

مقاله تحقیقی

پراسنجه‌های زیستی و جدول زندگی دو جنسی سن - مرحله زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa* با تغذیه از پوره‌های سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* روی سه محصول مهم گلخانه‌ایمحمد رضا باقری^۱، مهدی حسن پور^۲، علی گلی زاده^۲، شهرام فرخی^۳^۱-استادیار، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، بخش تحقیقات گیاه پزشکی، اصفهان، ایران.^۲-استاد، استاد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه گیاه پزشکی، اردبیل، ایران.^۳-دانشیار، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک، تهران، ایران.

مسئول مکاتبات: محمد رضا باقری، ایمیل: bagheri_mr@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵

۹۷-۷۹ (۱) ۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۲

چکیده

سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* یکی از مهم‌ترین آفات محصولات گلخانه‌ای در سراسر دنیا می‌باشد. در این پژوهش، زیست‌شناسی و جدول زندگی دوجنسی سن - مرحله زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa* روی پوره‌های سن دوم این آفت روی سه محصول مهم گلخانه‌ای شامل بادمجان (*Solanum melongena*)، خیار (*Cucumis sativus*) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) در دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 10 درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی: روشنایی) مورد بررسی قرار گرفت. میانگین‌ها و خطای معیار بر اساس روش بوت‌استرپ با یک‌صد هزار تکرار محاسبه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بین میانگین ویژگی‌های زیستی و بین میانگین پراسنجه‌های رشد جمعیت پارازیتوئید روی سه گیاه میزبان تفاوت معنی‌دار وجود داشت. مدت زمان نشوونمای مراحل نابالغ (از تخم تا ظهور حشرات بالغ) در سه گیاه میزبان یاد شده به ترتیب $17/77 \pm 0/18$ ، $15/67 \pm 0/13$ و $14/97 \pm 0/13$ روز، طول عمر حشرات بالغ ماده به ترتیب $20/21 \pm 1/03$ ، $24/64 \pm 1/36$ و $19/03 \pm 0/69$ روز و میانگین تعداد تخم گذاشته شده توسط هر حشره ماده در طول زندگی به ترتیب $129/38 \pm 4/95$ ، $104/24 \pm 3/67$ و $166/16 \pm 6/31$ به دست آمد. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) آفت روی بادمجان، خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب $0/198 \pm 0/004$ ، $0/208 \pm 0/004$ و $0/239 \pm 0/004$ (بر روز) و نرخ خالص تولید مثل (RO) به ترتیب $109/98 \pm 9/44$ ، $92/97 \pm 6/57$ و $142/29 \pm 11/08$ (نتاج) محاسبه شد. در مجموع، در میان گیاهان آزمایش شده، گوجه‌فرنگی مناسب‌ترین گیاه میزبان بود و *E. formosa* در این گیاه از رشد سریع‌تر و تولیدمثل بالاتری نسبت به دو گیاه دیگر برخوردار بود. این یافته‌ها نشان می‌دهند که گونه گیاه میزبان به‌طور قابل توجهی بر عملکرد زنبور *E. formosa* تأثیرگذار است و باید در برنامه‌ریزی راهبردهای کنترل زیستی علیه *T. vaporariorum* در سامانه‌های کشت گلخانه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: *Encarsia formosa*، جدول زندگی دوجنسی سن - مرحله، سفیدبالک گلخانه، گیاه میزبان، پراسنجه‌های رشد جمعیت.

مقدمه

اقتصادی یکی از مهم‌ترین گونه‌های سفیدبالک‌ها است و

تخمین زده می‌شود روی ۸۵۹ گونه از ۱۲۱ تیره گیاهی

فعالیت داشته باشد (Manzari & Fathipour, 2021). زنبور

سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

(Hemiptera: Aleyrodidae) (Westwood) از نظر

مطالعات جدول زندگی یک مسئله‌ی بنیادی در اکولوژی جمعیت است. جدول زندگی شرح کاملی از بقا، رشد، تفاوت مراحل و تولیدمثل یک جمعیت را نشان می‌دهد. برآورد پراسنجه‌های رشد جمعیت و تعیین افزایش یا کاهش جمعیت در مطالعه‌ی دینامیسم جمعیت حشرات بسیار ضروری است. در واقع جداول زندگی زادآوری پتانسیل تولیدمثلی حشرات ماده را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهند. در این جداول زنده‌مانی، تعداد تخم‌های گذاشته شده هر فرد ماده در هر روز تا زمان مرگ هر یک از افراد هم‌زاد مشخص است. از چنین جداولی می‌توان برای توصیف زمان نشوونما و نرخ زنده‌مانی در هر مرحله‌ی رشدی، پیش‌بینی اندازه جمعیت یک حشره و ساختار سنی آن در یک زمان مشخص استفاده کرد (Southwood & Henderson, 2009).

پراسنجه‌هایی که از جدول زندگی زادآوری برآورد می‌شوند، شامل نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، متوسط مدت زمان یک نسل (T) و مدت زمان دو برابر شدن جمعیت (DT)، نرخ ذاتی تولد (b) و نرخ ذاتی مرگ (d) است. محاسبه‌ی این پراسنجه‌ها برای تعیین وضعیت یک آفت و دشمن طبیعی آن و نیز برای مقایسه‌ی واکنش گونه‌های مختلف نسبت به شرایط محیطی متفاوت مهم و ضروری است (Carey, 1993). نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) بیانگر تعداد افراد ماده‌ی اضافه شده به جمعیت به ازای هر فرد ماده در هر روز است و در حقیقت نرخ رشد سرانه جمعیت بوده و به عنوان یک پراسنجه مقایسه‌ای برای مشخص کردن اثر تیمارهای مختلف از جمله کیفیت و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گیاه میزبان روی ظرفیت تولیدمثلی حشره استفاده می‌شود. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) نشان می‌دهد که جمعیت در هر روز نسبت به روز قبل چند برابر می‌شود. نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR) مجموع تعداد نتاج تولید شده به ازای هر فرد ماده در طول عمر آن است. در این پراسنجه نرخ بقا در نظر گرفته نمی‌شود. در صورتی که نرخ بقا در نظر گرفته شود نرخ خالص تولیدمثل (R_0) به دست می‌آید. میانگین طول یک

پارازیتوئید *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) در سراسر جهان برای کنترل سفیدبالک‌ها در محصولات گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده تجاری از این پارازیتوئید در اروپا در دهه ۱۹۲۰ آغاز شد، اما در سال ۱۹۴۵ به علت پیدایش آفت‌کش‌ها علاقه به استفاده از آن از بین رفت (van Lenteren & Woets, 1988). بعد از سال ۱۹۷۰ استفاده از این پارازیتوئید در اروپا مجدداً شروع شد و از ۱۰۰ هکتار به ۴۸۰۰ هکتار محصولات گلخانه‌ای در سال ۱۹۹۳ رسید (van Lenteren, 1995).

جنس *Encarsia* شامل ۳۴۳ گونه‌ی شناخته شده می‌باشد (Heraty et al., 2008) که در بیشتر آن‌ها ماده‌ها بصورت پارازیتوئید اولیه با تخم‌های دیپلوئیدی که در پوره‌های سفیدبالک گذاشته می‌شود، رشد می‌یابند. محصولات گلخانه‌ای اصلی که در آن‌ها از *E. formosa* استفاده می‌شود، شامل گوجه‌فرنگی، خیار و به میزان کمتری بادمجان، توت فرنگی، ژربرا، بنت‌قسول و همیشه بهار است (Hoddle et al., 1998a). زنبور *E. formosa* حداقل ۱۵ میزبان در هشت جنس از سفیدبالک‌ها را پارازیت می‌کند (Schauff et al., 1996). زنبور *E. formosa* یک پارازیتوئید داخلی انفرادی، با بکرزایی ماده‌زایی، synovigenic (نوعی از تولیدمثل است که در آن تخم‌ها به تدریج و در طول عمر حشره‌ی ماده رشد می‌یابند) (Hoddle et al., 1998a) و anautogenous (حشراتی که ماده‌ها هنگام ظهور دارای تخم رسیده در تخمدان‌های خود نیستند و باید حتماً قبل از تولید تخم تغذیه کنند) (Qui et al., 2004) است. افراد نر در این گونه بسیار نادر است و احتمالاً در تولیدمثل نقشی ندارند. افراد ماده انرژی مورد نیاز خود را با تغذیه از همولنف میزبان و عسلک به دست می‌آورند و برای این کار از تمام مراحل سنی *T. vaporariorum* تغذیه می‌کنند، اما سن دوم پورگی و مرحله شفیرگی را ترجیح می‌دهند. برای پارازیتسم، پوره‌های سنین سوم و چهارم ارجحیت دارند (Neill et al., 1976; Hoddle et al., 1998a; Hu et al., 2002; Qui et al., 2004; Grille et al., 2012).

حساسیت‌های آفات به عوامل بیوکنترل و حشره‌کش‌ها متفاوت است، جدول زندگی سنی - مرحله دوجنسی می‌تواند در تنظیم کاربرد عوامل مذکور در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات سودمند باشد (Chi, 1990). تاکنون جدول زندگی دوجنسی سن - مرحله برای توصیف پراسنجه‌های زیستی گونه‌های زیادی مورد استفاده قرار گرفته است (Rounagh & Samih, 2014; Yu et al., 2005; Atlihan & Chi, 2008; Kavousi et al., 2009; Farhadi et al., 2011; Hassanpour et al., 2016; Bagheri et al., 2022). همچنین تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر پراسنجه‌های زیستی سفیدبالک گلخانه *T. vaporariorum* (Hosseini et al., 2015) و تأثیر قارچ *Lecanicillium longisporum* بر پراسنجه‌های زیستی زنبور پارازیتوئید *E. formosa* (Fazeli- Dinan et al., 2012) با استفاده از جدول زندگی دوجنسی سن - مرحله بررسی شده است. همچنین Zhao et al., 2021 امکان استفاده از گیاه یا کون (Smallanthus sanchifolius Poeppig & Endlicher) به عنوان یک گیاه میزبان جایگزین برای تولید زنبور پارازیتوئید *E. formosa* روی سفیدبالک گلخانه *T. vaporariorum* را با استفاده از روش جدول زندگی دوجنسی بررسی کردند. در تحقیق حاضر روش جدول زندگی دوجنسی سن - مرحله برای مطالعه پراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیت زنبور پارازیتوئید *E. formosa* در تغذیه از سفیدبالک گلخانه *T. vaporariorum* روی سه گیاه میزبان که به‌طور گسترده در گلخانه‌های تجاری کشت و کار می‌شوند، مورد استفاده قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، بخش تحقیقات گیاه پزشکی انجام شد. پرورش گیاهان میزبان در گلخانه‌های تحقیقاتی در دمای 25 ± 5 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و شرایط نوری طبیعی، بدون کاربرد هیچ‌گونه حشره‌کشی صورت گرفت. حشرات در اتاق‌های حرارت ثابت در دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی:

نسل (T) در حقیقت مدت زمانی است که طول می‌کشد تا جمعیت R_0 برابر شود (Carey, 1993). در این جداول تعداد مشخصی از افراد هم‌زاد از زمان تولد تا مرگ آخرین فرد به صورت روزانه تعقیب شده و بقا و زادآوری آن‌ها روزانه ثبت شده و در نهایت پراسنجه‌های رشد جمعیت محاسبه می‌شود (Andrewartha & Birch, 1954).

