Archive of SID.ir

مقالهٔ تحقیقی

پراسنجه‌های جدول زندگی و میزان پارازیتیسم زنبور *Trichogramma embryophagum* در پرورش انبوه طولانی مدت روی تخم‌های شب‌پرهٔ آرد

فرزانه سادات[۱]، علیرضا نظری[۲]، شهریار جعفری[۳]، زهرا رفیعی کرهرودی[۴]

۱ و ۴- دانشجوی دکتری، استادیار گروه حشره شناسی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران.

۲- استادیار، گروه امنیت غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران.

۳- استاد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

مسئول مکاتبات: علیرضا نظری، ایمیل: a-nazari@iau-arak.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸ ۹(۱) ۸۱-۹۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۱

چکیده

کیفیت عوامل کنترل بیولوژیک نقش مهمی در موفقیت یک برنامهٔ کنترل بیولوژیک دارد. اعتقاد بر این است که پرورش انبوه طولانی مدت این عوامل در محیط بسته روی کیفیت آن‌ها تاثیر دارد. ویژگی‌های جدول زندگی و پارازیتیسم زنبور *Trichogramma embryophagum* (Hartig) طی ۳۲ نسل روی تخم‌های *Ephestia kuehniella* Zeller مورد بررسی قرار گرفت. جمعیت اولیهٔ زنبور از باغات انار کوهدشت استان لرستان و میزبان آزمایشگاهی از یک انسکتاریوم پرورش حشرات مفید در همدان تهیه و در دمای ۲۷±۲ درجهٔ سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد پرورش داده شدند. داده‌های مربوط به طول مراحل مختلف رشدی، بقا، باروری و پارازیتیسم زنبورها در نسل‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ جداگانه، تعیین و از روش جدول زندگی مرحلهٔ رشدی–سنی دو جنسی و نرم افزارهای TWOSEX–MSChart program و CONSUME–MSChart برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد طول عمر افراد بالغ ماده تا نسل ۱۵ تفاوت معنی‌داری ندارد اما با افزایش تعداد نسل‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافته و به ۷/۱۵ روز در نسل ۳۰ رسید. بیشترین و کمترین میزان زادآوری زنبور به ترتیب در نسل‌های ۵ (۷۲/۷۳ تخم) و ۳۲ (۲۸/۶۴ تخم) مشاهده شدند. بیشترین نرخ خالص تولید مثل (R_0) نیز در نسل‌های ۵–۱۵ مشاهده شد. نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت (r) نیز در نسل‌های ۵ تا ۱۵ به‌طور معنی‌داری از سایر نسل‌ها بیشتر بود. مقدار r از ۰/۳۰۱ روز $^{-1}$ در نسل ۵ به ۰/۲۲۹ روز $^{-1}$ در نسل ۳۲ رسید. میزان نرخ متناهی پارازیتیسم (ω) نیز با افزایش تعداد نسل‌ها کاهش یافت و از ۰/۴۷۸ (میزبان/پارازیتوئید/روز) در نسل ۵ به ۰/۳۳۲ (میزبان/پارازیتوئید/ روز) در نسل ۳۲ رسید. براساس یافته‌های این تحقیق وجود شرایط پرورش یکنواخت و عدم افزودن افراد وحشی به جمعیت، سبب کاهش کیفیت زنبورهای پرورش یافته پس از نسل ۱۵ شد.

واژه‌های کلیدی: پرورش انبوه، کنترل کیفیت، *T. embryophagum*، پارازیتیسم، نرخ ذاتی افزایش جمعیت

مقدمه

امروزه با توجه به مشخص‌شدن بیش از پیش اثرات سوء کاربرد سموم شیمیایی بر محیط زیست و سلامت انسان و همچنین ایجاد اختلال در ساختار اکوسیستم‌ها، کنترل بیولوژیک آفات با استفاده از عوامل بیولوژیک به‌عنوان یک روش ایمن و سازگار با محیط زیست توسط محققین و کشاورزان مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Luna *et al.*, 2012). کنترل بیولوژیک از جمله روش‌های دارای پتانسیل مناسب در کنترل آفات است که در مدیریت تلفیقی آفات به دلایل مختلف و روشن دارای جایگاه ممتازی می‌باشد. در میان گروه‌های مختلف عوامل بیولوژیک که امروزه در کنترل عملی آفات کاربرد دارند، زنبورهای

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پارازیتوئید تخم خانواده Trichogrammatidae از مهم‌ترین گروه‌ها در نقاط مختلف دنیا بوده و چندین گونه از این خانواده هر ساله به صورت تجاری و انبوه پرورش داده شده و برای کنترل آفات مختلف رهاسازی می‌شوند (Li–Ying, 1994). پرورش و رهاسازی انبوه زنبورهای تریکوگراما در بعضی کشورهای جهان خسارت برخی بالپولکداران آفت را به میزان ۷۷–۹۲ درصد کاهش داده است (Li–Ying, 1994; Parra, 2010). کارایی مناسب، سازگاری با شرایط مختلف آب و هوایی و همچنین دامنه میزبانی وسیع به همراه سهولت نسبی پرورش، گونه‌های مختلف این خانواده را به‌عنوان یکی از پرکاربردترین دشمنان طبیعی مورد استفاده در سالیان اخیر تبدیل کرده است.

جنس *Trichogramma* مهم‌ترین و گسترده‌ترین جنس این خانواده است که بیشترین نقش را در مهار زیستی نسبت به سایر جنس‌های این خانواده دارد. امروزه زنبورهای این جنس به‌عنوان پارازیتوئید تخم به طور وسیعی برای کنترل طیف وسیعی از آفات به خصوص بالپولکداران به صورت روش اشباعی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Smith, 1996; Li *et al*., 2014).گونه‌های مختلف این جنس ویژه‌خوار هستند و به‌صورت انبوه روی تخم میزبان‌های طبیعی مانند شب‌پرهٔ بید غلات، *Sitotroga cerealella* (Olivier) و شب‌پر، آرد، *Ephestia kuehniella* Zeller پرورش یافته و مورد استفاده قرار می‌گیرند (Wajnberg & Hassan, 1994).

پرورش انبوه عوامل بیولوژیک از اصول اساسی و مهم در انجام یک برنامه کنترل بیولوژیک موفق می‌باشد. زنبورهای تریکوگراما به‌دلیل داشتن دورهٔ رشدی کوتاه معمولا هر ساله به تعداد دفعات زیادی در شرایط ثابت در انسکتاریوم‌های پرورش حشرات تکثیر و تولید شده و سپس رهاسازی می‌شوند. در پرورش طولانی مدت و با دفعات زیاد عوامل بیولوژیک در جمعیت‌های بسته، زاد و ولدهای درون گروهی (Inbreeding) و رانش برخی ژن‌ها، منجر به کاهش تنوع ژنتیکی آن‌ها شده و کیفیت و توانایی‌های آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Sorensen *et al*., 2012)، بنابراین توانایی پیدا نمودن و پارازیت کردن میزبان در شرایط مزرعه در این زنبورها کاهش می‌یابد. اثرات منفی پرورش طولانی مدت پرورش انبوه بر ویژگی‌های برخی گونه‌های تریکوگراما نیزگزارش شده است (Nordlund *et al*., 1997; Pratissoli *et al*., 2004; Lu *et al*., 2017; Ghaemmaghami *et al*., 2021 a, b). کنترل کیفیت زنبورهای پارازیتوئید در پرورش انبوه با هدف ارزیابی و جلوگیری از کاهش توانایی‌ها و خصوصیات زیستی آن‌ها انجام می‌شود. ویژگی‌هایی مانند میزان توانایی پارازیتیسم، نسبت جنسی، زادآوری، طول عمر، اندازه و وزن بدن، توانایی پرواز و یافتن میزبان و توانایی تحمل استرس‌های محیطی در کنترل کیفیت زنبورهای پارازیتوئید مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (van Lenteren *et al*., 2003; Lu *et al*., 2017).

زنبور *Trichogramma embryophagum* (Hartig) به‌همراه گونه‌های *T. brassicae* (Bezdenko) و *T. pintoi* Voegele فراوان‌ترین گونه‌های جنس تریکوگراما در ایران هستند (Ebrahimi, 1996). این زنبور دارای دامنه میزبانی وسیعی بوده و برای کنترل آفات مهمی مانند کرم گلوگاه انار (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller) و کرم سیب (*Cydia pomonella* L.) بر روی میزبان‌هایی مانند بید غلات و پروانه آرد در برخی نقاط ایران پرورش و رهاسازی می‌شود (Hassan *et al*., 1988; Shakeri, 2004; RanjbarAghdam & Attaran, 2015). مناسب بودن این گونه برای کنترل کرم سیب توسط محققین مختلف گزارش شده است (Hassan, 1989; RanjbarAghdam & Attaran, 2015). مطالعات نشان داده که این گونه در باغ‌های میوه نسبت به مزارع فعالیت بیشتری داشته و می‌توان از این گونه در برنامه‌های رهاسازی به‌ویژه در سطح باغات استفاده نمود (Ghaemian *et al*., 2013). علیرغم مطالعاتی که روی برخی خصوصیات این زنبور انجام شده است (Haghani, 2001; Fathipour *et al*., 2003; Haghani & Fathipour, 2003; Ghaemian *et al*., 2013; Mohseni *et al*., 2016; Haghi Golbaghi *et al*., 2020) هیچ اطلاعاتی در خصوص کیفیت نسل‌های زیاد این زنبور در شرایط پرورش انبوه وجود نداشت، بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی خصوصیات مختلف جدول زندگی و پارازیتیسم

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

زنبور *T. embryophagum* با پرورش روی شب‌پرهٔ آرد در طی ۳۲ نسل انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه کلنی شب‌پرهٔ آرد (*Ephestia kuehniella*)

جمعیت اولیه شب‌پرهٔ آرد از یک انسکتاریوم پرورش حشرات مفید واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان تهیه گردید. کلنی پروانه آرد روی مخلوطی از آرد و سبوس (به نسبت یک کیلوگرم آرد و حدود ۱۰۰ گرم سبوس) در دمای ۲±۲۷ درجهٔ سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد درون تشت‌های پلاستیکی که روی آن‌ها با پارچه تیره پوشانیده شده بود تشکیل شد. برای تهیه تخم از افراد کلنی، بلافاصله بعد از ظهور شب‌پره‌های بالغ، بالغین به قیف‌هایی به قطر دهانه حدود ۲۰ سانتی‌متر که دهانه آن‌ها توسط یک پارچه توری نازک پوشیده شده بود منتقل شدند. قیف‌ها به‌صورت وارونه روی کاغذهای سفید قرار گرفتند، افراد بالغ بعد از جفت‌گیری شروع به تخم‌ریزی روی کاغذها نمودند و روزانه نسبت به جمع‌آوری تخم‌های شب‌پرهٔ روی کاغذها اقدام شد.

