

تأثیر سطوح نیتروژن و ارقام گوجه فرنگی بر کارایی انگلی زنبور *Trichogramma principium* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) روی تخم کرم میوه‌خوار *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae)

فرشته صالحی^۱، جلال شیرازی^۲، غلامحسین قره‌خانی^{۳*} و ناهید واعظ^۳

۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران، ۲- موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ۳- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، ایران.
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: gharekhani@maragheh.ac.ir

چکیده

کارایی یک دشمن طبیعی، به عنوان رکن ضروری در موفقیت هر برنامه‌ی مهار زیستی وابسته به عوامل متعددی از جمله میزان می‌باشد. اعتقاد بر این است که کیفیت میزبان‌های گیاه‌خوار دشمنان طبیعی بیشتر بستگی به شرایط تغذیه گیاهی و تفاوت‌های ژنتیکی ارقام دارد. در این تحقیق، ظرفیت انگلی زنبور انگل‌واره *Trichogramma principium* (Sugonjaev & Sorokina) روی تخم *Helicoverpa armigera* (Hübner) در شش رقم گوجه فرنگی شامل کینگ استون، ریوگرن، ارلی اوربان، رداستون، سوپر استرین B و پرایموارلی با چهار سطح نیتروژن (۰، ۲/۱، ۳/۰، ۳/۹، ۳/۹ گرم در هر گلدان، به صورت اوره ۰.۴۶٪) در پنج تکرار مطالعه شد. آزمایش‌ها در شرایط اتاقک رشد در دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت روشنایی به تاریکی انجام شد. بالاترین و پایین‌ترین نرخ خالص انگلی (C_0) به ترتیب $23/39 \pm 2/09$ و $13/42 \pm 1/00$ میزان / انگل‌واره پرورش یافته روی رقم سوپر استرین B با بالاترین سطح نیتروژن و ارلی اوربان شاهد بود. نرخ تبدیل جمعیت میزبان به نتاج انگل‌واره (Q_m) در تمامی تیمارها نزدیک به ۱ ($C_0 \cong R_0$) بود. کمترین و بیشترین نرخ کرانمند انگلی (w) به عنوان شاخص میزان کارایی این دشمن طبیعی برابر $0/1525$ و $0/3164$ میزان / انگل‌واره / بر روز روی تخم میزبان‌های پرورش یافته روی ارقام ارلی اوربان با پایین‌ترین سطح نیتروژن و سوپر استرین B با بالاترین سطح نیتروژن بود. در مجموع بیشترین مقدار انگلی در میزبان‌های پرورش یافته روی ارقام سوپر استرین B و کینگ استون با بالاترین میزان نیتروژن بود. بر اساس این نتایج، ظرفیت انگلی زنبور *T. principium* روی تخم کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی با سطح کود نیتروژن همبستگی مثبت داشت.

واژه‌های کلیدی: مهار زیستی، ظرفیت انگلی، کود نیتروژن، روابط تغذیه‌ای سه سطحی

Influence of nitrogen level and tomato cultivars on the efficiency of *Trichogramma principium* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on the eggs of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae)

Fereshteh Salehi¹, Jalal Shirazi², Gholamhossein Gharekhani^{3*} & Nahid Vaez³

1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran, 2. Iranian Research Institute of Plant Protection; Agricultural Research, Education and Extension Organization (ARREO), Tehran, Iran & 3. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Iran.

