

بررسی واکنش تابعی وابسته به سن در زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* آلوده به ولباخیا روی بید آرد *Ephestia kuehniella*

راحله نیک بین^۱، احد صحراگرد^{۲*} و مجتبی حسینی^۳

۱ و ۲ به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد حشره شناسی کشاورزی و استاد گروه گیاه پزشکی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ۳، استادیار گروه گیاه پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۱۵)

چکیده

یکی از عوامل مهم در ارزیابی کارایی دشمنان طبیعی، تعیین نرخ حمله آن‌ها در تراکم‌های مختلف میزبان و به عبارت دیگر واکنش تابعی است. در این پژوهش، واکنش تابعی وابسته به سن زنبور *Trichogramma brassicae* Bezdenko آلوده به ولباخیا در تراکم‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ عدد از تخم بید آرد *Ephestia kuehniella* Zeller در شرایط دمایی 23 ± 1 درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و نسبت روشنایی به تاریکی ۸:۱۶ ساعت بررسی شد. نتایج مربوط به تجزیه واکنش تابعی، برای روزهای اول و دوم عمر زنبور پارازیتوئید واکنش تابعی نوع سوم و برای روزهای سوم تا نهم عمر نوع دوم را نشان داد. قدرت جستجو (a)، زمان دستیابی (T_h) و حداکثر نرخ پارازیتسیم (T/T_h) زنبور پارازیتوئید تحت تاثیر سن آن قرار گرفت. با افزایش سن پارازیتوئید قدرت جستجو کاهش معنی‌داری نشان نداد، در حالی که زمان دستیابی میزبان با افزایش سن زنبور به طور معنی‌داری افزایش یافت و کم‌ترین مقدار آن در روز اول عمر به میزان $0/573$ ساعت به دست آمد. همچنین با افزایش سن پارازیتوئید، حداکثر نرخ پارازیتسیم زنبور کاهش معنی‌داری از خود نشان داد به طوری که از مقدار $41/75$ تا $5/51$ به ترتیب در روزهای اول تا نهم کاهش پیدا کرد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که سن زنبور در تعیین نوع واکنش تابعی زنبور *T. brassicae* موثر بوده و کارایی این زنبور در روزهای اول و دوم عمر نسبت به روزهای دیگر عمر بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کنترل بیولوژیک، قدرت جستجو، ماده‌زایی، واکنش تابعی، *Trichogramma brassicae*

مقدمه

خطی افزایش می‌یابد و سپس ثابت می‌ماند. در واکنش تابعی نوع دوم متناسب با افزایش تراکم میزبان، تعداد میزبان‌های مورد حمله افزایش می‌یابد، ولی این افزایش به صورت خطی نبوده و به تدریج از شیب منحنی کاسته می‌شود تا به یک مقدار ثابت برسد. در واکنش تابعی نوع سوم، متناسب با افزایش تراکم میزبان، ابتدا نسبت میزبان‌های پارازیته شده افزایش یافته (وابسته به تراکم) و سپس از میزان آن کاسته می‌شود (عکس وابسته به تراکم) (Holling, 1959, 1966). از جمله عواملی که در واکنش تابعی تاثیرگذار هستند می‌توان به عوامل غیرزنده مثل دما (Moezipour et al., 2008) و رطوبت نسبی (Svendsen et al., 1999) و عوامل زنده مثل گونه شکار یا میزبان (Faria et al., 2004)، وجود غذای جایگزین (Wei and Walde, 1997)، جنسیت شکارگر (Parajulee et al., 1994)، سن شکارگر (Ding-Xu et al., 2007) و سن پارازیتوئید (Asadi et al. 2012) اشاره کرد.

نظر به این که سن دشمنان طبیعی در واکنش تابعی و به دنبال آن کارایی آن‌ها تاثیرگذار است، در این مطالعه واکنش تابعی وابسته به سن زنبور ماده‌زا *T. brassicae* روی تراکم-های مختلف تخم بید آرد *E. kuehniella* بررسی شد و همچنین تغییرات پارامترهای قدرت جستجوگری، زمان دستیابی میزبان و حداکثر نرخ پارازیتسیم در طول عمر این پارازیتوئید به دست آمد.

مواد و روش‌ها

زنبورهای ماده‌زای آلوده به باکتری گونه *T. brassicae* و همچنین تخم‌های پروانه بید آرد *E. kuehniella* از آزمایشگاه اکولوژی حشرات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد. شناسایی گونه و آلودگی آن‌ها به باکتری ولباخیا توسط کریمی و همکاران (Karimi et al., 2011) انجام شد. برای انجام واکنش تابعی، تراکم‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ عدد از تخم‌های یک روزه بید آرد (عقیم شده با سرما در ۲۰- درجه سانتی‌گراد) مورد استفاده قرار گرفت. تراکم‌های تخم به صورت یکنواخت روی

استفاده از دشمنان طبیعی در کنترل بیولوژیک، بهترین شیوه مدیریت آفات جهت کاهش دادن سطح جمعیت آن‌ها می‌باشد (Delfosse, 2005). کنترل بیولوژیک از روش-های منطقی و پایدار است که از نظر زیست محیطی به طور کامل ایمن می‌باشد (Lewis et al., 1976). گونه‌های جنس تریکوگراما پارازیتوئیدهای تخم چندین‌خواری هستند که به فراوانی در رهاسازی اشیاعی برنامه‌های کنترل بیولوژیک علیه بال‌پولک‌داران آفت در اکوسیستم‌های کشاورزی استفاده می‌شوند (van Lenteren, 2000). در ایران گونه‌های مختلف *Trichogramma* با موفقیت جهت کنترل آفات کلیدی مانند کرم ساقه خوار برنج (*Chilo suppressalis* Walker) و کرم گلوگاه انار (*Ostriana nubilalis* Hubner) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ebrahimi et al., 1998). زنبور *T. brassicae* گونه شایع از این جنس در ایران محسوب می‌شود (Azema and Mirabzadeh, 2005). این زنبورها به‌طور معمول از تخم‌های بارور نشده نتاج نر و از تخم‌های بارور شده نتاج ماده تولید می‌کنند. اگرچه نژادهای مشخصی از تریکوگراما شامل نوع ماده‌زا وجود دارند که فقط نتاج ماده تولید می‌کنند (Schmidt, 1994). ماده‌زایی در این زنبور پارازیتوئید مربوط به حضور عامل القا کننده بکرزایی^۱ باکتری ولباخیا^۲ است (Stouthamer, 1993).