تهیهٔ کلنی زنبور *T. embryophagum*

برای تهیهٔ کلنی زنبور *T. embryophagum* در خردادماه سال ۱۳۹۷ تعداد زیادی تاج انار از انارهای روی درخت باغات منطقه دشت سیاب کوهدشت جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شده و درون جعبه‌های مخصوص جمع‌آوری زنبورهای پارازیتوئید قرار داده شدند و با قراردادن کاغذهای حاوی تخم تازه پروانه آرد درون این جعبه‌ها، روزانه اقدام به جمع‌آوری زنبورهای آن‌ها گردید. همچنین برای اطمینان از جمع‌آوری زنبورهای پارازیتوئید به اندازه کافی برای تهیه کلنی اولیه، تعدادی تکه‌های کاغذ حاوی تخم‌های پروانه آرد به عنوان تله بر روی درختان انار باغات منطقه دشت سیاب کوهدشت در خردادماه ۱۳۹۷ قرار گرفتند و بعد از ۲۴ ساعت تله‌ها جمع‌آوری شدند. در هر دو روش تخم‌های پارازیتوئید شده در یک اتاقک رشد در دمای ۲±۲۶ درجهٔ سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دورهٔ نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی تا زمان ظهور افراد بالغ زنبور نگهداری شدند. در مجموع حدود ۵۰ الی ۶۰ زنبور تریکوگراما و عمدتا با روش انتقال تاج‌های انار به آزمایشگاه از طبیعت جمع‌آوری شدند. سپس افراد بالغ ظاهر شدهٔ زنبور *T. embryophagum* در ظروف پلاستیکی بسته، حاوی تخم‌های تازه شب‌پرهٔ آرد برای پارازیت نمودن تخم‌ها و ازدیاد جمعیت زنبورها قرار داده شدند. این روند تکثیر و ازدیاد برای افزایش جمعیت کلنی اولیه زنبور چهار نسل ادامه یافت و از زنبورهای پرورش یافته در نسل پنجم برای انجام آزمایشات استفاده شد. زنبورهای جمع‌آوری شده براساس خصوصیات شکل‌شناسی توسط بخش رده‌بندی موسسهٔ تحقیقات گیاه‌پزشکی به‌عنوان گونهٔ *Trichogramma embryophagum* (Hartig) تشخیص داده شدند.

طراحی آزمایشات

برای انجام آزمایشات تعداد زیادی تخم میزبان (حدود ۶۰۰ تخم) به‌مدت ۱۲ ساعت در اختیار تعدادی زنبور نر و ماده که حدود ۲۴ ساعت از زمان ظهور آن‌ها گذشته بود قرار داده شد. سپس زنبورها از محیط آزمایش خارج شده و تخم‌ها تا زمان ظهور علایم پارازیته‌شدن در همان شرایط نگهداری شدند. سپس حدود ۱۰۰ عدد تخم پارازیت شده پروانه آرد انتخاب شده و به‌صورت جداگانه درون ظروف پلاستیکی به‌قطر ۶۰ میلی‌متر و ارتفاع حدود ۴۰ میلی‌متر تا زمان ظهور افراد بالغ زنبور نگهداری شدند. میزان مرگ و میر و طول دوره رشد قبل از بلوغ هر یک از تخم‌ها تعیین و یادداشت شد. بعد از ظهور افراد بالغ، جفت‌های نر و ماده زنبور درون ظروف پلاستیکی که حاوی بیش از ۱۰۰ عدد تخم شب‌پرهٔ آرد یک روزه یا کمتر بودند، قرار گرفتند. از پنبهٔ آغشته به آب عسل (۲۰ درصد) یا اسپری نمودن آب عسل برای تغذیه زنبورهای بالغ به صورت مداوم استفاده شد. در صورت مرگ افراد نر، نرهای جوان و تازه ظاهر شده (کمتر از یک روز) از کلنی اولیه جایگزین آن‌ها شدند. این افراد در تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایشات وارد نمی‌شدند. با بررسی‌های روزانه و مستمرتا زمان مرگ

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

آخرین فرد زنبور، تعداد تخم‌های پارازیت شده توسط آن‌ها، طول عمر بالغین و مرگ و میر و بقای آن‌ها اندازه‌گیری و یادداشت شد. میزان زادآوری زنبورهای پارازیتوئید نیز با شمارش و ثبت روزانه تخم‌های تیره شده میزبان تا زمان مرگ آخرین فرد محاسبه شد. میزان نسبت جنسی نیز با تقسیم تعداد نوزادان ماده متولد شده بر مجموع نوزدان برآورد شد. این روند بررسی و آزمایشات برای نسل‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ در شرایط مشابه دمای ۱±۲۶ درجهٔ سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی درون اتاقک رشد انجام گردید.

تجزیهٔ آماری داده‌ها

نرخ بقای مرحله‌ای– سنی (s_{xj}) و زادآوری سنی–مرحله‌ای (f_{xj})، نرخ بقای ویژه سنی (l_x)، امید به زندگی سنی–مرحله‌ای (e_x)، زادآوری ویژه سنی (m_x) و هم چنین پارامترهای رشد جمعیت شامل نرخ ناخالص تولید مثل (GRR)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و متوسط زمان یک نسل (T) با روش جدول زندگی مرحلهٔ رشدی–سنی دو جنسی (Age–stage two–sex life table theory) و روش Chi (1988) با استفاده از برنامه TWOSEX–MSChart (Chi & Liu, 1985) محاسبه شدند. نرخ بقای ویژه سنی (l_x) به روش زیر محاسبه شد:

$$lx = \sum_{j=1}^{m} s_{xj}$$

که m بیانگر تعداد مراحل رشدی است. همچنین زادآوری ویژه سنی (m_x) با روش زیر محاسبه شد:

$$m_x = \frac{\sum_{j=1}^{m} s_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^{m} s_{xj}}$$

نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت (r)، نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Goodman, 1982):

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$$

نرخ خالص تولید مثل (R_0) و متوسط زمان لازم برای یک نسل (T) نیز با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

$$R_0 = \sum_{x=0}^{\omega} \sum_{j=1}^{k} s_{xj} f_{xj}$$

$$T = \frac{lnR_0}{r}$$

امید به زندگی ویژهٔ سنی–مرحله‌ای (e_{xy}) نیز به صورت زیر محاسبه شد (Chi & Su, 2006):

$$e_{xy} = \sum_{i=x}^{n} \sum_{j=y}^{m} s'_{ij}$$

همچنین روش بوت استراپ (Bootstrap technique) برای محاسبهٔ واریانس، میانگین و خطای استاندارد پارامترهای رشد جمعیت مورد استفاده قرار گرفت. از تعداد ۱۰۰۰۰ تکرار برای آنالیز داده‌ها استفاده شد. داده‌های مربوط به طول عمر بالغین، روزهای تخم‌ریزی (Oviposition days)، میزان زادآوری و پارامترهای رشد جمعیت در نسل‌های مختلف با استفاده از روش آزمون تست جفتی بوت استراپ (Paired bootstrap test) و با استفاده از نرم‌افزار TWOSEX–MSChart program مقایسه آماری شدند (Efron & Tibshirani, 1993).

از داده‌های به‌دست آمده از میزان پارازیتیسم روزانه زنبور پارازیتوئید برای برآورد نرخ پارازیتیسم ویژه سن–مرحلهٔ زیستی (Age–stage specific parasitism rate (c_{xj}) (در هر نسل استفاده قرار شد. نرخ خالص پارازیتیسم (C_0) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Chi & Yang, 2003):

$$C_0 = \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\beta} S_{xj}\, C_{xj} = \sum_{x=0}^{\infty} l_x\, k_x$$

نرخ تبدیل جمعیت میزبان به نتاج پارازیتوئید (Q_p) نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Chi *et al.*, 2011):

$$Q_p = \frac{C_0}{R_0}$$

نرخ پایدار پارازیتیسم (ψ) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد. در این رابطه، a_{xj} نسبتی از افراد یک جمعیت پایدار در سن x و مرحلهٔ سنی j می‌باشد (ساختار پایدار ویژه سن–مرحلهٔ زیستی).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

$$\psi = \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\beta} \alpha_{xj}\, c_{xj}$$

با توجه به اینکه جمعیت پارازیتوئید به اندازهٔ نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) افزایش می‌یابد، بنابراین ظرفیت کل پارازیتیسم نیز به صورت $\psi\lambda$ افزایش خواهد یافت. نرخ متناهی پارازیتیسم (ω) نیز از تلفیق نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، نرخ پارازیتیسم ویژه مرحلهٔ رشدی– سنی آن (c_{xj}) و ساختار مرحلهٔ رشدی–سنی ثابت (a_{xj}) و براساس رابطهٔ زیر محاسبه شد (Chi & Yang, 2003; Yu *et al.*, 2013).

$$\omega = \lambda\varphi = \lambda \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\beta} \alpha_{xj}\, c_{xj}$$

نرخ ذاتی پارازیتیسم نیز از طریق رابطهٔ ln (ω) محاسبه شد به عبارت دیگر، می‌توان اینگونه بیان کرد که ظرفیت پارازیتیسم به صورت نمایی افزایش خواهد یافت (ω=exp) (intrinsic parasitism rate) (Negahban *et al.*, 2016).

