تحقیقات آفات‌گیاهی
۱۴۰۲ -۱۳(۴): ۱۷ -۳۴
Open access
doi: 10.22124/iprj.2024.26113.1544
pISSN:2322-2409
eISSN: 2538-6123

علمی پژوهشی

اثرات کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه روی فراسنجه‌های جدول زندگی و روند جمعیتی شته مومی کلم *Bravicoryne brassicae* (Hem.: Aphididae)

مهدی پیری اوچ‌تپه[۱]، فریبا مهرخو[۲]* و مریم فروزان[۳]

۱ و ۲- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، ۳- مرکز تحقیقات وآموزش کشاورزی ومنابع طبیعی استان آذربایجان‌غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

1. 0009-0000-8058-5018, 2. 0000-0023-4220-8396, 3. 0000-0002-5440-3329

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱)

چکیده

شته مومی کلم، *Brevicoryne brassicae* L.، یکی از مهم‌ترین آفات محصولات چلیپائیان در جهان است. در تحقیق حاضر، تاثیر کشندگی (LC_{50}) و زیرکشندگی (LC_{25}) حشره‌کش‌های کلوتیانیدین و روغن تابستانه روی ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های رشد جمعیتی شته مومی کلم در شرایط گلخانه مورد مطالعه قرار گرفت. روش زیست‌سنجی مورد استفاده در این تحقیق غوطه‌وری برگ حاوی حشرات کامل شته بود. داده‌های حاصل از جدول زندگی، بر اساس تئوری جدول زندگی دو جنسی سن- مرحله رشدی تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که حشره‌کش کلوتیانیدین در مقایسه با روغن تابستانه، نرخ رشد جمعیت شته‌ها را با تاخیر مراحل نابالغ، کاهش نرخ زنده‌مانی، طول عمر حشرات کامل و میزان باروری تحت تاثیر قرار داد. کمترین میزان باروری برای تیمار کلوتیانیدین برابر با ۱۴/۱۴ پوره به ازای هر ماده ثبت شد. کمترین و بیشترین نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) به‌ترتیب در تیمارهای کلوتیانیدین (۰/۲۱۲۳ بر روز) و شاهد (۰/۳۶۳۶ بر روز) مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که رشد جمعیت شته مومی کلم در تیمارهای مختلف دقیقاً مطابق با فراسنجه‌های رشد جمعیت برآورده شده، بود. به عنوان مثال، شته‌های تیمار شده با کلوتیانیدین، سرعت رشد کمتر و در نتیجه مدت زمان یک نسل (T) طولانی مدت داشتند. مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که حشره‌کش کلوتیانیدین می‌تواند به عنوان یک حشره‌کش موثر در مدیریت شته مومی کلم مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: حشره‌کش، زیرکشندگی، شته مومی کلم، نرخ رشد جمعیت

*نویسنده مسئول: f.mehrkhou@urmia.ac.ir

CC BY

مقدمه

کلم پیچ از مهم‌ترین سبزیجات خانواده چلیپاییان است که در سراسر جهان رشد می‌کند. سایر سبزیجات این خانواده کلم بروکلی، کلم بروکسل، گل کلم و کلزا هستند که دارای تنوع زیادی از نظر اندازه، شکل و رنگ برگ‌ها می‌باشند (Jagdish Singh *et al*., 2006). شته‌ها آفت اختصاصی محصولات کشاورزی هستند که با استفاده از استایلت[1]های قطعات دهانی، بافت‌های گیاه میزبان را سوراخ کرده و از آوند آبکشی گیاه تغذیه می‌کنند (Walling, 2000; Sarwar, 2017). شته مومی کلم، *Brevicoryne brassicae* L.، از مهم‌ترین آفات تیره چلیپاییان بوده و دارای پراکنش جهانی است (Jahan *et al*., 2014). شته مومی کلم با قدرت تکثیر بسیار بالا، جمعیت خود را به‌سرعت افزایش می‌دهد، در مراحل ابتدایی رشد گیاه باعث نابودی آن می‌شود و در گیاهان مسن‌تر میزان محصول را کاهش می‌دهد. این شته با تغذیه مستقیم از شیره گیاهی باعث پیچیدگی، پژمردگی و تغییر شکل برگ‌ها می‌شود و در خسارت غیرمستقیم، بیش از ۲۰ نوع بیماری ویروسی نظیر ویروس موزاییک کلم را از گیاه آلوده به گیاه سالم منتقل می‌کند (Blackman & Eastop, 2000; Ellis *et al*., 2000; Sarwa, 2017).

استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی بیشترین کارایی را در کنترل شته‌ها دارند، با این حال استفاده مداوم و غیر اصولی از آفت‌کش‌های معمولی منجر به از بین بردن موجودات مفید، جابجایی آفات ثانویه و ایجاد مقاومت در برابر بسیاری از حشره‌کش‌ها شده است (Khorshidi *et al*., 2017). با توجه به اثرات سوء حشره‌کش‌ها روی دشمنان طبیعی آفات، باید از حشره‌کش‌هایی استفاده کرد که ضمن کاهش آسیب به عوامل کنترل بیولوژیک[2]، کارایی کافی برای کنترل آفات را داشته باشند (Zikankuba *et al*., 2019; Tudi *et al*., 2021). کلوتیانیدین یکی از حشره‌کش‌های نئونیکوتینوئیدی[3] است که به‌عنوان یک مهارکننده رقابتی، سبب اختلال در گیرنده‌های نیکوتین استیل کولین[4] در سیستم عصبی مرکزی حشرات شده و نقش بسیار مهمی در کنترل آفات مکنده از جمله شته، تریپس، سفیدبالک و سایر آفات مخرب محصولات کشاورزی دارد (Bhamare *et al*., 2015). روغن‌ها از جمله حشره‌کش‌های فیزیکی هستند که از طریق اختلال در ساختمان سلولی، اختلال در توازن آب، انحلال لایه مومی کوتیکول حشرات و در نهایت، ایجاد خفگی، باعث نابودی حشرات می‌شوند (Ranjbar *et al*., 2018). کاربرد روغن‌های تابستانه، به‌خصوص روغن ولک، به‌دلیل آسیب کمتر آن‌ها به عوامل کنترل طبیعی و محیط‌زیست آفت، یکی از روش‌های موفق برای مدیریت تلفیقی آفات می‌باشد (Beattie & Smith, 1996). در بررسی‌های غلام‌زاده چیتگر و همکاران (Gholamzadeh Chitgar *et al*., 2018)، روغن معدنی امولسیون شونده (EC) ۰/۷ درصد با میانگین تلفات ۶۷/۹ درصد در سه روز پس از محلول‌پاشی و ترکیب کلرپیریفوس + روغن EC ۰/۵ درصد با میانگین تلفات ۷۸/۳ درصد در هفت روز پس از محلول‌پاشی برگ، کارایی بالایی در کنترل جمعیت سپردار شمشاد *Unaspis euonymi* Comstock داشتند. حشره‌کش‌ها به‌طور معمول پس از اولین کاربرد آن‌ها در مزارع، تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند بارندگی، دما و نور خورشید تجزیه می‌شوند. به این ترتیب، در مزارع تیمار شده، حشرات به احتمال زیاد در معرض غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها قرار می‌گیرند. اثرات زیرکشندگی به‌عنوان اثرات فیزیولوژیکی، زیست‌شناسی و رفتاری بر جمعیت‌هایی تعریف می‌شود که با قرار گرفتن در معرض ماده سمی زنده می‌مانند (Desneux *et al*., 2007; Biondi *et al*., 2012). برای ارزیابی اثرات همه‌جانبه، شامل اثرات کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش‌ها بر موجودات زنده از سم‌شناسی دموگرافیک[5] استفاده می‌شود که در آن، فراسنجه‌های جدول زیستی حشرات قرار گرفته در معرض آفت‌کش‌ها، با جمعیت شاهد مقایسه می‌شوند (Stark & Banks, 2003; Desneux *et al*.,

[1]. Stylet
[2]. Biological control
[3]. Neonicotinoid
[4]. Acetylcholine
[5]. Demographic toxicology

2007). فراسنجه‌های تولیدمثلی حشرات به‌عنوان یک ابزار و شاخص اکولوژیک، می‌تواند وضعیت فیزیولوژی، رفتار، رشد و باروری گونه‌های مختلف آفات پس از کاربرد آفت-کش‌ها را نشان دهد. بنابراین، چنین بررسی‌هایی در مطالعه اثرات حشره‌کش‌ها و انتخاب آفت‌کش مناسب امری ضروری به‌نظر می‌رسد (Haynes, 1988; Desneux *et al.*, 2007; Biondi *et al.*, 2012). با توجه به اهمیت و ضرورت کنترل شیمیایی برای مبارزه با شته مومی کلم، بررسی اثرات حشره‌کش‌های مذکور روی این آفت در شرایط گلخانه‌ای صورت گرفت. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش ارزیابی اثرات حشره‌کشی کلوتیانیدین و روغن تابستانه روی شته مومی کلم است، به‌طوری‌که بتوان با کاهش غلظت حشره‌کش‌های مصرفی، همراه با کشندگی مناسب، در کنترل شته مومی کلم گام مؤثری برداشت و باعث کاهش آسیب حشره‌کش‌ها به محیط‌زیست و دشمنان طبیعی آفت شد.

مواد و روش‌ها

تهیه گیاه میزبان و پرورش حشرات

گیاهان کلم پیچ (*Brassica oleracea*, var. *capitate* L.) از مزرعه‌ای اطراف شهرستان نقده (′58 °36 ″18 ′25 °45 E ″19 N) تهیه شدند و داخل ۴۰ عدد گلدان پلاستیکی به قطر ۱۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر که با ترکیبی از خاک و پیت‌ماس پر شده بود، کاشته شدند. در طول آزمایش‌ها از هیچ حشره‌کش و کودی برای گیاهان کلم استفاده نشد. گلدان‌ها در شرایط کنترل‌شده در دمای ۱±۲۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی: روشنایی) نگهداری و تقریباً هر دو روز یکبار آبیاری شدند (Mahmoodi *et al.*, 2020). به‌منظور تشکیل جمعیت اولیه شته مومی کلم، حشرات کامل شته از روی گیاهان کلم در مزارع شهرستان نقده جمع‌آوری و روی گلدان‌های کلم رهاسازی شدند. پرورش این حشرات تا دو نسل ادامه یافت. برای همسن‌سازی شته‌ها، حشرات بالغ از کلنی اولیه جدا شده و روی تعدادی از بوته‌های کلم که داخل قفس‌های چوبی به طول و عرض ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر (برای جلوگیری از نفوذ پارازیتوئیدها) قرار داشتند، رهاسازی شدند. بعد از ۲۴ ساعت پوره‌زایی، حشرات بالغ از بوته‌ها حذف شدند و بدین‌ترتیب پوره‌های یک‌روزه و همسن به‌دست آمد. این پوره‌ها پس از تبدیل شدن به حشرات بالغ یک‌روزه در آزمایش‌ها استفاده شدند.