جهت افزایش تاثیر دشمنان طبیعی در جمعیت یک آفت، عوامل ارتباط دهنده بین دشمنان طبیعی و حشرات گیاه خوار (طعمه) باید مورد مطالعه قرار گیرند (Rabb, 1974). مهم-ترین این عوامل ارتباطی شامل واکنش‌های تابعی و عددی است که به ترتیب در سطح فردی و در سطح جمعیت میزبان و پارازیتوئید (شکار و شکارگر) اتفاق می‌افتد (Holling, 1959). هولینگ سه نوع واکنش تابعی را بیان کرد. در واکنش تابعی نوع اول متناسب با تراکم میزبان، تعداد میزبان-های مورد حمله تا رسیدن به یک مقدار حداکثر به صورت

1. Parthenogenesis-inducing
2. *wolbachia*

درجه دو و یا سه و یادرجات بالاتر نسبت N_a/N_0 نشان می-دهد.

با مشاهده علامت بخش خطی منحنی در جدول تجزیه و تحلیل رگرسیونی، نوع واکنش تابعی مشخص شد. علامت منفی نشان دهنده این است که بخش خطی در ابتدا سیر نزولی داشته و واکنش تابعی از نوع دوم است. علامت مثبت یعنی منحنی در ابتدا سیر صعودی داشته و از نوع سوم است. در مرحله دوم تخمین پارامترهای واکنش تابعی با استفاده از مدل ترجیحی رگرسیون غیرخطی حداقل مربعات^۵ نسبت N_a/N_0 استفاده شد (Juliano, 1993; SAS, 2001). پس از تعیین نوع واکنش تابعی، پارامترهای زمان دستیابی^۶ (T_h) و قدرت جستجوگری^۷ (a) تخمین زده شد. در این مطالعه، برای واکنش تابعی نوع دوم مدل رویاما و راجرز (Rogers, 1972; Royama, 1971) و برای واکنش تابعی نوع سوم مدل کاهش یافته هسل و همکاران (Hassell et al., 1977) مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌های واکنش تابعی به روش فوق برای ۹ روز اول عمر زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* صورت گرفت و تمامی نمودارها توسط نرم افزار سیگماپلات رسم شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون لجستیک نسبت میزبان-های پارازیته شده (N_a) به تراکم اولیه میزبان (N_0) در سنین مختلف زنبور پارازیتوئید *T. Brassicae* در جدول ۱ نشان داده شده است. علامت مثبت بخش خطی مربوط به روز اول و دوم عمر زنبور ماده زان نشان دهنده واکنش تابعی از نوع سوم می‌باشد. در حالی که زنبور پارازیتوئید در روزهای سوم تا نهم عمر خود واکنش تابعی نوع دوم را نشان داده است (جدول ۱). منحنی‌های مربوط به واکنش تابعی و درصد پارازیتیسیم روزهای اول تا نهم زنبور آلوده به ولباخیا *T. brassicae* در شکل ۱ نشان داده شده است. منحنی مدل تخمینی این زنبور در روز اول عمر زنبور، از ۲/۶۳ عدد تخم

کارت های سفید رنگ با ابعاد $۶ \times ۱/۲$ سانتی متر و به وسیله محلول آب و عسل ۲۰ درصد چسبانده شدند. سپس تراکم-های تخم به طور جداگانه در اختیار یک زنبور ماده یک روزه درون لوله آزمایش با ابعاد ۱۰۰×۱۶ میلی متر که با پنبه مسدود شده بود، قرار گرفت. به منظور تغذیه کافی زنبورها، با سوزن، نوار باریکی از محلول آب و عسل بر جدار لوله آزمایش کشیده شد. تراکم‌های تخم میزبان هر روز در ساعت معینی تعویض شدند و این کار تا پایان عمر زنبور ادامه یافت. نوارهای حاوی تخم‌های پارازیته شده در هر روز، درون لوله آزمایش جداگانه‌ای در ژرمیناتور نگه‌داری شدند. پس از گذشت ۳ تا ۵ روز (زمان تشکیل شفیره که منجر به سیاه شدن تخم‌های میزبان می‌شود)، نوارهای حاوی تخم‌های پارازیته شده توسط زنبور در روزهای قبل از ژرمیناتور خارج و تعداد تخم‌های سیاه شده ثبت شد. تمامی آزمایش‌ها در ۲۰ تکرار درون اتاقک پرورش با شرایط دمایی 23 ± 1 درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و نسبت روشنایی به تاریکی ۸:۱۶ ساعت انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های واکنش تابعی با استفاده از نرم افزار SAS و به روش جولیانو (Juliano, 1993) و طی دو مرحله مجزا صورت گرفت. مرحله اول شامل تعیین نوع واکنش تابعی با استفاده از رگرسیون لجستیک^۱ نسبت میزبان-های پارازیته شده (N_a) به تراکم اولیه میزبان (N_0) بود (Trexler and Travis, 1993). تابع چند جمله‌ای از N_0 که ارتباط N_a/N_0 را با N_0 توصیف می‌کند در معادله ۱ آورده شده است:

