



مقاله پژوهشی

بررسی اثرات زیرکشنندگی سیفلومتوفن بر شاخص های جدول زندگی کنه تارتن دولکه ای،

Tetranychus urticae (Acari: Tetranychidae)متین میرپنج¹، کتابون خردمند^{1*}✉، مسعود اربابی³ و عباسعلی زمانی⁴

1- دانش آموخته و دانشیار گروه حشره شناسی، گروه حشره شناسی و بیماری های گیاهی، دانشکده گان فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران؛ 2- دانشیار گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران؛ 3- استاد تمام بخش تحقیقات جانورشناسی کشاورزی، مؤسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، تهران، ایران

چکیده

کنه تارتن دولکه ای، *Tetranychus urticae* (Koch)، از آفات کلیدی و چندخوار کشاورزی با توان بالای تولیدمثل و مقاومت سریع به آفت کش ها، به عنوان چالش جدی در مدیریت آفات شناخته می شود. سیفلومتوفن، کنه کشی از گروه متیلیک دی فنیل اکسازولین ها، با اختلال در زنجیره انتقال الکترون میتوکندری. در این پژوهش، اثر سه غلظت زیرکشننده سیفلومتوفن (LC_{25} ، LC_{5} و LC_{25}) (بر حسب ماده موثره) بر شاخص های جدول زندگی *T. urticae* در شرایط آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج نشان داد که قرار گرفتن در معرض سیفلومتوفن موجب تغییرات معنی داری در طول مراحل نمو، کاهش طول عمر بالغین و کاهش مدت کل چرخه زندگی شد. همچنین، پارامترهای تولیدمثلی شامل دوره تخم ریزی و باروری کل به طور محسوسی کاهش یافتند، به طوری که تعداد تخم های گذاشته شده از 29/97 در تیمار شاهد به 17/61 در تیمار LC_{25} رسید. بررسی پارامترهای جمعیتی نیز نشان داد که نرخ خالص تولیدمثل (R_0) از 15/74 نتاج/ماده در شاهد به 5/73 نتاج/ماده در LC_{25} کاهش یافت. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) نیز به ترتیب از 0/286 و 1/331 در تیمار شاهد به 0/197 و 1/218 در LC_{25} رسیدند. با این حال، میانگین طول یک نسل (T) تفاوت معنی داری میان تیمارها نشان نداد. تحلیل منحنی های بقا و باروری نشان داد که در تیمارهای حاوی سیفلومتوفن، اوج باروری زودتر رخ داد، اما مدت زمان آن کوتاه تر بود و بقای ماده ها، به ویژه در LC_{25} به طور محسوسی کاهش یافت. این تغییرات بیانگر آن است که حتی غلظت های پایین تر از دُز کشنده (LC_{25} و LC_{15} ، LC_5) می توانند باعث کاهش توان زادآوری و تضعیف رشد جمعیت آفت شوند. در مجموع، یافته های این مطالعه نشان می دهد که سیفلومتوفن نه تنها در دُزهای کشنده، بلکه در غلظت های زیرکشنندگی نیز اثرات منفی چشمگیری بر توان تولیدمثلی و پویایی جمعیت *T. urticae* دارد. این ویژگی، سیفلومتوفن را به گزینه ای ارزشمند در راهبردهای مدیریت تلفیقی آفات تبدیل می کند و می تواند با کاهش اتکا به دُزهای بالا، نقش مؤثری در کاهش خسارت آفات ایفا نماید.

واژه های کلیدی: اثرات زیرکشننده، جدول زندگی، سیفلومتوفن، کنه تارتن دولکه ای، مدیریت تلفیقی

Evaluation of sublethal effects of cyflumetofen on the life table parameters of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae)

M. MIRPANJ¹, K. KHERADMAND^{1*}, M. ARBABI³ and A. A. ZAMANI⁴

1. M.Sc. Graduate student and Associate Professor of Entomology, Department of Entomology and Plant Pathology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran; 2- Associate Professor, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Razi University, Iran; 3-

Professor, Department of Agricultural Zoology Research, Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Abstract

The two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Koch), is one of the key polyphagous agricultural pests with a high reproductive capacity and rapid resistance development to pesticides, posing a serious challenge in pest management. Cyflumetofen, an acaricide belonging to the methyl diphenyl oxazoline group, acts by disrupting the mitochondrial electron transport chain and, due to its relatively low toxicity to natural enemies, is considered a suitable option in integrated pest management (IPM). However, limited information is available regarding its sublethal effects on the biological and population parameters of this pest. In the present study, the effects of three sublethal concentrations of cyflumetofen (LC_5 , LC_{15} and LC_{25}) (based on active ingredient) on the life table parameters of *T. urticae* were evaluated under laboratory conditions. The results showed that exposure to cyflumetofen caused significant changes in developmental duration, reduced adult longevity, and shortened the total life cycle. Reproductive parameters, including oviposition period and total fecundity, were also significantly reduced, as the number of eggs laid decreased from 29.97 in the control treatment to 17.61 in the LC_{25} treatment. Population parameter analysis also showed that the net reproductive rate (R_0) declined from 15.74 offspring per female in the control to 5.73 offspring per female in LC_{25} . Likewise, the intrinsic rate of increase (r) and finite rate of increase (λ) decreased from 0.286 and 1.331 in the control treatment to 0.197 and 1.218 in LC_{25} , respectively. However, the mean generation time (T) did not differ significantly among treatments. Survival and fecundity curve analyses indicated that in cyflumetofen-treated groups, peak fecundity occurred earlier, although its duration was shorter, and female survival, particularly in LC_{25} , was markedly reduced. These findings indicate that even sublethal concentrations (LC_5 , LC_{15} and LC_{25}) can reduce reproductive potential and suppress population growth. Overall, the findings of this study demonstrate that cyflumetofen, not only at lethal doses but also at sublethal concentrations, exerts considerable negative effects on the reproductive capacity and population dynamics of *T. urticae*. This characteristic makes cyflumetofen a valuable option in integrated pest management strategies and may contribute effectively to reducing pest damage while decreasing reliance on high pesticide doses.