*Corresponding author, E-mail: gharekhani@maragheh.ac.ir

Abstract

The efficiency of natural enemies as the key factor in the success of biological control programs, depends on different elements including the quality of their herbivore hosts. Similarly, it may be influenced by nutritional status and genetic differences of host plants in turn. This study was undertaken to determine the parasitism efficiency of *Trichogramma principium* (Sugonjaev & Sorokina) on the eggs of *Helicoverpa armigera* (Hübner) reared on different nitrogen fertilized tomato plant cultivars. All experiments were established in a growth chamber under $25 \pm 1^\circ\text{C}$ temperature, $60 \pm 5\%$ RH, 16:8 h. (L:D) conditions. Treatments included six tomato cultivars (Kingston, Riogrand, Earlyurbana, Redston, Superstrain-B and Primoearly) with four N levels (0, 2.1, 3.0, 3.9 g/ pot, Nitrogen as Urea 46%), in 5 replications. The value of the net parasitism rate (C_0) of *T. principium* varied from 13.42 ± 1.00 to 23.39 ± 2.59 hosts on the eggs of *H. armigera* reared on En0, and SBn+, respectively. The transformation rate from host population to parasitoid offspring (Q_p) on all treatments was close to 1 ($C_0 \cong R_0$). The finite parasitism rate (ω) which is used to determine the efficiency of a parasitoid, estimated as 0.1525 (min.) and 0.3164 (max.) hosts parasitoid⁻¹ day⁻¹ on the hosts reared on Earlyurbana and Superstrain-B, respectively. In general, *T. principium* had higher parasitism capacity on the hosts reared on Superstrain-B, Kingston and Riogrand with highest N levels, which were more suitable for parasitoid. This study showed that parasitism capacity of parasitoid was influenced by the host plant cultivar as well as positively correlated with the host plant nitrogen contents.

Key words: Biological control, Parasitism capacity, Nitrogen fertilization, Tri-trophic interactions

Received: 28 February 2019, Accepted: 15 July 2019.

مقدمه

امروزه موضوع امنیت غذایی به یکی از چالش‌های مهم در دنیا تبدیل شده است و هر ساله بخشی از محصولات کشاورزی در مراحل کاشت تا برداشت به وسیله آفات کشاورزی از بین می‌رود و تولیدکنندگان را وادار به استفاده از کودها و سموم شیمیایی می‌نماید (Lu et al., 2018). کاربرد بی‌رویه این ترکیبات شیمیایی، عواقب نظیر تهدید سلامتی انسان، آلودگی‌های زیست محیطی، اثرات سوء روی موجودات غیر هدف و بروز مقاومت را در پی خواهد داشت (Siqueira et al., 2001; Lietti et al., 2005).

مهار زیستی و استفاده از دشمنان طبیعی، بی‌خطرترین و پایدارترین شیوه در مدیریت آفات و در عین حال تضمین‌کننده سلامت غذایی می‌باشد (Karp et al., 2016). کارایی این روش تحت تاثیر عوامل مختلفی نظیر گیاه میزبان، گونه‌ی آفت هدف، شرایط محیطی و غیره قرار می‌گیرد. در میان عوامل مهار زیستی، زنبورهای انگل‌واره جنس *Trichogramma* معروف‌ترین و بزرگترین جنس خانواده‌ی Trichogrammatidae و از مهمترین عوامل مهار کننده‌ی آفات به خصوص شب پرها به شمار می‌روند (Pinto & Stouthamer, 1994). این انگل‌واره‌ها برای تکمیل دوره‌ی رشد و نمو خود، برخلاف شکارگرها، تنها به یک میزبان متکی هستند، بنابراین تغییر در کیفیت میزبان به واسطه‌ی تفاوت‌های کمی و کیفی (مرحله‌ی رشدی، گونه‌ی میزبان، نوع تغذیه‌ی میزبان) می‌تواند نقش قابل توجهی در ویژگی‌های زیستی آن‌ها ایفا کند (Ode, 2006; Harvey et al., 2005; Gols et al., 2007; Amin et al., 2016). همچنین کارایی انگلی نژادهای یک گونه‌ی *Trichogramma* روی گونه‌های مختلف گیاه و گیاه‌خوار، متفاوت گزارش شده است (Lill et al., 2002; Hunter, 2003; Tubone et al., 2010; Chailleux et al., 2012; Cascone et al., 2015).

کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی، *Helicoverpa armigera* (Hübner) از جمله آفات مهم گوجه‌فرنگی در بسیاری از مناطق دنیا می‌باشد. برآوردهای مختلفی از میزان خسارت و هزینه‌ی مهار آن در نقاط مختلف جهان ارائه شده است (Wilcox & Howland, 1963; Yanquin & Shijan, 1985; Fitt, 1989; Cleary et al., 2006). گوجه‌فرنگی یک گیاه مناسب در مطالعه‌ی برهم‌کنش‌های سه سطحی گیاه، گیاه‌خوار و دشمن طبیعی است (Kennedy, 2003) که سطوح مختلف نیتروژن موجود در آن، تحت تاثیر کود نیتروژن، تنش‌های آبی و تغییر در دوره‌های نوری قرار