(۱)

$$\frac{N_a}{N_0} = \exp \left\{ \frac{P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3}{1 + \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)} \right\}$$

این رگرسیون میزان شیب و منفی یا مثبت بودن شیب قسمت‌های خطی^۲، درجه دو^۳ و درجه سه^۴ را در منحنی‌های

1. Logistic regression
2. Linear
3. Quadratic
4. Cubic

5. Nonlinear least squares regression
6. Handling time
7. Searching efficiency

های مختلف *Euphyllura pakistanica* Loginova (Hem.: Psyllidae) انجام شده است نشان داد که نوع واکنش تابعی با افزایش سن تغییر نکرد و در تمام روزهای عمر از نوع دوم گزارش شد (Asadi et al., 2012). با توجه به اینکه زنبور آلوده به باکتری *T. brassicae* در شرایط محدودیت میزبان به عنوان عامل کنترل بیولوژیک موفق‌تری عمل می‌کند (Stouthamer et al., 1993; Silva, 1999)، واکنش تابعی نوع سوم در دو روز اول عمر این زنبور نشان دهنده کارایی این سوش در کنترل جمعیت بید آرد می‌باشد. اثبات شده است که شکارگرها و پارازیتوئیدهایی که واکنش تابعی نوع سوم را نشان می‌دهند، در شرایط محدودیت میزبان قادرند جمعیت آفت را به پایداری برسانند (Pervez and Omkar, 2005). از دیگر مزایای استفاده از زنبورهای ماده‌ها می‌توان به بیشتر بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت، تولید ارزان‌تر به دلیل ماده بودن همه نتاج، استقرار سریع‌تر به دلیل عدم نیاز به جفت‌گیری و در نهایت تاثیر بیشتر در شرایط محدودیت میزبان اشاره کرد (Stouthamer, 1993).

جدول ۲ و شکل ۲ تغییرات پارامترهای واکنش تابعی در طول عمر زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* را نشان می‌دهند. با افزایش سن زنبور علی‌رغم وجود نوسان، قدرت جستجوگری زنبور از تفاوت معنی‌داری برخوردار نبود ($F=9/18$ ، $df=8$ و 1 ، $P=0/09$). در حالی که زمان دستیابی با افزایش سن زنبور به طور معنی‌داری افزایش یافت ($F=22/57$ ، $df=8$ و 1 ، $P<0/01$) ($R^2=0/76$) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به روز اول عمر به میزان $0/573$ ساعت بود (شکل ۲a). همچنین نتایج نشان داد که حداکثر نرخ پارازیتیسیم در طول عمر زنبور *T. brassicae* به طور معنی‌داری با سن پارازیتوئید نسبت عکس داشت ($F=7/5$ ، $df=8$ و 1 ، $P<0/01$) ($R^2=0/71$) به طوری که از مقدار $41/78$ در روز اول به $5/51$ میزبان در روز نهم کاهش پیدا کرد (شکل ۲b). در مطالعه فرخی و همکاران (Farrokhi et al., 2010) مقدار قدرت جستجو برای دو سوش دوجنسی و ماده‌ها زنبور *T. brassicae* به ترتیب $0/047$ و $0/056$

پارازیته در تراکم ۵ به $13/06$ عدد در تراکم ۲۰ رسید. سپس روند کاهشی پیدا کرده و در نهایت در تراکم ۸۰ عدد تخم به $30/93$ تخم پارازیته رسید که همین روند در روز دوم عمر نیز قابل مشاهده است (شکل ۱a). همچنین درصد تخم‌های پارازیته شده در روز اول عمر زنبور از $52/62$ عدد در تراکم ۵ تا $65/32$ در تراکم ۲۰ عدد میزبان افزایش یافت (وابسته به تراکم) و سپس تا $38/67$ عدد در تراکم ۸۰ کاهش پیدا کرد (عکس وابسته به تراکم) (شکل ۱b). این نتایج با مشاهدات ارباب تفتی و همکاران (ArbabTafti et al., 2004) که واکنش تابعی نوع سوم را برای این گونه در تراکم‌های مختلف بید غلات *Sitotroga cerealella* گزارش کردند، مشابهت دارد. همچنین معزی پور و همکاران (Moezipour et al., 2008) برای سوش دوجنسی این زنبور در تراکم‌های مختلف کرم گلوگاه اثار *Ectomyeloid ceratoniae* در دماهای ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد واکنش تابعی از نوع سوم را گزارش کردند. در مطالعه‌ای که توسط فرخی و همکاران (Farrokhi et al., 2010) روی هر دو سوش آلوده و غیر آلوده به ولباخیا زنبور *T. brassicae* روی میزبان *S. cerealella* انجام گرفت، واکنش تابعی هر دو سوش زنبور فوق در مدت زمان ۲۴ ساعت از نوع دوم بود.

تاکنون بررسی‌های واکنش تابعی جنس‌های مختلف تریکوگراما در مدت زمان ۲۴ ساعت انجام شده است و این اولین مطالعه‌ای است که تغییرات واکنش تابعی را در طول عمر این زنبور مورد بررسی قرار داده است. دینگ‌زو (Ding-Xu, 2007) اثبات کرد که نوع واکنش تابعی *Scolothrips takahashii* Priesner در تراکم‌های مختلف *Tetranychus viennensis* Zacher (Acar.: Tetranychidae) با توجه به جنسیت و سن شکارگر متفاوت است به طوری که در ماده‌های با طول عمر ۳-۱۸ روز و نرهای با طول عمر ۳-۶ روز واکنش تابعی از نوع دوم و در نرهای با طول عمر ۹ روز واکنش تابعی از نوع اول گزارش شد. با وجود این، مطالعه‌ای که روی واکنش تابعی در طول عمر زنبور پارازیتوئید *Psyllaephagu szdeneki* Noyes & Fallahzadeh (Hym.: Encyrtidae) نسبت به تراکم-