حشره‌کش‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها

حشره‌کش کلوتیانیدین با نام تجاری Lighthouse®، حشره‌کش تماسی و گوارشی، SC 20%، محصول شرکت Hailir Pesticides and Chemicals Group چین و روغن امولسیون‌شونده گیاهی تابستانه محصول شرکت آبگینه شیمی آذربایجان، در این تحقیق استفاده شد.

زیست‌سنجی شته مومی کلم جهت تعیین غلظت-های کشنده و زیرکشنده

غلظت توصیه‌شده روی برچسب حشره‌کش‌ها بر اساس فرمولاسیون به‌عنوان معیاری برای مشخص کردن غلظت‌ها در نظر گرفته شد. غلظت توصیه‌شده کلوتیانیدین و روغن تابستانه بر اساس برچسب آن‌ها به‌ترتیب ۰/۵ در هزار و یک درصد بود. پس از انجام آزمایش مقدماتی، غلظت‌های کشنده ۱۰ تا ۹۰ درصد حشره‌کش‌های مورد نظر به‌دست آمد. سپس غلظت‌های بین این دو غلظت با استفاده از فواصل لگاریتمی محاسبه و در آزمایش اصلی استفاده شد (Moradeshaghi & Pourmirza, 1974). غلظت‌های استفاده شده در آزمون اصلی برای کلوتیانیدین ۵/۱۴، ۱۲/۸، ۳۲، ۸۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام (به‌همراه توئین ۰/۵ در هزار به عنوان امولسیفایر) و برای روغن تابستانه ۱۰۲/۴، ۲۵۶، ۶۴۰، ۱۶۰۰ و ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام بود. بنابراین، ۵ غلظت و یک شاهد (آب مقطراستریل) به همراه توئین ۰/۵ در هزار (Akbari *et al.*, 2020) برای حشره‌کش و روغن تابستانه مورد استفاده قرار گرفت. غوطه‌ورسازی برگ‌های حاوی شته در غلظت‌های مورد نظر روش زیست‌سنجی برای انجام آزمایش‌ها بود (Kapantaidaki *et al.*, 2015). برای این منظور از برگ‌های کلم پرورش‌یافته در گلخانه، دیسک‌های برگی به قطر ۶ سانتی‌متر تهیه و درون ظروف پتری به قطر ۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۱ سانتی‌متر استفاده شد. روی درب ظروف پتری، سوراخی به قطر ۴ سانتی‌متر برای تهویه ایجاد و با توری نازک

پوشانده شد. تعداد ده عدد شته بالغ یک روزه روی هر دیسک برگی قرار گرفت. برگ‌های حاوی شته، به مدت ۱۰ ثانیه در محلول حشره‌کش غوطه‌ور و پس از ۳۰ دقیقه (به‌منظور خشک شدن قطرات حشره‌کش) برگ‌ها از سطح پشتی داخل ظرف‌های پتری قرار داده شدند. برای انتقال شته‌ها از قلم‌موی نرم شماره پنج صفر استفاده شد. آزمایش‌ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در ۵ تکرار انجام گرفت. در نهایت، دیسک-های برگی به اتاقک رشد با دمای ۱±۲۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی منتقل و پس از ۲۴ ساعت تلفات شته‌ها شمارش شدند.

بررسی اثرات زیرکشندگی حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه بر فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی شته مومی کلم

از غلظت LC_{25} کلوتیانیدین و روغن تابستانه که به‌ترتیب برابر با ۵/۸۲۲ و ۱۰۸/۷۴۱ پی‌پی‌ام بود، برای مطالعه اثرات زیرکشندگی این دو حشره‌کش روی فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی شته مومی کلم، استفاده شد. حشرات بالغ همسن و یک‌روزه با استفاده از قلم‌موی نرم روی دیسک‌های برگی قرار گرفته و در غلظت LC_{25} کلوتیانیدین (به‌همراه توئین ۰/۵ در هزار) و روغن تابستانه غوطه‌ور شدند. برای شاهد، روغن تابستانه و کلوتیانیدین به‌ترتیب ۱۰۰، ۹۳ و ۸۲ عدد شته بالغ یک‌روزه در نظر گرفته شد. در شاهد از آب مقطر استریل به همراه توئین ۰/۵ در هزار استفاده شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت که شته‌های بالغ پوره‌زایی کردند، همه شته‌های بالغ و پوره‌ها به‌جز یک پوره از هر ظرف پتری حذف شدند. هر ۲-۳ روز یک‌بار، برگ‌های هر ظرف پتری با برگ‌های تازه و تیمار نشده جایگزین شدند. برای حفظ رطوبت برگ‌ها، پنبه آغشته به آب در کف ظروف پتری و زیر برگ‌های کلم قرار گرفت. در نهایت واحدهای آزمایشی شامل دیسک برگی عاری از حشره‌کش و یک عدد پوره سن یک بود. میزان زنده‌مانی، تلفات روزانه و پوره‌زایی شته‌ها، طول دوره پیش از بلوغ و طول عمر ماده‌ها تا زمان مرگ به‌صورت روزانه ثبت شدند. پوره‌های نوظهور روزانه پس از شمارش از ظروف حذف شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از انجام آزمایش مقدماتی زیست‌سنجی و تعیین غلظت‌های کشنده ۱۰ تا ۹۰ درصد حشره‌کش‌های مورد نظر، غلظت‌های بین این دو غلظت با استفاده از فواصل لگاریتمی محاسبه و در آزمایش اصلی زیست سنجی برای تعیین LC_{50} و LC_{25} استفاده شد (Moradeshaghi and Pourmirza, 1974). سپس، تجزیه پروبیت (Finney, 1971) داده‌های مربوط به LC_{50} و LC_{25} برای هر تیمار با استفاده از نرم افزار SPSS محاسبه شد. همچنین، آزمون سمیت نسبی به‌منظور مقایسه سمیت حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه با استفاده از نرم‌افزار Polo-Plus (2002) انجام یافت. بدین-ترتیب که به منظور مقایسه سمیت تیمارها، نسبت LC_{50} تیمارها محاسبه و حدود قابل اطمینان این نسبت به روش روبرسون و همکاران (Robertso *et al*., 2007) تعیین شد.

داده‌های حاصل از جدول زندگی، بر اساس تئوری جدول زندگی دو جنسی سن- مرحله رشدی و با استفاده از نرم‌افزار Twosex-MsChart تجزیه شد (Chi and Liu, 1985; Chi, 1988; Chi, 2020a). میانگین و خطای استاندارد فراسنجه‌های جدول زندگی، با استفاده از روش Bootstrapبا ۱۰۰۰۰۰ تکرار محاسبه و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار سیگما پلات (ver. 12.3) انجام شد. روند رشدی جمعیت آفت در یک دوره ۶۰ روزه با نرم‌افزار آماری Timing-MsChart ارزیابی شد (Chi, 2020b).

نتایج

مقادیر غلظت‌های کشنده و زیرکشنده حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه ۲۴ ساعت بعد از تیمار افراد بالغ شته مومی کلم برآورد شد (جدول ۱). مطابق با نتایج، مقدار LC_{50} برای کلوتیانیدین و روغن تابستانه به‌ترتیب ۲۸/۷۰۸ و ۶۲۲/۱۱۱ پی‌پی‌ام (۵/۷۴ میلی‌گرم ماده مؤثره بر لیتر و ۵۹۱/۰۰۵ میکرولیتر ماده مؤثره بر لیتر) به‌دست آمد. این نتایج بیانگر تأثیر هر دو حشره‌کش روی حشرات بالغ شته مومی کلم بود.

جدول ۱- سمیت حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه روی حشرات کامل شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae*

Table 1. Toxicity of Clothianidin insecticide and summer oil against *Brevicoryne brassicae* adults

Insecticides	LC_{25} (ppm)	LC_{50} (ppm)	Slope ± SE	χ^2(df)	No.	RMP*
Clothianidin	5.822 (1.164 mg ai/L) (2.38-9.88)	28.708(5.74mg ai/L) (18.89-42.81)	0.973±0.155	0.386 (3)	250	**21.67 (10.53-23.34)***
Summer oil	108.741 (103.30 µl ai/L) (38.95-194.06)	622.111(591.005 µl ai/L) (397.01-968.65)	0.890±0.152	0.064 (3)	250	

*RMP= Relative median potency; Significant differences at $P < 0.05$.

میانگین طول دوره زیستی مراحل مختلف نابالغ شته مومی کلم تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه در مقایسه با شاهد در جدول ۲ نشان داده شده است. مقایسه میانگین فراسنجه‌ها نشان داد که هر دو حشره-کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه طول دوره مراحل مختلف پورگی را نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین و کمترین طول دوره مراحل نابالغ به‌ترتیب مربوط به کلوتیانیدین و شاهد بود. بین میانگین طول دوره مراحل نابالغ در تیمارهای کلوتیانیدین و روغن تابستانه نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. همچنین، طبق نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، نرخ مرگ و میر مراحل نابالغ مربوط به نسل اول این آفت که والدین آنها با غلظت زیرکشنده کلوتیانیدین وروغن تابستانه تیمار شده بودند نیز تحت تاثیر قرار گرفت. به‌طوری‌که حشره‌کش کلوتیانیدین باعث بیشترین مرگ‌ومیر افراد نابالغ در مقایسه با روغن تابستانه و شاهد شد.