Keywords: Cyflumetofen, Integrated pest management, Life table, Sublethal effects, *Tetranychus urticae*

مقدمه

کنه تارتن دولکه‌ای، (*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)، یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین آفات کشاورزی در سراسر جهان محسوب می‌شود. توانایی بالای این آفت در تولیدمثل سریع و سازگاری با شرایط مختلف محیطی، آن را به چالشی جدی برای تولیدکنندگان محصولات کشاورزی تبدیل کرده است. این گونه، به‌ویژه در محصولات زراعی، سبزی‌ها، گیاهان زینتی و گلخانه‌ای شیوع دارد و با تغذیه از شیره گیاهی، موجب زردی برگ‌ها، کاهش کلروفیل، ریزش برگ‌ها و در نهایت کاهش کمی و کیفی محصول می‌گردد (van Leeuwen et al., 2010). به دلیل خسارت‌های سنگین ناشی از این آفت، کشاورزان به استفاده از سموم شیمیایی روی می‌آورند. با این حال، کاربرد مکرر این ترکیبات سبب بروز مشکلاتی چون مقاومت آفت به سموم، آسیب به دشمنان طبیعی، آلودگی محیط‌زیست و تهدید سلامت انسان شده است (Demaeght et al., 2013). در این میان، سیفلومتوفن به‌عنوان یک ترکیب جدید و انتخابی، توجه بسیاری از پژوهشگران و متخصصان مدیریت آفات را به خود جلب کرده است. سیفلومتوفن یک کنه‌کش اختصاصی از گروه متیلک دی‌فنیل‌اکسازولین‌هاست که عمدتاً روی کنه‌ها مؤثر بوده و با مهار عملکرد میتوکندری در سلول‌های آن‌ها، منجر به مرگ آفت می‌شود (Hayashi et al., 2013). این ترکیب در سال‌های اخیر به دلیل عملکرد انتخابی و اثر نسبتاً کم بر دشمنان طبیعی، به‌عنوان گزینه‌ای امیدوارکننده در مدیریت تلفیقی آفات (IPM) شناخته شده است. با این حال، بررسی‌ها نشان می‌دهد که غلظت‌های زیرکشنده آفت‌کش‌ها - که پایین‌تر از دُز توصیه‌شده جهت کنترل مستقیم آفات هستند - می‌توانند اثرات بیولوژیکی قابل‌توجهی بر صفات زیستی آفات برجای بگذارند؛ از جمله بر بقاء، باروری، نرخ رشد جمعیت و سایر پارامترهای جدول زندگی (Li et al., 2017).

Saber et al., 2018; Mokhtari et al., 2022; Musa et al., 2022; Huang and Lin, 2026). بررسی این اثرات می‌تواند به درک بهتر از تعامل بین آفت و کنه‌کش کمک کرده و راهکارهایی برای کاهش مصرف سموم و بهینه‌سازی مدیریت آفات ارائه دهد. در حال حاضر، اطلاعات کافی درباره اثرات زیرکشنده سیفلومتوفن بر پارامترهای زیستی کنه تارتن دولکه‌ای در دسترس نیست. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر سه سطح زیرکشنده (LC_{15} ، LC_{25} و LC_{50}) سیفلومتوفن بر شاخص‌های جدول زندگی کنه تارتن دولکه‌ای انجام شده است. با توجه به اهمیت روزافزون استفاده از ترکیبات انتخابی در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات، نتایج این مطالعه می‌تواند با کاهش مصرف سموم شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار و مدیریت هوشمندانه آفات، مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

کاشت گیاه میزبان

بذرهای لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) رقم خمین در گلدان‌های پلاستیکی به قطر 15 سانتی‌متر، به میزان چهار تا پنج بذر در هر گلدان، در شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای با دمای 25 ± 5 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره نوری 16:8 ساعت (روشنایی: تاریکی) کاشته شدند.

پرورش کنه

کنه‌های تارتن دولکه‌ای از گیاهان آلوده گلخانه‌های پاکدشت (جنوب‌شرق تهران) جمع‌آوری شده و بر روی گیاهان لوبیا در شرایط گلخانه‌ای با دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری 16:8 ساعت (روشنایی: تاریکی) رهاسازی شدند.

کنه‌کش آزمایش‌شده

کنه‌کش سیفلومتوفن با نام تجاری [®]Danisaraba، محصولی جدید از گروه کنه‌کش‌های بتا-کتونیتریل (β -ketonitrile) است که توسط شرکت اوتسوکا (OAT) ژاپن تولید شده و به‌صورت فرمولاسیون سوسپانسیون غلیظ‌شونده (SC 20%) عرضه

آزمایش جدول زندگی

به‌منظور بررسی اثر دُزهای زیرکشنده (LC_{25} و LC_{15} ، LC_5) سیفلومتوفن بر پارامترهای جدول زندگی کنه تارتن دولک‌ای، 80 کنه ماده هم‌سن (24 ساعته) به برگ‌های تیمار شده و تیمار نشده منتقل شدند. پس از گذشت 24 ساعت، کنه‌های زنده به‌طور جداگانه به دیسک‌های برگ تیمار نشده منتقل شدند. بعد از 24 ساعت، از هر کنه ماده یک تخم جمع‌آوری شد (80 تکرار برای هر غلظت). پس از این مرحله، تمامی تخم‌ها روزانه بررسی شدند و زمان رشد، طول عمر، دوره پیش از تخم‌ریزی و نرخ باروری تا زمان مرگ آخرین کنه ثبت شد. به‌منظور بررسی پارامترهای باروری و تولیدمثل، بین کنه‌های ماده و نرهایی از کلنی مادری در پتری‌دیش جفت‌گیری صورت گرفت. همه پتری‌دیش‌ها به‌صورت روزانه بررسی و اطلاعات مربوط به بقای افراد بالغ، زمان تولیدمثل، طول عمر بالغین، باروری و پارامترهای رشد جمعیت ثبت شد.