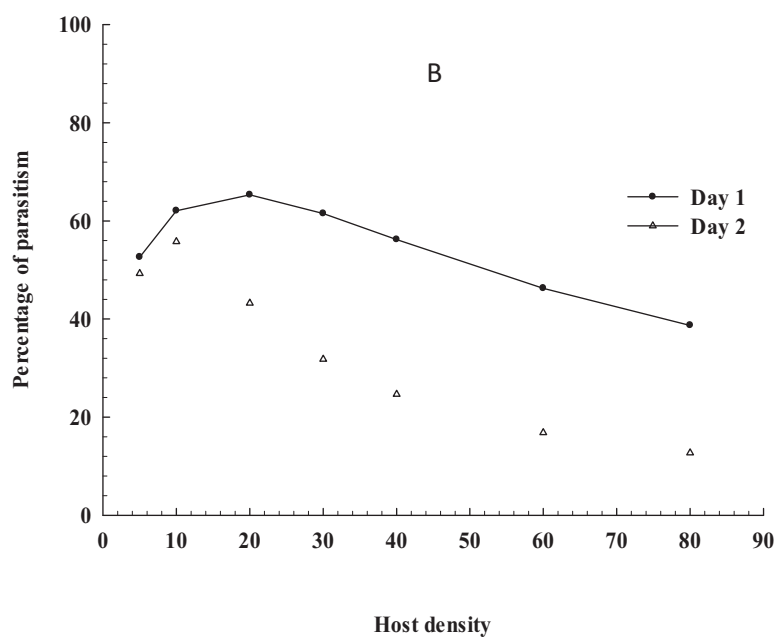
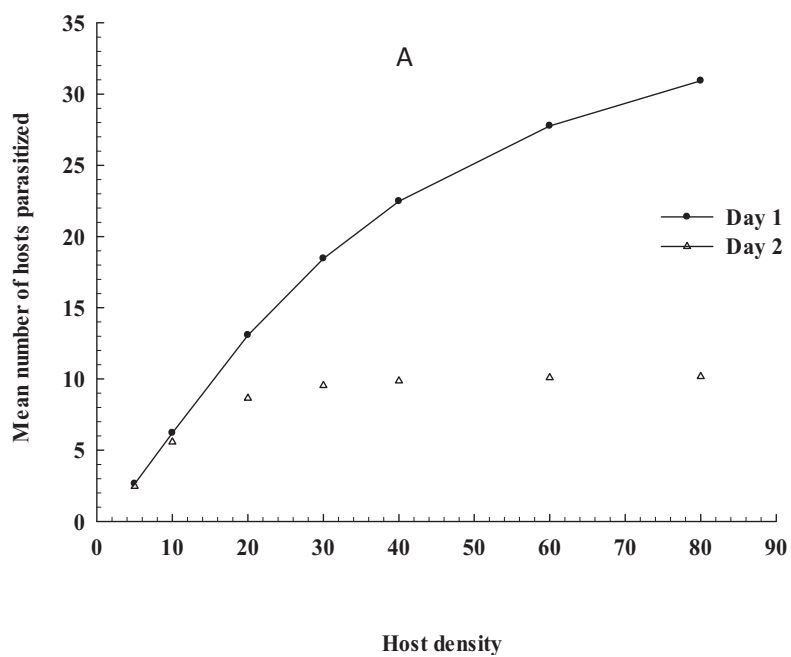
زا بالا بودن نرخ پارازیتسم در روزهای نخست عمر، موجب کاهش انرژی و قدرت پارازیتسم زنبور شد و بنابراین واکنش تابعی آن از نوع سوم در روزهای اول و دوم عمر، به نوع دوم در روزهای سوم تا نهم تغییر کرد. واضح است که وجود واکنش تابعی نوع سوم در دو روز اول عمر زنبور ماده‌زا دلیلی بر کارایی بیش‌تر آن است. کنترل بیولوژیک زمانی موفقیت‌آمیز خواهد بود که جنبه‌های مختلف زیستی، اکولوژیکی و رفتاری دشمنان طبیعی به دقت مطالعه و بررسی شوند (Daane and Yokata, 1997). بنابراین با انجام مطالعاتی نظیر این پژوهش، می‌توان درک دقیق‌تری از به کارگیری دشمنان طبیعی و افزایش کارایی آن‌ها در کنترل زیستی آفات داشت که پیامد آن استفاده کمتر از سموم شیمیایی در جهت حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست خواهد بود.

