0.003^{a}	1.141 ± 0.004^{b}	Day^{-1}	35.24	0.004
Mean generation time (T)	42.44 ± 0.46^{a}	39.91 ± 0.54^{b}	37.16 ± 0.45^{c}	37.35 ± 0.56^{c}	Day	15.54	0.002

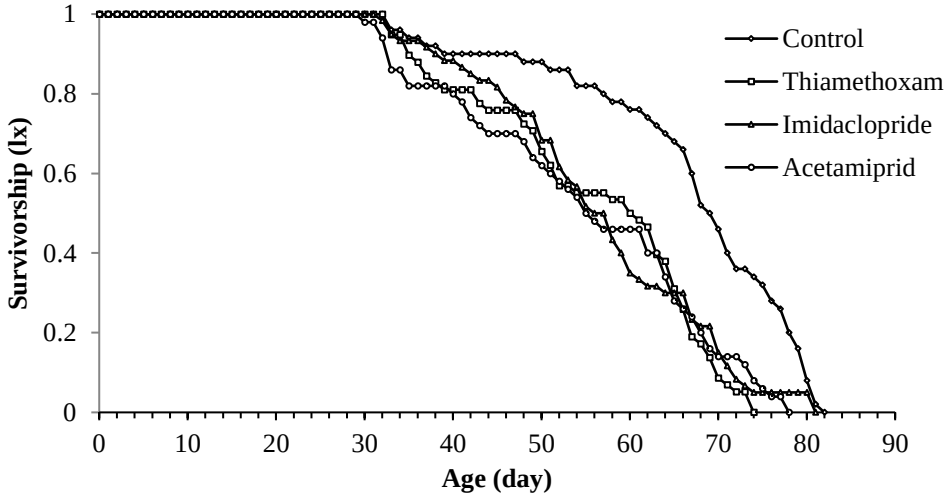
Means within a row followed by the same letter are not significantly different. The SE were estimated by using 100,000× bootstraps and compared by using paired bootstrap test at 5% significance level.



شکل ۱- منحنی باروری ویژه سنی (m_x) نتاج حاصل از بالتوری سبز، تیمار شده با غلظت زیرکشنده تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید

Figure 1. Age-specific fecundity (*mx*) of the offspring of the treated and untreated of *Chrysoperla carnea* by sublethal concentration of thiamethoxam, imidacloprid and acetamiprid

در شکل ۲ روند تغییرات بقای ویژه سنی (l_x) نتاج حاصل از بالتوری سبز تیمارشده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید نشان داده شده است. بیشترین طول عمر در بالتوری‌های سبز شاهد (۸۲ روز) مشاهده شد، درحالی‌که این میزان در غلظت‌های ۳۰ درصد زیرکشندگی به ترتیب ۷۴، ۸۰ و ۷۸ روز به ترتیب برای حشره‌کش‌های تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید بود (شکل ۲).



شکل ۲- منحنی بقای ویژه سنی (l_x) نتاج حاصل از بالتوری سبز تیمار شده با غلظت زیرکشنده تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید

Figure 2. Age-specific survivorship (l_x) of offspring of *Chrysoperla carnea* treated with sublethal concentration of thiamethoxam, imidacloprid and acetamiprid

بحث

دست‌یابی به عوامل کنترل زیستی مؤثر به‌عنوان اولین قدم در توسعه برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات به شمار می‌آید (Fathipour et al., 2020). از سوی دیگر، سازگاری آفت‌کش‌ها با آفات گیاهی، به‌منظور توسعه استراتژی‌های مرتبط با مدیریت تلفیقی آفات بایستی مورد توجه قرار گیرد (Desneux et al., 2006; Biondi et al., 2012). همچنین ارزیابی اثرات سمی آفت‌کش‌ها علیه دشمنان طبیعی در توسعه مدیریت آفات مهم و ضروری است (Desneux et al. 2007; Golmohammadi and Hejazi, 2014). اثرات کشندگی سموم دفع آفات، صرفاً به اندازه‌گیری جزئی از اثرات نامطلوب آن‌ها اشاره دارد که سبب پنهان ماندن ابعاد دیگری از اثرات سموم می‌گردد، بنابراین اثرات زیرکشندگی روی فیزیولوژی و رفتار بندپایان نیز باید در نظر گرفته شود (Desneux et al., 2007). اثرات زیرکشندگی می‌تواند بسیار حساس و در غلظت‌های کمتر از منحنی غلظت-تلفات بر جمعیت تأثیرگذار باشد (Stark and Banks, 2003). همچنین لازم به ذکر است که پژوهش‌های متعددی به بررسی اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های مختلف بر فراسنجه‌های زیستی *C. carnea* بررسی شده است (Mohammadi et al., 2009; Garzón et al., 2015; Maia et al., 2016; Suárez-López et al., 2020).