جدول زندگی سن - مرحله دو جنسی

تغییرات در نرخ رشد، یک پدیده عمومی در زیست‌شناسی موجودات زنده است و نادیده گرفتن این تغییرات منجر به تغییراتی در منحنی‌های بقا و زادآوری می‌شود. همچنین این تغییرات در دقت جداول زندگی تأثیرگذار هستند (Chi, 1988). به دلیل این که جداول زندگی ویژه سنی ماده، صرفاً با جمعیت‌های ماده سروکار داشته و روی بقا و زادآوری جمعیت ماده منعکس می‌شود و جمعیت نر و نیز تفاوت مراحل را نادیده می‌گیرد، ممکن است خطاهایی در محاسبات و منحنی‌های بقا و زادآوری به وجود آید. همچنین اغلب حشرات، اعم از آفات اقتصادی و دشمنان طبیعی آن‌ها دارای جنس‌های نر و ماده بوده و هر دو جنس ممکن است (در مورد آفات) باعث خسارت اقتصادی شده، یا (در مورد دشمنان طبیعی) از آفات تغذیه کنند. علاوه بر تفاوت در نرخ رشد، بین جنس‌ها و افراد نیز تفاوت‌هایی وجود دارد. به منظور در نظر گرفتن هر دو جنس و تغییرات نرخ رشد بین افراد، بعضی اکولوژیست‌ها توصیه کرده‌اند جدول زندگی سنی - مرحله دوجنسی مورد استفاده قرار گیرد (Chi, 1988; Chi & Su, 2006).

فوائد تهیه جدول زندگی سنی - مرحله‌ی دوجنسی به شرح زیر است:

این جدول زندگی تغییرات نرخ رشد را در بین افراد مد نظر قرار می‌دهد. در جدول زندگی دوجنسی، با کل جمعیت (نر و ماده و افرادی که قبل از رسیدن به مرحله حشره کامل می‌میرند) سروکار داریم و در مطالعات شبیه‌سازی، کل جمعیت برای تکمیل توزیع مرحله سنی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chi, 1988). به دلیل این که مراحل سنی آفات و دشمنان طبیعی دارای خصوصیات رفتاری متفاوتی بوده و

به ابعاد $۱۱۰ \times ۷۰ \times ۶۰$ سانتی‌متر که با پارچه توری ظریف پوشانده شده بودند، روی گیاه توتون (*Nicotiana tabacum* L.) آلوده به سفیدبالک گلخانه *T. vaporariorum* تکثیر شد.

مطالعه پراسنجه‌های زیستی و جدول زندگی زنبور پارازیتوئید *E. formosa*

برای ایجاد کلنی زنبور پارازیتوئید روی سه گیاه مورد مطالعه، ابتدا کلنی‌های سفیدبالک گلخانه بطور مجزا روی سه گیاه مورد نظر ایجاد، سپس زنبورهای پارازیتوئید پرورش یافته روی گیاه تنباکو به کلنی‌های سفیدبالک در این گیاهان منتقل و تکثیر شد (شکل ۱) (Bethke et al., 1991). برای ایجاد یک گروه هم‌سن از زنبور پارازیتوئید، گلدان‌های دارای گیاهچه‌های هشت تا ده برگی از هر سه گیاه میزبان آلوده به پوره‌های سن سوم سفیدبالک گلخانه انتخاب و برگ‌ها با قفس‌های لیوانی محصور شد. در هر قفس تعداد ۱۰ تا ۱۵ عدد زنبور *E. formosa* با عمر کمتر از ۳ روز که برای حداقل دو نسل روی همان میزبان پرورش یافته بود، رهاسازی شد (Qui et al., 2004) (با اندکی تغییرات).

پس از ۱۲ ساعت، زنبورهای بالغ حذف و گلدان‌ها در اتاق‌های حرارت ثابت قرار داده شد. پس از حذف پوره‌های سالم یا کشته شده به علت میزبان‌خواری، در گوجه‌فرنگی ۴۰، در خیار ۴۲ و در بادمجان ۵۰ پوره پارازیت شده انتخاب و هر ۲۴ ساعت یکبار ضمن بازدید، روند نشوونمای زنبور در آن‌ها بررسی و ثبت شد. از آنجا که مشاهده تخم زنبور داخل بدن میزبان تقریباً غیرممکن است (van Roermund & van Lenteren, 1995a) و از سوی دیگر دستکاری میزبان سبب مرگ پارازیتوئید می‌شود، دوره پیش از بلوغ پارازیتوئید به دو مرحله سفید و سیاه تقسیم و پراسنجه‌های مورد نظر در مراحل مذکور اندازه‌گیری شد (Zandi, 2012). مرحله سفید شامل مجموع دوره نشوونمای تخم و سه سن لاروی است، درحالی‌که مرحله سیاه تنها شامل دوره شفیرگی پارازیتوئید می‌باشد. زنبور *E. formosa* پوره‌های

روشنایی و رطوبت نسبی ۶۵ ± ۱۰ درصد پرورش داده شدند. آزمایش‌ها در شرایط دمایی، رطوبتی و دوره نوری مذکور داخل اتاقک رشد در آزمایشگاه حشره‌شناسی انجام شد.

پرورش گیاهان میزبان

بذور خیار (*Cucumis sativus* L.) رقم Ever green، گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) رقم Hilario و بادمجان (*Solanum melongena* L.) رقم Lango در گلدان‌های پلاستیکی کوچک (۱۰×۵ سانتی‌متر) حاوی پیت ماس کاشته و گیاهچه‌ها تا زمان استفاده در آزمایش‌ها در اتاقک‌های رشد، بدون کاربرد هیچ‌گونه آفت‌کشی نگهداری شدند. آبیاری گلدان‌ها هر ۳-۴ روز یکبار انجام شد. تعدادی از گیاهچه‌ها برای ایجاد کلنی حشرات به گلدان‌های بزرگتر (۲۰×۱۲ سانتی‌متر) حاوی خاک استریل مخلوط با خاک برگ در قفس‌های توری با مش ۵۰ به ابعاد $۱۱۰ \times ۷۰ \times ۶۰$ سانتی‌متر منتقل و برای بهبود رشد بوته‌ها از محلول غذایی (Kristalon™) (N.P.K 18-18+TE) به نسبت یک در هزار استفاده شد. همچنین برای افزایش سطح گیاه میزبان زمانی که ارتفاع بوته‌ها به حدود ۲۵ سانتی‌متری رسید، جوانه‌ی انتهایی آن‌ها قطع شد. بقیه گیاهچه‌ها برای انجام آزمایش‌ها استفاده شدند.

ایجاد کلنی و پرورش حشرات

سفیدبالک گلخانه، *T. vaporariorum*، از گلخانه‌های تجاری استان اصفهان جمع‌آوری و پس از تأیید گونه توسط مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور و اطمینان از صحت گونه مورد نظر، در قفس‌های فلزی به ابعاد $۱۱۰ \times ۷۰ \times ۶۰$ سانتی‌متر که با پارچه توری ظریف پوشانده شده بودند، روی هر کدام از میزبان‌های گیاهی به‌طور جداگانه پرورش داده شد.

برای ایجاد کلنی پارازیتوئید، نمونه‌هایی از زنبور *E. formosa* (نژاد Dutch) از شرکت گیاه‌بذر الوند، نمایندگی شرکت Koppert هلند در ایران، تهیه و در قفس‌های فلزی

& van Lenteren, 1995a; Zang & Liu, 2008).

اواخر سن سوم یا ابتدای سن چهارم سفیدبالک را برای تخم گذاری به سایر سنن ترجیح می دهد (van Roermund



شکل ۱- رهاسازی زنبور *Encarsia formosa* روی پوره های سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* در سه میزبان گیاهی بادمجان (راست)، خیار (وسط) و گوجه فرنگی (چپ) برای مطالعه جدول زندگی (اصل).

Fig. 1. Release of *Encarsia formosa* wasp on nymphs of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on three plant hosts: eggplant (right), cucumber (middle), and tomato (left) for life table study (original).

روز چهارم مردند به عنوان تلفات ناشی از میزبان خواری در نظر گرفته شد. بدن سایر پوره های سفیدبالک در زیر استریومیکروسکوپ برای یافتن لارو زنبور شکافته شد. از آنجا که زنبور *E. formosa* یک پارازیتوئید انفرادی است که در بدن هر میزبان یک تخم می گذارد (Kajita & van Lenteren, 1982) و با کارایی ۱۰۰٪ از "خود-سوپرپارازیتسم" اجتناب می کند (van Roermund & van Lenteren, 1995a) برای تمام تیمارها وجود هر لارو زنبور به عنوان یک تخم در نظر گرفته شد.

تجزیه داده ها

وقایع روزانه تمام افراد از تولد تا مرگ شامل زمان زیستی تمام مراحل (تخم، پوره و حشره کامل)، جنسیت افراد (ماده و افرادی که قبل از بلوغ مرده بودند) و زادآوری روزانه داده ها در نرم افزار Notepad ثبت و بر اساس مدل جدول زندگی دوجنسی سن - مرحله (Chi, 1998) و با استفاده از نرم افزار TWOSEX-MSChart (version 2015.002) تجزیه شد (Chi, 2015).