تجزیه و تحلیل آماری

مقادیر LC_{25} و LC_{15} ، LC_5 به همراه حدود اطمینان 95 درصد با استفاده از روش Probit در نرم‌افزار IBM-SPSS (نسخه 19.0) محاسبه شدند. داده‌های خام مربوط به تمامی افراد بر اساس مدل نظری ارائه‌شده توسط Chi (1988) تحلیل شدند. تمامی پارامترهای رشد جمعیت شامل نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و میانگین طول یک نسل (T)، همچنین نرخ بقاء سنی-مرحله‌ای (s_{xj}) (x سن بر حسب روز و j مرحله رشدی)، نرخ بقاء سنی (l_x)، باروری سنی (m_x) و باروری سنی-مرحله‌ای ماده‌ها (f_{xj}) با استفاده از جدول زندگی سنی-مرحله‌ای دوجنسی (Chi and Liu, 1985) و نرم‌افزار TWSEX-MSChart (Chi, 2016) محاسبه شدند. میانگین و خطای استاندارد پارامترهای رشد جمعیت با روش بوت‌استرپ برآورد گردید (Efron and Tibshirani, 1993; روشنایی:

می‌شود. این کنه‌کش با ایجاد اختلال در زنجیره انتقال الکترون در میتوکندری، به عنوان بازدارنده کمپلکس II عمل می‌کند. سیفلومتوفن اولین بار در سال 2007 در ژاپن به ثبت رسید. سپس در کشورهای مختلف روی محصولات کشاورزی متنوع از جمله مرکبات، درختان میوه دانه‌دار و هسته‌دار، سبزیجات و صیفی‌جات مورد استفاده قرار گرفت (Van Leeuwen et al., 2015).

آزمایش زیست‌سنجی (Bioassay)

برای ارزیابی حساسیت کنه‌های بالغ *T. urticae* نسبت به غلظت‌های مختلف سیفلومتوفن (12، 25، 50، 100، 200 میلی گرم ماده مؤثره در لیتر)، از روش غوطه‌ورسازی برگ براساس روش Helle and Overmeer (1985) با اصلاحات جزئی استفاده شد. دیسک‌های برگ تازه لوبیا به قطر سه سانتی‌متر، به مدت ۱۵ ثانیه در محلول‌های سیفلومتوفن غوطه‌ور گردیدند و سپس به مدت سه ساعت در دمای محیط خشک شدند. پس از خشک شدن برگ‌ها، کنه‌ها روی دیسک‌های برگ منتقل شدند و به مدت 24 ساعت در معرض تیمار قرار گرفتند. سپس کنه‌ها به دیسک‌های برگ سالم منتقل شدند تا تخم‌ریزی انجام دهند و به مدت 24 ساعت نگهداری شدند. دیسک‌های برگ شاهد تنها با آب مقطر تیمار شدند. آزمایش زیست‌سنجی در چهار تکرار انجام شد و در هر غلظت، 20 کنه بالغ مورد استفاده قرار گرفت و در مجموع 28 دیسک برگ (هفت تیمار شامل شش غلظت و شاهد $4 \times$ تکرار) استفاده شد. داده‌های حاصل از زیست‌سنجی برای برآورد مقادیر LC_{25} ، LC_{15} ، LC_5 و LC_{50} با استفاده از تحلیل پروبیت (Finney, 1971) به‌کار رفتند (جدول 1). از میان این مقادیر، غلظت‌های زیرکشنده LC_{25} و LC_{15} ، LC_5 به‌همراه شاهد، به‌عنوان تیمارهای اصلی در آزمایش جدول زندگی مورد استفاده قرار گرفتند. تمامی آزمایش‌ها در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی شامل دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و دوره نوری 16:8 (روشنایی: تاریکی) ساعت انجام شدند.

(Huang and Chi, 2013; Akköprü *et al.*, 2015). برای رسم نمودارهای این پژوهش از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج

آزمون زیست‌سنجی

مقدار غلظت کشنده (LC_{50}) سیفلومتوفن برای کنه تارتن دولکه‌ای (*T. urticae*) در فاصله زمانی 24 ساعت پس از تیمار کنه‌های بالغ با اطمینان 95٪، برابر با 52/59 میلی گرم در لیتر و برای غلظت‌های زیرکشنده (LC_5 ، LC_{15} و LC_{25}) به ترتیب 7/83، 15/84 و 24/09 میلی گرم در لیتر محاسبه گردید. در تیمار شاهد، هیچ گونه مرگ و میری مشاهده نشد (جدول 1).

جدول 1- تحلیل پروبیت برای پاسخ غلظت-مرگ و میر سیفلومتوفن بر روی مراحل بالغ کنه *Tetranychus urticae*.

Table 1. Probit analysis for the concentration-mortality response of cyflumetofen on adult stages of *Tetranychus urticae*.

LC ₅	LC ₁₅	LC ₂₅	LC ₅₀	Slope ± SE	X ²	P-value	DF	N
7.83 (0.68-19.64)	15.84 (2.50-32.19)	24.09 (5.40-43.38)	52.59 (22.06-77.59)	1.989±0.470	9.735	0.982	21	560

آزمایش در چهار تکرار، شش غلظت و در هر غلظت 20 کنه استفاده شد. غلظت‌ها بر حسب میلی گرم در لیتر ماده مؤثره، اعداد درون پرانتز حدود بالا و پایین را نشان می‌دهند.

از 8/25 روز در شاهد به 5/70 روز رسید. همچنین، طول کل دوره زندگی نرها از 12/91 روز در تیمار شاهد به 10/37 روز در LC_{25} کاهش یافت. در افراد ماده، طول مرحله تخم در تیمار LC_{15} به بیشترین مقدار (1/56 روز) رسید که نسبت به تیمار شاهد (1/35 روز) افزایش قابل توجهی داشت. مراحل لاروی و پروتونیمف نیز در LC_{15} به ترتیب به 1/10 و 1/03 روز نسبت به شاهد کاهش نشان دادند، در حالی که مرحله پروتونیمف در LC_{25} 1/23 روز تغییر اندکی داشت. مرحله دوتونیمف در تیمار LC_{15} به 1/20 روز کاهش یافت. بیشترین کاهش در طول عمر ماده‌ها در تیمار LC_{25} ، مشاهده شد، به طوری که این مقدار از 9/11 روز در شاهد به 6/46 روز رسید. همچنین، طول کل دوره زندگی ماده‌ها در تیمارهای LC_{15} و LC_{25} نسبت به تیمار شاهد به طور معنی داری کاهش یافته، به طوری که از 14/52 روز در تیمار شاهد به ترتیب 11/40 و 11/42 روز رسید (جدول 2).