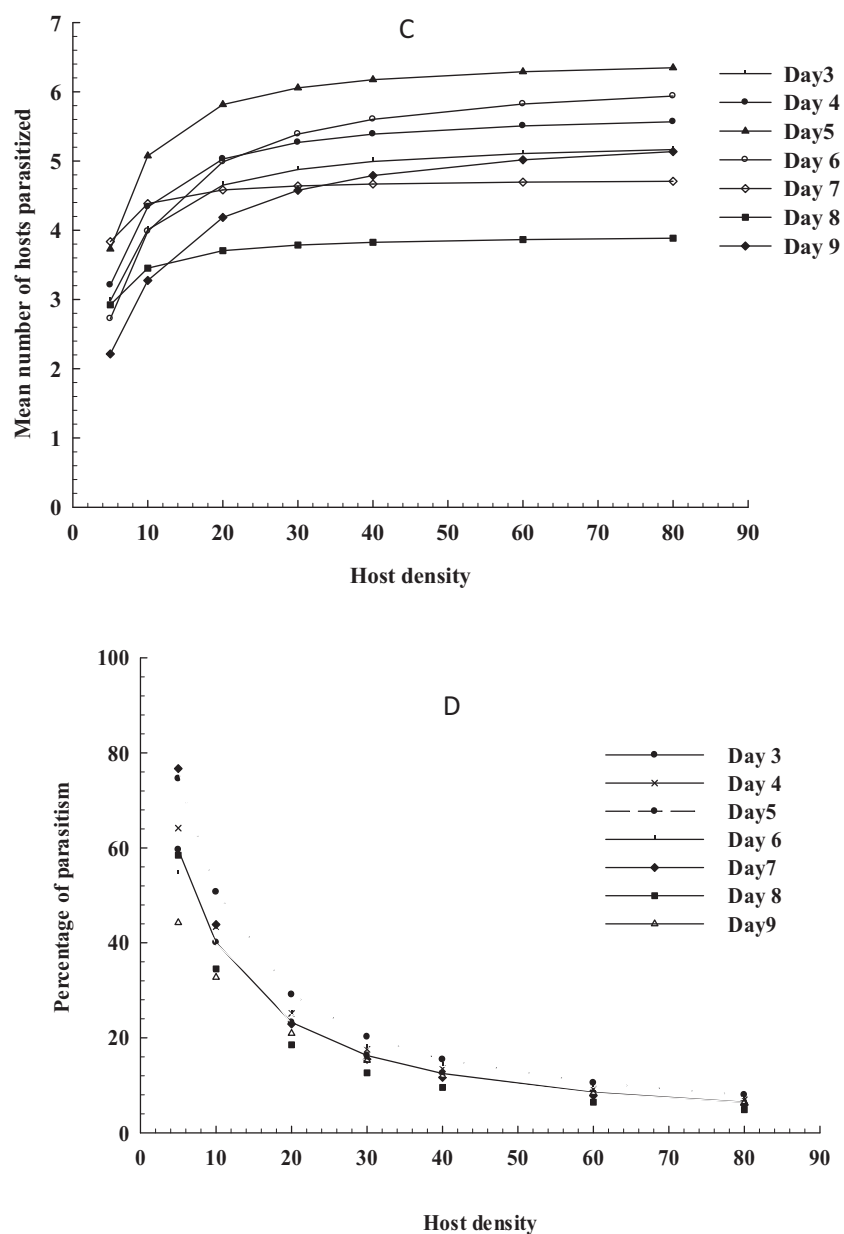
سپاسگزاری

این پژوهش در آزمایشگاه مدیریت اکولوژی حشرات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به انجام رسید. بدین وسیله از مسئولان محترم دانشکده کمال تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از مسئولین محترم دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان به جهت تامین منابع مالی این مطالعه سپاسگزاریم.

برساعت گزارش شد. در مطالعه دیگری که توسط ارباب تفتی و همکاران (ArbabTafti et al., 2004) انجام گرفت پارامتر قدرت جستجو این زنبور در تراکم‌های مختلف بید غلات، ۰/۱۶۸ برساعت گزارش شد. در بررسی که توسط اسدی و همکاران (Asadi et al., 2012) روی واکنش تابعی در طول عمر زنبور پارازیتوئید *P. zdeneki* نسبت به تراکم‌های مختلف *E. pakistanica* انجام شد، بیش‌ترین مقدار قدرت جستجو و کم‌ترین مقدار زمان دستیابی در روز اول عمر زنبور گزارش شد. آن‌ها بالاترین میزان جستجوگری زنبور فوق را در پنج روز اول عمر مشاهده کردند و نتیجه گرفتند که با افزایش سن پارازیتوئید قدرت جستجو با وجود نوسان‌ها، کاهش یافته است. همچنین دینگ‌زو (Ding-Xu, 2007) با افزایش سن حشره شکارگر *S. takahashii* وجود روند کاهشی در پارامتر قدرت جستجو را بیان داشتند. رابطه بین زمان دستیابی و عمر شکارگر *S. takahashii* در تراکم‌های مختلف *T. viennensis* نیز افزایشی بود که این نتیجه با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتایج حاصل از این مطالعه، تغییرات واکنش تابعی و پارامترهای قدرت جستجو و زمان دستیابی را در سنین مختلف زنبور *T. brassicae* به اثبات رساند. در زنبور ماده-