نرخ زنده ماننی ویژه سن (l_x)، نرخ زنده ماننی ویژه سن - مرحله (s_{xj}) (که در آن x و j به ترتیب بیانگر سن و مرحله

لذا برای بررسی تعداد تخم گذاشته شده توسط حشره ماده پارازیتوئید، بر اساس آزمایش های مقدماتی، دیسک های برگگی به قطر حدود ۱۰ سانتی متر مربع دارای حدود ۴۰ عدد پوره سنن سوم و چهارم سفیدبالک (Dai et al., 2014) در ظروف پتری با قطر ۶ سانتی متر، حاوی یک لایه آگار ۲ درصد به ضخامت حدود ۲ میلی متر قرار داده شد. از آنجا که این حشره دارای رفتار تولیدمثلی بکرزایی ماده زایی است و افراد نر در آن ها بسیار کمیاب است (Hoddle et al., 1998a) به هر ظرف پتری یک عدد زنبور پارازیتوئید اضافه و ظروف پتری روزانه تعویض و تعداد پوره های پارازیته شمارش شد. ظروف مذکور به مدت یک هفته، یعنی زمان ورود لارو زنبور به سن سوم در شرایط آزمایش نگهداری شدند. افرادی که در اثر رفتار میزبان خواری توسط پارازیتوئید کشته شده بودند، شمارش و تعداد افراد پارازیته شده نیز به تفکیک مشخص گردید. از آنجا که دوره جنینی تخم زنبور *E. formosa* چهار روز است (Hu et al., 2002) پس از کسر میانگین تلفات پوره های سفیدبالک در ظروف شاهد (van Lenteren et al., 1987; Shishehbor & Brennan, 1995b)، تمام پوره های سفیدبالک، که تا قبل از

گیاهی متفاوت و دارای اختلاف معنی‌دار است. مرحله‌ی سفید در گوجه‌فرنگی 0.8 ± 0.39 روز طول کشید که با مقدار متناظر در بادمجان (0.932 to 1.548) و خیار (0.866 to 1.388) دارای اختلاف معنی‌دار بود. اگرچه طول مرحله سفید در خیار از مقدار متناظر روی بادمجان اندکی کوتاه‌تر بود ولی این اختلاف معنی‌دار نبود (-0.217 to 0.443). طول مرحله سیاه در خیار (0.11 ± 0.15 روز) از گوجه‌فرنگی (0.14 ± 0.07 روز) و بادمجان (0.243 to 0.926) و بادمجان (0.12 ± 0.09 روز) (1.566 to 2.184) کوتاه‌تر و با آن‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود. اختلاف طول این دوره در بادمجان و گوجه‌فرنگی نیز دارای اختلاف معنی‌دار بود (0.936 to 1.645) (جدول ۱). طولانی‌ترین دوره پیش از بلوغ زنبور در بادمجان با 0.18 ± 0.17 روز ثبت شد. طول این دوره در بادمجان با مقدار متناظر در گوجه‌فرنگی (1.510 to 2.427) و خیار (1.510 to 2.427) دارای اختلاف معنی‌دار بود. طول دوره‌ی پیش از بلوغ زنبور *E. formosa* در گوجه‌فرنگی 0.13 ± 0.14 روز و در خیار 0.15 ± 0.07 روز بود که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (0.149 to 0.910) (جدول ۱).

نوع گیاه میزبان روی طول عمر حشرات ماده زنبور *E. formosa* تأثیر معنی‌داری داشت. طولانی‌ترین طول عمر حشرات ماده در گیاه خیار به ثبت رسید (0.36 ± 0.24 روز) که با طول این دوره در گیاه بادمجان (0.03 ± 0.21 روز) و گوجه‌فرنگی (0.69 ± 0.19 روز) (0.743 to 7.451) و گوجه‌فرنگی (1.693 to 7.663) دارای اختلاف معنی‌دار بود. تفاوت طول عمر زنبور پارازیتوئید بالغ در گوجه‌فرنگی و بادمجان معنی‌دار نبود (-1.842 to 3.004) (جدول ۱).

علیرغم تأثیر معنی‌دار گیاهان میزبان بر طول دوره‌ی پیش از بلوغ و طول عمر حشرات بالغ پارازیتوئید، اختلاف در طول دوره زندگی حشره (شامل افرادی که به مرحله‌ی بلوغ رسیدند و آن‌هایی که پیش از بلوغ مردند) معنی‌دار نبود (جدول ۲) که می‌تواند به علت طولانی‌تر بودن دوره‌ی پیش از بلوغ در بادمجان و بیشتر بودن طول عمر حشره بالغ در خیار

زیستی است)، باروری ویژه سن - مرحله (f_{xj})، زادآوری ویژه سن (m_x) و پراسنجه‌های رشد جمعیت شامل نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR)، میانگین مدت زمان نسل (T) و مدت زمان دو برابر شدن جمعیت (DT) طبق روابط مربوطه محاسبه شدند (Chi, 1988).

پراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) بر اساس معادله اوایلر - لوتکا ($\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$) برآورد شد (Goodman, 1982). برای تکراردار کردن پراسنجه‌ها از روش Bootstrap با یک‌صد هزار تکرار استفاده شد و میانگین‌ها و خطای معیار (SE) محاسبه و میانگین‌ها بر اساس محدوده اطمینان (Confidence Interval (CI)) با ۹۵٪ استفاده از آزمون Bootstrap جفت شده در برنامه TWOSEX-MSChart (version 2015.002) (Efron & Tibshirani, 1993; Smucker et al., 2007; Akca et al., 2015). منحنی‌ها و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار SigmaPlot 12.0 (Systat software Inc.) رسم شدند.

با توجه به این که داده‌های به‌دست آمده از آزمایش تعیین عناصر گیاه نرمال نبودند (آزمون کولموگروف-اسمیرنوف)، ابتدا داده‌ها با استفاده از رابطه‌ی $\text{Arcsin}(x/100)$ تبدیل و سپس در قالب طرح کاملاً تصادفی در بسته نرم‌افزاری SAS v. 9.1 (SAS Institute Inc. 2004) تجزیه شده و میانگین‌ها بر اساس آزمون توکی با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

الف) پراسنجه‌های زیستی و جدول زندگی

میانگین طول دوره‌های مراحل مختلف زیستی زنبور *E. formosa* روی سفیدبالک گلخانه، *T. vaporariorum* در سه میزبان گیاهی مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. تجزیه داده‌ها نشان داد که طول مراحل مختلف زیستی سفید (شامل دوره‌ی نشوونمای تخم و سه سن لاروی)، سیاه (دوره‌ی شفیرگی) و دوره‌ی پیش از بلوغ حشره در ۳ میزبان

و پایین‌تر بودن نرخ مرگ‌ومیر مرحله پیش از بلوغ در گوجه‌فرنگی نسبت به دو میزبان دیگر باشد.

جدول ۱- طول دوره نشوونمای مراحل مختلف زیستی زنبور *Encarsia formosa* پارازیتوئید سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* روی سه گیاه میزبان مختلف (n: تعداد افراد).

Table 1. Developmental duration of different life stages of *Encarsia formosa* females parasitizing the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on three different host plants (n: number of individuals).

Life stages (Day)	Eggplant		Cucumber		Tomato	
	Mean± SE	n	Mean± SE	n	Mean± SE	n
White stage	8.57±0.13 a	36	8.51±0.10 a	34	7.39 ±0.08 b	32
Black stage	9.21±0.12 a	32	7.15±0.11 c	32	7.57±0.14 b	31
Pre-adult period	17.77±0.18 a	32	15.67±0.15 b	32	14.97±0.13 c	31
Female Longevity	20.21±1.03 b	32	24.64±1.36 a	32	19.03±0.69 b	31

Means followed by the same letters in each row are not significantly different (Paired bootstrap test, $P < 0.05$).

طول دوره زندگی حشرات ماده (از تولد تا مرگ) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر گیاهان میزبان قرار داشت. طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین دوره زندگی حشرات ماده به ترتیب در گیاهان خیار (۴۰/۳۰ ± ۱/۳۱ روز) و گوجه‌فرنگی (۳۴/۰ ± ۰/۷۰ روز) مشاهده شد. طول این دوره در بادمجان (۳۷/۱ ± ۹۷/۰۴ روز) با مقدار متناظر در خیار فاقد اختلاف معنی‌دار (CI: -1.150 to 5.406) و با گوجه‌فرنگی دارای اختلاف معنی‌دار بود (CI: 0.626 to 5.533) (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین طول دوره‌های زندگی و زادآوری زنبور *Encarsia formosa* روی سفیدبالک گلخانه، *Trialeurodes vaporariorum* در سه میزبان گیاهی مختلف.

Table 2. Mean values of life span and reproductive periods of *Encarsia formosa* female on the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, on three different host plants.

Parameter	Tomato		Cucumber		Eggplant	
	n	Mean ± SE	n	Mean ± SE	n	Mean ± SE
Life span duration (day)	35	30.40 ± 1.553 a	37	37.108 ± 2.080 a	40	34.15 ± 1.850 a
Adult life span (day)	31	34 ± 0.700 b	32	40.303 ± 1.307 a	32	37.971 ± 1.039 a
Adult pre-oviposition period (day)*	31	0.161 ± 0.707 a	32	0.156 ± 0.606 a	32	0.188 ± 0.707 a
Total pre-oviposition period (day)**	31	15.22 ± 0.516 c	32	15.76 ± 0.616 b	32	17.75 ± 0.721 a
Oviposition period (day)	31	14.03 ± 0.355 ab	32	15.82 ± 0.660 a	32	13.29 ± 0.559 b
Fecundity (eggs per female)	31	166.16 ± 6.31 a	32	104.24 ± 3.67 c	32	129.38 ± 4.95 b
Host feeding (nymphs consumed)	31	19.54 ± 0.85 a	32	18.19 ± 1.22 ab	32	15.54 ± 0.78 b
Pre-adult Survival Rate (%)	35	0.89 ± 0.05 a	37	0.87 ± 0.06 a	40	0.80 ± 0.06 a

Notes: Means with different letters in each row are significantly different ($P < 0.05$).