جدول ۲- اثرات زیرکشندگی (LC_{25}) کلوتیانیدین و روغن تابستانه بر طول دوره زیستی مراحل نابالغ شته مومی کلم

Table 2. Sublethal effects (LC_{25}) of Clothianidin and summer oil on pre-adult stages of *Brevicoryne brassicae*

Biological characteristics	Treatments (n*) Control ±SE	Clothianidin ±SE	Summer oil ±SE	*F; df*
Nymph 1 (days)	1.5±0.05^{b} (100)	1.93±0.08^{a} (80)	1.65±0.07^{b} (92)	5272.87; 1543
Nymph 2 (days)	1.47±0.05^{c} (99)	1.97±0.08^{a} (74)	1.67±0.07^{b} (89)	8808.95; 1802
Nymph 3 (days)	1.51±0.06^{c} (97)	2.09±0.08^{a} (66)	1.73±0.06^{b} (84)	13714.29; 2046
Nymph 4 (days)	1.4±0.06^{b} (94)	1.75±0.09^{a} (59)	1.61±0.07^{a} (79)	4496.23; 2275
Preadult (days)	5.91±0.1^{c} (94)	7.64±0.12^{a} (59)	6.66±0.1^{b} (79)	65724.44; 3005
Survival rate (days)	0.94± 0.02^{a} (94)	0.71±0.04^{c} (59)	0.84±0.03^{b} (79)	8061.80; 2776

*Different letters in each row indicate a significant difference between treatments (Paired bootstrap test, P<0.05); *n = sample size of each stage of *B. brassicae*.

میانگین طول دوره مراحل مختلف زیستی حشرات کامل ماده (طول عمر، پوره‌زایی و باروری) شته مومی کلم تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه در مقایسه با شاهد در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، طول عمر حشرات کامل شته مومی کلم تحت تأثیر غلظت زیرکشنده کلوتیانیدین وروغن تابستانه نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر شد. این کاهش در کلوتیانیدین بیشتر از روغن تابستانه بود. بیشترین کل دوره زندگی ماده‌ها در شاهد و کمترین مقدار آن در حشره‌کش کلوتیانیدین مشاهده شد. هر دو حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه باعث افزایش معنی‌دار طول دوره پیش از پوره-زایی در مقایسه با شاهد شدند. طول دوره پوره‌زایی در شاهد، کلوتیانیدین و روغن تابستانه به‌ترتیب ۱۲/۵۶، ۵/۰۸ و ۹/۲۸ روز بود که به‌طور معنی‌داری در حشره‌کش‌ها نسبت به شاهد کمتر بود. باروری تحت تأثیر کلوتیانیدین به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد و حشرات در معرض روغن تابستانه کاهش

یافت. بین شاهد و روغن تابستانه نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد.

جدول ۳- اثرات زیرکشندگی (LC_{25}) کلوتیانیدین و روغن تابستانه بر طول عمر، طول دوره پوره‌زایی و باروری حشرات کامل شته مومی کلم

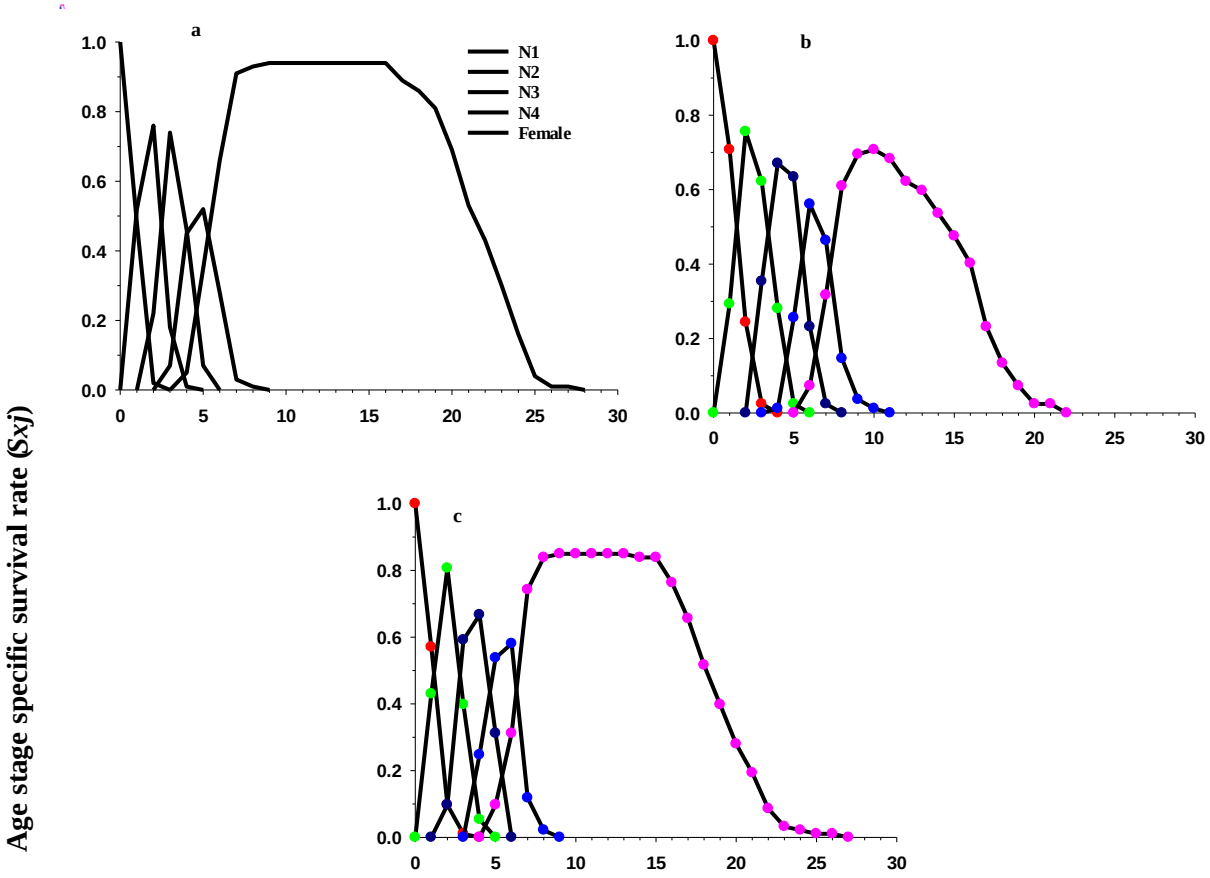
Table 3. Sublethal effects (LC_{25}) of Clothianidin and summer oil on longevity, reproductive days, and fecundity of *Brevicoryne brassicae* adults

Biological characteris	Treatments (n*)			
	Control±SE	**Clothianidin±SE**	**Summer oil ±SE**	***F; df***
Female adult (days)	16.12±0.23^{a} (94)	8.63±0.3^{c} (59)	12.81±0.26^{b}(79)	31575.080; 458
Total longevity (days)	29.03±0.25^{a} (94)	16.27±0.36^{c} (59)	19.47±0.27^{b}(79)	135629.79;4050
APRP (days)	0.06±0.03^{b} (94)	0.37±0.08^{a} (59)	0.23±0.05^{a} (79)	714.88; 229
TPRP (days)	5.98±0.11^{c} (94)	8.02±0.15^{a} (59)	6.89±0.12^{b} (79)	96418.72; 4279
Reproductive days (days)	12.56±0.19^{a} (94)	5.08±0.26^{c} (59)	9.28±0.26^{b} (79)	218257.83;2504
Fecundity (Nymphs/female)	37.46± 0.71^{a} (94)	14.14±0.87^{c} (59)	27.2±0.89^{b} (79)	15498.75; 229

*Different letters in each row indicate a significant difference between treatments (Paired bootstrap test, P<0.05).
TPRP: total pre-reproductive period; APRP: adult pre-reproductive period; *n = sample size of each stage of *B. brassicae*.

منحنی‌های نرخ زنده‌مانی ویژه سن–مرحله رشدی (S_{xj}) شته مومی کلم تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه در مقایسه با شاهد در شکل ۱ نشان داده شده است. این فراسنجه ضمن توصیف نرخ زنده-مانی مراحل مختلف رشدی، روند تغییرات نرخ رشد و نمو در میان افراد مختلف و مدت زمانی که حشره در هر مرحله رشدی سپری کرده است را نشان می‌دهد و به ما این امکان را می‌دهد تا بتوانیم مراحل مختلف رشدی را در مدت رشد و نمو انطباق دهیم. به عبارت دیگر، این منحنی احتمال زنده ماندن یک فرد تازه متولد شده تا سن x و مرحله رشدی j و میزان زنده‌مانی به تفکیک مراحل مختلف رشدی را نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل از این پژوهش، مرگ آخرین فرد ماده از ۲۷–۲۱ روز متغیر بود. نرخ زنده‌مانی ویژه سنی در زمان ورود به مرحله حشره کامل، در شاهد ۹۴ درصد بود، مقدار این فراسنجه تحت تاثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها کاهش یافت و در حشره‌کش کلوتیانیدین به کمترین مقدار خود یعنی ۷۱ درصد رسید.