می‌گیرد (Wilkins *et al.*, 1996; E-Loeb *et al.*, 1997). نیتروژن به عنوان عنصری حیاتی در رشد و نمو گیاهان محسوب می‌شود و به طور مستقیم در بقا، عملکرد و تولیدمثل گیاه‌خوار و به طور غیرمستقیم در توانایی زیستی دشمن طبیعی مؤثر است (Kagata & Ohgushi, 2007). بسیاری از مطالعات روی اثر ترکیبات ثانوی در روابط گیاه و گیاه‌خوار (Barbosa, 1991; Harvey *et al.*, 2005; Gols *et al.*, 2008; Nikooei *et al.*, 2015)، یا در زمینه‌ی پراسنجه‌های شکار و شکارگری به روش جدول زندگی دو جنسی متمرکز شده است (Chi & Su, 2006; Farhadi *et al.*, 2011; Huang & Chi, 2012; Yu *et al.*, 2013; Khanamani *et al.*, 2015; Tuan *et al.*, 2016 Jansson,) در حالی که در مورد تاثیر متابولیت‌های اولیه از جمله نیتروژن در رشد و تغذیه‌ی حشره‌ی گیاه‌خوار (Nikooei *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2016; Karami *et al.*, 2018)، انگل واره‌ها (2008; Sufbaf *et al.*, 2012) و نیز اثر کودهای نیتروژن روی میزان انگلی آفات پروانه‌ای تحقیقات اندکی انجام شده است (Kalule & Wright, 2002; Stadley *et al.*, 2011).

در این مطالعه تاثیر سطوح مختلف کود نیتروژن در ارقام گوجه فرنگی بر کارایی پارازیتسیم *T. principium* روی تخم کرم میوه خوار گوجه فرنگی *H. armigera* بررسی شد. هدف از این تحقیق، بررسی اثر کیفیت گیاه میزبان در برهم‌کنش‌های سه سطحی روی دشمن طبیعی و لزوم توجه به آنها در تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات مدیریتی علیه این آفت بوده است.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه

بذر شش رقم رایج (مزرعه‌ای) گوجه‌فرنگی دارای دوره‌ی رویشی نزدیک به یکسان و غیر هیبرید شامل کینگ-استون، ریوگرند، ارلی‌اوربان، رداستون، سوپرسترین B و پرایموارلی از مؤسسه‌ی اصلاح نهال و بذر کرج تهیه شد. سه عدد بذر از هر رقم در هر حفره‌ی سینی نشاء، در بستر کوکوپیت و پرلیت به نسبت (۱:۳) کاشته شد. پس از سه هفته، نشاءها به گلدان‌های ۳۰ × ۱۵ سانتی‌متر، حاوی مخلوطی از پرلیت، خاک و ماسه به نسبت (۱:۲:۱) (چهار نشاء در هر گلدان) منتقل شدند. بافت خاک، Ph و هدایت الکتریکی خاک همچنین عناصر پر مصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و کم مصرف (آهن، روی، منگنز، مس، بور) موجود در خاک گلدان‌ها، در آزمایشگاه خاک شناسی ارزیابی شد. گیاهان در مرحله‌ی گلدهی به چهار گروه تغذیه‌ای ۱- گروه شاهد (no)، ۲- گروه تغذیه‌ی ۳۰٪ پایین‌تر از استاندارد (n-)، ۳- گروه تغذیه‌ی استاندارد (ns)، ۴- گروه تغذیه‌ی ۳۰٪ بالاتر از استاندارد (n+) تقسیم شدند که به ترتیب شامل ۰، ۲/۱، ۳/۰، ۳/۹ گرم کود نیتروژن در هر گلدان (اوره ۴۶٪) بودن (Zolfi Bavaryani & Basirat, 2016). از هر رقم ۶۰ گلدان در شرایط گلخانه (دمای روزانه و شبانه به ترتیب ۲۹ و ۲۵ درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۰±۵ درصد و شرایط نوری ۱۶:۸) پرورش یافت. به منظور کودآبیاری گلدان‌ها از سامانه‌ی تزریق سرمی استفاده شد، در این سامانه، بطری‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری محتوی دوز تعیین شده‌ی کود، در ارتفاع یک متری گلدان‌ها آویخته شد و با یک لوله‌ی نازل مجهز به شیر تنظیم، به خاک هر گلدان رسید. برای انجام آزمایش‌ها، شیر تنظیم در حالت میانه قرار گرفت و زمان تزریق، با زمان سنج اندازه‌گیری شد، که در حدود ۲ ساعت بود. در مراحل مختلف آزمایش‌ها، گیاهان تحت هیچ تیمار کودی دیگر و یا آفت‌کش قرار نگرفتند.