*: APOP; **: TPOP

بالاترین نرخ مرگ و میر مراحل پیش از بلوغ زنبور پارازیتوئید *E. formosa* در بادمجان به ثبت رسید، هر چند که اختلاف نرخ زنده‌مانی دوره پیش از بلوغ پارازیتوئید در میزبان‌های گیاهی مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۲). گیاهان میزبان روی زادآوری زنبور پارازیتوئید *E. formosa* نیز تأثیر معنی‌داری داشتند و از این نظر در سه گروه جداگانه قرار گرفتند (جدول ۲). بیشترین و کمترین نرخ زادآوری زنبور به ترتیب با ۱۶۶/۱۶ ± ۶/۳۱ و ۱۰۴/۳ ± ۲۴/۶۷ تخم بر ماده در گیاهان گوجه‌فرنگی و خیار ثبت شد (CI: 61.201 to 89.750). زنبور پارازیتوئید *E. formosa* چند ساعت پس از خروج از پوسته شفیرگی قادر به تخم‌گذاری است. در تحقیق حاضر دوره پیش از تخم‌گذاری ماده‌های بالغ پارازیتوئید (APOP) در بادمجان، خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۰/۱۸۸ ± ۰/۷۰۷،

گیاهی مذکور به ترتیب در روزهای هفتم (۶/۳۸)، هشتم (۶/۹۴) و نهم (۸/۰۰) زندگی ثبت شد. حداکثر مقدار پراسنجه مذکور در مرحله سیاه در سه میزبان یاد شده به ترتیب در روزهای پانزدهم (۴۰/۶۹)، شانزدهم (۲۶/۳۴) و هیجدهم (۳۷/۶۹) به دست آمد. در زمان ظهور حشره کامل ماده، ارزش تولیدمثلی به طور معنی داری افزایش یافت و در گوجه‌فرنگی به ۵۴/۲۸، در خیار به ۳۶/۴۶ و در بادمجان به ۴۹/۰۰ رسید. مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که افراد ماده در میزبان‌های مذکور به ترتیب در سنین ۱۷، ۱۴ و ۱۶ روزگی بیشترین مشارکت را در تشکیل نسل آینده دارند و پس از آن ارزش تولیدمثلی حشره به تدریج کاهش می‌یابد (شکل ۴).

در این بررسی، حداکثر نرخ زادآوری ویژه سنی *E. formosa* در گیاهان گوجه‌فرنگی، خیار و بادمجان به ترتیب در سنین ۱۶، ۱۷ و ۱۷ روزگی با تولید ۱۴/۹، ۸/۴ و ۱۰/۳ عدد تخم رخ داد. به طور کلی، حشره پارازیتوئید حدود ۷۰ درصد تخم‌های خود را در ۱۰ روز اول زندگی خود گذاشت و پس از آن میزان تخم‌گذاری به شدت کاهش یافت. نرخ زنده‌مانی ویژه‌ی سن (l_x)، زادآوری ویژه‌ی سنی (m_x) و باروری ویژه‌ی سنی ($l_x m_x$) زنبور پارازیتوئید در تغذیه از پوره‌های سفیدبالک گلخانه *T. vaporariorum* در شکل ۵ نشان داده شده است.

ب) پراسنجه‌های رشد جمعیت زنبور پارازیتوئید *E. formosa*

مقادیر محاسبه شده برای نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0) و میانگین طول یک نسل (T) زنبور پارازیتوئید *E. formosa* در جدول ۳ نشان داده شده است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) پارازیتوئید تحت تأثیر میزبان گیاهی قرار داشته و بین گوجه‌فرنگی و دو میزبان دیگر از این نظر تفاوت معنی داری وجود دارد. با این حال اختلاف در نرخ ذاتی افزایش جمعیت *E. formosa* روی خیار با مقدار متناظر روی بادمجان معنی دار نبود (CI: 0.003 to 1.961). بر همین ترتیب، نرخ متناهی افزایش

۰/۰۰۱۵۶/۶۰۶ ± و ۰/۷۰۷/۱۶۱ ± روز طول کشید (جدول ۲). اگر چه طول دوره پیش از تخم‌گذاری در میزبان‌های گیاهی مختلف معنی دار نبود، اما تأثیر گیاهان میزبان بر کل دوره پیش از تخم‌گذاری (TPOP) معنی دار بود. علت این امر می‌تواند تفاوت معنی دار در طول دوره پیش از بلوغ پارازیتوئید در گیاهان میزبان باشد. کل دوره پیش از تخم‌گذاری پارازیتوئید در بادمجان ۰/۷۲۱/۱۷/۷۵ ± و در گوجه‌فرنگی ۰/۵۱۶/۱۵/۲۲ ± (روز) (CI: 1.999 to 3.051) و خیار ۰/۶۱۶/۱۵/۷۶ ± (روز) (CI: 1.479 to 2.522) طولانی‌تر بود (جدول ۲).

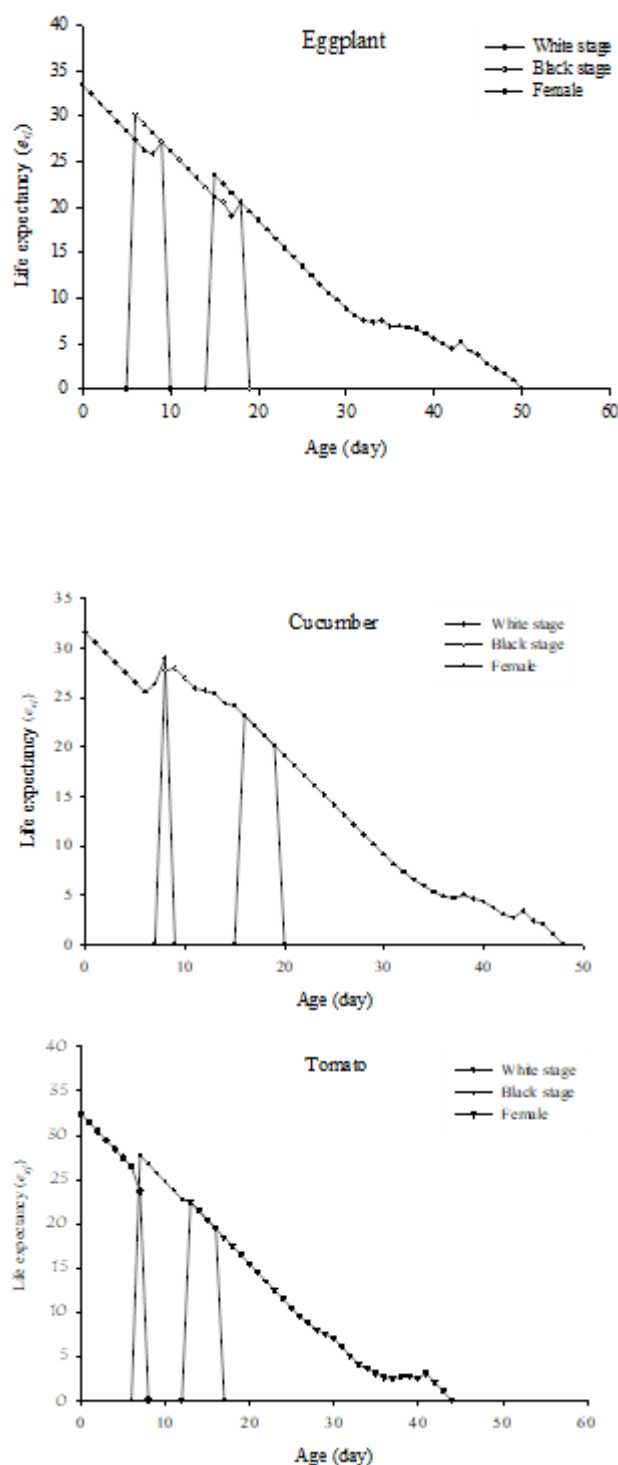
تأثیر گیاهان میزبان بر طول دوره تخم‌گذاری زنبور پارازیتوئید نیز معنی دار بود. بیشترین و کمترین طول دوره تخم‌گذاری به ترتیب در خیار (۰/۶۶۰/۱۵/۸۲ ± (روز) و بادمجان (۰/۵۵۹/۱۳/۲۹ ± (روز) ثبت شد (CI: 0.443 to 3.746). مقدار این پراسنجه در گوجه‌فرنگی با مقادیر متناظر در دو میزبان دیگر دارای اختلاف معنی دار نبود (جدول ۲).

منحنی امید به زندگی ویژه سن - مرحله رشد (e_{xj}) (شکل ۲) تفاوت امید به زندگی مرحله سفید، مرحله سیاه و حشرات بالغ زنبور پارازیتوئید *E. formosa* را در سه میزبان گیاهی نشان می‌دهد. میزان امید به زندگی یک فرد تازه متولد شده پارازیتوئید در بادمجان، خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۳۳/۴، ۳۶/۵ و ۳۲/۴ روز به دست آمد. اما امید به زندگی حشره ماده بالغ در ابتدای ظهور روی میزبان‌های گیاهی مذکور به ترتیب ۲۳/۵، ۲۶/۶ و ۲۲/۴ روز بود.

منحنی‌های نرخ زنده‌مانی ویژه سن - مرحله (s_{xj}) (شکل ۳) نشان می‌دهد که در مجموع، جمعیت زنبور پارازیتوئید پرورش یافته روی خیار نسبت به دو میزبان دیگر نرخ زنده‌مانی بالاتری دارد. این اختلاف ناشی از دوره زندگی طولانی‌تر بالغین و درصد مرگ و میر پایین مراحل پیش از بلوغ در خیار است.

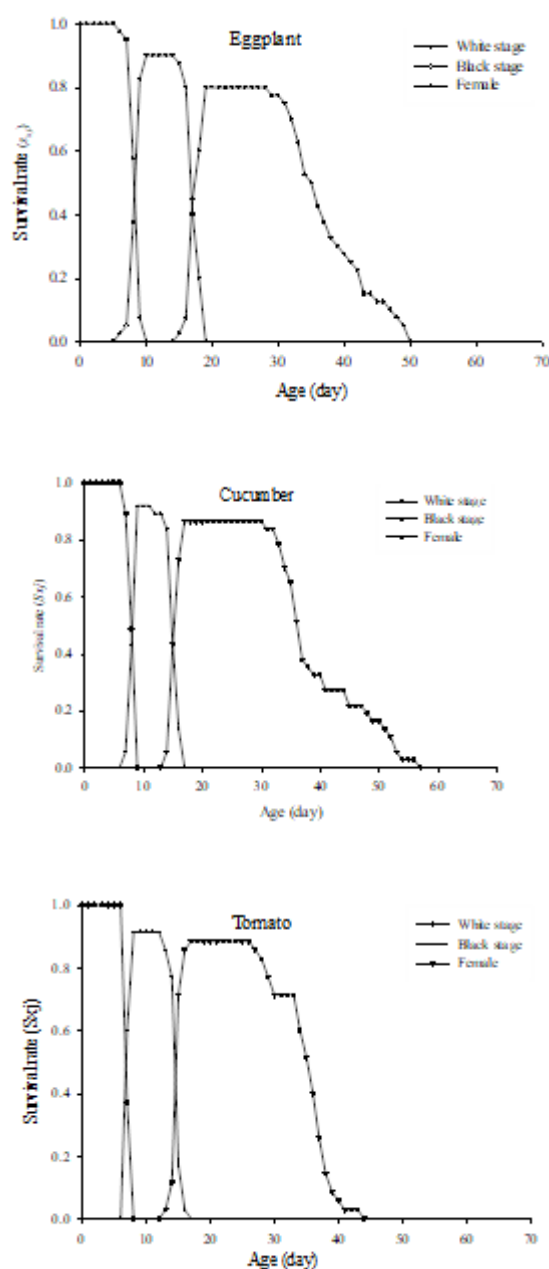
ارزش تولیدمثلی (v_{xj}) یک تخم زنبور پارازیتوئید *E. formosa* در روز اول زندگی در گوجه‌فرنگی، خیار و بادمجان به ترتیب ۱/۲۷۳، ۱/۲۲۹ و ۱/۲۱۸ می‌باشد. حداکثر ارزش تولیدمثلی پارازیتوئید در مرحله سفید در میزبان‌های

جمعیت (λ) پارازیتوئید در گوجه‌فرنگی به طور معنی‌داری از دو میزبان دیگر بالاتر بود، اما تفاوت در مقدار این پراسنجه بین بادمجان و خیار نیز معنی‌دار نبود (CI: -0.003 to 0.024).