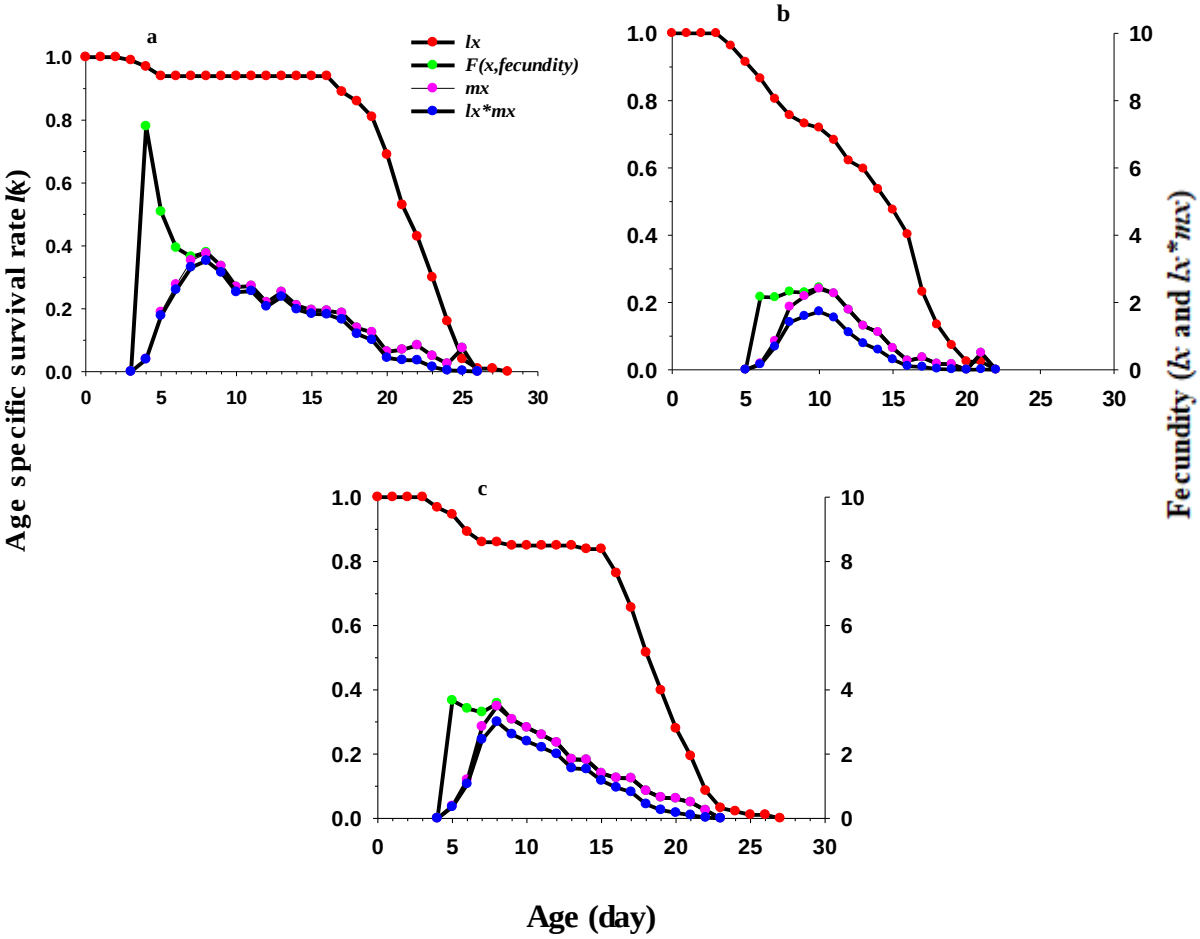
مطابق با منحنی‌های شکل ۲، باروری ویژه سنی (m_x) تحت تأثیر هر دو حشره‌کش نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. باروری ویژه سنی نشان‌دهنده تعداد افراد جدید تولید شده به ازای هر حشره بالغ در سن x است. بیشترین مقدار باروری برای شاهد ثبت شد که ۳/۷۵ پوره به‌ازای هر ماده در روز هشتم بود. کمترین مقدار باروری در روز هشتم، در کلوتیانیدین برابر با ۱/۸۷ پوره به ازای هر ماده بود. بیشترین زادآوری خالص ویژه سنی حشرات بالغ از ۱/۷۳ (کلوتیانیدین) تا ۳/۵۳ (شاهد) نتاج/روز عمر متغیر بود . منحنی‌های امید به زندگی ویژه سن–مرحله رشدی (e_{xj}) طول عمر پیش‌بینی شده هر فرد در سن x و مرحله رشدی j را نشان می‌دهد (شکل ۳). امید به زندگی شته‌های بالغ در هر دو حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه نسبت به شاهد کاهش یافت که این روند کاهشی در کلوتیانیدین بیش‌تر از روغن تابستانه بود و نشان‌دهنده تأثیر بیشتر کلوتیانیدین است. نرخ امید به زندگی در مرحله پوره سن اول در شاهد (۲۰/۹۷) در روغن تابستانه (۱۷/٤۱) و در کلوتیانیدین (۱۳/٥٦) روز مشاهده شد. همچنین، نرخ امید به زندگی در زمان ورود به مرحله حشرات بالغ برای شاهد، روغن تابستانه و کلوتیانیدین به‌ترتیب برابر با ۱۸/۰۳، ۱۴/۴۶ و ۱۰/۲۶ روز مشاهده شد.



شکل ۱- اثرات زیر کشنده (LC_{25}) کلوتیانیدین (b) و روغن تابستانه (c) بر نرخ زنده‌مانی ویژه سن-مرحله‌ای (S_{xj}) شته مومی کلم در مقایسه با شاهد (a)

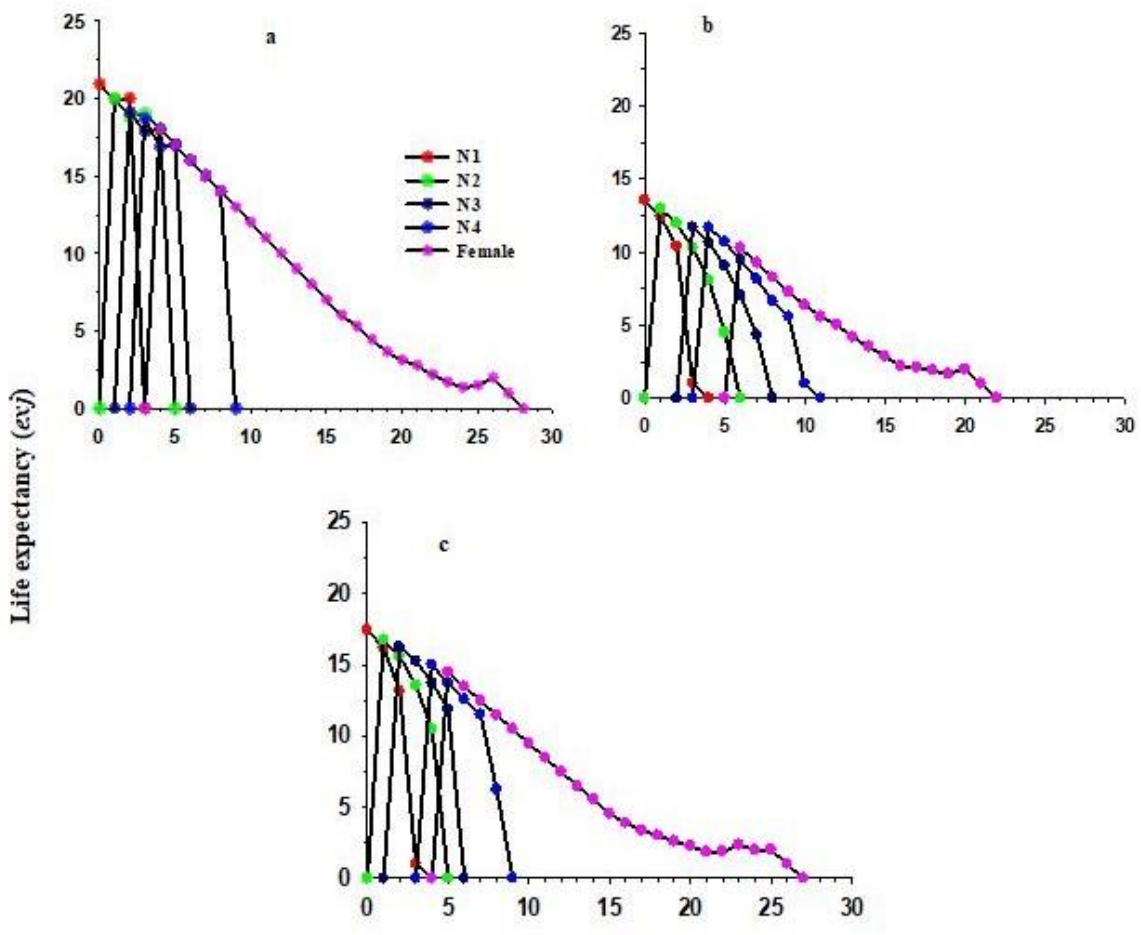
Figure 1. Sublethal effects (LC_{25}) of Clothianidin (b) and summer oil (c) on the age-stage specific survival rate (S_{xj}) of *Brevicoryne brassicae* compare with control (a)

ارزش تولیدمثل ویژه سن-مرحله رشدی (v_{xj}) بیانگر میزان سهم هر فرد در هر گروه سنی و در هر مرحله زیستی در ایجاد جمعیت نسل بعدی است (شکل ۴). طبق نتایج به‌دست آمده، ارزش تولیدمثل حشرات کامل ماده و مراحل نابالغ در معرض حشره‌کش‌ها نسبت به شاهد روند کاهشی داشت. بیش‌ترین و کمترین ارزش تولیدمثلی افراد ماده به‌ترتیب در شاهد (۱۶/۷۷پوره) و کلوتیانیدین (۹/۳۳ پوره) مشاهده شد.پیش‌بینی روند رشد جمعیت کل شته مومی کلم تحت تأثیر تیمارهای مختلف مورد مطالعه در یک بازه زمانی ۶۰ روزه در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق با نتایج، بیشترین اثرات منفی بر سرعت رشد جمعیت شته مومی کلم در کلوتیانیدین مشاهده شد که به‌علت پائین بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت آفت بود. بیشترین سرعت رشد جمعیت در شاهد مشاهده شد. بنابراین، استفاده از غلظت‌های زیرکشنده کلوتیانیدین و روغن تابستانه می‌تواند باعث کاهش سرعت رشد جمعیت شته مومی کلم و کنترل جمعیت این آفت شود.