داده‌های حاصل از نرخ پارازیتیسم نیز با استفاده از برنامه CONSUME–MSChart تجزیه شدند (Chi, 2019a). همچنین از روش بوت استراپ با ۱۰۰۰۰ تکرار برای محاسبه میانگین و خطای استاندارد پارامترهای پارازیتیسم استفاده شد. مقایسه داده‌های مربوط به پارامترهای پارازیتیسم با استفاده از روش آزمون تست جفتی بوت استراپ و با استفاده از نرم‌افزار TWOSEX–MSChart program برای نسل‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ زنبور پارازیتوئید انجام شد. شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel 2010 ترسیم شدند.

نتایج

طول مراحل رشدی، بقا، نسبت جنسی و پارامترهای تولید مثلی زنبور *T. embryophagum*

متوسط طول مراحل رشدی نابالغ زنبور پارازیتوئید (تخم، لارو و شفیره) در همه نسل‌ها در محدوده ۱۰–۱۱ روز بود و بطور مشخصی تحت تاثیر تعداد نسل‌ها قرار نگرفت. در همه نسل‌ها متوسط طول مراحل نابالغ زنبور پارازیتوئید ماده از نرها طولانی‌تر بود. میانگین طول عمر افراد بالغ، مجموع طول عمر افراد و پارامترهای تولید مثلی زنبور *T. embryophagum* در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. طول عمر افراد بالغ ماده در نسل‌های مختلف تا نسل ۱۵ اختلاف معنی‌داری نشان نداد و از سایر نسل‌ها طولانی‌تر بود، میزان طول عمر افراد بالغ ماده از ۹/۷۱ روز در نسل ۵ به ۷/۱۵ روز در نسل ۳۰ کاهش یافت (جدول ۱). اگرچه طول عمر افراد بالغ نر با افزایش تعداد نسل‌ها کاهش یافت، با این حال تا نسل ۳۰ اختلاف معنی‌داری نداشت، در نسل ۳۲ مقدار آن به ۶/۵۰ روز رسید. طول عمر افراد ماده نیز تحت تاثیر تعداد نسل قرار گرفت و از ۲۰/۲۷ روز در نسل ۵ به ۱۷/۴۵ روز در نسل ۳۲ کاهش یافت. طول دورهٔ تخم‌ریزی زنبور نیز با افزایش تعداد نسل‌ها کاهش یافت و در نسل ۵ (۷/۵۶ روز) به‌طور معنی‌داری از سایر نسل‌ها بیشتر بود. طول دورهٔ تخم‌ریزی در نسل‌های ۲۵–۳۲ تفاوت معنی‌داری نشان نداد. همچنین بیشترین میزان زادآوری زنبور به میزان ۷۲/۷۳ تخم در نسل ۵ مشاهده شد، با افزایش تعداد نسل‌ها میزان زادآوری زنبور به طور معنی‌داری کاهش یافت و کمترین میزان آن در نسل‌های ۳۰ (۳۱/۱۸ تخم) و ۳۲ (۲۸/۶۴ تخم) مشاهده شد. نسبت جنسی ماده‌ها نیز با افزایش تعداد نسل‌ها و البته با اندکی نوسانان، کاهش یافت و از ۶۵/۲۲ درصد ماده در نسل ۵ تا ۵۵/۲۶ درصد ماده در نسل ۳۲ متغیر بود.

براساس نتایج بالاترین میزان نرخ بقای ویژه مرحلهٔ رشدی–سنی (s_{xj}) ماده‌ها برای نسل‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ به ترتیب در روزهای ۱۲–۱۳، ۱۲، ۱۲، ۱۲،۱۲، ۱۲، ۱۲ و۱۳ مشاهده شد (شکل ۱). در تمام نسل‌ها میزان بقای ماده‌ها از نرها بیشتر بود. نمودارهای امید به زندگی سنی –مرحلهٔ رشدی (E_{xj}) نسل‌های مختلف زنبور *T. embryophagum* پرورش یافته روی تخم‌های شب‌پرهٔ آرد در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش تعداد نسل‌ها میزان امید به زندگی سنی –مرحلهٔ رشدی (E_{xj}) البته با مقداری نوسان روند نزولی داشت. بالاترین میزان E_{xj} برای افراد ماده در نسل‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۸، ۳۰ و ۳۲

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به‌ترتیب ۱۰/۲۷، ۱۰/۷۰، ۹/۲۶، ۸/۵۴، ۸/۱۴، ۸/۷۲، ۸/۶۷ و ۸/۴۵ روز بود.

نمودارهای بقای ویژه سنی (l_x)، زادآوری ویژه مرحلهٔ رشدی– سنی (f_{xj}) و زادآوری ویژه سنی (m_x) نسل‌های مختلف زنبور در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج بالاترین میزان نرخ تخم‌ریزی در همه نسل‌ها در روزهای اول پس از بالغ شدن افراد ماده مشاهده شد و سپس میزان زادآوری با افزایش سن روند کاهشی داشت. بیشترین میزان زادآوری ویژه سنی زنبور در نسل‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ به ترتیب در روزهای ۱۱ (۱۰/۷۷ تخم)، ۱۱ (۱۰/۶۱ تخم)، ۱۱ (۹/۱۱ تخم)، ۱۱ (۷/۴۸ تخم)، ۱۱ (۶/۳۱ تخم)، ۱۱ (۶/۲۴ تخم)، ۱۰ (۴/۳۷ تخم) و ۱۰ (۳/۹۲ تخم) مشاهده شد (شکل ۳).

پارامترهای رشد جمعیت

پارامترهای رشد جمعیت نسل‌های مختلف زنبور در جدول ۲ آورده شده است. براساس نتایج میزان پارمترهای رشد جمعیت نسل‌های مختلف زنبور تحت تاثیر تعداد نسل‌ها قرار گرفتند. میزان نرخ ناخالص تولید مثلی (GRR) از ۵۰/۲۸ تخم به ازای هر ماده در نسل ۵ به ۱۶/۴۴ تخم به ازای هر ماده در نسل ۳۲ رسید. میزان نرخ خالص تولید مثلی (R_0) در نسل‌های ۵ (۴۷/۴۳ تخم به ازای هر ماده)، ۱۰ (۴۱/۵۹ تخم به ازای هر ماده) و ۱۵ (۳۷/۳۸ تخم به ازای هر ماده) به طور معنی‌داری از سایر نسل‌ها بیشتر بود. میزان نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت (r) نیز بطور معنی‌داری در نسل‌های مختلف متفاوت بود. میزان r در نسل‌های ۵– ۱۵ اختلاف معنی داری نشان نداد و بطور معنی‌داری از سایر نسل‌ها بیشتر بود. میزان نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت از ۰/۳۰۱ روز $^{-1}$ در نسل ۵ به ۰/۲۲۹ روز $^{-1}$ در نسل ۳۲ رسید. با افزایش تعداد نسل‌ها از نسل ۵ (۱۲/۸۰ روز) تا نسل ۳۲ (۱۲/۰۴ روز) البته با نوساناتی میزان T نیز کاهش یافت.

پارامترهای مربوط به پارازیتیسم

پارامترهای پارازیتیسم نسل‌های مختلف زنبور *T. embryophagum* در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان نرخ خالص پارازیتیسم (c_0) در نسل‌های ۵ (۴۷/۴۳ میزبان به ازای هر پارازیتوئید)، ۱۰ (۴۱/۵۹ میزبان به ازای هر پارازیتوئید) و ۱۵ (۳۷/۳۸ میزبان به ازای هر ماده) بیشترین میزان بود، با افزایش تعداد نسل‌ها این میزان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و در نسل ۳۲ به ۱۵/۸۳ میزبان به ازای هر پارازیتوئید رسید. چون زنبورهای ماده تنها یک تخم درون هر تخم میزبان قرار می‌دهند بنابراین میزان نرخ تبدیل جمعیت میزبان به نتاج پارازیتوئید (Q_p) برابر یک بود. بیشترین مقدار نرخ پایدار پارازیتیسم (ψ) (۰/۳۵۳ میزبان به ازای هر پارازیتوئید) و همچنین نرخ متناهی پارازیتیسم (ω) (۰/۴۷۸ میزبان به ازای هر پارازیتوئید در روز) نیز در نسل ۵ مشاهده شد و کمترین میزان آن‌ها به ترتیب به میزان ۰/۲۶۴ میزبان به ازای هر پارازیتوئید و ۰/۳۳۲ میزبان به ازای هر پارازیتوئید در روز در نسل ۳۲ مشاهده شد (جدول ۳).