شکل ۲- امید به زندگی ویژه سن- مرحله (e_{xj}) زنبور *Encarsia formosa* با تغذیه از پوره‌های سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* روی سه میزبان گیاهی مختلف.

Fig. 2. Age- stage specific life expectancy (e_{xj}) of *Encarsia formosa* feeding on nymphs of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on three different plant hosts.



شکل ۳- نرخ زنده‌مانی ویژه‌ی سن- مرحله (s_{xj}) زنبور *Encarsia formosa* با تغذیه از پوره‌های سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* روی سه میزبان گیاهی مختلف.

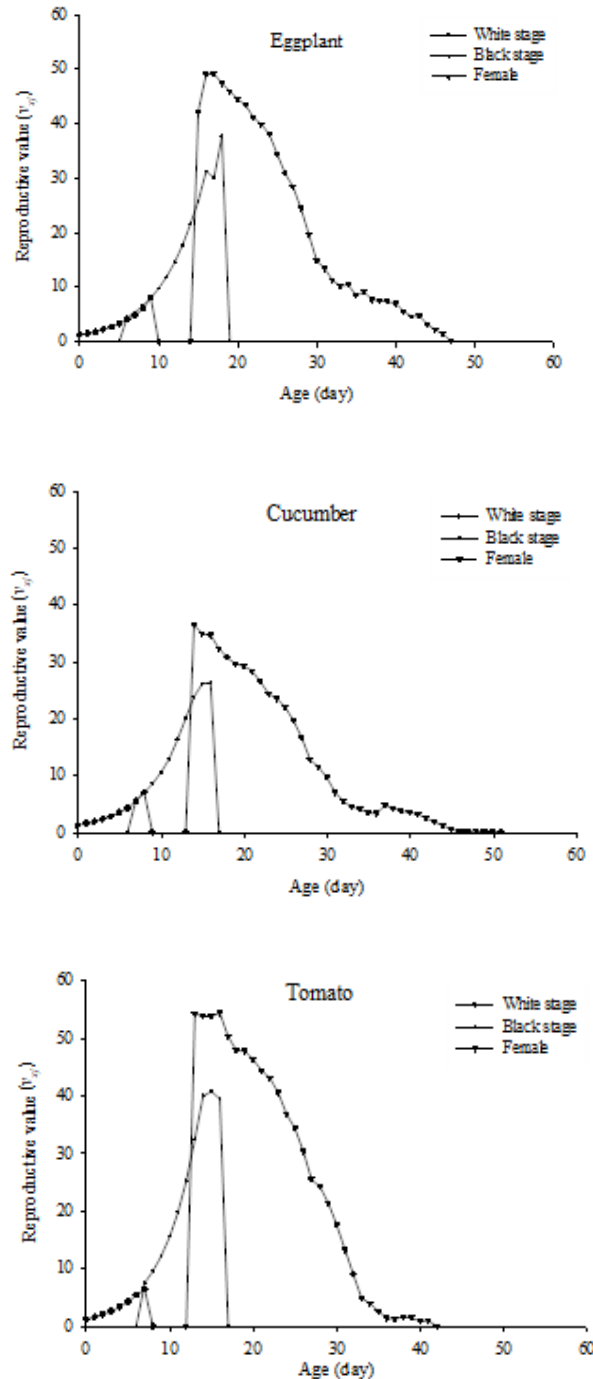
Fig. 3. Age- stage specific survival rate (s_{xj}) of *Encarsia formosa* feeding on nymphs of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on three different plant hosts.

تأثیر سه عامل؛ نرخ رشد، زادآوری و طول عمر باشد (Dixon, 1987). در این تحقیق، بالا بودن نسبی نرخ مرگ و میر مراحل پیش از بلوغ و طولانی‌تر بودن دوره‌ی پیش از بلوغ پارازیتوئید در بادمجان و طول عمر بالای حشره بالغ در خیار می‌تواند در عدم اختلاف معنی‌دار نرخ‌های ذاتی و

در تحقیق حاضر هرچند زادآوری حشره در خیار به‌طور معنی‌داری از دو میزبان دیگر پایین‌تر بود، اما نرخ ذاتی افزایش جمعیت و نرخ متناهی افزایش جمعیت حشره در خیار با مقادیر متناظر در بادمجان اختلاف معنی‌داری نداشت. تفاوت در نرخ ذاتی افزایش جمعیت می‌تواند تحت

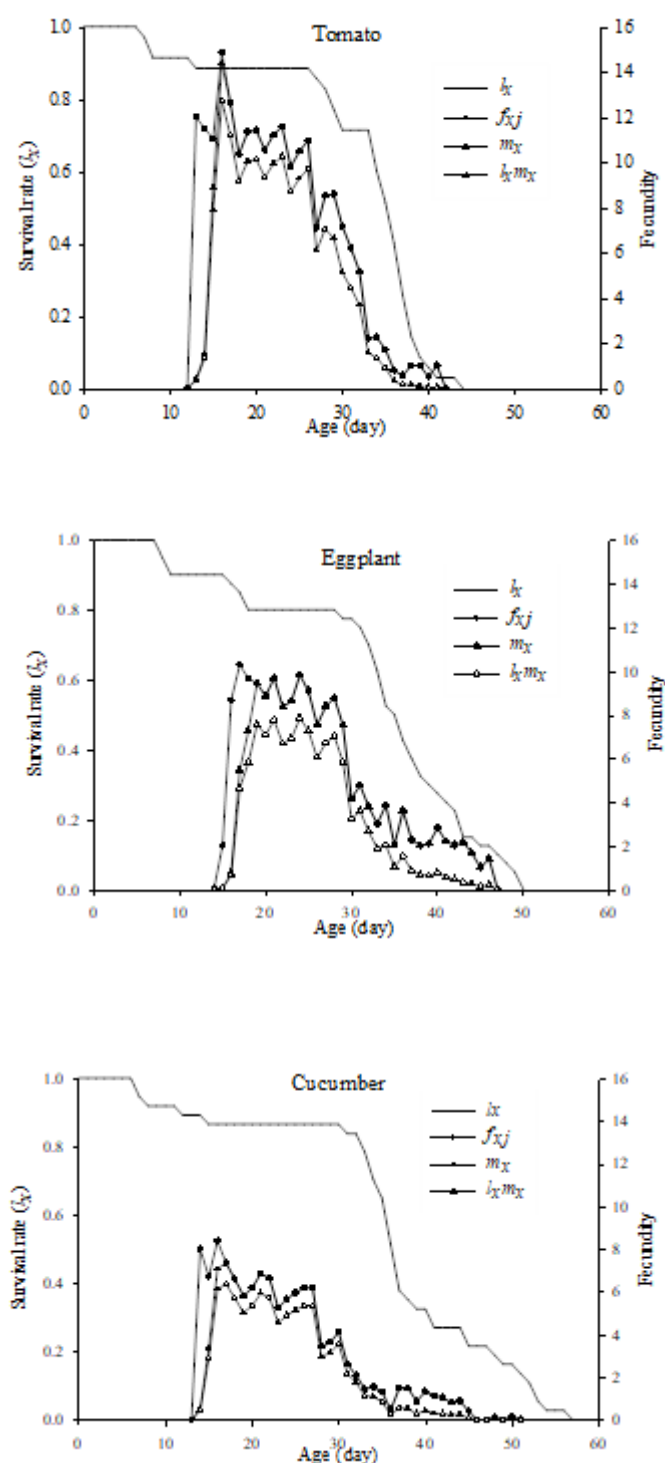
گوجه فرنگی و پایین ترین مقدار آن در خیار به دست آمد (جدول ۳). اختلاف در نرخ خالص تولید مثل *E. formosa* روی خیار با مقدار متناظر روی بادمجان معنی دار نبود (CI: 2.745 to 42.452).

متناهی افزایش جمعیت *E. formosa* در خیار و بادمجان مؤثر باشد. مقایسه میانگین ها نشان داد که از نظر نرخ خالص تولید مثل (R_0)، سه گیاه میزبان در دو گروه مجزا قرار دارند. با یک اختلاف معنی دار، بالاترین نرخ خالص تولید مثل در



شکل ۴- ارزش تولید مثلی (v_{xj}) زنبور *Encarsia formosa* با تغذیه از پوره های سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* روی سه میزبان گیاهی مختلف.

Fig. 4. The reproductive value (v_{xj}) of *Encarsia formosa* feeding on nymphs of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on three different plant hosts.



شکل ۵- نرخ زنده‌مانی ویژه‌ی سن (l_x)، باروری ویژه‌ی سن - مرحله (f_{xj})، زادآوری ویژه‌ی سنی (m_x) و باروری ویژه‌ی سنی ($l_x m_x$) زنبور *Encarsia formosa* با تغذیه از پوره‌های سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* در سه میزبان گیاهی مختلف.

Fig. 5. Age- specific survival rate (l_x), age- stage specific fecundity (f_{xj}), age- specific fecundity (m_x) and age specific maternity ($l_x m_x$) of *Encarsia formosa* feeding on nymphs of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on three different plant hosts.

جدول ۳- پراسنجه‌های رشد جمعیت زنبور *E. formosa* پارازیتوئید سفیدبالک گلخانه، *Trialeurodes vaporariorum* روی سه گیاه میزبان مختلف.

Table 3. Population growth parameters of *Encarsia formosa*, the parasitoid of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum*, on three different host plants.