تأثیر غلظت‌های زیرکشنده سیفلومتوفن بر طول مراحل مختلف رشدی در هر دو جنس نر و ماده کنه تارتن *Tetranychus urticae*

نتایج جدول 2 نشان داد که غلظت‌های مختلف زیرکشنده سیفلومتوفن اثرات قابل توجهی بر مراحل نموی، طول عمر و طول دوره زندگی کنه *T. urticae* در هر دو جنس نر و ماده داشته‌اند. در افراد نر، مدت زمان مرحله تخم از 1/58 روز در تیمار شاهد به 1/44 و 1/40 روز در تیمارهای LC_5 و LC_{25} کاهش یافت. مدت زمان مرحله لاروی نیز در تمامی تیمارهای حاوی سیفلومتوفن نسبت به شاهد کاهش معنی داری نشان داد و در بازه 1/00 تا 1/10 روز باقی ماند. کوتاه‌ترین زمان مراحل پروتونیمف و دوتونیمف در تیمار LC_{15} مشاهده شد (هر دو به طور میانگین 1/12 روز). طول عمر نرها با افزایش غلظت سیفلومتوفن، به ویژه در LC_{25} ، به طور معنی داری کاهش یافته و

جدول 2- میانگین (± خطای معیار میانگین) طول مراحل مختلف رشدی (روز) کنه‌های نر و ماده *Tetranychus urticae* در تیمار شاهد و غلظت‌های مختلف سیفلومتوفن.

Table 2. Mean (±SEM) duration of different developmental stages (days) of male and female *Tetranychus urticae* in the control treatment and under different concentrations of cyflumetofen.

Sex	Stage (day)	Different treatments			
		Control	LC ₅	LC ₁₅	LC ₂₅
Male	Egg	0.11 ^a ±1.58	0.17 ^a ±1.44	0.19 ^a ±1.50	0.16 ^a ±1.40
	Larva	0.10 ^a ±1.41	0.09 ^b ±1.10	0.00 ^b ±1.00	0.00 ^b ±1.00
	Protonymph	0.01 ^a ±1.37	0.17 ^a ±1.55	0.12 ^a ±1.12	0.09 ^b ±1.10
	Deutonymph	0.09 ^a ±1.29	0.22 ^a ±1.22	0.12 ^a ±1.12	0.10 ^a ±1.10
	Longevity	0.28 ^a ±8.25	0.32 ^b ±7.22	0.49 ^c ±5.62	0.60 ^c ±5.70
	Total life span	0.32 ^a ±12.91	0.53 ^b ±12.44	0.60 ^c ±10.40	0.68 ^c ±10.37
Female	Egg	0.08 ^a ±1.35	0.11 ^a ±1.57	0.10 ^a ±1.56	0.11 ^a ±1.38
	Larva	0.07 ^a ±1.33	0.07 ^a ±1.28	0.05 ^b ±1.10	0.07 ^{ab} ±1.15
	Protonymph	0.07 ^a ±1.30	0.08 ^a ±1.31	0.03 ^b ±1.03	0.09 ^{ab} ±1.23
	Deutonymph	0.08 ^a ±1.40	0.09 ^a ±1.39	0.07 ^a ±1.20	0.07 ^a ±1.19
	Longevity	0.22 ^a ±9.11	0.17 ^b ±7.60	0.29 ^c ±6.50	0.26 ^c ±6.46
	Total life span	0.30 ^a ±14.52	0.25 ^b ±13.18	0.31 ^c ±11.40	0.32 ^c ±11.42

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ردیف در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند (Paired bootstrap test).

* Means in rows followed by the same letters are not significantly different at P= 0.05

اندکی افزایش یافت، اما اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده

نشد. این شاخص از 5/76 روز در تیمار شاهد به 6/15 روز

در تیمار LC₂₅ افزایش یافت. از سوی دیگر، باروری کل

(تخم/ماده) نیز در پاسخ به افزایش غلظت سیفلومتوفن به‌طور

معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که میانگین تعداد تخم

گذاشته‌شده از 29/97 تخم/ماده در تیمار شاهد به 24/39

تخم/ماده در LC₅ 19/20 تخم/ماده در LC₁₅ و نهایتاً 17/61

تخم/ماده در LC₂₅ کاهش یافت. این کاهش در باروری

نشان‌دهنده اثر منفی و بارز سیفلومتوفن بر پتانسیل تولید مثلی

کنه ماده می‌باشد (جدول ۳).

پارامترهای تولیدمثلی

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که پارامترهای تولید مثلی کنه *T.*

urticae تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده سیفلومتوفن قرار

گرفته‌اند. دوره پیش‌تخم‌ریزی بالغ (APOP) در تیمار شاهد برابر

با 0/35 روز بود، اما با افزایش غلظت، به‌ویژه در تیمار LC₂₅،

به 1/19 روز رسید. دوره تخم‌ریزی (Oviposition period) نیز

از 8/76 روز در تیمار شاهد به 5/26 روز در تیمار LC₂₅ کاهش

یافت. دوره پیش‌تخم‌ریزی کل (TPOP) اگرچه در برخی تیمارها

جدول 3- میانگین (± خطای معیار میانگین) پارامترهای تولیدمثلی (روز) و باروری کل (تخم/ماده) کنه‌های ماده *Tetranychus urticae* تیمار شده با غلظت‌های

زیرکشنده سیفلومتوفن یا آب مقطر (شاهد)

Table 3. Mean (±SEM) of reproductive parameters (days) and total fecundity (eggs/female) of females *Tetranychus urticae* treated with sublethal concentrations of cyflumetofen or distilled water (control).

Parameter (days)	Control	LC ₅	LC ₁₅	LC ₂₅
APOP ¹	0.35 ± 0.09 ^c	0.68 ± 0.10 ^b	0.83 ± 0.14 ^{ab}	1.19 ± 0.14 ^a
TPOP ²	5.76 ± 0.18 ^a	6.26 ± 0.21 ^a	5.73 ± 0.18 ^a	6.15 ± 0.24 ^a
Oviposition period	8.76 ± 0.24 ^a	6.92 ± 0.17 ^b	5.66 ± 0.28 ^c	5.26 ± 0.28 ^c
(eggs/female) Total fecundity	29.97 ± 1.21 ^a	24.39 ± 0.82 ^b	19.20 ± 1.05 ^c	17.61 ± 1.17 ^c

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ردیف، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (Paired bootstrap test).

1: دوره پیش از تخمگذاری بالغین؛ 2: دوره پیش از تخمگذاری کل.

Means in rows followed by the same letters are not significantly different at P= 0.05.

1: Adult pre-ovipositional period; 2: Total pre-ovipositional period.