نرخ پارازیتیسم ویژه سن–مرحلهٔ زیستی (c_{xj}) زنبور پارازیتوئید *T. embryophagum* در نسل‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل با توجه به اینکه تنها پارازیتوئیدهای بالغ ماده قادر به پارازیت کردن تخم‌های میزبان می‌باشند و سایر مراحل زیستی زنبور از این توانایی برخوردار نمی باشند، در هر نسل تنها یک نمودار دیده می‌شود. بیشترین میزان نرخ پارازیتیسم ویژه مرحلهٔ رشدی – سنی (c_{xj}) در نسل‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ به‌ترتیب به میزان ۲۶/۶۰، ۲۶/۴۱، ۲۵/۵۲، ۲۰/۳۵، ۱۵/۲۸، ۱۵، ۱۶ و ۱۳/۱۰ بود (شکل ۴).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۱– میانگین طول عمر افراد بالغ، مجموع طول عمر افراد و پارامترهای تولید مثلی نسل‌های متوالی زنبور *Trichogramma embryophagum* پرورش یافته روی تخم‌های شب‌پرهٔ آرد *Ephestia kuehniella*

Table 1. Duration of adult longevity (d), total life span (d) and reproductive parameters of sequential generations of *Trichogramma embryophagum* reared on *Ephestia kuehniella* eggs.

No. Generation	Adult longevity (Female)	Adult longevity (Male)	Total life span (Female)	Oviposition days	Fecundity	Sex ratio % (female /total)
5	9.71±0.45^{a}	7.83±0.52^{a}	20.27±0.44^{a}	7.56±0.28^{a}	72.73±2.10^{a}	65.22
10	9.26±0.41^{a}	7.78±0.49^{a}	19.70±0.45^{a}	6.70±0.30^{b}	65.49±1.94^{b}	63.51
15	8.89±0.37^{ab}	7.79±0.38^{a}	19.56±0.39^{a}	6.49±0.26^{b}	60.64±1.72^{b}	61.64
20	8.08±0.31^{bc}	7.63±0.51^{ab}	18.54±0.34^{b}	5.38±0.20^{c}	44.28±1.35^{c}	59.10
25	7.60±0.30^{cd}	6.85±0.46^{ab}	18.14±0.30^{bc}	5.02±0.21^{cd}	36.86±1.25^{d}	61.43
28	7.30±0.27^{cd}	6.76±0.34^{ab}	17.72±0.28^{bc}	4.93±0.16^{cd}	33.30±1.00^{e}	59.72
30	7.15±0.31^{d}	6.80±0.35^{ab}	17.67±0.35^{bc}	4.85±0.16^{d}	31.18±0.96^{ef}	56.52
32	7.21±0.31^{d}	6.50±0.36^{b}	17.45±0.28^{c}	4.74±0.19^{d}	28.64±0.97^{f}	55.26

The means followed by the same letters within each column are not significantly different (Paired–bootstrap test, P <0.05)

جدول۲– پارامترهای رشد جمعیت نسل‌های متوالی زنبور *Trichogramma embryophagum* پرورش یافته روی تخم‌های شب‌پرهٔ آرد *Ephestia kuehniella*

Table 2. Population growth parameters of sequential generations of *Trichogramma embryophagum* reared on *Ephestia kuehniella* eggs.

No. Generation	Gross reproductive rate (*GRR*) (eggs/ individual)	Net reproductive rate (R_0) (eggs/ individual)	Intrinsic rate of natural increase (r) (d^{-1})	Finite rate of increase (λ) (d^{-1})	Mean generation time (T) (d)
5	50.28±4.41^{a}	47.43±4.35^{a}	0.301±0.008^{a}	1.352±0.011^{a}	12.80±0.11^{a}
10	44.92±3.94^{a}	41.59±3.84^{a}	0.298±0.008^{a}	1.347±0.011^{a}	12.52±0.11^{ab}
15	39.48±3.71^{a}	37.38±3.62^{a}	0.286±0.009^{ab}	1.331±0.012^{ab}	12.66±0.12^{ab}
20	27.09±2.81^{b}	26.17±2.78^{b}	0.264±0.010^{b}	1.302±0.012^{bc}	12.37±0.11^{bc}
25	23.55±2.30^{bc}	22.64±2.27^{bc}	0.250±0.009^{bc}	1.284±0.011^{cd}	12.48±0.11^{b}
28	20.48±2.04^{bcd}	19.89±2.01^{bcd}	0.241±0.008^{bc}	1.273±0.011^{cd}	12.40±0.10^{b}
30	18.54±2.00^{cd}	17.62±1.94^{cd}	0.232±0.010^{c}	1.262±0.012^{d}	12.34±0.15^{bc}
32	16.44±1.74^{d}	15.83±1.72^{d}	0.229±0.010^{c}	1.258±0.012^{d}	12.04±0.15^{c}

The means followed by the same letters within each column are not significantly different (Paired–bootstrap test, P < 0.05)

جدول ۳– پارامترهای پارازیتیسم نسل‌های متوالی زنبور *Trichogramma embryophagum* پرورش یافته روی تخم‌های شب‌پرهٔ آرد *Ephestia kuehniella*

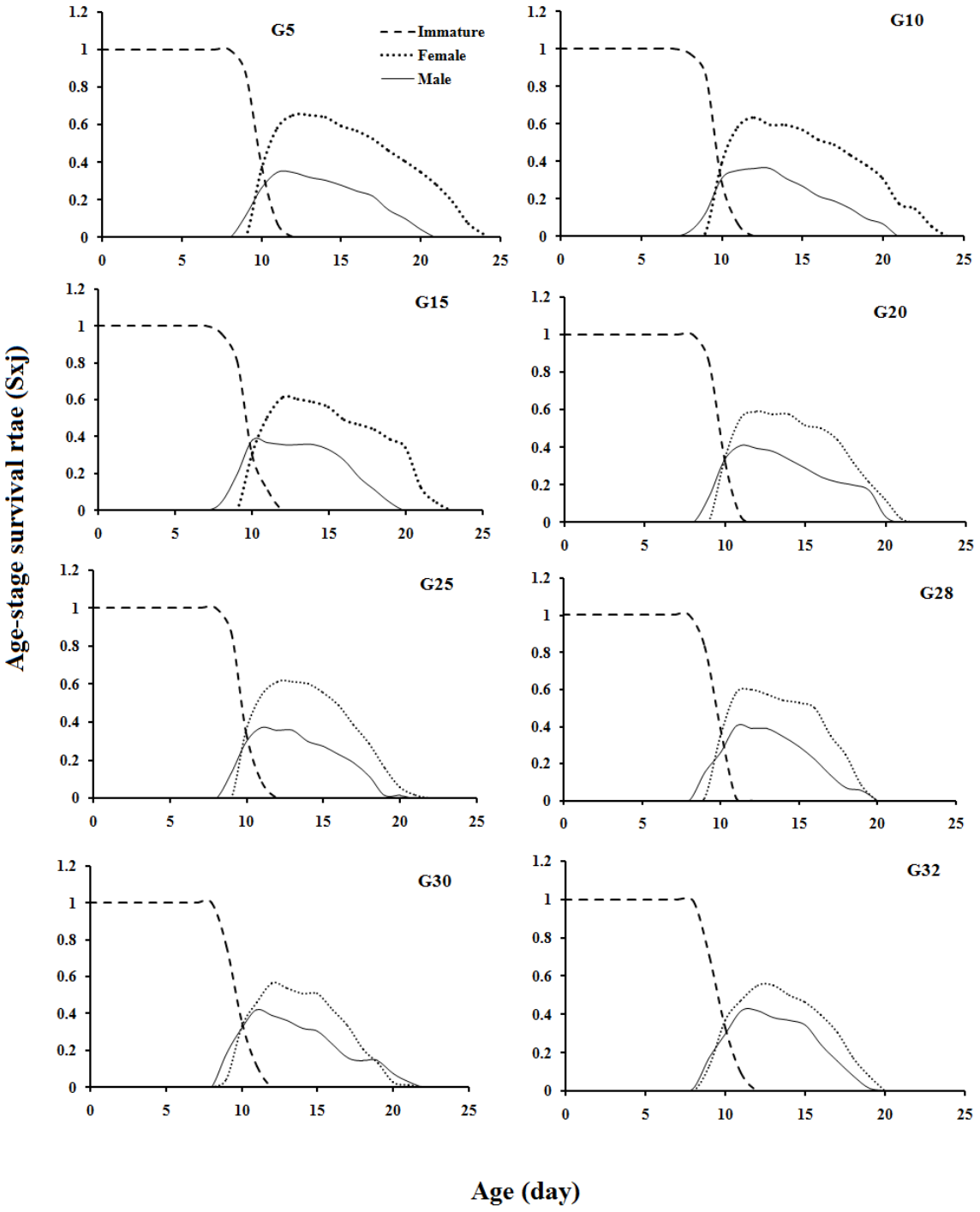
Table 4. Parasitism parameters of sequential generations of *Trichogramma embryophagum* reared on *Ephestia kuehniella* eggs.