Parameter	sign	Tomato (n = 35)	Cucumber (n = 37)	Eggplant (n = 40)
Intrinsic rate of increase (day^{-1})	r	$0.239 \pm 0.004 \text{ a}$	$0.208 \pm 0.004 \text{ b}$	$0.198 \pm 0.004 \text{ b}$
Finite rate of increase (day^{-1})	λ	$1.270 \pm 0.005 \text{ a}$	$1.231 \pm 0.005 \text{ b}$	$1.220 \pm 0.005 \text{ b}$
Gross reproductive rate (female/female)	GRR	$175.24 \pm 6.32 \text{ a}$	$112.75 \pm 4.16 \text{ c}$	$153.69 \pm 1.73 \text{ b}$
Net reproductive rate (female/female)	R_0	$142.29 \pm 11.08 \text{ a}$	$92.97 \pm 6.57 \text{ b}$	$109.98 \pm 9.44 \text{ b}$
Mean generation time (day)	T	$20.77 \pm 0.21 \text{ c}$	$21.77 \pm 0.19 \text{ b}$	$23.68 \pm 0.23 \text{ a}$

Notes: Means with different letters in each row are significantly different ($P < 0.05$).

پارازیتوئید در مدت زمان مذکور در خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب $42/25 \pm 1/17$ و $43/42 \pm 1/67$ تخم گذاشتند که از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند اما با نتایج تحقیق حاضر متفاوت است. در تحقیق دیگری، طول دوره زندگی حشره ماده زنبور پارازیتوئید *E. formosa* در دمای ۱۳ درجه سلسیوس روی گیاه خیار بین ۴۵ تا ۱۴۱ روز (میانگین ۷۸ روز) و روی گیاه گوجه‌فرنگی یک تا ۸۴ روز (میانگین بیش از ۴۰ روز) برآورد شد. این دوره در دمای ۲۰ درجه سلسیوس با استفاده از پوره‌های سن اول *T. vaporariorum* روی برگ‌های لوبیا ۶ تا ۴۵ روز (میانگین ۲۰ روز) طول کشید. زادآوری پارازیتوئید، بسته به دمای محیط آزمایش، میزبان گیاهی و نوع غذا، بین ۱۲۲ تا ۳۴۹ تخم به ازای هر فرد ماده برآورد شد (van Lenteren et al., 1987). تفاوت میزبان گیاهی و دمای محیط آزمایش مذکور با تحقیق حاضر میتواند دلیل اصلی در تفاوت نتایج حاصله باشد.

در یک تحقیق Enkegaard (1993) پراسنجه‌های زیستی زنبور *E. formosa* روی پوره‌های سن چهارم عسلک پنبه، *B. tabaci* در بنت‌قنسل و در دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. دوره پیش از بلوغ و طول عمر حشره ماده در ۲۲ و ۲۸ درجه سلسیوس به ترتیب عبارت بودند از $25/0 \pm 3/30$ و $14/0 \pm 0/17$ (روز) و $15/2 \pm 0/91$ و $9/0 \pm 2/78$ (روز). در تحقیق دیگری طول عمر حشرات بالغ *E. formosa* (نژاد Beltsville) در دو رقم بنت‌قنسل و *Lilo* و *Annette Hegg* با تخم‌گذاری و تغذیه از سفیدبالک *B. argentifolli* بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر

میانگین مدت زمان نسل (T) نیز بین سه میزبان گیاهی معنی‌دار بود. طولانی‌ترین مدت زمان یک نسل در بادمجان ($23/0 \pm 68/23$ روز) و کوتاه‌ترین آن در گوجه‌فرنگی ($20/0 \pm 77/21$ روز) ثبت شد (جدول ۳). مدت زمان دو برابر شدن جمعیت (DT) در گوجه‌فرنگی $2/87$ روز، در خیار $3/37$ و در بادمجان $3/51$ روز محاسبه شد.

بحث

تحقیقات صورت گرفته در زمینه پراسنجه‌های زیستی زنبور *E. formosa* با تغذیه از پوره‌های سفیدبالک‌ها در میزبان‌های گیاهی مختلف نشان دهنده تأثیر میزبان‌ها روی پراسنجه‌های زیستی و جدول زندگی پارازیتوئید است. در یک تحقیق Farrokhi (1996) دوره نشوونمای مراحل نابالغ زنبور *E. formosa* را در دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس روی پوره‌های سن سوم سفیدبالک گلخانه در گیاه لوبیا سبز $16/0 \pm 7/15$ روز برآورد کرد. از این مدت در حدود $9/5$ روز به مرحله‌ی سفید و $7/4$ روز به مرحله‌ی سیاه اختصاص داشت. در شرایط مذکور، تعداد شفیره‌های پارازیت شده سفیدبالک $91/7$ عدد و طول عمر حشرات ماده $20/2$ روز تعیین شد. همچنین Sarraf Moaiery et al. (2004) طول مراحل سفید، سیاه و دوره پیش از بلوغ زنبور پارازیتوئید *E. formosa* را روی پوره‌های سن سوم سفیدبالک گلخانه در خیار به ترتیب $20/2/33$ ، $164/47$ و $366/80$ ساعت و در گوجه‌فرنگی $182/73$ ، $167/24$ و $337/60$ ساعت گزارش کردند. نامبردگان زادآوری پارازیتوئید را در سه دوره سه روزه روی میزبان‌های گیاهی مختلف بررسی کردند.

ساعت به‌طور میانگین $62/0 \pm 1/87$ شفیره پارازیت به‌دست آمد. در تحقیق مذکور طول عمر حشرات کامل زنبور $20/1 \pm 2/1$ روز و زادآوری آن $91/7 \pm 13/37$ (تخم/ ماده/ طول عمر) گزارش شد. در تحقیقی دیگر طول عمر حشره کامل زنبور *E. formosa* روی پوره‌های سن سوم سفیدبالک گلخانه، *T. vaporariorum*، که روی برگ‌های توتون پرورش یافته بودند، $25/1 \pm 1/3$ روز و زادآوری آن $22 \pm 276/14$ تخم بر ماده گزارش شد (Gholamzadeh Chitgar & Ghadamyari, 2012). همچنین Dai et al. (2014) گزارش کردند که زنبور پارازیتوئید *E. formosa* پرورش یافته روی *T. vaporariorum* در گوجه‌فرنگی، در مدت ۴۸ ساعت بیش از ۳۰ پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه را پارازیت کرد و در همین مدت بیش از ۳ پوره آفت را به روش میزبان‌خواری از بین برد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

در بررسی اثر قارچ بیمارگر حشرات *Lecanicillium longisporum* (Clavicipitaceae) روی پراسنجه‌های جدول زندگی زنبور پارازیتوئید *E. formosa* (جمع‌آوری شده از هشتگرد استان البرز) طول دوره‌های تخم+لارو، شفیره، مجموع دوره پیش از بلوغ و طول عمر حشرات بالغ در گیاه خیار در تیمار شاهد به ترتیب $9/9 \pm 0/9$ ، $4/4 \pm 0/59$ و $14/0 \pm 3/15$ روز بود (Fazeli-Dinan et al., 2012). میزان پارازیتسم پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه $41/1 \pm 75/23$ عدد گزارش شد که با نتایج تحقیق حاضر تفاوت دارد. نژاد پارازیتوئید، رقم میزبان گیاهی، محیط آزمایش و روش بررسی می‌تواند از دلایل متفاوت بودن نتایج این دو تحقیق باشد.

نرخ زنده‌مانی مراحل پیش از بلوغ زنبور پارازیتوئید *E. formosa* توسط محققین متعددی بررسی شده است. از جمله (Nechols & Tauber (1977) نرخ زنده‌مانی این زنبور روی پوره‌های سن سوم و چهارم سفیدبالک گلخانه را به ترتیب ۸۷ و ۹۰ درصد و (Arakawa (1982) ۸۷/۹ تا ۸۹/۵ درصد گزارش کردند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. (Enkegaard (1993) درصد مرگ و میر پارازیتوئید را روی بنت‌قنسل در ۱۶، ۲۲ و ۲۸ درجه سلسیوس، روی *B.*

$7/0 \pm 1/5$ و $7/7 \pm 0/4$ روز به‌دست آمد و در این مدت زنبورهای پارازیتوئید، روزانه به‌ترتیب $9/5 \pm 0/8$ و $8/5 \pm 0/9$ پورهی سفیدبالک را پارازیت کرده و یا از طریق میزبان‌خواری از بین بردند (Heinz & Parrella, 1994). در بررسی‌های (Succop et al. (1997 طول دوره پیش از بلوغ زنبور *E. formosa* در گوجه‌فرنگی و با تغذیه از پوره‌های سن سوم سفیدبالک گلخانه ۲۵ روز طول کشید و زنبورهای بالغ بیش از ۸۰ پوره سفیدبالک را پارازیت کردند. پارازیتوئیدها در طول عمر خود به‌طور میانگین ۹۵ پوره سفیدبالک را با پارازیتسم و میزبان‌خواری کشتند. همچنین Qui et al. (2004) طول دوره زندگی پیش از بلوغ، طول عمر حشرات بالغ ماده و تعداد پوره‌های پارازیت شده *B. argentifolli* توسط زنبور پارازیتوئید *E. formosa* (نژاد Dutch) را روی گیاه بنت قنسل در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بررسی کرده و نشان دادند که دوره پیش از بلوغ پارازیتوئید $15/6 \pm 0/32$ روز، طول عمر حشرات بالغ ماده $7/0 \pm 8/9$ روز و میزان پارازیتسم روزانه $9/88 \pm 1/85$ پوره سن سوم/چهارم سفیدبالک *B. argentifolli* بود. این محققین نتیجه‌گیری کردند که احتمالاً سفیدبالک گلخانه *T. vaporariorum* میزبان بهتری برای زنبور پارازیتوئید *E. formosa* می‌باشد. (Hu et al. (2002 دوره پیش از بلوغ زنبور پارازیتوئید را در پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه، *T. vaporariorum* $14/1 \pm 21/32$ روز گزارش کردند. در تحقیق دیگری (Takahashi et al. (2008 زیست‌شناسی *E. formosa* و سفیدبالک *B. tabaci* (بیوتیپ B) را در سه میزبان گیاهی بررسی کردند. دوره پیش از بلوغ پارازیتوئید در پوره سن سوم سفیدبالک مذکور در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در گوجه‌فرنگی $15/10 \pm 0/18$ روز طول کشید که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد.