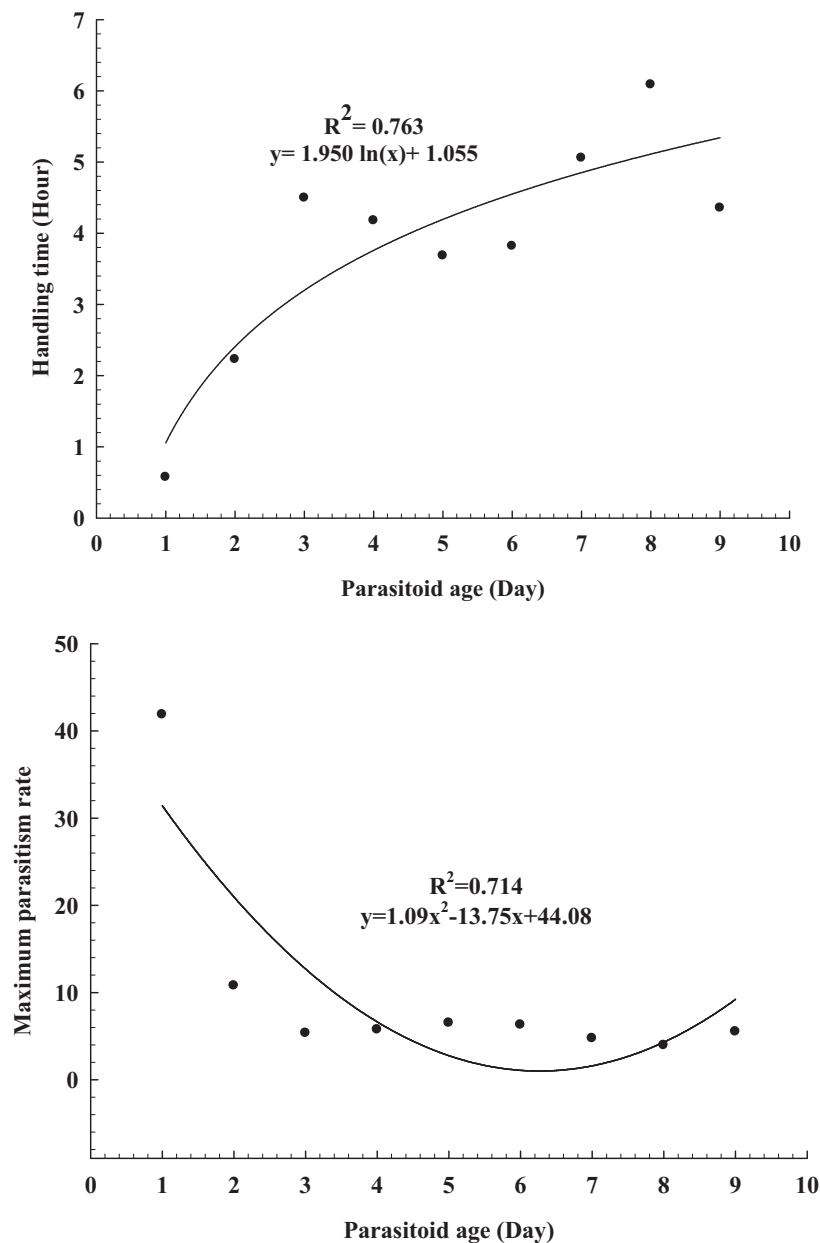




شکل ۱- منحنی های واکنش تابعی و درصد پارازیتسیم مربوط به روزهای اول و دوم (a و b) و سوم تا نهم (c و d) زنبور ماده‌زا

Trichogramma brassicae در تراکم‌های مختلف بید آرد *Ephestia kuehniella*

Figure 1. Functional response and percentage of parasitism curves at days 1 and 2 (A and B) and days 3 to 9 (C and D) of the thelytokous parasitoid, *Trichogramma brassicae* at different densities of *Ephestia kuehniella*



شکل ۲- منحنی‌های مربوط به تغییرات زمان دستیابی (بالا) و حداکثر نرخ پارازیتسیم (پایین) در روزهای مختلف عمر زنبور ماده‌زا

Trichogramma brassicae

Figure 2. Handling time (bottom) and maximum parasitism rate (top) variation curves at different ages of thelytokous parasitoid, *Trichogramma brassicae*

جدول ۱- نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون لجستیک با استفاده از بیشینه درست‌نمایی برای تعیین نوع واکنش تابعی زنبور ماده‌زا

Trichogramma brassicae در تراکم‌های مختلف بید آرد *Ephestia kuehniella*

Table 1. Results of maximum likelihood estimate from logistic regression to determine type of functional response of *Trichogramma brassicae* at different densities of *Ephestia kuehniella*

| Female age (days) | Parameter | Estimate | SE | X ² | P |
|-------------------|-----------|-----------|----------|----------------|---------|
| 1 | Constant | 0.4908 | 0.1373 | 12.87 | 0.0004 |
| | Linear | 0.000275 | 0.00623 | 0.20 | 0.6583 |
| | Quadratic | -0.00019 | 0.00062 | 9.82 | 0.0017 |
| 2 | Constant | -0.4839 | 0.2238 | 4.68 | 0.0306 |
| | Linear | 0.0914 | 0.0202 | 20.46 | <0.0001 |
| | Quadratic | -0.000368 | 0.000532 | 47.97 | <0.0001 |
| 3 | Qubic | 0.000028 | 4.008E-6 | 49.95 | <0.0001 |
| | Constant | 0.2079 | 0.2534 | 0.67 | 0.4120 |
| | Linear | -0.0651 | 0.0236 | 7.60 | 0.0059 |
| 4 | Quadratic | 0.000258 | 0.000630 | 0.05 | 0.8256 |
| | Qubic | 1.055E-6 | 4.788E-6 | 0.45 | 0.5002 |
| | Constant | 0.3674 | 0.2726 | 1.82 | 0.1777 |
| 5 | Linear | -0.0598 | 0.0252 | 5.60 | 0.0179 |
| | Quadratic | -0.00010 | 0.000678 | 0.02 | 0.8847 |
| | Qubic | 4.693E-6 | 5.171E-6 | 0.82 | 0.3640 |
| 6 | Constant | 1.3430 | 0.3145 | 18.24 | <0.0001 |
| | Linear | -0.1307 | 0.0273 | 22.87 | <0.0001 |
| | Quadratic | 0.00148 | 0.000703 | 4.46 | 0.0348 |
| 7 | Qubic | 5.23E-6 | 5.234E-6 | 1.00 | 0.3174 |
| | Constant | 0.1301 | 0.3096 | 0.18 | 0.6743 |
| | Linear | -0.0604 | 0.0277 | 4.76 | 0.0291 |
| 8 | Quadratic | 0.000232 | 0.000731 | 0.10 | 0.7512 |
| | Qubic | 1.355E-6 | 5.528E-6 | 0.06 | 0.8064 |
| | Constant | 1.2556 | 0.3864 | 10.56 | 0.0012 |
| 9 | Linear | -0.1240 | 0.0348 | 12.70 | 0.0004 |
| | Quadratic | 0.000848 | 0.000929 | 0.83 | 0.3616 |
| | Qubic | 1.151E-6 | 7.064E-6 | 0.03 | 0.8706 |
| 10 | Constant | 0.6386 | 0.4113 | 2.41 | 0.1205 |
| | Linear | -0.1296 | 0.0372 | 12.17 | 0.0005 |
| | Quadratic | 0.00177 | 0.000985 | 3.25 | 0.0716 |
| 11 | Qubic | 9.16E-6 | 7.477E-6 | 1.50 | 0.2207 |
| | Constant | 0.2115 | 0.4882 | 0.19 | 0.6648 |
| | Linear | -0.0935 | 0.0416 | 5.06 | 0.0245 |
| 12 | Quadratic | 0.00107 | 0.00106 | 1.01 | 0.3143 |
| | Qubic | 4.27E-6 | 7.937E-6 | 0.29 | 0.5902 |