No. Generation	Net parasitism rate (c_0) (hosts/parasitoid)	Transition rate values (Qp)	Stable parasitism rate (ψ) (host/parasitoid)	Finite parasitism rate (ω) (host/parasitoid/day)
5	47.43±4.35^{a}	1	0.353±0.016^{a}	0.478±0.025^{a}
10	41.59±3.84^{a}	1	0.349±0.015^{a}	0.470±0.024^{a}
15	37.38±3.62^{a}	1	0.334±0.016^{ab}	0.444±0.024^{ab}
20	26.17±2.78^{b}	1	0.305±0.016^{bc}	0.397±0.025^{bc}
25	22.64±2.28^{bc}	1	0.288±0.014^{c}	0.370±0.021^{c}
28	19.89±2.01^{bcd}	1	0.278±0.014^{c}	0.353±0.021^{c}
30	17.62±1.94^{cd}	1	0.267±0.016^{c}	0.337±0.023^{c}
32	15.83±1.72^{d}	1	0.264±0.016^{c}	0.332±0.023^{c}

The means followed by the same letters within each column are not significantly different (Paired–bootstrap test, P < 0.05)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

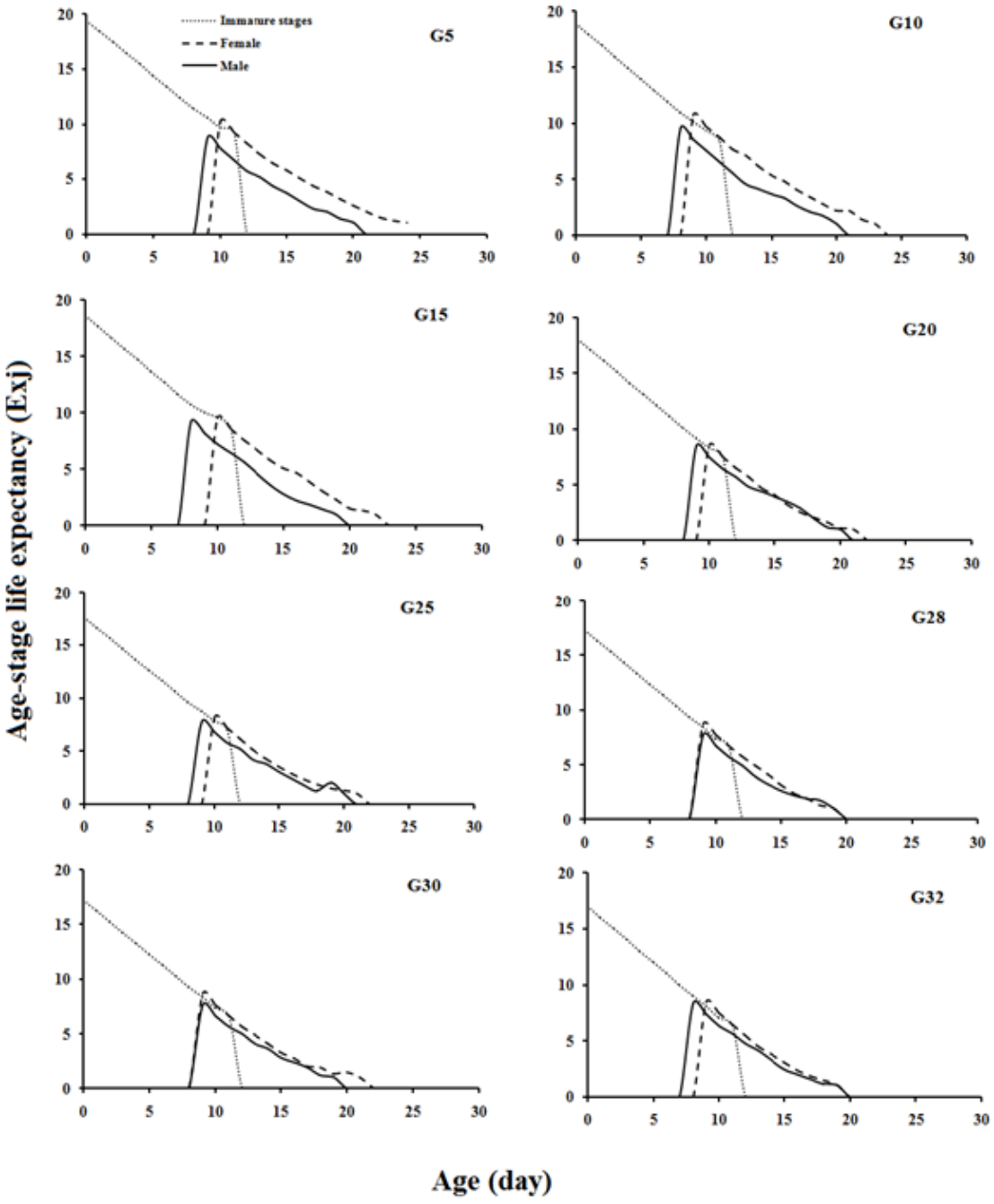


شکل ۱– نرخ بقای مرحلهٔ رشدی– سنی(s_{xj}) نسل‌های متوالی زنبور *Trichogramma embryophagum* پرورش یافته روی تخم‌های شب‌پرهٔ آرد *Ephestia kuehniella*

Fig. 1. The age–stage survival rate (s_{xj}) of sequential generations (G) of *Trichogramma embryophagum* reared on *Ephestia kuehniella* eggs.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

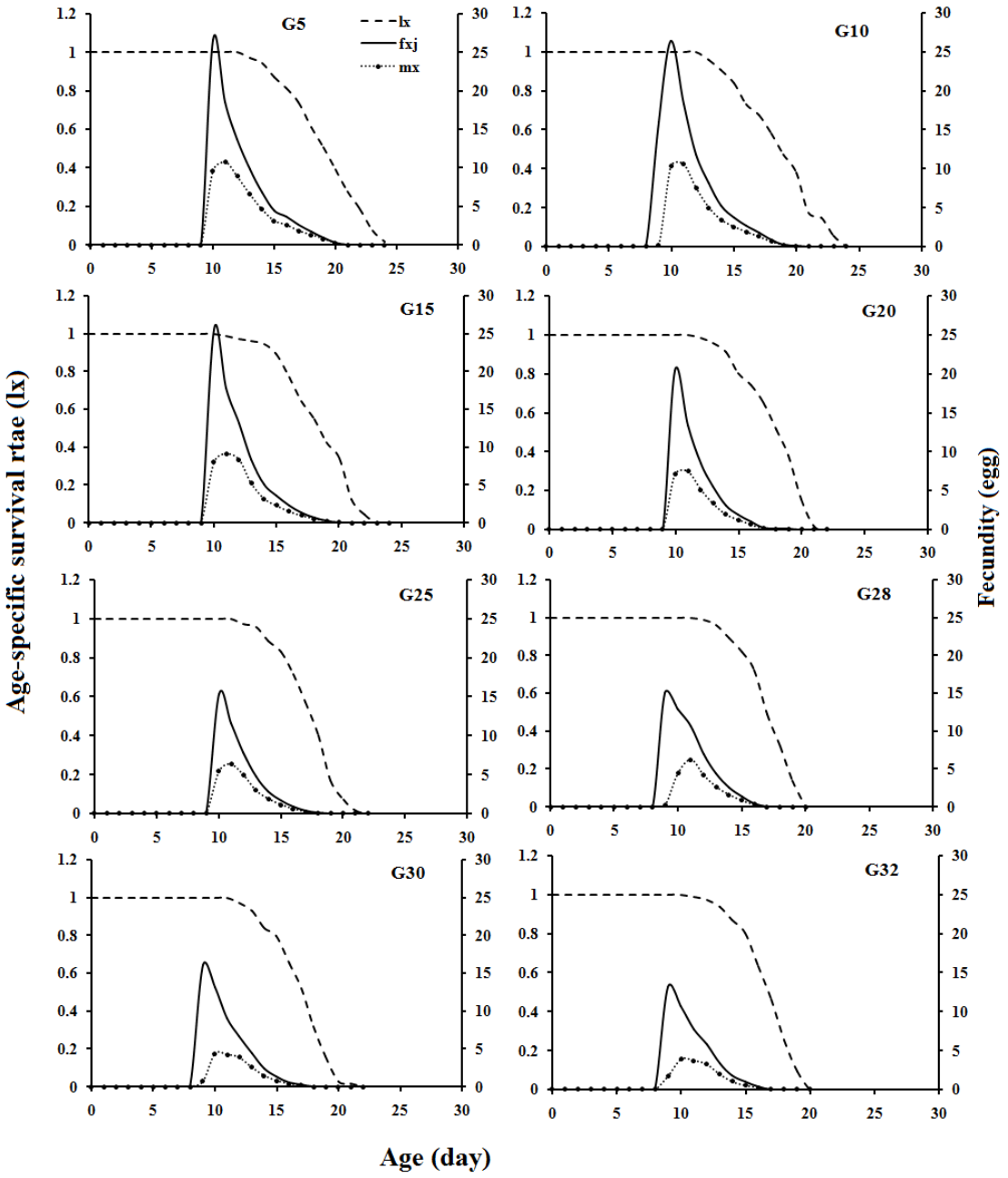


شکل ۲– امید به زندگی سنی –مرحلهٔ رشدی نسل‌های مختلف زنبور *Trichogramma embryophagum* پرورش یافته روی تخم‌های شب‌پرهٔ آرد *Ephestia kuehniella*

Fig. 2. The age–stage–life expectancy (E_{xj}) of sequential generations (G) of *Trichogramma embryophagum* reared on *Ephestia kuehniella* eggs.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