به‌کارگیری حشره‌کش‌های ایمیداکلوپراید (نئونیکوتینوئید)، تیاکلوپراید (نئونیکوتینوئید) و لامبدا سی‌هالوترین (پیریتروئید) منجر به کاهش معنی‌داری در تعداد افراد بالغ *Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) شد (Jalili et al., 2009; Jansen, 2010). همچنین مطابق با یافته‌های ارائه‌شده، افراد بالغ *C. carnea* بعد از تیمار با حشره‌کش تیامتوکسام، کاهش معنی‌داری در بقاء داشتند (Gontijo et al., 2014)، که این نتایج همسو با نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر است. زمانی که افراد بالغ *A. bipunctata* در معرض حشره‌کش‌های سولفوکسافلور[1] و دلتامترین[2] قرار گرفتند، بقاء و نتاج تولیدی توسط آن‌ها تحت تأثیر قرار گرفت و کاهش معنی‌داری را نشان داد (Garzón et al., 2015). در تحقیقی دیگر، گزارش گردید که کاربرد لوفنورون[3] سبب کاهش طول دوره‌های بلوغ جنس نر و ماده و دوره لاروی و شفیرگی افراد بالتوری سبز می‌گردد که با یافته‌های به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر مطابقت دارد (Suárez-López et al., 2020). ازجمله دلایل این تفاوت می‌توان به نوع گونه موردمطالعه، شرایط استفاده و طعمه مورد تغذیه اشاره نمود. در مطالعه مشابهی نیز کاهش طول عمر حشره کامل بالتوری سبز در تیمار با ایمیداکلوپراید در مقایسه با شاهد گزارش شد که همسو با یافته‌های به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر است (Kumar and Santharam, 1999).

بررسی اثرات حشره‌کش تیاکلوپراید بر فراسنجه‌های زیستی بالتوری سبز نشان داد که به‌کارگیری این حشره‌کش، طول عمر افراد بالغ *C. carnea* را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش می‌دهد که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد (Asadi Eeidvand et al., 2015). براساس یافته‌های Ono et al. (2017)، کاربرد دیفلوبنزورون[4] و لوفنورون روی افراد بالغ *Ceraeochrysa cuban* (Hagen) (Neuroptera, Chrysopidae) سبب کاهش معنی‌داری در طول دوره بلوغ افراد می‌گردد. همچنین در تحقیقی که توسط Golmohammadi et al. (2021) صورت گرفت، گزارش گردید که غلظت زیرکشنده (LC_{30}) حشره‌کش‌های کلوتیانیدین و فلوپیرادیفورون[5]، سبب کاهش معنی‌داری در بقاء حشرات کامل بالتوری سبز شد. Wankhade et al. (2020) نتایج مشابهی پس از کاربرد غلظت زیرکشنده تیامتوکسام

1- Sulfoxaflor
2- Deltamethrin
3- Lufenuron
4- Diflubenzuron
5- Flupyradifurone

(mg ۰/۲)، لامبدا سی‌هالتورین (ml ۰/۶) و تیاکلوپراید (ml۰/۱۸) روی *Chrysoperla* spp. بدست آوردند. این محققین نشان دادند کاربرد غلظت‌های مذکور باعث کاهش معنی‌دار ظرفیت باروری کل در *Chrysoperla* spp شد. وضعیت مشابهی در کاهش معنی‌دار باروری کل برای ایندوکساکارپ[1] (Golmohammadi et al., 2005)، تیامتوکسام و کلوتیانیدین[2] (Rahangdale et al., 2017) و ایمیداکلوپراید (Tesfaye et al., 2005) برای گونه مورد مطالعه به دست آمد. در پژوهشی دیگر که توسط Medina et al. (2002) ارائه گردید، دیفلوبنزورون تفاوت معنی‌داری روی میزان باروری افراد بالتوری سبز *C. carnea* نداشت. ازجمله دلایل برای این تفاوت می‌توان به نوع و نحوه عمل حشره‌کش کاربردی و شرایط آزمایشی اشاره نمود. دیفلوبنزورون حشره کشی تماسی گوارشی از گروه بنزوئیل اوره است که در تمامی مراحل پوست‌اندازی حشره با جلوگیری از سنتز کتین مانع از تشکیل جلد شده و حشره را از بین می برد (Grigoraki et al., 2017). حشره‌کش‌های گروه نئونیکوتینوئیدی با ایجاد اختلال در سیستم عصبی و تقلید از استیل‌کولین، باعث از بین رفتن آفات می‌گردد (Nauen et al., 2003).