(Grille et al. (2012 گزارش کردند که دوره پیش از بلوغ زنبور *E. formosa* (نژاد بومی از اروگوئه) $19/3 \pm 0/09$ روز است و پارازیتوئید در طول عمر خود ۱۰۴ پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه را در توتون پارازیت کرد. Farrokhi (1996) گزارش کرد با رهاسازی یک زنبور ماده روی لاروهای سن سوم سفیدبالک گلخانه روی لوبیا پس از ۴۸

حاضر متفاوت است که می‌تواند به علت متفاوت بودن دما، میزبان گیاهی و میزبان جانوری مورد بررسی باشد.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که گیاهان میزبان می‌توانند پراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیت زنبور پارازیتوئید *E. formosa* را تحت تأثیر قرار دهند. به‌طوری‌که کوتاه‌ترین دوره پیش از بلوغ، کوتاه‌ترین دوره زندگی حشرات بالغ، بیشترین زادآوری و بیشترین تعداد پوره کشته شده به‌روش میزبان‌خواری در گوجه‌فرنگی مشاهده شد. طولانی‌ترین طول عمر حشرات بالغ و کمترین زادآوری پارازیتوئید در خیار و طولانی‌ترین دوره پیش از بلوغ و کمترین میزبان‌خواری در بادمجان ثبت شد. همچنین بالاترین نرخ‌های ذاتی افزایش جمعیت (r)، متناهی افزایش جمعیت (λ) و خالص تولیدمثل (R_0) و کوتاه‌ترین طول دوره‌ی یک نسل (T) در گوجه‌فرنگی به‌دست آمد. با این حال گیاهان میزبان روی نرخ زنده‌مانی مراحل پیش از بلوغ پارازیتوئید تأثیر معنی‌داری نداشتند.

گیاهان میزبان می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم بر پارازیتوئیدهایی که از گیاه‌خواران تغذیه می‌کنند تأثیر بگذارند. برخلاف شکارگران که می‌توانند غذای مورد نیاز خود را از تعداد زیادی طعمه کسب کنند، هر پارازیتوئید برای کامل کردن چرخه زندگی خود فقط به یک طعمه وابسته است (Harvey, 2005). بنابراین کیفیت طعمه، که خود تحت تأثیر کیفیت گیاه میزبان است، بر شایستگی پارازیتوئیدها بسیار تأثیرگذار است.

نشان داده شده است که تریکوم‌های گیاهان میزبان تأثیر زیادی روی میزان جستجوی *E. formosa* دارند. با افزایش تراکم تریکوم‌ها در دو گیاه ژربرا و خیار، سرعت راه رفتن پارازیتوئید به همان نسبت کاهش یافت (Hulspas-Jordan & van Lenteren, 1989). از سوی دیگر، در ارقام خیار بدون کرک سرعت راه رفتن *E. formosa* سه برابر و ناحیه جستجو ۳/۵ برابر بیشتر از ارقام کرک‌دار، ولی به‌علت سرعت حرکت پارازیتوئید، تعداد برخوردها با پوره‌های سفیدبالک بسیار کمتر از ارقام کرک‌دار بود (van Lenteren et al., 1995). بر اساس گزارش (Bagheri et al., 2018) تراکم تریکوم در سطح زیرین برگ‌های گوجه‌فرنگی (رقم

tabaci به‌ترتیب ۵۲، ۳۰/۱ و ۳۱/۴ درصد و Shishehbor & Brennan (1995) مقدار آن را در بادمجان و روی *T. ricini* ۳۷/۱±۳/۵ درصد گزارش کردند که با مقادیر محاسبه شده در تحقیق حاضر تفاوت دارد. Sarraf Moaiery et al. (2004) درصد مرگ و میر زنبور پارازیتوئید را در مراحل سفید، سیاه و کل دوره پیش از بلوغ در خیار به ترتیب ۷/۴۰، ۳/۷۰ و ۱۱/۱۱ درصد و در گوجه‌فرنگی به‌ترتیب ۳/۷۰، ۰/۰۰ و ۳/۷۰ درصد گزارش کردند. در تحقیق (Gholamzadeh Chitgar & Ghadamyari, 2012) نرخ مرگ و میر پیش از بلوغ پارازیتوئید در تیمار شاهد (بدون کاربرد آمیتراز) ۰/۷ درصد برآورد گردید. در یک تحقیق دیگر (Drobnjaković et al., 2016) گزارش کردند که درصد خروج حشرات کامل این زنبور از سفیره‌های پارازیت‌شده سفیدبالک گلخانه ۸۷ درصد بود که تفاوت چندانی با نتایج تحقیق حاضر ندارد.

Fazeli-Dinan et al. (2012) پراسنجه‌های رشد جمعیت زنبور *E. formosa* را در تیمار شاهد (آلوده نشده توسط قارچ بیمارگر) روی گیاه خیار را به این شرح گزارش کردند: نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r): ۰/۲۰۳±۰/۰۰۲ (بر روز)؛ نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ): ۱/۲۲±۰/۰۰۲ (بر روز)؛ نرخ خالص تولیدمثل (R_0): ۴۱/۷۵±۱/۲۳ (نتاج بر ماده)؛ نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR): ۴۳/۱±۴۲/۲۵ (نتاج بر ماده) و مدت زمان نسل (T): ۱۸/۰±۳۲/۱۶ روز. تفاوت در نژاد زنبور و میزبان گیاهی مورد استفاده و تفاوت در روش استخراج داده‌ها می‌تواند از دلایل تفاوت در نتایج تحقیق مذکور با نتایج تحقیق حاضر باشد.

در یک تحقیق نرخ خالص تولیدمثل (R_0) زنبور *E. formosa* روی *B. tabaci* در بنت قنسل و در دماهای ۲۲ و ۲۸ درجه سلسیوس به ترتیب ۶۰/۴۹۷ و ۶۶/۱۹۳ (تخم بر ماده)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) ۰/۱۳۰۳ و ۰/۲۳۸۸ (بر روز)؛ نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) ۱/۱۳۹۲ و ۱/۲۶۹۷ (بر روز) و مدت زمان نسل (T) ۳۳/۰۷۸ و ۱۹/۰۱۵ روز گزارش شده است. مدت زمان دو برابر شدن جمعیت (DT) در دو دمای یاد شده نیز به ترتیب ۵/۳۲۰ و ۲/۹۰۳ روز بود (Enkegaard, 1993). نتایج حاصله تا حدی با نتایج تحقیق

نتیجه‌گیری

گیاهان میزبان مختلف می‌توانند پراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیت آفات و دشمنان طبیعی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. بررسی‌های محققین مختلف نشان می‌دهد که اغلب پراسنجه‌های رشد جمعیت *T. vaporariorum* به طور معنی‌داری تحت تأثیر گیاهان میزبان مختلف قرار می‌گیرند. تحقیق حاضر نشان داد که علاوه بر آفت، زنبور پارازیتوئید *E. formosa* نیز می‌تواند تحت تأثیر گیاهان میزبان قرار گیرد. گیاه گوجه‌فرنگی در مقایسه با دو گیاه میزبان دیگر برای نشوونما و افزایش جمعیت زنبور *E. formosa* مناسب‌تر است و در مقابل، گیاه بادمجان مطلوبیت کمتری نسبت به دو گیاه دیگر نشان داد. عواملی مانند تراکم، طول و نوع تریکوم‌های برگ، همچنین ترکیبات شیمیایی موجود در اندام‌های هوایی گیاهان میزبان می‌توانند در این امر مؤثر باشند. برای درک بهتر روابط بین گیاهان میزبان، سفیدبالک گلخانه و دشمنان طبیعی آن، ضروری است مطالعات بیشتری صورت گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله براساس بخشی از نتایج حاصل از اجرای پروژه تحقیقاتی شماره ۹۲۱۷۲-۱۶-۳۸-۲ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و رساله دکتری نویسنده اول در دانشگاه محقق اردبیلی تهیه و تدوین شده است. بدینوسیله از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان و دانشگاه مذکور به‌خاطر در اختیار گذاشتن امکانات لازم برای اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

(Hilario ۵۵/۵±۱/۹ عدد در میلی‌متر مربع و به طول ۰/۱۶±۰/۰۱۷ میلی‌متر؛ در خیار (رقم Ever green) ۲۸/۲±۰/۶۴ عدد در میلی‌متر مربع و به طول ۱/۱±۰/۰۵ میلی‌متر و در بادمجان (رقم Lango ۹۴/۴±۳/۲۸ عدد در میلی‌متر مربع و به طول ۰/۸±۰/۰۴ میلی‌متر است. با این توضیح که تریکوم‌های خیار و بادمجان از نوع ساده و تریکوم‌های گوجه‌فرنگی ترکیبی از تریکوم‌های ساده و غده‌ای هستند. بنابراین به‌نظر می‌رسد برای یک پارازیتسم موفق وجود حد متوسطی از کرک روی گیاه میزبان ضروری باشد. همچنین کرک‌ها نه تنها بر سرعت حرکت پارازیتوئید تأثیر می‌گذارند، بلکه الگوی حرکتی آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. در میزبان‌های گیاهی دارای تریکوم‌های متراکم‌تر، پارازیتوئید بیشتر تغییر مسیر می‌دهد، لذا احتمال برخورد آن با پوره‌های پارازیت شده بیشتر است. از آنجا که *E. formosa* یک پارازیتوئید انفرادی است که از خود سوپرپارازیتسم با کارایی ۱۰۰ درصد خودداری میکند (van Roermund & van lenteren, 1995 a&b)، لذا در گونه‌های دارای تریکوم طویل‌تر یا متراکم‌تر درصد پارازیتسم می‌تواند پایین‌تر از میزبان‌هایی باشد که دارای حد متوسطی از تریکوم باشند. در تحقیق دیگری نیز مشاهده شد که زمان دستیابی زنبور پارازیتوئید *E. formosa* به پوره‌های سفیدبالک گلخانه، *T. vaporariorum* در گوجه‌فرنگی که دارای حد متوسطی از تریکوم‌های کوتاه است به‌طور معنی‌داری کمتر از مقادیر متناظر روی خیار و بادمجان است (Bagheri et al., 2018).

References

- Abai, M. 2010. Pests of Forest Trees and Shrubs of Iran. 1st ed. AREEO Publication, 178 Pages. (In Persian)
- Abbasipour, H., Zeinolabedin Fard, N. & Saeedizadeh, A. 2017. Comparison of entomopathogenic nematodes efficacy on control of the Elm-Leaf Beetle, *Xanthogaleruca luteola* Müller (Col.: Chrysomelidae) in vitro. 2nd Iranian International Congress of Entomology, 2-4 September. Karaj. Iran.
- Alford, D.V. 2012. Pests of Ornamentals Trees, Shrubs and Flowers. CRC Press, Manson Publishing Ltd, London.
- Arbab, A., Sahragard, A. & Jalali Sendi, J. 2002. Laboratory investigation on Elm Leaf Beetle *Xanthogaleruca luteola* Muller (Col.: Chrysomelidae) biology. Journal of Entomological Society of Iran, 21: 73-85. (In Persian with English Summary).