پارامترهای جمعیتی

نتایج این پژوهش نشان داد که قرارگیری کنه *T. urticae* در معرض غلظت‌های زیرکشنده کنه‌کش سیفلومتوفن، تأثیرات معنی‌داری بر پارامترهای جمعیتی این گونه داشت. نرخ ناخالص تولیدمثل (*GRR*) در تیمار شاهد برابر با 31/20 نتاج/ماده بود که با افزایش غلظت کنه‌کش کاهش یافت و در تیمار LC_{25} به 19/96 نتاج/ماده رسید. نرخ خالص تولیدمثل (R_0) نیز در تیمار شاهد 15/74 نتاج/ماده بود و با کاهش تدریجی در تیمارهای LC_5 ، LC_{15} و LC_{25} به ترتیب به 11/58،

7/20 و در نهایت 5/73 نتاج/ماده کاهش یافت. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (*r*) از 0/286 روز⁻¹ در شاهد به 0/197 روز⁻¹ در LC_{25} کاهش پیدا کرد. همچنین، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) از 1/331 روز⁻¹ در تیمار شاهد به 1/218 روز⁻¹ در تیمار LC_{25} رسید. در مقابل، میانگین زمان یک نسل (*T*) بین تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت و در بازه‌ای بین 8/58 تا 9/64 روز باقی ماند. این نتایج نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار توان تولیدمثلی و رشد جمعیت *T. urticae* تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده سیفلومتوفن است (جدول 4).

جدول 4- میانگین ($\pm$ خطای معیار میانگین) پارامترهای رشد جمعیت کنه *Tetranychus urticae* تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده سیفلومتوفن و شاهد.

Table 4. Mean ($\pm$ SEM) population growth parameters of *Tetranychus urticae* females treated with sublethal concentrations of cyflumetofen or distilled water (control).

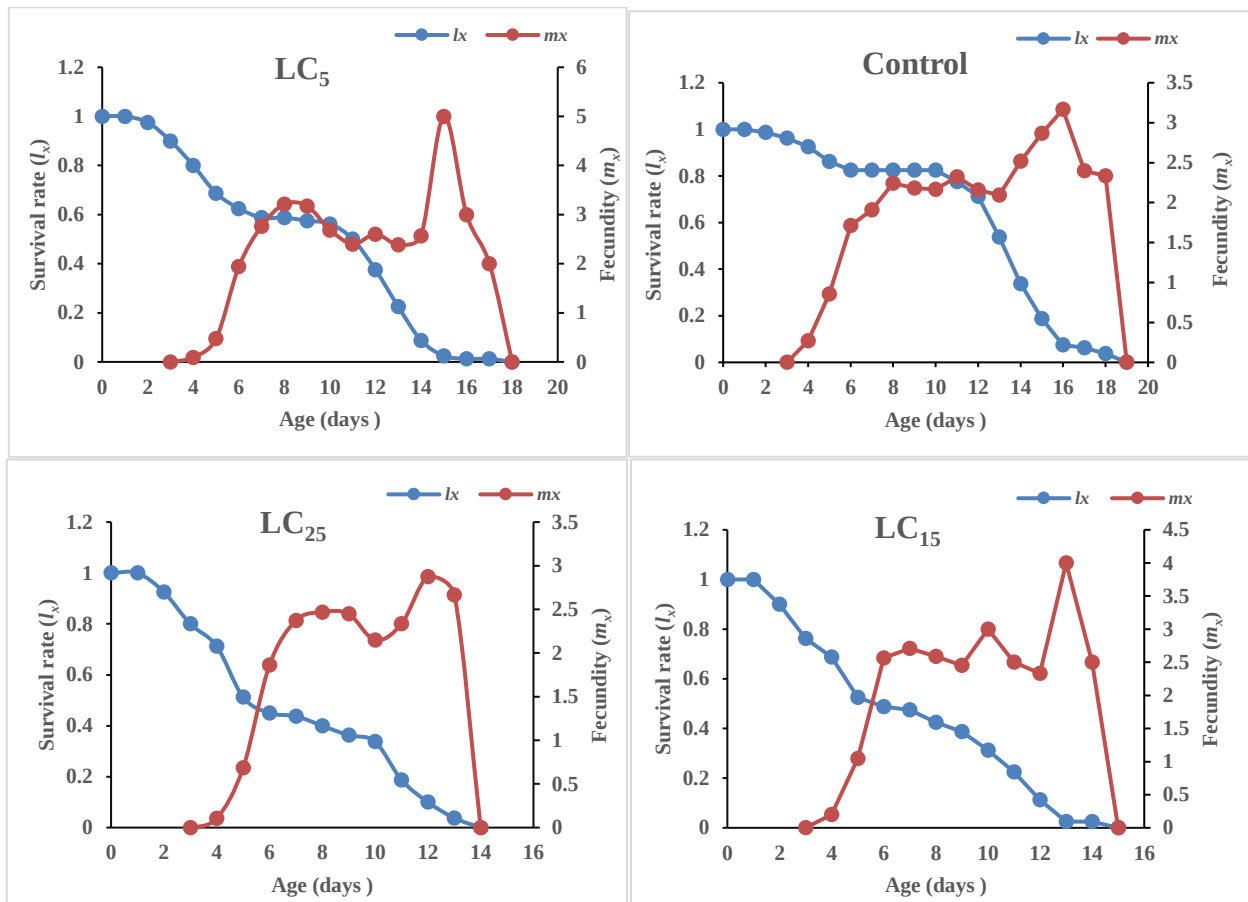
Population growth parameters	Unit	Control	LC_5	LC_{15}	LC_{25}
Gross reproduction rate (<i>GRR</i>)	offspring/female	31.196 $\pm$ 4.105 ^a	34.308 $\pm$ 3.137 ^a	25.895 $\pm$ 3.080 ^{ab}	19.960 $\pm$ 2.023 ^b
Net reproductive rate (R_0)	offspring/female	15.737 $\pm$ 1.781 ^a	11.587 $\pm$ 1.413 ^a	7.200 $\pm$ 1.115 ^b	5.725 $\pm$ 0.994 ^b
Intrinsic rate of increase (<i>r</i>)	day ⁻¹	0.286 $\pm$ 0.013 ^a	0.259 $\pm$ 0.014 ^{ab}	0.229 $\pm$ 0.020 ^{bc}	0.197 $\pm$ 0.021 ^c
Finite rate of increase (λ)	day ⁻¹	1.331 $\pm$ 0.018 ^a	1.296 $\pm$ 0.018 ^{ab}	1.258 $\pm$ 0.024 ^{bc}	1.218 $\pm$ 0.025 ^c
Mean generation time (<i>T</i>)	days	9.635 $\pm$ 0.216 ^a	9.424 $\pm$ 0.187 ^{ab}	8.584 $\pm$ 0.212 ^c	8.830 $\pm$ 0.243 ^{bc}

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ردیف، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (Paired bootstrap test).