Golmohammadi et al. (2013) که به بررسی غلظت زیرکشنده (LC_{25}) حشره‌کش‌های اندوسولفان و ایندوکساکارب روی افراد بالغ بالتوری *C. carnea* پرداختند، گزارش نمودند که کاربرد غلظت زیرکشنده این حشره‌کش‌ها سبب کاهش معنی‌دار فراسنجه‌های زیستی همچون نرخ خالص تولیدمثل، نرخ ناخالص تولیدمثل، نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی افزایش جمعیت افراد تیمار شده در مقایسه با شاهد گشته است. Kim et al. (2006)، در پژوهش خود گزارش نمودند که کاربرد غلظت زیرکشنده استامی‌پراید روی نرخ رشد و نمو سن شکارگر *Deraeocoris brevis* (Uhler) تأثیر معنی‌داری نداشته که مغایر با یافته‌های پژوهش حاضر است. در مطالعه مشابهی که توسط Rugno et al. (2019) انجام گرفت، همسو با یافته‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش، کاهش معنی‌دار نرخ خالص تولیدمثل (R_0) برای *Ceraeochrysa cubana* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) تیمار شده با ایمیداکلوپراید دیده شد. همچنین مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، Shakoorzadeh et al. (2013) که به بررسی اثر حشره‌کش‌های دینوتفوران و تیامتوکسان بر فراسنجه‌های زیستی بالتوری سبز پرداختند، گزارش نمودند که کاربرد تیامتوکسام سبب کاهش معنی‌دار نرخ خالص تولیدمثل، نرخ متناهی افزایش جمعیت، نرخ ذاتی افزایش جمعیت و میانگین مدت‌زمان یک نسل در مقایسه با شاهد گردید.

با در نظر گرفتن نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، می‌توان استنباط کرد که در میان غلظت زیرکشنده (LC_{30}) تیامتوکسام، ایمیداکلوپراید و استامی‌پراید، کاربرد حشره‌کش ایمداکلوپراید اثرات منفی کمتری روی فراسنجه‌های زیستی داشته و لذا در بحث مدیریت تلفیقی، در مناطقی که قرار است کنترل زیستی با رهاسازی *C. carnea* انجام گیرد، استفاده از این ترکیب قابل توصیه است. همچنین ذکر این نکته حائز اهمیت می‌باشد که به منظور تأیید نتایج آزمایشگاهی، انجام آزمایش‌های صحرایی و نیمه صحرایی ضروری می‌باشد.

سپاس‌گزاری

از حمایت‌های مالی و امکانات فراهم شده توسط دانشگاه تهران جهت اجرای این پژوهش تشکر و قدرانی می‌شود.

1- Indoxacarb
2- Clothianidin

RERERENCES

Amarasekare, K.G., and Shearer, P.W. 2013. Comparing effects of insecticides on two green lacewings species, *Chrysoperla johnsoni* and *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Journal of Economic Entomology, 106: 1126–1133.

Antonious, G.F., and Snyder, J.C. 2006. Natural products: repellency and toxicity of wild tomato leaf extracts to the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 41: 43–55.

Asadi Eeidvand, M., Golmohammadi, G., and Ghajariyeh, H. 2015. Lethal and sublethal effects of four insecticides on egg and first larvae green lacewing *Chrysoperla carnea* in laboratory conditions. Iranian Journal of Plant Protection Science, 46: 331–338.

Biondi, A., Desneux, N., Siscaro, G., and Zappalà, L. 2012. Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator *Orius laevigatus*. Chemosphere, 87: 803–812.