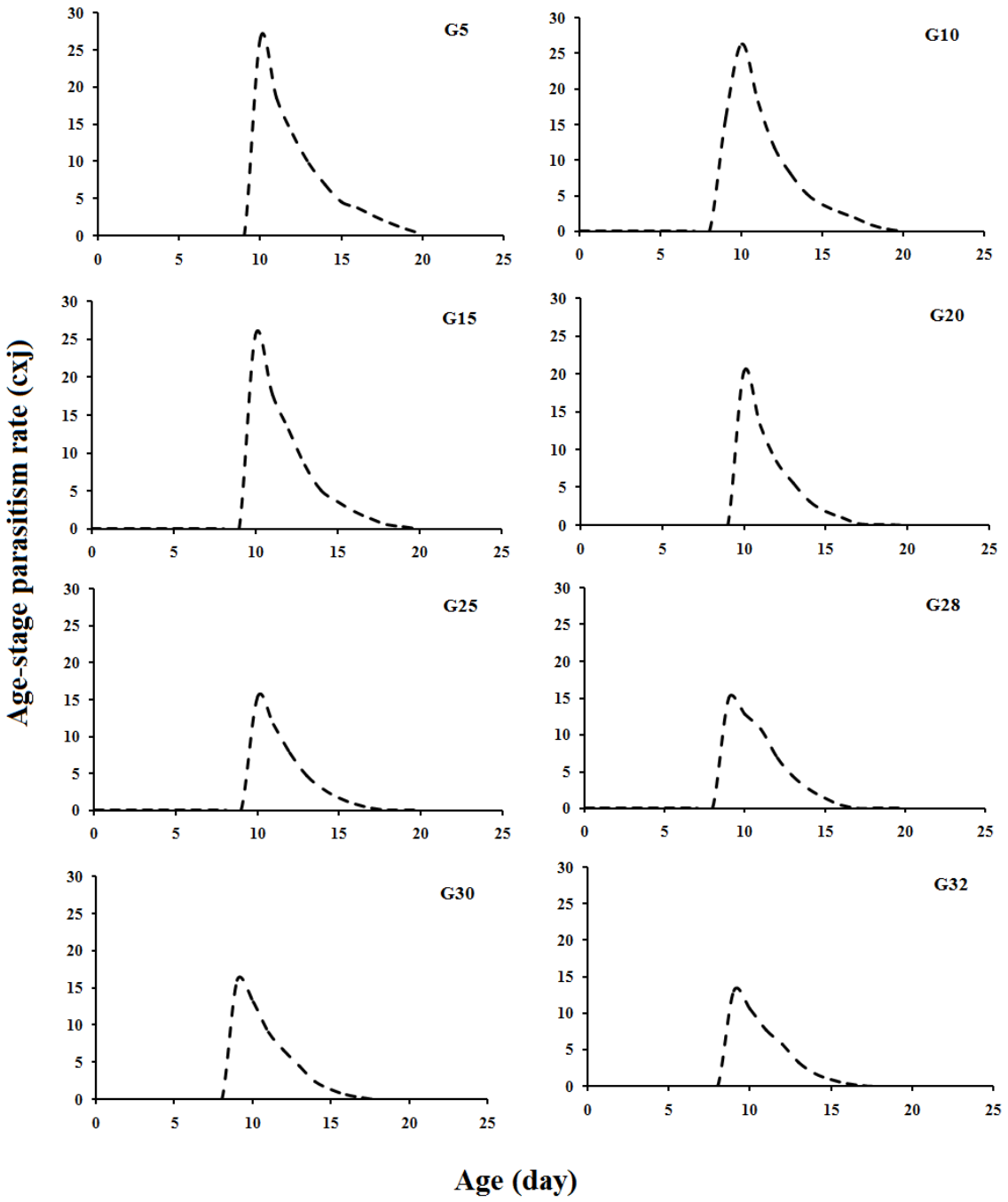


شکل ۳– نمودارهای بقای ویژه سنی (l_x)، زادآوری ویژه مرحلهٔ رشدی– سنی (f_{xj}) و زادآوری ویژه سنی (m_x) نسل‌های متوالی زنبور *Trichogramma embryophagum* پرورش یافته روی تخم‌های شب‌پرهٔ آرد *Ephestia kuehniella*

Fig. 3. The age–specific survivorship (l_x), age–stage –specific fecundity of female (f_{xj}) (eggs), and age –specific fecundity (m_x) of sequential generations of *Trichogramma embryophagum* reared on *Ephestia kuehniella* eggs.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۴ – نرخ پارازیتیسم مرحلهٔ رشدی–سنی (c_{xj}) نسل‌های متوالی زنبور *Trichogramma embryophagum* پرورش یافته روی تخم‌های شب‌پرهٔ آرد *Ephestia kuehniella*

Fig. 4. The age–stage parasitism rate (c_{xj}) of sequential generations of *Trichogramma embryophagum* reared on *Ephestia kuehniella* eggs.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

بحث

ارزیابی کیفیت عوامل کنترل بیولوژیک در فرایند پرورش انبوه در طولانی مدت برای سنجش و حفظ ویژگی‌های مربوط به توانایی‌های آن‌ها دارای اهمیت زیادی می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که پارامترهای مختلف جدول زندگی و پارازیتیسم زنبور *T. embryophagum* پرورش یافته روی شب‌پرهٔ آرد به طور معنی‌داری در پرورش طولانی مدت تحت تاثیر قرار می‌گیرند و پارامترهای رشد جمعیت و نرخ پارازیتیسم زنبورهای پرورش یافته به تدریج کاهش می‌یابد.

در این تحقیق طول مراحل نابالغ زنبور پارازیتوئید بطور مشخصی تحت تاثیر تعداد نسل‌ها قرار نگرفت و در همهٔ نسل‌ها بین ۱۰ تا ۱۱ روز بود. نتایج مشابهی برای زنبورهای *T. brassicae* پرورش یافته روی تخم‌های *E. kuehniella* و *S. cerealella* گزارش شده است (Ghaemmaghami *et al.*, 2021a ,b). همچنین طول مراحل نابالغ زنبور *Trichogramma minutum* Riley نیز طی ۱۰ نسل تفاوت معنی‌داری نشان نداد (Nordlund *et al.*, 1997). برخلاف این یافته‌ها طول دوره نابالغ زنبورهای *Telenomus remus* Nixon (Hym.: Platygastridae) به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر نسل‌ها تغییر نمود (Pomari–Fernandes *et al.*, 2015).

طول عمر افراد بالغ تا نسل ۱۵ تفاوت معنی‌داری نشان نداد اما با افزایش تعداد نسل‌ها میزان آن کاهش یافت و از ۹/۷۱ روز در نسل پنجم به ۷/۱۵ روز در نسل ۳۰ رسید. مشابه این یافته‌ها طول عمر افراد بالغ *Trichogramma dendrolimi* Mastumura نیز طی ۳۰ نسل بطور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (Lu *et al.*, 2017). همچنین طول عمر افراد بالغ *T. brassicae* روی تخم‌های *E. kuehniella* از ۷/۳۰ روز در نسل ۵ به ۵/۱۱ روز در نسل ۴۵ رسید (Ghaemmaghami *et al.*, 2021b). طول عمر افراد بالغ *T. embryophagum* روی تخم‌های بید غلات و شب‌پرهٔ آرد به ترتیب ۱۱/۲۹ و ۱۲/۳۴ روز گزارش شده است (Haghani, 2002) که از یافته‌های ما طولانی تر است. طول عمر افراد بالغ این زنبور روی تخم‌های *Plutella xylostella* L. ۹/۷۵ روز (Akbari *et al.*, 2012) و روی تخم‌های *Ectomyelois ceratoniae* ۹/۲۰ روز (Mohseni *et al.*, 2016) گزارش شده است که به یافته‌های ما در نسل‌های اول پرورش نزدیک می‌باشند. همچنین طول عمر افراد بالغ این زنبور روی تخم‌های بید غلات ۷/۱۵ روز (Ranjbar Aghdam & Attaran, 2015) گزارش شده است که نسبت به نتایج بالا کوتاه‌تر است. متفاوت بودن و کیفیت جمعیت زنبور مورد آزمایش، شرایط پرورش و همچنین متفاوت بودن میزبان مورد استفاده در این پژوهش‌ها می‌تواند علت ایجاد این تفاوت‌ها باشد.

از آنجایی که افراد نر در پارازیت نمودن میزبان نقش ندارند، بنابراین تولید افراد ماده بیشتر بخاطر نقش آن‌ها در پارازیته کردن میزبان در پرورش انبوه از جنبه‌های اقتصادی دارای اهمیت زیادی می‌باشد و در ارزیابی کیفیت زنبورها مورد توجه قرار می‌گیرد. براساس یافته‌های این تحقیق اگرچه میزان نسبت جنسی زنبورهای پارازیتوئید ماده دارای نوساناتی بود اما با افزایش تعداد نسل‌ها روند کاهشی داشت. بالاترین میزان نسبت جنسی در نسل ۵ به میزان ۶۵/۲۲ درصد و کمترین میزان آن در نسل ۳۲ به میزان ۵۵/۲۶ درصد بود. برخلاف یافته‌های ما در این تحقیق، نسبت جنسی زنبورهای *T. brassicae* پرورش یافته روی تخم‌های *E. kuehniella* و *S. cerealella* تحت تاثیر افزایش نسل‌ها به طور معنی‌داری قرار نگرفت (Ghaemmaghami *et al.*, 2021a,b). شرایط آزمایش، کیفیت و کمیت جمعیت اولیه مورد استفاده و کیفیت و سن تخم میزبان مورد استفاده در نسبت جنسی زنبورها موثر می‌باشد. میزان نسبت جنسی برای این زنبور ۰/۶۳ ماده روی تخم‌های *Plutella xylostella* (Akbari *et al.*, 2012) و ۵۸/۵۴ ماده روی تخم‌های کرم گلوگاه انار (Mohseni *et al.*, 2016) گزارش شده است که به یافته‌های این پژوهش نزدیک می‌باشد. نسبت جنسی زنبورهای *Trichogramma pretiosum* Riley در دماهای ۲۵ و ۲۸ درجهٔ سلسیوس ۷۰ و ۶۷ درصد گزارش شده است (Bueno *et al.*, 2010).

زادآوری نیز از مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده کیفیت در پرورش انبوه عوامل بیولوژیک می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش تعداد نسل‌ها، بطور معنی‌داری میزان

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

زادآوری کاهش می‌یابد و از ۷۲/۷۳ تخم به ازای هر ماده در نسل ۵ به ۲۸/۶۴ تخم به ازای هر ماده در نسل ۳۲ رسید. مشابه یافته‌های این پژوهش میزان زادآوری *T. brassicae* روی تخم‌های *E. kuehniella* پس از نسل ۱۰ بطور معنی‌داری کاهش یافت و از ۴۷/۴۱ تخم در نسل ۵ به ۲۰/۲۵ تخم در نسل ۴۵ رسید (Ghaemmaghami *et al.*, 2021b). مطابق این یافته‌ها میزان زادآوری زنبور *T. dendrolimi* نیز از ۲۵/۳۷ تخم در نسل اول به ۱۵/۹۸ تخم در نسل ۳۰ کاهش پیدا کرد (Lu *et al.*, 2017). میزان زادآوری زنبور *T. embryophagum* با تغذیه از تخم‌های کرم گلوگاه انار ۷۴/۴۰ گزارش شده است (Mohseni *et al.*, 2016) که اندکی از یافته‌های ما در نسل پنجم بیشتر است.