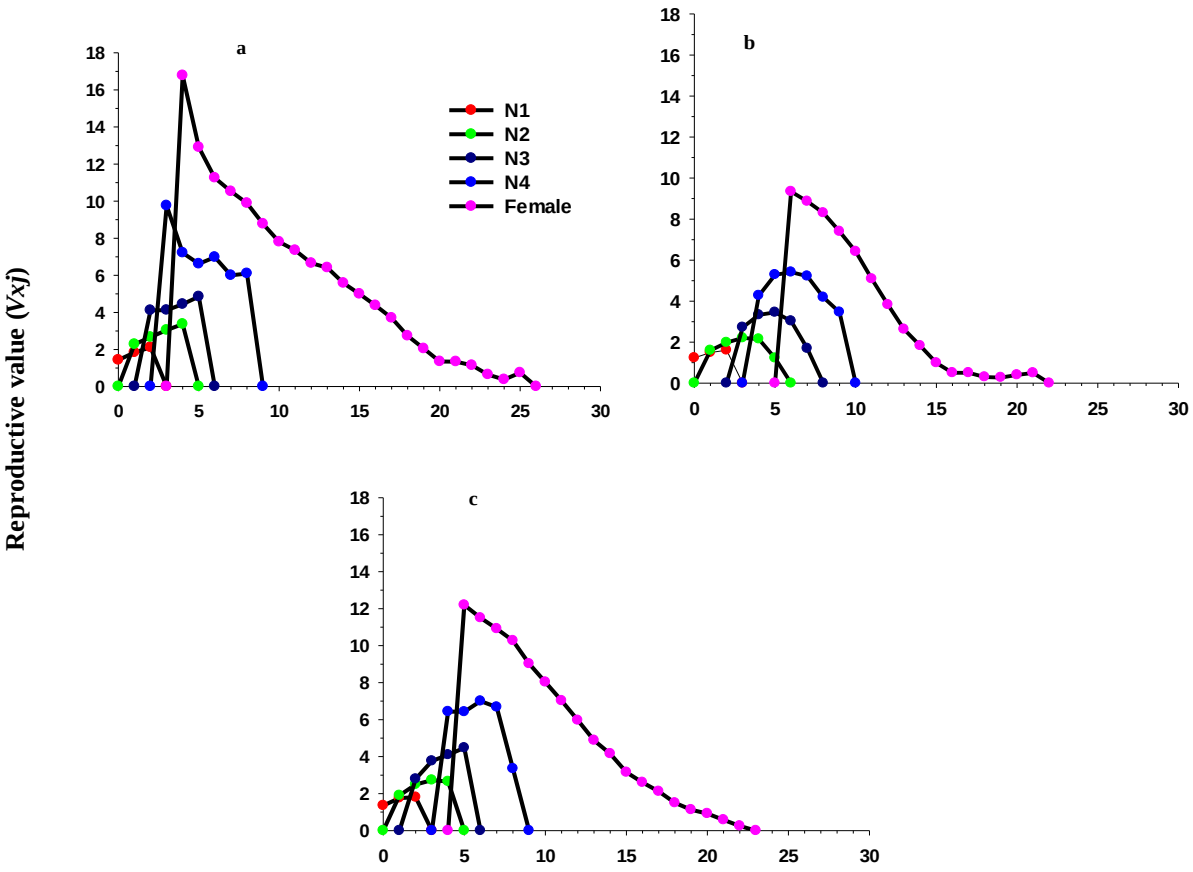
شکل ۲- اثرات زیر کشنده (LC_{25}) کلوتیانیدین (b) و روغن تابستانه (c) بر زنده‌مانی ویژه سنی (l_x)، باروی ویژه سن ماده (f_x)، باروری ویژه سن-مرحله‌ای (m_x) و باروری خالص روزانه (l_xm_x) شته مومی کلم در مقایسه با شاهد (a)

Figure 2. Sublethal effects (LC_{25}) of Clothianidin (b) and summer oil (c) on the age-specific survival (l_x), female age-specific fecundity (f_x), age-stage specific fertility (m_x) and age- specific fecundity (l_xm_x) of *Brevicoryne brassicae* compare with control (a)



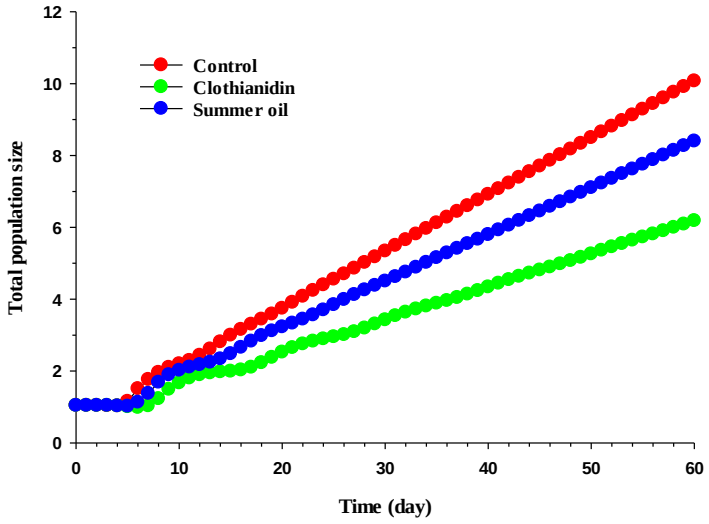
شکل ۳- اثرات زیر کشنده (LC_{25}) کلوتیانیدین (b) و روغن تابستانه (c) بر امید به زندگی سن-مرحله‌ای (e_{xj}) شته مومی کلم در مقایسه با شاهد (a)

Figure 3. Sublethal effects (LC_{25}) of Clothianidin (b) and summer oil (c) on the life expectancy (e_{xj}) of *Brevicoryne brassicae* compared with control (a)



شکل ۴- اثرات زیر کشنده (LC_{25}) کلوتیانیدین (b) و روغن تابستانه (c) بر ارزش تولیدمثل ویژه سنی (v_{xj}) شته مومی کلم در مقایسه با شاهد (a)

Figure 4. Sublethal effects (LC_{25}) of Clothianidin (b) and summer oil (c) on the age-stage specific reproductive value (v_{xj}) of *Brevicoryne brassicae* compared with control (a)



شکل ۵- اثرات زیر کشنده (LC_{25}) کلوتیانیدین و روغن تابستانه بر رشد جمعیت کل شته مومی کلم در طول ۶۰ روز

Figure 5. Sublethal effects (LC_{25}) of Clothianidin and summer oil on the population projection of *Brevicoryne brassicae* during 60 days

نتایج مقایسه میانگین فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار شته مومی کلم تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش‌های مورد آزمایش و شاهد که مهم‌ترین فراسنجه‌های زیستی یک آفت هستند، در جدول ۴ نشان داده شده است. طبق نتایج به‌دست آمده، مقادیر نرخ خالص (R_0) و ناخالص (GRR) تولیدمثل تحت تأثیر غلظت زیرکشنده هر دو حشره‌کش نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین مقدار این دو فراسنجه مربوط به حشره‌کش کلوتیانیدین بود. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، مهم‌ترین فراسنجه زیستی جمعیت حشرات است که نشان‌دهنده نرخ تغییرات روزانه جمعیت به‌ازای هر فرد از آن جمعیت است. مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت در شاهد، کلوتیانیدین و روغن تابستانه به‌ترتیب ۰/۳۶۳۶، ۰/۲۱۲۳ و ۰/۲۹۲۰ بر روز محاسبه شد. به عبارت دیگر، کاهش طول عمر و پوره‌زایی حشرات بالغ و افزایش طول دوره رشدی افراد نابالغ شته مومی کلم تیمار شده با کلوتیانیدین و روغن تابستانه باعث کاهش نرخ ذاتی افزایش جمعیت شد و به کمترین مقدار خود در کلوتیانیدین رسید. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) تحت تأثیر کلوتیانیدین و روغن تابستانه نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نرخ متناهی افزایش جمعیت بیانگر نسبت افزایش جمعیت آفت در هر روز نسبت به روز قبل است. متوسط مدت زمان یک نسل (T) تحت تأثیر هر دو حشره‌کش در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

جدول ۴- اثرات زیرکشندگی(LC25) کلوتیانیدین و روغن تابستانه بر فراسنجه‌های رشد جمعیت شته مومی کلم

Table 4. Sublethal effects (LC_{25}) of Clothianidin and summer oil on the population growth parameters of *Brevicoryne brassicae*

Population parameters	Treatments (n*)			
	Control ±SE	Clothianidin ±SE	Summer oil ±SE	*F; df*
Net reproductive rate (R_0) (offspring)	35.21±1.1^{a} (100)	10.17±0.93^{c} (82)	23.10±1.25^{b}(93)	138031.80;3277
Gross reproductive rate (*GRR*) (offspring)	40.03±1.003^{a}(100)	16.1±0.92^{c} (82)	29.17±1.12^{b}(93)	33520.73; 730
Intrinsic rate of increase (r) (day^{-1})	0.3636± 0.006^{a} (100)	0.2123±0.008^{c} (82)	0.2920±0.006^{b}(93)	126460.78;3549
Finite rate of population increase (λ) (day^{-1})	1.43±0.009^{a} (100)	1.23±0.01^{c} (82)	1.34±0.009^{b}(93)	35890.98; 1002
Mean generation time (T) (days)	9.79±0.15^{b} (100)	10.92±0.17^{a} (82)	10.48±0.15^{a}(93)	16054.55; 3821

*Different letters in each row indicate a significant difference between treatments (Paired bootstrap test, P<0.05); *n = sample size of each stage of *Brevicoryne brassicae*.