سریع‌تر از شاهد رخ داد و اگرچه الگوی باروری مشابه شاهد بود، اما اوج باروری در روز پانزدهم مشاهده شد. در تیمار LC_{15} ، کاهش بقاء شدیدتر بود؛ اوج باروری زودتر (در روز سیزدهم) و با مقدار حدود چهار تخم در روز مشاهده شد. در تیمار LC_{25} ، بیشترین کاهش در بقاء مشاهده شد. نرخ بقاء تا حدود روز چهاردهم به صفر رسید و اوج باروری در روز دوازدهم، با مقدار کمتر (حدود سه تخم در روز) و در دوره‌ای کوتاه‌تر اتفاق افتاد (شکل 1).

بقا و باروری

شکل 1 الگوهای بقاء سنی (l_x) و باروری سنی (m_x) کنه *T. urticae* در تیمار شاهد و غلظت‌های زیرکشنده سیفلومتوفن نشان می‌دهد. در تیمار شاهد، نرخ بقاء به صورت تدریجی کاهش یافت و باروری از روز چهارم آغاز شد، در روز شانزدهم به اوج رسید و سپس کاهش یافت. در تیمار LC_5 ، کاهش بقاء

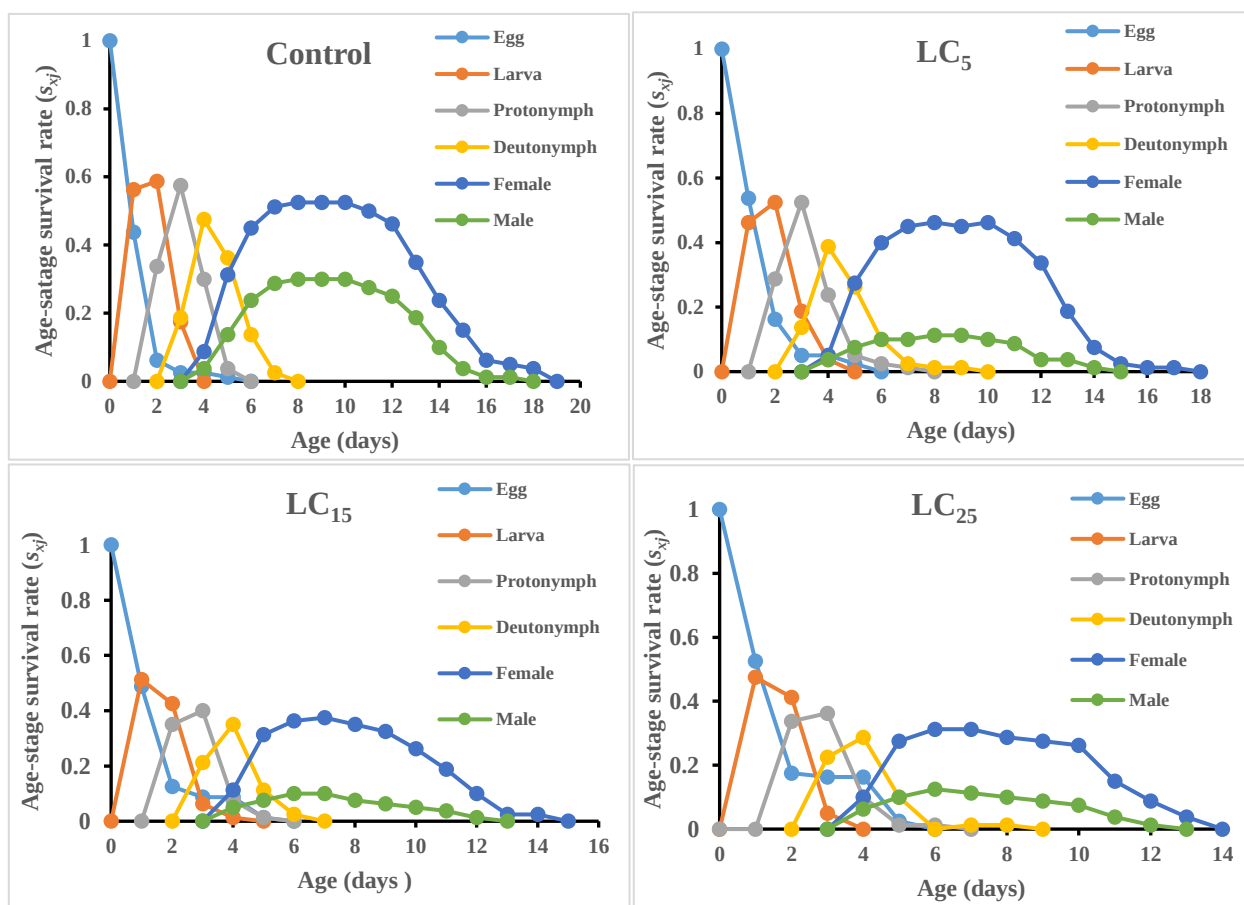


شکل 1- منحنی‌های بقای سنی (l_x) و باروری سنی (m_x) کنه *Tetranychus urticae* در تیمار شاهد و غلظت‌های زیرکشننده (LC_{25} و LC_{15} و LC_5) سیفلومتوفن.

Figure 1. Age-specific survival rate (l_x) and age-specific fecundity (m_x) of *Tetranychus urticae* in control treatment and sublethal concentrations (LC_5 , LC_{15} and LC_{25}) of cyflumetofen.

بالغ گردید. کمترین میزان بقای ویژه سن-مرحله در ماده‌ها مربوط به تیمار LC_{25} بود، به‌طوری‌که تنها حدود 31 درصد از تخم‌ها توانستند به مرحله ماده بالغ برسند. این نتایج بیانگر تأثیر منفی غلظت‌های زیرکشننده سیفلومتوفن بر بقا و رسیدن افراد به مرحله بلوغ است (شکل 2).