- Berry, R.E. & DeAngelis, J.D. 2000. Insect control on nursery and landscape plants with entomopathogens. pp. 629–650 In: Lacey, L.A. & Kaya H.K. (eds.), Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology. Springer Science.
- Coyle, D.R., McMillin, J.D., Krause, S.C. & Hart, E.R. 2000. Laboratory and field evaluations of two *Bacillus thuringiensis* formulations, Novodor and Raven, for control of cottonwood leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). Journal of Economic Entomology, 93(3): 713–720.
- Cranshaw, W.S., Day, S.J., Gritzmacher, T.J. & Zimmerman, R.J. 1989. Field and laboratory evaluations of *Bacillus thuringiensis* strains for control of elm leaf beetle. Journal of Arboriculture, 15: 31–34.
- Dahlsten, D.L., Rowney, D.L. & Tait, S.M. 1994. Development of integrated pest management programs in urban forests: the elm beetle (*Xanthogaleruca luteola* (Müller)) in California, USA. Forest Ecology and Management, 65: 31–44.
- Francardi, V. 1990. Results in the use of a new microbiological preparation based on *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis* in the control of the larvae of *Pyrrhalta luteola* (Mull). Redia, 73: 463–472.
- Gaugler, R. 2002. Entomopathogenic Nematology, CABI Publishing, 388 pages.
- Giayetto, A.L. & Cichón, L.I. 2006. Distribución, gama de huéspedes y especificidad de cinco poblaciones de *Heterorhabditis bacteriophora* (NEMATODA: HETERORHABDITIDAE) del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, Argentina. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 35(2): 163–183.
- Hajialiloonab, S., Moravej, G. & Haidari Latibari, M. 2017. Comparative study on the effect of *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis* on adult and third instar larva of elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Mull) under laboratory and field conditions. Proceedings of the 8th Biolical control conference. 1–2 November, Rasht, Iran., P. 7. (In Persian with English Summary).
- Hajialiloonab, S., Moravej, G. & Sadeghi Namaghi, H. 2016. Comparative study on the efficacy of *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis* and a neem based insecticide on adults and larvae of *Xanthogaleruca luteola* (Mull) (Col: Chrysomelidae) in laboratory conditions. Journal of Entomology and Zoology Studies, 4(4): 1122–1125.
- Haji Allahverdi pour, H. 2025. Potential of entomopathogenic nematodes and *Bacillus thuringiensis* in control of Elm Leaf Beetle *Xanthogaleruca luteola*. Final Report Project. ISBN: 67432, Agricultural Research, Education, Extension Organization, 30 Pages. (In Persian with English Summery).
- Haji Allahverdi pour, H. & Marzban, R. 2023. Efficacy assessment of the nematode *Steinernema carpocapsae* and the bacterium *Bacillus thuringiensis* in control of Elm Leaf Beetle, (*Xanthogaleruc luteola*) under laboratory conditions. Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 46(1): 25–37.
- James, R.R., Croft, B.A. & Strauss, S.H. 1999. Susceptibility of the Cottonwood Leaf Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) to different strains and transgenic toxins of *Bacillus thuringiensis*. Environmental Entomology, 28(1): 108–115.
- Jisha, V.N., Smitha, R.B. & Benjamin, S. 2013. An overview on the crystal toxins from *Bacillus thuringiensis*. Advances in Microbiology, 3(05): p. 462.
- Jung, S. & Kim, Y. 2006. Synergistic effect of entomopathogenic bacteria (*Xenorhabdus* sp. and *Photobacterium* *temperata* ssp. *temperata*) on the pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai* against *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). Environmental Entomology, 35(6): 1584–1589.
- Kalyuzhnaya, N.S., Gorbacheva, O.V. & Didyk, L.K. 1995. *Galerucella luteola* Müll. (Coleoptera, Chrysomelidae) as a pest of plantations of trees in the southern Ergeni Hills (Kalmykia). Ėntomologicheskoe Obozrenie, 74(1): 45–51.
- Kaya, H.K., Hara, A.H. & Reardon, R.C. 1981. Laboratory and field evaluation of *Neoplectana carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) against the elm leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) and the western spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae). Canadian Entomologist, 113: 787–793.
- Li, Y. & Wu, S.Y. 2024. Entomopathogenic nematodes in insect pest biocontrol: Diversity and function of excretory/secretory proteins. Journal of Invertebrate Pathology, 207: 108205.
- Ma, X., Hu, J., Ding, C. Portieles, R., Xu, H., Gao, J., Du, L., Gao, X., Yue, Q., Zhao, L. & Borrás-Hidalgo, O. 2023. New native *Bacillus thuringiensis* strains induce high insecticidal action against *Culex pipiens pallens* larvae and adults. BMC Microbiology, 23: 100.
- Memari, Z. 2016. Study on the effect of entomopathogenic nematodes on *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lep. Pyralidae) [MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad].
- Osman, G.E.H., El-Ghareeb, D., Already, R., Assaeedi, A.S.A., Organji, S.R., Abulreesh, H.H. & Althubiani, A.S. 2015. Bioinsecticide *Bacillus thuringiensis* a comprehensive review. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 25(1): 271–288.
- Saberi, F., Marzban, R., Ardjmand, M., Pajoum Shariati, F. & Tavakoli, O. 2020. Optimization of culture media to enhance the ability of local *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis*. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19(7): 468–475.
- Sato, K., Kadota, Y. & Shirasu, K. 2019. Plant immune responses to parasitic nematodes. Frontiers in Plant Science, 10: 1165.

- Sieiro, C., Pichardo-Gallardo, Á., Areal-Hermida, L., Almuiña-González, R. & Villa, T.G. 2021. Parasporal crystal toxins in *Bacillus thuringiensis*. pp. 125–148. In: Villa, T.G. & deMiguel Bouzas, T. (eds.), *Developmental Biology in Prokaryotes and Lower Eukaryotes*. Cham: Springer International Publishing.
- Tenczar, E.G. & Krischik, V.A. 2006. Management of Cottonwood Leaf Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) with a novel transplant soak and biorational insecticides to conserve Coccinellid beetles, *Journal of Economic Entomology*, 99(1): 102–108.
- Thurston, G.S. 2001. *Xanthogaleruca luteola* (Muller), Elm Leaf Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). pp. 272–274. In: Mason, P.G. & Huber, J.T. (eds.), *Biological Control Programmes in Canada, 1981–2000*. CABI.
- Toscano, A. 2019. Parasite–host relationships in the biological control of insects: strategies of immunoevasion/immunosuppression and interference of temperature on the lethality of entomoparasites. PhD Thesis. Available at <https://irinsubria.uninsubria.it/handle/11383/2090711#>
- Wells, A.J., Kwong, R.M. & Field, R. 1994. Elm leaf beetle control using the biological insecticide, Novodor (*Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis*). *Plant Protection Quarterly*, 9: 52–55.
- Zeinolabedin Fard, N., Abbasipour, H., Saeedizadeh, A. & Karimi, J. 2020. Laboratory assay of entomopathogenic nematodes against the elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* Müller (Col.: Chrysomelidae). *Journal of Forest Science*, 66: 524–531.
- Zhang, Q., Gang, H. & Adang, M.J. 2017. Effects and mechanisms of *Bacillus thuringiensis* crystal toxins for mosquito larvae. *Insect Science*, 24(5): 714–729.
- Zhao, Y., Zhao, C.L., Yang, X., Chi, H., Dai, P., Desneux, N., Benelli, G. and Zang, L.S., 2021. Yacon as an alternative host plant for *Encarsia formosa* mass-rearing: validating a multinomial theorem for bootstrap technique in life table research. *Pest Management Science*, 77(5): 2324–2336.
- Zou, H., Gu, H., Cheng, J., Tian, C., Shu, Q., Peng, P. & Li, B. 2024. The mechanism of damage to the midgut by low concentration of *Bacillus thuringiensis* in the Silkworm, *Bombyx mori*. *Insects*, 15(12): 911.

Biological parameters and age–stage, two–sex life table of the parasitoid wasp *Encarsia formosa* feeding on nymphs of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on three important greenhouse crops

Mohammad Reza Bagheri¹, Mehdi Hassanpour², Ali Golizadeh², Shahram Farrokhi³

1. Assistant Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Isfahan, Plant Protection Research Department, Isfahan, Iran.

2. Professor, Professor, University of Mohaghegh Ardabili, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Department of Plant Protection, Ardabil, Iran.

3. Associate professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iranian Research Institute of Plant Protection, Biological Control Research Department, Tehran, Iran.

Corresponding author: Mohammad Reza Bagheri, email: bagheri_mr@yahoo.com

Received: Jul., 24, 2025

12(1) 79–97

Accepted: Sep., 06, 2025

Abstract

The greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood), is one of the most important pests of greenhouse crops worldwide. In the present study, the biology and age–stage, two–sex life table parameters of the parasitoid wasp *Encarsia formosa* Gahan were evaluated using second–instar nymphs of *T. vaporariorum* reared on three economically important greenhouse crops; eggplant (*Solanum melongena*), cucumber (*Cucumis sativus*), and tomato (*Solanum lycopersicum*). Experiments were conducted under controlled environmental conditions of 25 ± 2 °C, $65 \pm 10\%$ relative humidity, and a photoperiod of 16:8 h (L: D). Means and standard errors were estimated using the bootstrap method with 100,000 replications. The results revealed statistically significant differences in the mean biological traits and demographic parameters of *E. formosa* across the three host plant species. The total preadult duration on eggplant, cucumber, and tomato was 17.77 ± 0.18 , 15.67 ± 0.15 , and 14.97 ± 0.13 days, respectively. The longevity of adult females on the mentioned plant hosts was 20.21 ± 1.03 , 24.64 ± 1.36 , and 19.03 ± 0.69 days, while the mean fecundity per female was 129.38 ± 4.95 , 104.24 ± 3.67 , and 166.16 ± 6.31 eggs, respectively. The intrinsic rate of increase (r) on eggplant, cucumber, and tomato was 0.198 ± 0.004 , 0.208 ± 0.004 , and 0.239 ± 0.004 day⁻¹, respectively. The net reproductive rate (R_0) was calculated to be 109.98 ± 9.44 , 92.97 ± 6.57 , and 142.29 ± 11.08 on the mentioned plant hosts, respectively. Overall, tomato was identified as the most suitable host plant among those tested, supporting faster development and higher reproductive output of *E. formosa*. These findings suggest that host plant species significantly influence the performance of *E. formosa* and should be considered when implementing biological control strategies against *T. vaporariorum* in greenhouse cropping systems.

Keywords: *Encarsia formosa*, age–stage two–sex life table, greenhouse whitefly, host plant, population growth parameters.