بحث

در این تحقیق اثرات کشندگی و زیرکشندگی دو حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه روی شته مومی کلم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که حشره‌کش‌های بیان‌شده علاوه بر اثرات کشندگی در ۲۴ ساعت بعد از تیمار (کوتاه مدت)، دارای اثرات زیرکشندگی روی نتاج نسل اول (که والدین آنها تحت تاثیر سم قرار گرفته بودند) نیز می‌باشند. در مقایسه بین اثرات کشندگی دو حشره‌کش مذبور، کلوتیانیدین کنترل مؤثرتری نسبت به روغن تابستانه داشت. تفاوت در نحوه اثر حشره‌کش‌های مذبور می‌تواند دلیل تفاوت حساسیت حشرات کامل شته مومی کلم باشد (Ranjbar *et al*., 2018)، به‌طوری که روغن ولک در نتیجه تماس فیزیکی با کوتیکول حشرات و اختلال در فرآیند تنفس منجر به مرگ و میر آفت و خسارت ناشی از آنها موثر است، این در حالی است که حشره‌کش کلوتیانیدین یک حشره‌کش سیستمیک و تماسی -گوارشی می‌باشد. مقایسه اثرات کشندگی کلوتیانیدین به عنوان یک حشره‌کش نئونیکوتینوئیدی با حشره‌کش نئونیکوتینوئیدی دیگر نظیر استامی‌پراید (Mahmoodi *et al*., 2020) (LC_{50} برابر با ۱۷۱/۴۴ پی‌پی‌ام)، بیانگر سمیت بالای کلوتیانیدین به حشرات

کامل شته مومی کلم بود. این در حالی است که حشرات کامل شته مومی کلم تیمارشده با کلوتیانیدین حساسیت پایین‌تری نسبت به سایرحشره کش‌های نئونیکوتینوئیدی نظیر تیامتوکسام- لامبادا سای‌هالوترین (Mahmoodi *et al*., 2020) و ایمیداکلوپراید (Lashkari *et al*., 2007) داشته است. تفاوت در حساسیت شته مومی کلم نسبت به حشره-کش‌های بیان‌شده را می‌توان به تفاوت در نوع فرمولاسیون، نحوه اثر سم و ساختار شیمیایی حشره‌کش‌ها نسبت داد (Mahmoodi *et al*., 2020). به عنوان مثال، کنترل موثر شته مومی کلم با حشره‌کش تیامتوکسام- لامبادا سای-هالوترین نسبت به کلوتیانیدین به‌احتمال به دلیل وجود دو نقطه اثر متفاوت در سم تیامتوکسام- لامباداسای‌هالوترین و افزایش خاصیت سینرژیستی بین ترکیبات نئونیکوتینوئیدی (تیامتوکسام) و پایروتیروئیدی (لامبداسای‌هالوترین) موجود در ساختمان آن ربط داد. در بررسی تأثیر چند حشره‌کش نئونیکوتینوئیدی روی شته گندم *Schizaphis graminum* Rondani، کلوتیانیدین با LC_{50} معادل ۰/۳۰۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، مؤثرترین حشره‌کش در کنترل این آفت بود (Chen *et al*., 2022). تفاوت معنی‌دار این مقادیر در مقایسه با تحقیق حاضر نشان‌دهنده این است که افراد بالغ شته جالیز و شته گندم در مقایسه با شته مومی کلم حساسیت بیشتری نسبت به کلوتیانیدین داشتند. در پژوهش دیگر، مقدار LC_{50} کلوتیانیدین ۷۲ ساعت پس از تیمار حشرات بالغ شته جالیز *Aphis gossypi* Glover برابر با ۱/۳۹ میلی‌گرم بر لیتر بود (Ullah *et al*., 2019). گل‌محمدی و همکاران (Golmohammadi *et al*., 2021) مقدار LC_{50} کلوتیانیدین روی حشرات بالغ بالتوری سبز *Chrysoperla carnea* Stephens را ۳۸/۴ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که حشرات بالغ شته مومی کلم در برابر کلوتیانیدین بسیار حساس‌تر از حشرات بالغ بالتوری سبز بودند (Prince and Chandler, 2020). در بررسی تأثیر چند حشره‌کش روی مراحل مختلف زیستی پسیل آسیایی مرکبات *Diaphorina citri* Kuwayama، کلوتیانیدین با میانگین کارایی ۸۹/۸۹ درصد در دو سال متوالی و ده روز پس از سم‌پاشی، بیشترین کارایی را در کنترل حشرات کامل این آفت داشت (Golmohammadi *et al*., 2016). تفاوت در حساسیت شته مومی کلم به کلوتیانیدین نسبت به آفات دیگر را می‌توان به اندازه جثه، سن رشدی حشره و تفاوت در ساختار جلد حشرات بیان‌شده ربط داد. به طوری که حشرات با جثه کوچکتر و سن پایین از حساسیت بیشتری نسبت به حشرات درشت جثه برخوردار هستند (Prince and Chandler, 2020).

پژوهش‌های متعددی مبنی بر خاصیت حشره‌کشی روغن ولک به‌تنهایی و تلفیق آن با حشره‌کش‌ها روی آفات متعدد وجود دارد، به‌طوری که استفاده از روغن ولک در اختلاط با حشره‌کش‌ها، خاصیت سینرژیستی داشته و منجر به افزایش خاصیت حشره‌کش می‌شود (Hadadi *et al*., 2019). مقایسه اثرات کشندگی روغن تابستانه روی شته مومی کلم (LC_{50} برابر با ۶۲۲/۱۱ پی‌پی‌ام) در این تحقیق، با نتایج حسینی نیا و همکاران (Hosseininia *et al*., 2017) روی سفید بالک‌گلخانه‌ای *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (LC_{50} برابر با ۶۲۲/۱۱ پی‌پی‌ام) و یافته‌های جوادی خدری و همکاران (Javadi Khederi *et al*., 2020) روی سفید بالک توت *Aleuroclava jasmine* Takahashi بیانگر حساسیت بالای شته مومی کلم نسبت به سفیدبالک‌ها می‌باشد.

ارزیابی اثرات غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها بر صفات زیست‌شناسی، فیزیولوژی و رفتاری آفات و دشمنان طبیعی با استفاده از فراسنجه‌های جمعیت‌شناختی به منظور استفاده از حشره‌کش‌های انتخابی و جدیدتر، آگاهی از تأثیر کلی حشره‌کش در مدیریت و کنترل جمعیت آفات، تأخیر در مقاومت حشرات آفت، کاهش میزان آسیب به دشمنان طبیعی و کاهش خطر تجدید حیات آفات هدف، امری ضروری است (Biondi *et al*., 2012; De Franca *et al*., 2017). جدول زندگی روشی راحت و اساسی برای اندازه‌گیری اثر حشرکش‌ها بر نرخ رشد، مرگ و میر، باروری، زنده‌مانی و ساختار سنی جمعیت حشرات می‌باشد. ساختار جمعیت اولیه حشرات آفت، اثرات زیرکشنده حشره-کش‌ها بر نرخ رشد جمعیت را به شدت تحت تأثیر قرار می-دهد (Stark & Banken, 1999). در این تحقیق، علاوه بر

مطالعه اثرات کشندگی سموم مورد مطالعه، اثرات زیر کشندگی این حشره‌کش‌ها روی فراسنجه‌های جمعیتی و زیستی این آفت نیز بررسی شد. در این تحقیق اثر حشره-کش‌های کلوتیانیدین و روغن تابستانه بر طول دوره زیستی، نرخ زنده‌مانی ویژه سنی، امید به زندگی، تولید مثل، نرخ زنده‌مانی، زادآوری ناخالص ویژه سنی، فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار و زادآوری خالص ویژه سنی حشرات ماده شته مومی کلم تحت تأثیر سموم مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بررسی زیرکشندگی روی حشرات بیانگر آن است که حشرات بعد از تیمار با غلظت‌های زیر کشنده در شرایط مزرعه‌ایی در طولانی مدت اثرات نامطلوبی نظیر تاخیر در طول دوره رشدی، تولید مثلی و دوره نسل از خود نشان می-دهند (Desneux *et al*., 2005). در تحقیق اخیر به‌منظور ارزیابی اثرات زیرکشندگی کلوتیانیدین و روغن ولک تابستانه، از تئوری جدول زندگی دو جنسی چی (Chi, 1988) برای تعیین ویژگی‌های زیستی و جمعیتی استفاده شد. یکی از مزیت‌های این بررسی‌ها، تعیین نقش هریک از افراد و مراحل سنی در روند رشد جمعیتی است و این امر حتی در مورد حشرات بکرزا نظیر شته مومی کلم در این تحقیق به خوبی اثبات شد.

بررسی ویژگی‌های زیستی و رشد جمعیتی شته مومی کلم در معرض غلظت زیرکشنده (LC_{25}) کلوتیانیدین و روغن تابستانه نشان داد که هر دو حشره‌کش اثرات معنی-داری بر طول دوره‌های مختلف زیستی این آفت داشتند. میانگین کل دوره پیش از بلوغ تحت تأثیر هر دو حشره‌کش در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش طول دوره رشد مراحل نابالغ نشان‌دهنده اثرات منفی حشره-کش‌ها و ایجاد شرایط نامناسب برای حشرات است. از آنجا که اثرات زیر کشندگی در این تحقیق به صورت تأخیر در رشد و نمو مراحل پورگی، کل دوره زندگی و تاخیر در باروری حشره کامل شته مومی کلم همراه بود، این امر در مورد تیمار کلوتیانیدین بیشتر از روغن تابستانه بارزتر بود. بنابراین، احتمال در معرض قرارگیری آنها را در برابر دشمنان طبیعی ممکن می‌سازد و کارایی دشمنان طبیعی در مهار جمعیت آفات افزایش می‌یابد (Mahmoodi *et al*., 2020)؛ اگرچه اثرات زیرکشندگی سموم مورد مطالعه در این تحقیق روی دشمنان طبیعی نیز نیاز به بررسی دارد. مشابه با تحقیق حاضر، میانگین طول دوره پیش از بلوغ نسل اول شته مومی کلم حاصل از افراد تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره-کش کلرفلوآزورون، در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Rajabi *et al*., 2022b). اگرچه در بررسی روماسی و همکاران (Romasi *et al*., 2021)، استفاده از غلظت LC_{30} حشره‌کش‌های گیاهی تنداکسیر و پالیزین روی شته مومی کلم، منجر به کاهش میانگین طول دوره پیش از بلوغ شد. دلیل این اختلاف می‌تواند شرایط آزمایش، نوع حشره‌کش‌ها و غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها باشد.