Calvo, F.J., Bolckmans, K., and Belda, J.E. 2011. Control of *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in cucumber by *Amblyseius swirskii*. BioControl, 56: 185–192.

Chi, H. 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. Environmental Entomology, 17: 26–34.

Chi, H. 1990. Timing of control based on the stage structure of pest populations: a simulation approach. Journal of Economic Entomology, 83: 1143–1150.

Chi, H. 2020. TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. URL http://140. 120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.rar. (accessed February 2016).

Chi, H., and Liu, H. 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. Bulletin of Institute Zoology Academia Sinica, 24: 225–240.

Chi, H., You, M., Atlıhan, R., Smith, C.L., Kavousi, A., Özgökçe, M.S., Güncan, A., Tuan, S.J., Fu, J.W., Xu, Y.Y. and Zheng, F.Q. 2020. Age-Stage, two-sex life table: an introduction to theory, data analysis, and application. Entomologia Generalis, 19: 102–123.

Desneux, N., Decourtye, A., and Delpuech, JM. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. Annual Review of Entomology, 52: 81–106.

Desneux, N., Denoyelle, R., and Kaiser, L. 2006. A multi-step bioassay to assess the effect of the deltamethrin on the parasitic wasp *Aphidius ervi*. Chemosphere, 65: 1697–1706.

Fathipour, Y., and Jafari, A. 2004. Biology of *Chrysoperla carnea* (Neu., Chrysopidae) on Creontiadespallidus (Het., Miridae). Iranian Journal of Animal Science, 35: 721–729 [In Farsi with English abstract].

Fathipour, Y., Maleknia, B., Bagheri, A., Soufbaf, M., and Reddy, G V. 2020. Functional and numerical responses, mutual interference, and resource switching of *Amblyseius swirskii* on two-spotted spider mite. Biological Control, 146: 104266.

Frank, R., Braun, H., Ripley, B., and Clegg, B. 1990. Contamination of rural ponds with pesticide, 1971–85, ontario, canada. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 44: 401– 409.

Garzón, A., Medina, P., Amor, F., Viñuela, E., and Budia, F. 2015. Toxicity and sublethal effects of six insecticides to last instar larvae and adults of the biocontrol agents *Chrysoperla carnea* (Stephens)(Neuroptera: Chrysopidae) and *Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae). Chemosphere, 132: 87–93.

Golmohammadi, G., and Hejazi, M. 2014. Toxicity and side effects of three insecticides on adult *Chrysoperla carnea* (Neu: Chrysopidae) under laboratory conditions. Journal of Entomological Society of Iran, 33: 23–28.

Golmohammadi, G.H., Hejazi, M., Iranipour, S.H., and Mohammadi, S.A. 2013. Sublethal Effects of three insecticides on adults green lacewing *Chrysoperla carnea* Stephens with demographic toxicology method. Applied Entomology and Phytopathology, 81: Available from: https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=464977.

Golmohammadi, G.H., Hejazi, M., Iranipour, S.H., and Mohammadi, S.A. 2011. Effects of imidacloprid, indoxacarb and endosulfan on egg, thirdinstarlarva and pupa of green lacewing *Chrysoperla carnea* (Neu.: Chrysopidae). Journal of Entomological Society of Iran, 31: 37–50.

Gontijo, P.C., Moscardini ,V.F., Michaud, J.P., and Carvalho, G.A. 2014. Non-target effects of chlorantraniliprole and thiamethoxam on *Chrysoperla carnea* when employed as sunflower seed treatments. Journal of Pest Science, 87: 711–719.

Grigoraki, L., Puggioli, A., Mavridis, K., Douris, V., Montanari, M., Bellini, R., and Vontas, J. 2017. Striking diflubenzuron resistance in *Culex pipiens*, the prime vector of West Nile Virus. Scientific reports, 7: 1-8.

Havasi, M.R., Kheradmand, K., Mosallanejad, H., and Fathipour, Y. 2019. Evaluation of sublethal effects of thiamethoxam on the biological parameters of two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). Plant Protection (Scientific Journal of Entomology), 42: 17–32.

He, Y.X., Zhao, J.W., Zheng, Y., Weng, Q.Y., Biondi, A., Desneux, N. and Wu, K. 2013. Assessment of potential sublethal effects of various insecticides on key biological traits of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. International Journal of Biological Sciences, 9: 246–255.