جدول ۲- پارامترهای واکنش تابعی در طول عمر زنبور ماده‌ها *Trichogramma brassicae* نسبت به تراکم‌های مختلف بید آرد *Ephestia kuehniella*

Table 2. Age-specific functional response parameters of the thelytokous parasitoid, *Trichogramma brassicae* at different densities of *Ephestia kuehniella*

| Female age (days) | Type | Parameter | Estimate | SE | CI 95% | | R ² |
|-------------------|------|----------------------|----------|---------|---------|---------|----------------|
| | | | | | Lower | Upper | |
| 1 | III | <i>b</i> | 0.00368 | 0.00205 | 0.00038 | 0.00774 | 0.9276 |
| | | <i>T_h</i> | 0.5732 | 0.0390 | 0.4961 | 0.6504 | |
| 2 | III | <i>b</i> | 1E-8 | 0 | 0 | 0 | 0.7110 |
| | | <i>T_h</i> | 2.2269 | 0.4001 | 1.4356 | 3.0182 | |
| 3 | II | <i>a'</i> | 0.0855 | 0.0601 | 0.0334 | 0.2045 | 0.6423 |
| | | <i>T_h</i> | 4.4948 | 0.4572 | 3.5900 | 5.3996 | |
| 4 | II | <i>a'</i> | 0.0968 | 0.0703 | 0.0425 | 0.2362 | 0.6781 |
| | | <i>T_h</i> | 4.1771 | 0.4163 | 0.3520 | 5.0022 | |
| 5 | II | <i>a'</i> | 0.1334 | 0.1122 | 0.0896 | 0.3563 | 0.7292 |
| | | <i>T_h</i> | 3.6833 | 0.3515 | 2.9851 | 4.3815 | |
| 6 | II | <i>a'</i> | 0.0578 | 0.0317 | 0.00519 | 0.1208 | 0.7566 |
| | | <i>T_h</i> | 3.8173 | 0.4008 | 3.0209 | 4.6137 | |
| 7 | II | <i>a'</i> | 0.1365 | 0.5513 | 0.7814 | 1.4145 | 0.7410 |
| | | <i>T_h</i> | 5.0572 | 0.4439 | 4.1732 | 5.9412 | |
| 8 | II | <i>a'</i> | 0.1416 | 0.2110 | 0.2802 | 0.5634 | 0.7005 |
| | | <i>T_h</i> | 6.0864 | 0.6960 | 4.6950 | 7.4777 | |
| 9 | II | <i>a'</i> | 0.0407 | 0.0425 | 0.0446 | 0.1260 | 0.6191 |
| | | <i>T_h</i> | 4.3555 | 0.9526 | 2.4423 | 6.2688 | |

References

- ArbabTafti, R., Sahragard, A., Salehi, L. and Asgari, S.** 2004. Study on functional response of *Trichogramma brassicae* Bezdenko (Hym.: Trichogrammatidae) to different densities of *Sitotroga cerealella* Olivier (Lep.: Gelechiidae) eggs. **Journal of Agricultural Science** 1: 1-8. (In farsi).
- Asadi, R., Talebi, A. A., Khalghani, J., Fathipour, Y., Moharramipour, S. and Askari Siahooei, M.** 2012. Age-specific functional response of *Psyllaephagus zdeneki* (Hymenoptera: Encyrtidae), parasitoid of *Euphyllura pakistanica* (Hemiptera: Psyllidae). **Journal of Crop Protection** 1 (1): 1-15.
- Azema, M. and Mirabzadeh, A.** 2005. Issues on different aspects of applying natural enemies, biological control of insect pests. Sepehr Publication, Iran.
- Daane, K. M. and Yokota, G. Y.** 1997. Release strategies affect survival and distribution of green lacewing (Neuroptera: Chrysopidae). **Environmental Entomology** 26: 455- 464.
- Delfoss, E. S.** 2005. Risk and ethics in biological control. **Biological Control** 35: 319- 329.
- Ding-Xu, L., Juan, T. and Zuo-Rui, Sh.** 2007. Functional response of the predator *Scolothrips takahashii* to hawthorn spider mite, *Tetranychus viennensis*: effect of age and temperature. **BioControl** 52: 41-61.
- Ebrahimi, E., Pintureau, B. and Shojai, M.** 1998. Morphological and enzymatic study of the genus *Trichogramma* in Iran (Hym. :Trichogrammatidae). **Applied Entomology and Phytopathology** 66: 122-141.
- Faria, L. D. B., Godoy, W. A. C. and Trinca, L. A.** 2004. Dynamics of handling time and functional response by larvae of *Chrysomya albiceps* (Dip., Calliphoridae) on different prey species. **Journal of Applied Entomology** 6: 432-436.
- Farrokhi, S., Ashouri, A., Shirazi, J., Allahyari, H. and Huigens, M. E.** 2010. A comparative study on the functional response of *Wolbachia*-infected and uninfected forms of the parasitoid wasp *Trichogramma brassicae*. **Journal of Insect Science** 10: 167.
- Hassell, M. P., Lawton, J. H. and Beddington, J. R.** 1977. Sigmoid functional response by invertebrate predators and parasitoids. **Journal of Animal Ecology** 46: 249-262.