شکل 2 منحنی بقای ویژه سن-مرحله زیستی (s_{xj}) نتاج حاصل از کنه *T. urticae* تیمار شده با غلظت‌های زیرکشننده سیفلومتوفن و شاهد را نشان می‌دهد. به دلیل تفاوت در سرعت رشد افراد و طول دوره مراحل نابالغ، هم‌پوشانی مراحل مختلف زیستی در تمامی تیمارها مشاهده شد. مقایسه منحنی‌ها نشان داد که افزایش غلظت سیفلومتوفن موجب کاهش احتمال بقا تا مراحل



شکل 2- منحنی بقای ویژه سن-مرحله زیستی (s_{xj}) نتاج حاصل از کنه‌های *Tetranychus urticae* در تیمار شاهد و غلظت‌های زیرکشنده (LC_5 ، LC_{15} و LC_{25}) سیفلومتوفن.

Figure 2. Age-stage specific survival rate (s_{xj}) of offspring of *Tetranychus urticae* in control treatment and sublethal concentrations (LC_5 , LC_{15} and LC_{25}) of cyflumetofen.

شدند. این اثرات نشان‌دهنده وجود اختلالات فیزیولوژیک در نتیجه مواجهه با سیفلومتوفن است که احتمالاً به واسطه اختلال در زنجیره انتقال الکترون در میتوکندری رخ می‌دهد (Hayashi et al., 2013). سیفلومتوفن از گروه کنه‌کش‌های مهارکننده انتقال الکترون در میتوکندری (METI) بوده و اثر خود را از طریق اختلال در تولید انرژی سلولی اعمال می‌کند؛ بنابراین کاهش رشد، بقا و تولیدمثل مشاهده‌شده در این مطالعه با نحوه اثر اختصاصی این کنه‌کش قابل توجیه است. این ویژگی، سیفلومتوفن را از بسیاری از کنه‌کش‌های رایج با نحوه اثر متفاوت متمایز می‌سازد.

بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده، در برخی تیمارهای زیرکشنده (LC_5 و LC_{15})، افزایش مدت زمان مراحل پیش‌بالغ

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت‌های زیرکشنده کنه‌کش سیفلومتوفن اثرات معنی‌داری بر پارامترهای زیستی، تولیدمثلی و پارامترهای جمعیتی کنه تارتن دولکه‌ای (*T. urticae*) دارند. این نتایج همسو با مطالعات قبلی است که نشان داده‌اند غلظت‌های پایین‌تر از دُز کُشنده آفت‌کش‌ها می‌توانند پیامدهای زیستی مهمی بر آفات ایجاد کنند (Li et al., 2017; Saber et al., 2018; Mokhtari et al., 2022; Musa et al., 2022; Huang and Lin, 2026). در مطالعه حاضر، غلظت‌های LC_5 ، LC_{15} و LC_{25} به‌طور معنی‌داری باعث تغییر در طول مراحل نمو، کاهش طول عمر بالغین، کاهش باروری و تضعیف شاخص‌های رشد جمعیت

مشاهده شد که ممکن است ناشی از کاهش نرخ متابولیسم، تأخیر در رشد سلولی و یا اختلال در سنتز ATP باشد. در مقابل، در تیمار LC₂₅، کاهش طول عمر بالغین و کوتاه شدن چرخه زندگی نشان می‌دهد که غلظت‌های بالاتر، حتی در محدوده زیرکشنده، توانسته اند فعالیت‌های حیاتی مانند تغذیه، جفت‌گیری و تخم‌ریزی را تحت تأثیر قرار دهند. این موضوع با یافته‌های مشابه توسط Guedes and Cutler (2014) همخوانی دارد که بیان کردند برخی آفت‌کش‌ها در غلظت‌های پایین می‌توانند اثرات زیستی قابل توجهی بر آفات داشته باشند.

در بررسی پارامترهای تولیدمثلی، دوره تخم‌ریزی در تمامی تیمارها به‌طور معنی‌داری کوتاه‌تر از تیمار شاهد بود. این موضوع همراه با کاهش باروری کل از 29/97 تخم به ازای هر ماده در شاهد به 17/61 تخم در تیمار LC₂₅، گویای اثر منفی سیفلومتوفن بر توان تولیدمثلی ماده‌ها و پتانسیل زادآوری نسل‌های بعدی است. مشابه این یافته‌های حاضر، Marcic (2007) نیز در بررسی اثرات زیرکشنده اسپیرودیكلوفن بر *T. urticae* کاهش معنی‌دار باروری ماده‌ها و نرخ تخم‌ریزی را گزارش کردند. همچنین، در مطالعه‌ای مشابه، کاهش معنی‌داری در طول عمر، نرخ تخم‌ریزی و بقای ماده‌ها تحت تأثیر آفت‌کش هگزای تیاوکس گزارش شد که با نتایج پژوهش حاضر همسو است (Musa et al., 2022).

در این تحقیق، بررسی پارامترهای جمعیتی نشان داد که نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) در تمامی تیمارهای سیفلومتوفن نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشتند. همچنین، این شاخص‌ها روندی وابسته به غلظت را نشان دادند، به‌طوری‌که با افزایش غلظت از LC₅ به LC₂₅ میزان کاهش در این پارامترها بیشتر شد. این موضوع نشان‌دهنده کاهش قابلیت رشد جمعیت در نسل‌های بعدی است و از دیدگاه مدیریت جمعیت آفات اهمیت فراوانی دارد. به‌طور خاص، کاهش R_0 از 15/74 در شاهد به 5/73 در LC₂₅ حاکی از آن است که تعداد نتاج تولیدی به ازای هر ماده در شرایط مواجهه با سیفلومتوفن

به حدود یک‌سوم مقدار شاهد کاهش یافته است. همچنین، کاهش نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) از 0/286 در شاهد به 0/197 روز⁻¹ در LC₂₅ نشان می‌دهد که حتی کنه‌های زنده‌مانده پس از مواجهه با غلظت‌های زیرکشنده نیز توانایی کمتری برای افزایش جمعیت دارند. مطالعه Musa et al. (2022) بر هگزای تیاوکس و مطالعه Saber et al. (2018) بر آبامکتین نیز کاهش مشابهی را در R_0 و r گزارش کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

در حالی‌که پارامترهای مذکور دچار تغییرات معنی‌دار شدند، میانگین زمان یک نسل (T) تفاوت معنی‌داری بین تیمارها و شاهد نشان نداد، اگرچه کمترین مقدار آن در تیمار LC₁₅ با مقدار 8/58 روز کمترین مقدار ثبت شد. این موضوع نشان می‌دهد که اثر اصلی سیفلومتوفن بیشتر بر بقاء، باروری و ظرفیت رشد جمعیت اعمال شده است تا بر مدت زمان نسل. این پایداری نسبی ممکن است ناشی از آن باشد که برخی از مراحل رشدی تحت تأثیر آفت‌کش تسریع شده و برخی دیگر با تأخیر همراه بوده‌اند، به‌طوری‌که در نهایت زمان کلی یک نسل تغییر محسوسی نداشته است. همچنین، احتمال دارد کنه‌ها در شرایط تنش ناشی از مواجهه با آفت‌کش، با تغییر در الگوی رشد یا تخم‌گذاری، بخشی از اثرات منفی واردا شده را جبران کنند؛ هرچند این امر می‌تواند با کاهش کیفیت یا تعداد نتاج همراه باشد. روندهای مشابهی در مطالعات جدول زندگی، از جمله Huang and Chi (2013) نیز گزارش شده است.