Horton, D.R., Jones, V.P., and Unruh, T.R. 2009. Use of a new immunomarking method to assess movement by generalist predators between a cover crop and tree canopy in a pear orchard. American Entomologist, 55: 49–56.

IBM SPSS. 2010. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 19.

Jalali, M.A., Van Leeuwen, T., Tirry, L., and de Clercq, P. 2009. Toxicity of selected insecticides to the two-spot ladybird *Adalia bipunctata*. Phytoparasitica, 37: 323–326.

Jansen, J.P. 2010. Effects of four insecticides on the two-spotted ladybird *Adalia bipunctata* using a ‘‘Microcosm’’ test design. Pesticides Beneficial Organisms,IOBC/WPRS Bull. 55: 85–93

Jeschke, P., and Nauen, R. 2008. Neonicotinoids—from zero to hero in insecticide chemistry. Pest Management Science, 64: 1084-1098.

Jones, V.P., Steffan, S.A., Wiman, N.G., Horton, D.R., Miliczky, E., Zhang, Q.H., and Baker, C.C. 2011. Evaluation of herbivore-induced plant volatiles for monitoring green lacewings in Washington apple orchards. Biological Control, 56: 98–105.

Kakde, A.M., Patel, K.G., and Tayade, S. 2014. Role of life table in insect pest management-A review. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS) 7: 40–43.

Kim, D.S., Brooks, D.J., and Riedl, H. 2006. Lethal and sublethal effects of abamectin, spinosad, methoxyfenozide and acetamiprid on the predaceous plant bug *Deraeocoris brevis* in the laboratory. Biocontrol, 51: 465-484.

Krämer, W., Schirmer U., Jeschke, P., and Witschel M. 2012. Modern Crop Protection Compounds: 3 volume set (Vol. 1). John Wiley and Sons.

Kumar, K., and Santharam, G. 1999. Laboratory evaluation of imidacloprid against Trichogramma chilonis Ishii and *Chrysoperla carnea* (Stephens). Journal of Biological Control, 13: 73–78.

Li, Y.Y., Fan X., Zhang, G.H., Liu, Y.Q., Chen, H.Q., Liu, H., and Wang, J.J. 2017. Sublethal effects of bifenazate on life history and population parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). Systematic and Applied Acarology, 22: 148–158.

Maia, J.B., Carvalho, G.A., Medina, P., Garzón, A., da Costa Gontijo, P., and Viñuela, E. 2016. Lethal and sublethal effects of pesticides on *Chrysoperla carnea* larvae (Neuroptera: Chrysopidae) and the influence of rainfastness in their degradation pattern over time. Ecotoxicology, 25: 845–855.

Maienfisch, P., Angst, M., Brandl, F., Fischer, W., Hofer, D., Kayser, H., Kobel, W., Rindlisbacher, A., Senn, R., Steinemann, A., and Widmer, H. 2001. Chemistry and biology of thiamethoxam: a second generation neonicotinoid. Pest Management Science, 57: 906–913.

Mansfield, S., and Mills, N.J. 2002. Host egg characteristics, physiological host range, and parasitism following inundative releases of *Trichogramma platneri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in walnut orchards. Environmental Entomology, 31: 723–731.

Medina, P., Smagghe, G., Budia, F., Del Estal, P., Tirry, L., and Viñuela, E. 2002. Significance of penetration, excretion, and transovarial uptake to toxicity of three insect growth regulators in predatory lacewing adults. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology:* Published in Collaboration with the Entomological Society of America, 51: 91–101.

Mohammadi, S.A., Iranipour, S., Hejazi, M., and Golmohammadi, G. 2009. Lethal and sublethal effects of endosulfan, imidacloprid and indoxacarb on first instar larvae of *Chrysoperla carnea* (Neu.: Chrysopidae) under laboratory conditions. Journal of Entomological Society of Iran, 28:37–47.

Nauen, R., Ebbinghaus-Kintscher, U., Salgado, V.L., and Kaussmann, M. 2003. Thiamethoxam is a neonicotinoid precursor converted to clothianidin in insects and plants. Pesticide Biochemistry and Physiology, 76: 55–69.