غلظت LC_{25} هر دو حشره‌کش کلوتیانیدین و روغن تابستانه، طول عمر و باروری حشرات کامل شته مومی کلم را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش داد و کمترین مقدار آن‌ها در کلوتیانیدین مشاهده شد. هم‌سو با نتایج تحقیق حاضر، غلظت خیلی پایین آزادیراختین به طور قابل ملاحظه-ای تولیدمثل و باروری حشرات کامل شته مومی کلم را کاهش داد و با افزایش غلظت حشره‌کش این اثر تشدید شد (Pavela *et al*., 2004). هم‌چنین، در بررسی شی و همکاران (Shi *et al*., 2011)، حشره‌کش کلوتیانیدین با غلظت LC_{20} معادل ۱/۲۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر با کاهش طول عمر، وزن، باروری و میزان ترشح عسلک شته جالیز، *A. gossypii*، موثرتر از سایر حشره‌کش‌های نئونیکوتینوئیدی بود. در بررسی‌های امیر فنک و همکاران (Amirfanak *et al*., 2023)، طول عمر و باروری نسل اول شته مومی کلم حاصل از افراد تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش ماترین در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. طول عمر حشرات کامل ماده از ۱۳/۴۵ روز در شاهد به ۵/۷۵ روز در غلظت زیرکشنده ماترین رسید. در تحقیق حاضر، طول دوره پوره‌زایی در غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها نسبت به شاهد روند نزولی داشته و در کلوتیانیدین به ۵/۰۸ روز رسید. در نتایج پژوهش محمودی و همکاران (Mahmoodi *et al*., 2020)، طول دوره پوره-زایی شته مومی کلم تیمار شده با غلظت LC_{30} استامی‌پراید،

بوپروفزین و TLC در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر شد که منطبق با نتایج پژوهش حاضر است.

نتایج یافته‌های تحقیق حاضر بیانگر آن است که حشرات بالغی که در معرض غلظت زیر کشنده کلوتیانیدین و روغن تابستانه قرار گرفته بودند، اثرات تجمعی روی نتاج حاصله از آنها داشته است و به عبارت دیگر این تاثیر در طول نسل بعدی شته مومی نیز مشهود بود و طول دوره‌های زیستی (مراحل نابالغ و طول عمر) و فراسنجه‌های رشد جمعیتی نتاج را نیز تحت تاثیر قرار داد. فراسنجه های جمعیتی به‌عنوان مثال، نرخ تولیدمثل خالص (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) به طور معنی‌داری در تیمار با حشره‌کش‌های بیان‌شده نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. نرخ خالص تولید مثل تابعی از باروری حشره است (Chi, 1988). نتایج این تحقیق نیز ارتباط بین این دو فراسنجه را به خوبی تایید می‌کند. در تحقیق حاضر، نرخ خالص تولیدمثل (R_0) در غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها نسبت به شاهد روند کاهشی داشت. در بررسی‌های جدول زندگی میزان نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، یکی از فراسنجه‌های مهم برای ارزیابی اثرات زیرکشنده ترکیبات سمی روی جمعیت آفات است (Stark and Wennergren, 1995; Banks and Stark, 1998; Kammenga and Laskowski, 2000; Stark and Banks, 2003). میزان نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) تابعی از زنده‌مانی و باروری حشره می باشد. کاهش نرخ ذاتی افزایش جمعیت نتاج نسل اول حاصله از تیمار والدین آنها به حشره‌کش‌ها را می‌توان به کاهش نرخ زنده‌مانی و باروری آنها ربط داد. به‌طوری‌که با افزایش طول دوره پیش از بلوغ، کاهش طول عمر، زنده‌مانی و باروری حشرات کامل تیمار شده با حشره‌کش‌ها، مقدار این فراسنجه در غلظت LC_{25} حشره‌کش‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به کمترین میزان خود در کلوتیانیدین (۰/۲۱ بر روز) رسید. کاهش میزان فراسنجه‌های رشد جمعیتی (نرخ خالص تولیدمثل و نرخ ذاتی و متناهی افزایش جمعیت) تیمار کلوتیانیدین در این تحقیق، نسبت به سایر حشره‌کش‌های نئونیکوتینوئیدی (تیاکلوپراید و تیامتوکسام) (Taheri Sarhozaki & Safavi, 2014a,b) روی فراسنجه‌های جدول زندگی شته مومی کلم بیانگر حساسیت بالای شته مومی کلم و کنترل موثر کلوتیانیدین می‌باشد. در بررسی‌های شاه‌محمدی حیدری و همکاران (Shahmohammadi Heidari *et al*., 2022)، مقدار λ در سفید بالک گلخانه تیمار شده با غلظت LC_{50} امولسیون-شونده غلیظ روغن معدنی (EC) در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین، مقدار T تحت تأثیر غلظت کشنده امولسیون‌شونده غلیظ نسبت به شاهد روند افزایشی را نشان داد که هم‌سو با پژوهش حاضر است.

یافته‌های حاصل از این تحقیق بیانگر این نکته مهم است که برای کاهش رشد جمعیت آفت، نه تنها نیاز به استفاده از دوزهای توصیه شده حشره‌کش‌ها را ضروری است، بلکه به تاثیر دوزهای زیر کشنده برای کاهش جمعیت آفات و حفظ دشمنان طبیعی نیز تاکید می‌شود. در مجموع، بررسی کارایی حشره‌کش‌های کلوتیانیدین و روغن تابستانه در کاهش جمعیت شته مومی کلم نشان داد که ضمن تأثیر غلظت زیرکشنده هر دو حشره‌کش روی فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی آفت مذکور، حشره‌کش کلوتیانیدین نسبت به روغن تابستانه تأثیر بیشتری در کنترل و کاهش جمعیت این آفت داشت. با این حال، لازم است برای تأیید نتایج گلخانه‌ای، آزمایش‌ها در شرایط وسیع مزرعه‌ای که سایر عوامل محیطی بر عملکرد آن تأثیر می‌گذارند، انجام گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش در گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه ارومیه در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد به انجام رسیده است که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Akbari, S., Safavia, S. A., & Ghosta, Y. (2014). Efficacy of *Beauveria bassiana* (Blas.) Vuill. against cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* L. (Hem.: Aphididae) in laboratory condition. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *47*(12), 1454–1458. **DOI: http://dx.doi. org/10.1080/ 03235408.2013.845972**

Amirfanak, V., Safavi, S. A., & Forouzan, M. (2023). Study on the life table parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) influenced by sublethal concentrations of the matrine. *Plant Protection*, *45*(4), 19-35. (In Farsi). **DOI: https://doi.org/10.22055/ppr. 2022.17991**

Banks, J. E., & Stark, J. D. (1998). What is ecotoxicology? An ad-hoc grab bag or an interdisciplinary science? *Integrative Biology*, *5*, 195-204. **DOI: https://doi.org/10.1002**

Beattie, G. A. C., & Smith, D. (1996). Integrated pest management; sustainable pest control for the future based on the past. *Proceedings of International Society of Citriculture, 1*, 51-58.

Bhamare, V. K., Pate, P. P., Shetgar, S. S., & Reddy Ranjeeth, K. (2015). Insecticidal resistance in cotton jassid, *Amrasca biguttula* biguttula (ishida) of Marathwada region of Maharashtra. Paper presented in National Symposium on, "Prospects in diversity, diagnosis and management of the diseases of horticultural and field crops" during Nov. 28-29, 2015 at College of Agriculture, Badnapur, VNMKV, Parbhani (MS)-India. pp. 132-133.

Biondi, A., Desneux, N., Siscaro, G., & Zappala, 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. **DOI: https://doi.org/10.1016/j. chemosphere.2011.12.082**

Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2000). Aphids of the World's Crops: An identification and information guide. (2nd ed.). John Wiley and Sons, London. **DOI: https://doi.org/10.1080/00305316. 2001.10417292**

Chen, C., Wang, X., Yin, S., Wang, C., Ren, X., Gao, Q., & Cao, H. (2022). Thifluzamide, fludioxonil, and clothianidin as seed treatment can efficiently control major soil-borne diseases, aphids (*Aphidoidea* spp.), and residue distribution in the field. *Agronomy*, *12*(10). **DOI:10.3390/agronomy12102330**

Chi, H., & Liu, H. (1985). Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology*, Academia Sinica, *24*(2), 225-240.

Chi, H. (1988). Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, *17*(1), 26-34. **DOI: https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26**

Chi, H. (2020a). TWOSEX-MSChart: a computer program for age stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing Univesity, Taichung, Taiwan; available from http:// 140. 120.197.173/Ecology/Downloud/ TWOSEX-MSchart. Rar.

Chi, H. (2020b). TIMING-MSChart: a computer program for the population projection based on age-stage, two-sex life table. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan; available from http://140.120.197.173/ Ecology/Download/TimingMSChart.rar.

De Franca, S. M., Breda, M. O., Barbosa, D. R. S., Araujo, A. M. N., & Guedes, C. A. (2017). The sublethal effects of insecticides in insects. *Biological Control of Pest and Vector Insects*, 23-39. **DOI: https://doi 10.5772/66461**

Desneux, N., Fauvergue, X., Dechaume-Moncharmont, F. X., Kerhoas, L., Ballanger, Y., & Kaiser, L. (2005). *Diaeretiella rapae* limits *Myzus persicae* populations after applications of deltamethrin in oilseed rape. *Journal of Economic Entomology*, *98*(1), 9–17. **DOI : https://doi.org/10.1093/ jee/98.1.9**

Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The Sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, *52*, 81–106. **DOI: https://doi 10.1146/annurev. ento.52.110405.091440**

Ellis, P. R., Kift, N. B., Pink, D. A. C., Juks, P. L., Lynn, J., & Tatchell, G. M. (2000). Variation in resistance to the cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*) between and within wild and cultivated brassicae species. *Genetic Resources and Crop Evaluation*, *47*, 395- 401. **DOI: https://doi 10.1023/A:1008755411053**

Finney, D. L. (1971). *Probit Analysis*. Cambridge University Press. Cambridge.

Gholamzadeh Chitgar, M., Heidari, A., & Pormoradi, S. (2018). Effect of mineral oils, insecticidal soap (Palizin®) and chlorpyrifos on *Unaspis euonymi* Comstock (Hem.; Diaspididae) under field conditions. *Plant Pest Research*, *8*(2), 41-51. (In Farsi) **DOI: https://doi.org/10.22124/iprj.2018.2994**

Golmohammadi, Gh., Naseri, M., & Keyhanian, A. A. (2016). Studying the effects of some insecticides on different developing stages of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama in field condition. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *2*(6), 63-70. (In Farsi).