منحنی‌های بقای وابسته به سن (l_x) و باروری سنی (m_x) نیز نشان دادند که در تیمارهای سیفلومتوفن، مدت‌زمان باروری کوتاه‌تر از شاهد بوده و بقاء ماده‌ها کاهش یافته است. همچنین، اوج باروری نیز در دوزهای بالاتر زودتر اتفاق افتاد، اما شدت آن کمتر بود. این نتایج بیانگر آن است که مواجهه با سیفلومتوفن موجب تغییر در الگوی زمانی زادآوری و کاهش ظرفیت تولیدمثلی کنه‌ها شده است. چنین تغییری در منحنی‌های باروری و بقای مرحله‌ای (s_{xj}) نیز قابل مشاهده بود و در تیمار LC₂₅ کمترین میزان بقاء ماده‌ها تا مرحله بلوغ مشاهده شد.

مدیریت تلفیقی آفات (IPM) ایجاد می‌کند. بنابراین، استفاده از سیفلومتوفن می‌تواند علاوه بر کنترل مستقیم آفت، از طریق اثرات زیرکشنده نیز در کاهش تدریجی جمعیت *T. urticae* و کاهش وابستگی به مصرف مکرر سموم نقش مؤثری ایفا نماید.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه تهران جهت حمایت مالی از این پایان نامه سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از سرکار خانم دکتر فرحناز جهانشاهی افشار جهت همکاری در بازمینی علمی و ویرایش نگارشی مقاله صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- AKKÖPRÜ, E. P., R. ATLIHAN, H. OKUT and H. CHI, 2015. Demographic assessment of plant cultivar resistance to insect pests: A case study of the dusky-veined walnut aphid (*Panaphis juglandis*). *Journal of Economic Entomology*, 108(1): 378–387. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tou011>
- CHI, H. 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rate among individuals. *Environmental Entomology*, 17(1): 26–34. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26>
- CHI, H. 2016. TWSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. DOI: 10.5281/zenodo.7482167
- CHI, H. and H. LIU, 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 24(2): 225–240.
- DEMAEGHT, P., W. DERMAUW, D. TSAKIRELI, J. KHAJEHALI, R. NAUEN, L. TIRRY, J. VONTAS, P. LÜMMEN and T. VAN LEEUWEN, 2013. Molecular analysis of resistance to acaricidal spirocyclic tetrone acids in *Tetranychus urticae*: CYP392E10 metabolizes spiroticlofen, but not its corresponding enol. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 43(6): 544–554. DOI: 10.1016/j.ibmb.2013.03.007
- EFRON, B. and R. J. TIBSHIRANI, 1993. An introduction to the bootstrap. Chapman and Hall, New York, 465 pp.
- FINNEY, D. J. 1971. Probit analysis, 3rd edn. Cambridge University Press, London, 383 pp.
- GUEDES, R. N. C. and G. C. CUTLER, 2014. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. *Pest Management Science*, 70(5), 690–697. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3669>
- HELLE, W. and W. P. J. OVERMEER, 1985. Toxicological test methods. In: W. Helle and M.W. Sabelis (eds), Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control. Vol. 1A. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokio. pp.391–395.
- HUANG, Y. B. and H. CHI, 2013. Life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): With an invalidation of the jackknife technique. *Journal of Applied Entomology*, 137(5): 327–339. DOI: 10.1111/jen.12002
- HUANG, A. and M. Y. LIN, 2026. Sublethal and transgenerational effects of spiroticlofen and cyenopyrafen on the life-history traits and population parameters of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Pest Management Science*, 82(2): 1518–1531. DOI: 10.1002/ps.70301
- HAYASHI, N., Y. SASAMA, N. TAKAHASHI and N. IKEMI, 2013. Cyflumetofen, a novel acaricide—its mode of action and selectivity. *Pest Management Science*, 69(9):1080–1084. DOI: 10.1002/ps.3470
- LI, Y. Y., X. Fan, G. H. ZHANG, Y. Q. LIU, H.Q. CHEN, H. LIU and J. J. WANG, 2017. Sublethal effects of bifentazate on life history and population parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Systematic and Applied Acarology*, 22(1): 148–158. DOI: 10.11158/saa.22.1.15
- MARCIC, D. 2007. Sublethal effects of spiroticlofen on life history and life-table parameters of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*). *Experimental and Applied Acarology*, 42(2): 121–129. DOI: 10.1007/s10493-007-9082-1
- MOKHTARI, B., M. SABER, G. R. MAHDAVINIA and S. IRANIPOUR, 2022. Lethal and sublethal impacts of cyflumetofen and bromopropylate on *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Persian Journal of Acarology*, 11(3): 531–543. DOI: 10.22073/pja.v11i3.74283
- MUSA, A., I. MEDO, I. MARIĆ and D. MARČIĆ, 2022. Transovarial toxicity matters: lethal and sublethal effects of hexythiazox on the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 87(2): 175–194. DOI: 10.1007/s10493-022-00733-8

- SABER, M., Z. AHMADI and G. MAHDAVINIA, 2018. Sublethal effects of spiroticlofen, abamectin and pyridaben on life-history traits and life-table parameters of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 75: 55–67. DOI: 10.1007/s10493-018-0226-2
- VAN LEEUWEN, T., J. VONTAS, A. TSAGKARAKOU, W. DERMAUW and L. TIRRY, 2010. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: A review. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 40(8): 563–572. DOI: 10.1016/j.ibmb.2010.05.008
- VAN LEEUWEN, T., L. TIRRY, A. YAMAMOTO, R. NAUEN and W. DERMAUW, 2015b. The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121: 12–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.12.009>