Ono, É.K., Zanardi, O.Z., Santos, K.F.A., and Yamamoto, P.T. 2017. Susceptibility of *Ceraeochrysa cubana* larvae and adults to six insect growth-regulator insecticides. Chemosphere, 168: 49–57.

Osborne, L., and Oetting, R. 1989. Biological control of pests attacking greenhouse grown ornamentals. Florida Entomologist: 72(3): 408–413.

Pathan, A.K., Sayyed, A.H., Aslam, M., Liu T.X., Razzaq, M., and Ahmed Gillani, W. 2010. Resistance to pyrethroids and organophosphates increased fitness and predation potential of *Chrysoperla carnae* (Neuroptera: Chrysopidae). Journal of Economic Entomology, 103: 823–34.

Pathan, A.K., Sayyed, A.H., Aslam, M., Razaq, M., Jilani, G., and Saleem, M.A. 2008. Evidence of Fieldevolved resistance to organophosphates and pyrethroids in *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Journal of Economic Entomology, 101: 1676–1684.

Rahangdale, L.S., Neharkar, P.S., Dhurve, N.G., Sawai, H.R., and Lavhe, N.V. 2017. Safety of some newer insecticides on egg hatchability and fecundity of *Chrysoperla carnea* under laboratory condition. Journal of Entomology and Zoology Studies, 5: 1820–1823.

Rezaei Torshizi, H.R., Vafaie, R., Golmohammadi, Gh., Rafiei Karahroodi , Z., and Faravardeh, l. 2019. Lethal effects of insecticides clothianidin, tebufenozide and flupyradifurone on egg, 2nd and 3rd instar larvae and pupae of green lacewing, *Chrysoperla carnea* Stephens. Journal of Entomological Research, 11: 17–28.

Rezaei Torshizi, H.R., Vafaie, R., Golmohammadi, Gh., Rafiei Karahroodi, Z., and Faravardeh, l. 2019b. Lethal and sublethal effects of clothianidin, tebufenozide and flupyradifurone on some of biological characteristics of green lacewing. Ph.D. Thesis in Agricultural Entomology, Islamic Azad University Arak Branch, Arak, Iran.

Robertson, J.L., Russell, R.M., Preisler, H.K., and Savin, N.E. 2007. Bioassays with arthropods. CRC, Boca Raton, FL: 199.

Rugno, G.R., Zanardi, O.Z., Parra, J.R.P., and Yamamoto, P.T. 2019. Lethal and sublethal toxicity of insecticides to the lacewing *Ceraeochrysa cubana*. Neotropical entomology, 48: 162–170.

Saber, M., Vojudi, S., Farukhi, M., and Ahmadi, A. 2018. Effect of Field Recommended Rates of Emamectin Benzoate and Spinosad on Biological Parameters of Green Lacewing, *Chrysoperla carnea* (Stephens)(Neu: Chrysopidae) under Laboratory Conditions. Journal of Applied Research in Plant Protection, 7: 57–67.

Sakai, A.K., Allendorf, F.W., Holt, J.S., Lodge, D.M., Molofsky, J., With, K.A., Baughman, S., Cabin, R.J., Cohen, J.E., Ellstrand, N.C., and McCauley, D.E. 2001. The population biology of invasive species. Annual Review of Ecology and Systematics, 32: 305–332.

Shakoorzadeh, M., Rafiee-Dastjerdi, H., Golmohammadi, G., Hassanpour, M., and Golizadeh, A. 2013. Lethal and sublethal effects of dinotefuran and thiamethoxam on the population growth parameters of the green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Neu.: Chrysopidae), under laboratory conditions. Journal of Entomological Society of Iran, 33: 1–9.

Song, Y.Q., Dong, J.F., and Sun, H.Z. 2013. Chlorantraniliprole at sublethal concentrations may reduce the population growth of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae). Acta Entomologica Sinica, 56: 446–451.

Stark, J.D., and Banks, J.E. 2003. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. Annual review of entomology, 48: 505–519.

Stark, J.D., Vargas, R., and Miller, N. 2004. Toxicity of spinosad in protein bait to three economically important tephritid fruit fly species (Diptera: Tephritidae) and their parasitoids (Hymenoptera: Braconidae). Journal of economic entomology, 97: 911–915.

Stark, J.D., Vargas, R., and Banks, J.E. 2007. Incorporating ecologically relevant measures of pesticide effect for estimating the compatibility of pesticides and biocontrol agents. Journal of economic entomology, 100: 1027–1032.