Golmohammadi, Gh. R., Rezaei Torshizi, H. R., Vafaei Shooshtari, R., Faravardeh, L., & Rafei Karehroudi. (2021). Lethal and sublethal effects of three insecticides on green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) under laboratory conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, *41*(2), 105–121. **DOI: https://doi.org/10.22117/jesi.2021.341497.1359**

Hadadi, A., Aramideh, Sh., & Mirfakhraie, Sh. (2019). Comparitive effects of abamectin, sulfur wp., volk oil and detergent on *Colomerus vitis* Pagenstecher (Acari: Eriophyidae) in vineyards of Urmia. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *8*(2), 67-80. (In Farsi)

Haynes, K. F. (1988). Sublethal effects of neurotoxic substances on behavioral responses of insects. *Annual Review of Entomology*, *33*, 149–168.

Hosseininia, A., Khanjani, M., Khoobdel, M., & Javadi Khederi, S. (2017). Comparison of the efficiency of the current oils and insecticide compounds in control of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood), (Hem.: Aleyrodidae) on rose and their interaction. *Journal of Plant Protection*, *30*(4), 718-726. (In Farsi) **DOI: https://doi.org/10.22067/jpp.v30i4.53965**

Jagdish Singh, A. K., Upadhyay, A., Bahadur, B., Singh, K. P., & Mathura, R. (2006). Antioxidant phytochemicals in cabbage (*Brassicae oleracea* L. var. *capitate*). *Scientia Horticulturae*, *108*, 233-237. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.017**

Jahan, F., Abbasipour, H., Askarianzadeh, A., Hassanshahi, G. & Saeedizadeh, A. (2014). Biology and life table parameters of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) on cauliflower cultivars**.** *Journal of Insect Science*, *14*, 284. **DOI: https://doi: 10.1093/jisesa/ieu146**

Javadi Khederi, S., Khoobdel, M., Khanjani, M., Hosseininia, A., Leao Demolin Leite, G., & Hosseinpour, M. (2020). Common oils and insecticidal control and their resistance to *Aleuroclava jasmine* (Hem.: Aleyrodidae) on paper mulberry in Iran. *International Journal of Pest Management*, *66*(3), 243-251. **DOI: https://doi.org/10.1080/09670874.2019.1626512**

Kammenga, J., & Laskowski, R. (2000). Demography in ecotoxicology. John Wiley and Sons, Chichester, UK. 298 pp.

Kapantaidaki, D. E., Ovcarenko, I., Fytroun, N., Kontt, K. E., Bourtzis, K., & Tasagkarakou, A. (2015). Low levels of mitochondrial DNA and symbiont diversity in the worldwide agricultural pest, the greenhouse with fly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Heredity*, *106*(1), 80-92. **DOI: https://doi.org/10.1093/jhered/esu061**

Khorshidi, M., Hejazi, M.J., & Iranipour, S. (2017). Effect of azadirachtin, chlorantraniliprole and some insect growth regulators on vegetable leafminer, *Liriomyza sativae* (Blanchard) (Diptera: Agromyzidae). *Journal of Crop Protection*, *6*(1), 115-123.

Lashkari, M. R., Sahragard, A., & Ghadamyari, M. (2007). Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on population growth parameters of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* on rapeseed, *Brassica napus* L. *Insect Science*, *14*(3), 207-212. **DOI: https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2007.00145.x**

Mahmoodi, L., Mehrkhou, F., Guz, N., Forouzan, M., & Atlihan, R. (2020). Sublethal effects of three insecticide on fitness parameters and population projection of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, *113*(6), 1-10. **DOI: https://doi.org/10.1093/jee/toaa193**

Moradeshaghi, M. J. & Pourmirza, A. A. (1974). Survey on the resistance of different stages of Mediterranean flour moth (*Plodia interpunctella*) to *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Entomological Society of Iran. 2*(1), 25-36.

Pavela, R., Barnet, M., & Kocourek, F. (2004). Effect of azadirakhtin applied systemically through roots of plants on the mortality, development and fecundity of the cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*). *Phytoparasitica*, *32*(3), 286-294. **DOI: https://doi.org/10.1007/BF02979823**

Princ G., & Chandler, D. (2020). Susceptibility of *Myzus persicae*, *Brevicoryne brassicae* and *Nasonovia ribisnigri* to fungal biopesticides in laboratory and field experiments. *Insects, 11*(1), 2-16. **DOI: https://doi.org/10.3390/insects11010055**

Rajabi, H., Safavi, S. A., & Fourouzan, M. (2022b). Biological parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*, encountering the sublethal concentration (LC_{25}) of chlorfluazuron. *Plant Pest Research*, *12*(2), 21-34. (In Farsi). **DOI: https://doi.org/10.22124/iprj.2022.5792**

Ranjbar, S., Heidari, A., & Ziaei Madbouni, M. A. (2018). Evaluation of the efficacy of the volk oil and chlorpyrifos (EC 40.8%) on *Aonidiella orientalis* and *Chilocorus bipustulatus*. *Pesticides in Plan Protection Sciences*, *5*(1), 9-21. (In Farsi)

Robertson, J. L., Savin, N. E., Preisler, H. K. & Russell, R. M. (2007). Bioassays with Arthropods. CRC Press, USA.

Romasi, F., Vahedi, H., Moeeni Naghadeh, M., & Mahmoudvand, M. (2021). The effects of botanical insecticides palizin® and tondexir® on cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L. under laboratory conditions. *Plant Protection*, *43*(4), 71-89. (In Farsi). **DOI: https://doi.org/10.22055/ppr.2021.16763**

Sarwar, M. (2017). Integrated control of insect pests on canola and other brassica oilseed crops in Pakistan. In Reddy, G. V. P. (ed.). Integrated Management of Insect Pests on Canola and Other Brassica Oilseed Crops, Wallingford, Oxford, UK, CABI. 408 pp.

Shahmohammadi Heidari, B., Allahyari, H., & Talebi-Jahromi, Kh. (2022). Effect of mayonnaise and emulsifiable concentrate formulations on population dynamic of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *53*(1), 131-141. (In Farsi). **DOI: 10.22059/IJPPS.2022.339946.1007001**

Shi, X. B., Jiang, L. L., Wang, H. Y., Qiao, K., Wang, D., & Wang, K. Y. (2011). Toxicities and sublethal effects of seven neonicotinoid insecticides on survival, growth and reproduction of imidacloprid-resistant cotton aphid, *Aphis gossypii*. *Pest Management Science*, *67*, 1528-1533. **DOI: https://doi.org/10.1002/ps.2207**

SPSS, I. (2019). IBM SPSS statistics for windows, version 26.0 (Vol. 440). IBM Corporation.

Stark, J. D., & Wennergren, U. (1995). Can population effects of pesticides be predicted from demographic toxicological studies? *Journal of Economic Entomology*, *88*, 1089-1096. **DOI: https://doi.org/10.1093/jee/88.5.1089**

Stark, J. D., & Banken, J. A. O. (1999). Importance of population structure at the time of toxicant exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *42*, 282-287. **DOI: https://doi.org/10.1006/eesa.1998.1760**

Stark, J. D., & Banks, J. E. (2003). Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology*, *48*, 505–519.

Taheri-Sarhozaki, M., & Safavi, S. A. (2014a). Sublethal effects of tiametoxam on life table parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) under laboratory conditions. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *47*, 508-515. **DOI: https://doi.org/10.1080/03235408.2013.813145**

Taheri-Sarhozaki, M., & Safavi, S. A. (2014b). Population growth parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) exposed to sublethal doses of thiacloprid. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *47*, 464-471. **DOI: https://doi.org/10.1080/03235408.2013.812314**

Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. International. *Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*, 1112. **DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph18031112**

Ullah, F., Gul, H., Desneux, N., Tariq, K., Ali, A., Gao, X., & Song, D. (2019). Clothianidin-induced sublethal effects and expression changes of vitellogenin and ecdysone receptors genes in the melon aphid, *Aphis gossypii*. *Entomologia Generalis*, *39*(2), 137-149. **DOI: https://doi.org/10.1127/entomologia/2019/0865**

Walling, L. L. (2000). The myriad plant responses to herbivores. *Journal of Plant Growth Regulation*, *19*, 195–216. **DOI: https://doi.org/10.1007/s003440000026**

Zikankuba, V. L., Mwanyika, G., Ntwenya, J. E., & James, A. (2019). Pesticide regulations and their malpractice implications on food and environment safety. *Cogent Food and Agriculture*, *5*, 1601544. **DOI: https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1601544**

Plant Pest Research
2024- 13 (4): 17-34

Open access
doi: 10.22124/iprj.2024.26113.1544
pISSN: 2322-2409
eISSN: 2538-6123

Research paper

Lethal and sub-lethal effects of Clothianidin and summer oil on the life table parameters and population trend of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Hem.: Aphididae)

M. Piri Ouchtape[1], F. Mehrkhou[2*] and M. Foorouzan[3]
1 & 2. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, 3. Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azarbaijan, AREEO, Urmia, Iran.

1. 0009-0000-8058-5018, 2. 0000-0023-4220-8396, 3. 0000-0002-5440-3329

(Received: November 25, 2023- Accepted: February 20, 2024)

Abstract

Cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L., is one of the most important pests of cruciferous crops worldwide. In the present study, the lethal (LC_{50}) and sublethal (LC_{25}) effects of Clothianidin and summer oil were investigated on biological properties and population growth rate parameters of cabbage aphid under greenhouse conditions. The leaf dipping method containing aphid adults was used for bioassays. The life table data were analyzed based on the age-stage, two-sex life table theory. Results indicated that Clothianidin affected the population growth rate of aphids by prolongation of the pre-adult stages, decreasing survival rate, adult longevity, and reproduction in comparison to summer oil. The lowest fecundity rate (14.14 nymphs per female) was recorded in Clothianidin treatment. The lowest and highest intrinsic rate of increase (*r*) was observed in Clothianidin (0.2123 day^{-1}) and control (0.3636 day^{-1}), respectively. The results also demonstrated that population growth of the cabbage aphid in different treatments was exactly in consistent with the estimated population growth parameters. For example, aphids treated with Clothianidin, had slower growth rate and, thereby prolonged mean generation time (*T*). The overall results demonstrated that Clothianidin could be considered as an effective insecticide in the management of cabbage aphid.

Key words: Cabage aphid, Insecticide, Population growth rate, Sublethal

*Corresponding author: f.mehrkhou@urmia.ac.ir