- Holling, C. S.** 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. **Canadian Entomologist** 91: 385-398.
- Holling, C. S.** 1966. Functional response of invertebrate predators to prey density. **Memoirs of the Entomological Society of Canada** 48: 1-87.
- Juliano, S. A.** 1993. Nonlinear curve-fitting: predation and functional response curves. In Scheiner, S. M. and J. Gurevitch. (Eds.). Design and Analysis of Ecological Experiments. Chapman & Hall, New York. pp. 159-182.
- Karimi, J., Darsouei, R., Hosseini, M. and Stouthamer, R.** 2011. Molecular characterization of Iranian Trichogrammatids (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and their *Wolbachia* endosymbiont. **Journal of Asia Pacific Entomology** 15: 73-77.
- van Lenteren, J. C.** 2000. Success in biological control of arthropods by augmentation of natural enemies. In: Gurr, G. and Wratten, S. (Eds.). Biological Control: Measure of Success. pp. 77-103.
- Lewis, W. J., Gross, J. H. R., Perkins, W. D., Knipling, E. F. and Voegelé, J.** 1976. Production and Performance of *Trichogramma* reared on eggs of *Heliothis zea* and other hosts. **Environmental Entomology** 5: 449-452.
- Moezipour, M., Kafil, M. and Allahyari, H.** 2008. Functional response of *Trichogramma brassicae* at different temperatures and relative humidities. **Bulletin of Insectology** 62(2): 245-250.
- Parajulee, M. N., Philips, T. W. and Hogg, D. B.** 1994. Functional response of *Lyctocoris compestris* (F.) adults: effect of predator sex, prey species, and experimental habitat. **Biological Control** 4: 80-87.
- Pervez, A. and Omkar.** 2005. Functional responses of Coccinellid predators: an illustration of a logistic approach. **Journal of Insect Science** 5: 1-6.
- Rabb, R. L.** 1974. Naturally occurring biological control in the eastern United States, with particular reference to tobacco insects. In: Huffaker, C. B. (Ed.). Biological Control, Plenum Publishing Corporation, New York. pp. 294-309.
- Rogers, D. J.** 1972. Random search and insect population models. **Journal of Animal Ecology** 41: 369-383.
- Royama, T.** 1971. A comparative study of models for predation and parasitism. **Research on Population Ecology** 1: 1-91.
- SAS Institute.** 2001. SAS/STAT User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC. Inc.
- Schmidt, J. M.** 1994. Host recognition and acceptance by *Trichogramma*. In E. Wajenberg and S. A. Hassan (Eds.). Biological control with egg parasitoids, CAB International. pp: 165-200.
- Silva, I. M. M. S.** 1999. Identification and evaluation of *Trichogramma* parasitoids for biological control. Doctoral thesis, Wageningen, Netherlands.
- Stouthamer, R.** 1993. The use of unisexual versus asexual wasps in biological control. **Entomophaga** 38: 3-6.
- Stouthamer, R., Breeuwerm J. A. J., Luck, R. F. and Werren, J. H.** 1993. Molecular identification of microorganisms associated with parthenogenesis. **Nature** 361: 66-68.
- Svendsen, M. S., Enkegaard, A. and Brodsgaard, H.** 1999. Influence of humidity on the functional response of larvae of the gall midge (*Feltiella acarisuga*) feeding on spider mite eggs. IOBC/WPRS Bull. 22:243-246.
- Trexler, J. C. and Travis, J.** 1993. Nontraditional regression analysis. **Ecology** 74: 1629-1637.
- Wei, Q. and Walde, S. J.** 1997. The functional response of *Typhlodromus pyri* to its prey, *Panonychus ulmi*: the effect of pollen. **Experimental and Applied Acarology** 21: 677-684.

Age-specific functional response of *wolbachia*-infected strain of the parasitoid, *Trichogramma brassicae* at different densities of *Ephestia kuehniella*

R. Nikbin¹, A. Sahragard^{2*}, M. Hosseini³

1 and 2, Former M.Sc. student and Professor, Department of Plant Protection, University of Guilan, Rasht. 3. Assistant Professor, Department of Plant Protection, Ferdowsi University of Mashhad

(Received: December 10, 2013- Accepted: May 6, 2014)

Abstract

One of important aspects in evaluating the efficiency of a natural enemy is the attack rate across a range of host densities, i.e., its functional response. In this research, age-specific functional response of *wolbachia*-infected strain of parasitoid, *Trichogramma brassicae* to different egg densities (5, 10, 20, 30, 40, 60 and 80) of *Ephestia kuehniella* at $23 \pm 1^\circ \text{C}$, $60 \pm 5\% \text{RH}$ and 16:8 h (L:D) photoperiod was evaluated. The type III functional response was obtained for one and two day old wasps, and a type II for 3 to 9 day old ones. Searching efficiency (a), handling time (T_h) and maximum parasitism rate (T/T_h) of parasitoid wasps were significantly affected by their ages. With increasing in parasitoid age a non-significant declining trend was shown in searching efficiency (a) but handling time (T_h) increased significantly as adult parasitoid aged and the lowest value was observed at 1st day of parasitoid's life (0.573 h). Also, by increasing in parasitoid age maximum parasitism rate (T/T_h) clearly declined and it ranged from 41.75 to 5.51 hosts at 1st up to 9th days of wasp life. The results illustrated that age-specific functional response of *T. brassicae* wasps were different and the highest efficiency gained in the first two days of their life.

Key words: Biological control, Searching efficiency, Thelytoky, Functional response, *Trichogramma brassicae*

*Corresponding author: sahragard@guilan.ac.ir