Suárez-López, Y.A., Hatem, A.E., Aldebis, H.K., and Vargas-Osuna, E. 2020. Lethal and sublethal effects of lufenuron on the predator *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae). Crop Protection, 135: 105217.

Tesfaye, A., Gautam, R.D., and Paul, B. 2005. Effect of three insecticides on the biology of green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Pest Management Journal of Ethiopia, 9: 63–69.

Wankhade, S.V., Sawai, H.R., Chaure, P.R., and Pawar, R.D. 2020. Comparative effects of insecticides on mortality, longevity and fecundity of *Chrysoperla* spp.(Neuroptera: Chrysopidae). Journal of Entomology and Zoology Studies, 8: 1878–1882.

Xu, R., Kuang, R., Pay, E., Dou, H., and de Snoo, G.R. 2008. Factors contributing to overuse of pesticides in western China. Environmental Sciences, 5: 235–249.

Zeb Khan, S., Ullah, F., Khan, S., Khan, M.A., and Khan, M.A. 2015. Residual effect of insecticides against different stages of green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Journal of Entomology and Zoology Studies, 3: 114–119.

© 2021 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International. (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Changes in biological parameters of green lacewing, *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae), in contact with the sub-lethal concentrations of thiamtoxam, imidacloprid, and acetamiprid

A. Alsendi[1], M.R. Havasi[1], J. Nozari[2]* and Gh.R. Golmohammadi[3]

1. Ph.D. student, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran (nozari@ut.ac.ir)
3. Associate Professor, Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP), Agricultural Research, Education and Extention Organization (AREEO), Tehran, Iran

(DOI): 10.22055/PPR.2021.16864

Received: 9 April 2021 Accepted: 10 June 2021

Abstract

Background and Objectives

The lacewings are predatory insects which are widely used in biological control programs. Meanwhile, the green lacewing, *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae), has attracted considerable attention as a promising biological control agent for greenhouse and field pests. Green lacewing is considered as an important bio-control agent due to its geographical distribution, broad host range, potency of suitable compatibility in agro-ecosystems, high searching ability, easy mass rearing in laboratory, high reproductive potential and broad resistance to numerous insecticides especially in larval and pupa stages. In this regard, it is highly important to reduce the consumption of the conventional pesticides which are compatible with predators and have low negative effects on beneficial organisms. In addition, life tables should be highlighted as the most reliable and effective technique for assessing the fitness of a population. Among the methods for selecting suitable pesticides in integrated pest management (IPM) programs, evaluating all of its effects on the different biological parameters of both sexes is the prime tool for population ecology studies.

Materials and Methods

Laboratory bioassays were investigated to evaluate the sub-lethal effects (LC_{30}) of thiamtoxam, imidacloprid, and acetamiprid on biological characters and population parameters of *C. carnea*. The sub-lethal effects of thiamtoxam, imidacloprid, and acetamiprid on the demographic parameters of green lacewing were evaluated in vitro at

25±2° C, relative humidity of 65±5%, and light period of 8:16 h (light: dark). The raw data were analyzed based on two-sex life table analysis.

Results

All sub-lethal concentrations caused a significant decrease in oviposition period, total fecundity, longevity, and total life span in comparison to the control. Maximum and minimum mean lifespans of *C. carnea* individuals were observed in the untreated group and LC_{30} concentration of thiamtoxam. Total fecundity varied from 208.7 (offspring/individual) in treatment with LC_{30} thiamtoxam to 302.3 (offspring/individual) in the control treatment. The intrinsic and finite rates of increase (r, λ) were not affected by the imidacloprid concentration. The net reproduction rate (R_0) reached its lowest level (141.1 offspring /individual) in acetamiprid treatment.

Discussion

The adaptability of pesticides with biological agents is one of the major concerns of IPM practitioners. Hence, it is essential to have necessary information about the action mode of pesticides on non-target insects. Furthermore, finding efficient biological control agents is considered as the first step in developing biological control programs. Therefore, the effects of sublethal concentrations of thiamtoxam, imidacloprid, and acetamiprid in combination with *C. carnea* were discussed in order to design integrated management programs.

Keywords: Insecticides, Life table, Natural enemies, Biological parameters, Sub-lethal effects