نرخ خالص تولیدمثل زنبور (R_0) بیانگرمیانگین تعداد نتاج ماده اضافه شده به جمعیت توسط هر فرد ماده در هر نسل می‌باشد. نتایج نشان داد که در نسل پنجم به ازای هر ماده در هر نسل ۴۷/۴۳ تخم به ازای هر ماده به جمعیت افزوده می‌شود در حالی که در نسل ۳۲ در هر نسل به ازای هر ماده تنها ۱۵/۸۳ تخم به ازای هر ماده به جمعیت افزوده می‌شود که نشان می‌دهد در نسل ۳۲ تعداد تخم به ازای هر ماده افزوده شده به جمعیت توسط هر فرد نسبت به نسل ۵ به یک سوم کاهش می‌یابد. میزان نرخ خالص تولیدمثل (R_0) برای این زنبور روی *E. kuehniella* ۴۸/۸۹ تخم به ازای هر ماده گزارش شده است (Haghani and Fathipour, 2003) که به نتایج ما در نسل پنجم بسیار نزدیک است. همچنین ۳۷/۲۰ تخم به ازای هر ماده نیز برای این زنبور روی تخم‌های کرم گلوگاه انار گزارش شده است (Mohseni *et al.*, 2016) که به نتایج ما در نسل ۱۵ (۳۷/۳۸ تخم به ازای هر ماده) نزدیک است.

از آنجا که نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت (r) ویژگی‌های مختلف حشرات مانند طول دوره‌های رشدی، نسبت جنسی، زنده مانی و زادآوری را با هم تلفیق می‌کند، مهم ترین پارامتر رشد جمعیت حشرات در جداول زندگی بوده و دارای اهمیت زیادی می‌باشد. نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت عبارت از نرخ افزایش جمعیت به ازای هر ماده تحت شرایط محیطی معین و در جمعیت با توزیع سنی پایدار می‌باشد. میزان r در نسل‌های ۵– ۱۵ بطور معنی‌داری از سایر نسل‌ها بیشتر بود و با افزایش بیشتر تعداد نسل‌ها کاهش یافت. مشابه یافته‌های ما در این تحقیق، میزان نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت (r) در زنبورهای *T. brassicae* پرورش یافته روی تخم‌های *E. kuehniella* نیز تحت تاثیر افزایش نسل‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافته و از ۰/۲۴۲ روز$^{-1}$ در نسل ۵ به ۰/۱۷۴ روز$^{-1}$ در نسل ۴۵ رسید (Ghaemmaghami *et al.*, 2021b). محسنی و همکاران (۲۰۱۶) میزان نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت را برای این گونه روی تخم شب‌پرهٔ کرم گلوگاه انار ۰/۳۱۱ روز$^{-1}$ گزارش نمودند (Mohseni *et al.*, 2016) که اندکی از یافته‌های ما در نسل‌های ۵ و ۱۰ بیشتر می‌باشد که می‌تواند مربوط به کیفیت تخم میزبان باشد. حقانی (۲۰۰۲) میزان نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت (r) *T. embryophagum* را روی تخم‌های بید غلات و شب‌پرهٔ آرد به ترتیب ۰/۲۱۸ و ۰/۲۳۸ روز$^{-1}$ گزارش نمود (Haghani, 2002) که از یافته‌های ما کمتر است. نوع و کیفیت میزبان و زنبور مورد استفاده و همچنین شرایط متفاوت آزمایشات ممکن است در بروز این اختلافات موثر باشند.

نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) نشان دهنده میزان افزایش جمعیت در هر روز نسبت به روز قبل می‌باشد. نتایج نشان داد که جمعیت زنبور *T. embryophagum* در نسل ۵ روزانه نسبت به روز قبل ۱/۳۵۲ برابر می‌شود در حالی که در نسل ۳۲ هر روز نسبت به روز قبل جمعیت خود را به میزان ۱/۲۵۸ برابر افزایش می‌دهد. میزان λ گزارش شده برای این زنبور روی *E. kuehniella* به میزان ۱/۲۶۸ (روز$^{-1}$) گزارش شده است که به یافته‌های ما در نسل‌های آخر نزدیک است (Haghani, 2002).

میانگین طول هر نسل (T) که نشان دهنده مدت زمان لازم برای R_0 برابر شدن جمعیت است نشان داد که در نسل ۵ هر ۱۲/۸۰ روز جمعیت زنبور پارازیتوئید ۴۷/۴۳ برابر می‌شود در حالی که در نسل ۳۲ ام هر ۱۲/۰۴ روز جمعیت زنبور ۱۵/۸۳ برابر می‌شود. مدت زمان لازم برای R_0 برابر شدن جمعیت این زنبور بر روی تخم‌های کرم گلوگاه انار

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱۱/۶۴ روز گزارش شده است (Mohseni *et al*., 2016) که به یافته‌های این تحقیق نزدیک می‌باشد. میزان متوسط زمان یک نسل (T) برای این زنبور روی تخم‌های شب‌پرهٔ آرد ۱۶/۳۷ روز گزارش شده است (Haghani, 2002) که از یافته‌های ما بیشتر است.

مشابه اغلب یافته‌های جدول زندگی، پارامترهای مربوط به پارازیتیسم نیز بطور معنی‌داری تحت تاثیر تعداد نسل‌ها قرار گرفتند. با این حال تا نسل ۱۵ علیرغم داشتن اندکی کاهش تفاوت آن‌ها معنی‌دار نبود ولی با افزایش بیشتر تعداد نسل‌ها و از نسل ۲۰ به بعد، میزان نرخ خالص پارازیتیسم (c_0)، نرخ پایدار پارازیتیسم (ψ) و همچنین نرخ متناهی پارازیتیسم (ω) روند کاهشی داشت و کمترین میزان آن‌ها به ترتیب به میزان ۱۵/۸۳ میزبان به ازای هر پارازیتوئید، ۰/۲۶۴ میزبان به ازای هر پارازیتوئید و ۰/۳۳۲ میزبان به ازای هر پارازیتوئید در روز در نسل ۳۲ مشاهده شد. مشابه این یافته‌ها، روند مشابهی برای زنبورهای *T. brassicae* پرورش یافته روی تخم‌های *E. kuehniella* و همچنین *S. cerealella* گزارش شده است (Ghaemmaghami *et al*., 2021a, b). به نظر می‌رسد با افزایش تعداد نسل‌های تولید شده در شرایط آزمایشگاهی بدلیل کاهش تنوع ژنتیکی لازم و حذف برخی ژن‌ها در جمعیت، توان پارازیتیسم زنبورها کاهش می‌یابد (Chambers, 1977; Van Lenteren, 2003; Sørensen *et al*., 2012).

میزان و کیفیت زنبورهای موسس در هنگام احداث کلنی روی ویژگی‌های زنبورهای پرورش یافته در طول نسل‌ها تاثیر بسیار زیادی دارند. بررسی‌های میدانی ما نشان داد که زنبور *T. embryophagum* برای رهاسازی روی برخی آفات درختان میوه از جمله کرم گلوگاه انار سالیانه حدود ۱۵ الی ۲۰ نسل به صورت انبوه و متوالی در انسکتاریوم‌های پرورش حشرات مفید پرورش و سپس رهاسازی می‌شود. در صورت جمع‌آوری جمعیت اولیه به میزان لازم از طبیعت و براساس نتایج حاصل از این پژوهش زنبورهای *T. embryophagum* پرورش یافته با استفاده از تخم‌های شب‌پرهٔ آرد تا نسل ۱۵ برای رهاسازی دارای کیفیت و کارایی مناسبی می‌باشند و بعد از آن با تداوم روند پرورش انبوه، کارایی این زنبورها بطور محسوسی کاهش می‌یابد و باید با افزودن افراد وحشی دارای تنوع ژنتیکی از طبیعت به جمعیت آزمایشگاهی، نسبت به حفظ کیفیت زنبورهای پرورش یافته اقدام شود. در پایان پیشنهاد می‌شود اثرات کیفیت تخم میزبان نیز در حفظ کیفیت این زنبور مورد مطالعه قرار گیرد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از رساله دکتری رشته حشره‌شناسی کشاورزی نگارنده اول می‌باشد و توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک حمایت مالی شده است که بدین وسیله سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

References

Akbari, F., Askarianzadeh, A., Zamani, A.A. & Hosseinpour, M.H. 2012. Biological characteristics of three *Trichogramma* species on the eggs of diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). Archive Phytopathology and Plant Protection, 1: 1–5.

Bueno, R.C.O.de F., Bueno, A. de F., Parra, J.R.P., Vieira, S.S. & de Oliveira, L.J. 2010. Biological characteristics and parasitism capacity of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera, Trichogrammatidae) on eggs of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae). Revista Brasileira de Entomologia, 54(2): 322–327.

Chambers, D.L. 1977. Quality control in mass rearing. Annual Review of Entomology, 22: 289–308.

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

Chi, H. 2019a. CONSUME–MSChart: computer program for consumption rate analysis based on the age stage, two–sex life table. 2019.02.01 ed. Available in: http://140.120.197.173/Ecology/Download/CONSUMSChart.zip. (Accessed on February 01, 2019).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Chi, H. 2019b. TWOSEX–MSChart: a computer program for the age–stage, two–sex life table analysis. 2019.01.09 ed. Available in: http://140.120.197.173/Ecology/Download/ TWOSEX–MSChart.rar. (Accessed on January 09, 2019).

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

Chi, H. & Su, H.Y. 2006. Age–stage, two–sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. Environmental Entomology, 35: 10–21.

Chi, H. & Yang, T.C. 2003. Two–sex life table and predation rate of *Propylaea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). Environmental Entomology, 32: 327–333.

Chi, H., Mou, D.F., Allahyari, H., Yu, J.Z., Huang, Y.B., Yang, T.C., Farhadi, R. & Gholizadeh, M. 2011. Finite predation rate: A novel parameter for the quantitative measurement of predation potential of predator at population level. Nature Precedings. Available from: http://hdl:10101/npre.2011.6651.1

Ebrahimi, E. 1996. The species of *Trichogramma* Westwood in Iran. Proceedings of the Twentieth International Congress of Entomology; 1996 Aug; Firenze, Italy.

Efron, B. & Tibshirani, R. J. 1993. An introduction to the Bootstrap. Chapman & Hall, New York, USA.

Fathipour, Y., Haghani, M., Attaran, M., Talebi, A.A. & Moharramipour, S. 2003. Functional response of *Trichogramma embryophagum* (Hym.: Trichogrammatidae) on two laboratory hosts. Journal of Entomological Society of Iran, 23(1): 41–54.

Ghaemmaghami, E., Fathipour, Y., Bagheri, A., Talebi, A.A. & Reddy, G.V.P. 2021a. Quality control of the parasitoid wasp *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) over 45 generations of rearing on *Sitotroga cerealella*. Insect Science, 28: 180–190.

Ghaemmaghami, E., Fathipour, Y., Bagheri, A., Talebi, A.A. & Reddy, G.V.P. 2021b. Continuous rearing on *Ephestia kuehniella* reshaped quality of the parasitoid wasp *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Journal of Asia–Pacific Entomology https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.02.013

Ghaemian, P., SarrafMoayeri, H.R. & Farrokhi, Sh. 2013. Laboratory and field evaluation of *Trichogramma embryophagum* efficiency in presence of buckwheat, *Fagopyrum esculentum*. Plant Pests Research, 3(2): 43–21.

Goodman, D. 1982. Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. The American Naturalist, 119: 803–823.

Haghani, M. 2001. Investigation on demography and behavior of the *Trichogramma embryophagum* (Hym.: Trichogrammatidae) on laboratory hosts [MS thesis]. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 97 pp.

Haghani, M. & Fathipour, Y. 2003. The effect of the type of laboratory host on the population growth parameters of *Trichogramma embryophagum* Hartig (Hym: Trichogrammatidae). Journal of Agricultural Science Natural Resources, 2(2): 117–124.

Haghi Golbaghi, F., Goldansaz, S.H., Rahmani, Sh. & Attaran, M.R. 2020. Preference and performance of *Trichogramma embryophagum* when parasitizing *Cydia pomonella* and two stored–product moths. Bulletin of Insectology, 73(1): 79–86.

Hassan, S.A. 1989. Selection of suitable *Trichogramma* strains to control the codling moth *Cydia pomonella* and the two summer fruit tortrix moths *Adoxophyes orana*, *Pandemis heparana* (Lep.: Tortricidae). Entomophaga, 34(1): 19–27.

Hassan, S.A., Kohler, E. & Rost, W.M. 1988. Mass production and utilization of *Trichogramma:* 10. Control of the codling moth *Cydia pomonella* and the summer fruit tortrix moth *Adoxophyes orana* (Lep.: Tortricidae). BioControl, 33(4): 413–420.

Li, S.Y., Henderson D.E. & Meyer J.H. 1994. Selection of suitable *Trichogramma* species for potential control of the blackheaded Fire worm infesting cranberries. Biocontrol, 4: 244–248.

Li –Ying, L. 1994. Worldwide use of *Trichogramma* for biological control on different crops: A survey. pp. 37–51 in Wajenberg, E. & Hassan, S. A. (Eds.) *Biological control with egg parasitoid*. CAB International.

Lu, X., Han, S., Li, Z. & Li, L. 2017. Biological characters of *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared *in vitro* versus *in vivo* for thirty generations. Scientific Reports, 7: 17928.

Luna, M., Sánchez, N.E., Pereyra, P.C., Nieves, E., Savino, V., Luft, E., Virla E. & Speranza, S. 2012. Biological control of *Tuta absoluta* in Argentina and Italy: Evaluation of indigenous insects as natural enemies. European and Mediterranean Plant Protection Organization Bulletin, 42(2): 260–267.

Mohseni, E., Abbasipour, H., Attaran, M.R. & Askarianzadeh, A. 2016. Evaluation of the life table characteristics of three species of the genus *Trichogramma* on the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* under laboratory conditions. Biocontrol in Plant Protection, 3(2): 49–58.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Negahban, M., Sedaratian–Jahromi, A., Ghane–Jahromi M. & Haghani, M. 2016. Temperature–dependent parasitism in *Trichogramma brassicae* (Hym.: Trichogrammatidae), modeling finite parasitism rate. Journal of Entomological Society of Iran, 36(1): 13–27.

Nordlund, D.A., Wu, Z.X. & Greenberg, S.M. 1997. *In vitro* rearing of *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) for ten generations, with quality assessment comparisons of *in vitro* and *in vivo* reared adults. Biological Control, 9: 201–207.

Parra, J.R.P. 2010. Egg parasitoids commercialization in the New World, pp. 373–378 in Consoli Fl, Parra JRP, Zucchi RA (eds.), Egg Parasitoids in Agroecosystems with emphasis on *Trichogramma*. Springer, Dordrecht, the Netherlands.

Pomari–Fernandes, A., Bueno, A.F., Queiroz, A.P. & De Bortoli, S.A. 2015. Biological parameters and parasitism capacity of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Platygastridae) reared on natural and factitious hosts for successive generations. African Journal of Agricultural Research, 10(33): 3225–3233.

Pratissoli, D., Oliveira, H., Roberto Gonçalves, J. & Zanuncio, J. 2004. Changes in biological characteristics of *Trichogramma pretiosum* (Hym.: Trichogrammatidae) reared on eggs of *Anagasta kuehniella* (Lep.: Pyralidae) for 23 generations. Biocontrol Science and Technology, 14: 313–319.

Ranjbar Aghdam, H. & Attaran, M. 2015. Collecting, identifying and selecting a native strain of egg parasitoid wasps, *Trichogramma* spp. for biological control of codling moth, *Cydia pomonella* in Damavand region. Biological Control of Pests and Plant Diseases, 46(1): 1–8.

Shakeri, M. 2004. Analytical revising of carob moth studies in Iran. Report of management problems of carob moth in Iran. Agricultural research center of Yazd, 25–28.

Smith, S.M. 1996. Biological control with *Trichogramma*: advances, successes and potential for their use. Annual Review of Entomology, 41: 375–406.

Sorensen, J.G., Addison, M.F. & Terblanche, J.S. 2012. Mass–rearing of insects for pest management: Challenges, synergies and advances from evolutionary physiology. Crop Protection, 38: 87–94. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.023

van Lenteren, J.C. 2003. Quality control and production of biological control agents: Theory and Testing Procedures, p. 327. CABI, Wallingford, Oxon, U.K.

Wajnberg, E. & Hassan, S.A. 1994. Biological control with egg parasitoids, UK: CAB International, 286 pp.

Yu, J.Z., Chi, H. & Chen, B.H. 2013. Comparison of the life table and predation rates of *Harmonia dimidiata* (f.) (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) at different temperatures. Biological Control, 64: 1–9.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Life table parameters and parasitism rate of *Trichogramma embryophagum* in long–term mass rearing on *Ephestia kuehniella* eggs

Farzaneh Sadat[1], Alireza Nazari[2], Shahriar Jafari[3], Zahra Rafie Karhroudi[4]

1, 4. PhD. student, Assistant Professor, Department of Entomology, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Sustainable Agriculture, Food Security Research Institute, Arak branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
3. Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
Corresponding author: Alireza Nazari, email: a–nazari@iau–arak.ac.ir

Received: Jun., 08, 2021 9(1) 81–97 Accepted: Jan., 11, 2022

Abstract

The quality of biological control agents has a main role in the success of a biological control program. It is believed that long–term mass rearing in confinement may affect the quality of them. In this study, the life table and parasitism parameters of *Trichogramma embryophagum* (Hartig) reared on *Ephestia kuehniella* Zeller eggs was studied for 32 generations (G). The initial population of wasp from the pomegranate orchards of Kuhdasht County (Lorestan Province) and the population of host from an insectary, from Hamadan (Hamadan Province), were prepared and reared at 26°C, RH of 65%. Data on the duration of different developmental stages, survival, fecundity and parasitism in G5, G10, G15, G20, G25, G28, G30 and G32 were determined separately, and were analyzed using age–stage, two–sex life table theory with use of TWOSEX–MSChart and CONSUME–MSChart programs. The adult longevity was not significantly different until the 15th generation, but declined as the generation numbers increased and reached 7.15 days in G30. The highest and lowest fecundities were observed in G5 (72.73 eggs) and G32 (28.64 eggs), respectively. The highest values of net reproductive rate (R_0) were seen in G5 to G15. The values of intrinsic rate of increase (r) in G5 to G15 were significantly higher than the other generations. The r value from 0.301 day^{-1} in G1 reached to 0.229 day^{-1} in G32. Also the finite rate of parasitism (ω) with increasing the generation numbers declined and from 0.478 host/parasitoid/day in G5 reached to 0.332 host/parasitoid/day in G32. According to the findings of this study, due to the constant rearing conditions and not adding wild individuals with genetic diversity to the population, after the 15th generation, the quality of reared individual's decreases significantly.

Keywords: intrinsic rate of increase, mass rearing, parasitism, quality control, *Trichogramma embryophagum*

Archive of SID.ir