پرورش *H. armigera*

حدود ۲۰۰ عدد تخم کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی، به عنوان جمعیت اولیه *H. armigera* از کلنی موجود در شرکت فن‌آوری زیستی طبیعت‌گرا تهیه شد. لاروها با غذای مصنوعی (آگار- ۱۶ گرم، لوبیا چشم‌بلبلی - ۲۶۶ گرم، مخمر - ۴۰ گرم، پودر جوانه‌ی گندم - ۳۰ گرم، اسیدسوربیک - ۱/۲۵ گرم، نیپازین - ۲/۵ گرم، ویتامین C - ۴ گرم همراه با ۷۰۰ میلی‌لیتر آب و مقدار کمی روغن مایع) (Teakle, 1991) تغذیه شدند. شفیره‌ها در ظروف حاوی ماسه‌ی مرطوب استریل شده در دمای ۱۲۰ درجه‌ی سلسیوس قرار گرفتند. بدین ترتیب کلنی اولیه در شرایط اتاق رشد (با دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶:۸) تشکیل شد. ۱۲۰۰ عدد تخم از کلنی اولیه برداشت و به ۲۴ دسته ۵۰ تایی تقسیم شد. هر دسته ۵۰ تایی، به طور جداگانه در ظروف نگهداری تخم قرار گرفت. لاروهای نئونات تا سن ۳، به طور روزانه روی برگ تازه‌ی هر تیمار (یک رقم گوجه‌فرنگی با یک سطح تغذیه‌ای) از گیاه در مرحله‌ی گلدهی و از سن ۳ تا ۵ روی برشی از میوه‌ی پیش‌رس همان تیمار قرار گرفتند (Green et al., 2002). سپس شفیره‌های پرورش یافته روی هر تیمار، به ظروف استوانه‌ای پلاستیکی 20×25 محتوی دستمال سلولزی (towel paper) به عنوان بستر تخم ریزی منتقل شدند. قطعه‌ای پنبه‌ی مرطوب آغشته به عسل ۱۰ درصد برای تأمین نیاز رطوبت و کربوهیدرات حشرات، بکار گرفته شد. همچنین درپوش ظرف با یک دستمال سلولزی پوشانده شد. حشرات کامل هر تیمار ظاهر و پس از جفتگیری، از تخم‌های حاصل از این مرحله برای مراحل بعدی استفاده شد.

تهیه‌ی کلنی زنبور انگل‌واره *T. principium*

در حدود ۱۰۰۰ عدد تخم پارازیت‌شده‌ی بید غلات به عنوان جمعیت اولیه‌ی زنبور *T. principium* از کلنی موجود در مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور (بخش کنترل بیولوژیک) تهیه شد. تخم‌های (۰ تا ۲۴ ساعته) *H. armigera* پرورش یافته روی هر یک از ۲۴ تیمار مورد آزمایش، با محلول رقیق آب و قند، روی نوارهای کاغذی 16×3 سانتی‌متر چسبانده شد و در لوله‌های شیشه‌ای 20×4 سانتی‌متر قرار گرفت. دهانه‌ی لوله‌ها با درپوش پنبه و توری ارگانزا مسدود شد. تخم‌های پارازیت‌شده‌ی بید غلات در لوله‌های یاد شده رهاسازی شد و زنبورها سه نسل روی تخم‌های کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی حاصل از هر تیمار آزمایشی در شرایط اتاق رشد (دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶:۸) پرورش یافتند. به منظور تغذیه‌ی زنبورها، از نوارهای کاغذی آغشته به محلول آب عسل ۱۰ درصد استفاده شد. نتاج نسل سوم برای انجام آزمایش‌ها، مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی کارایی انگلی زنبور *T. principium*

تعداد ۱۰۰ عدد تخم پارازیت‌شده‌ی کرم میوه‌خوار گوجه‌فرنگی حاصل از هر تیمار آزمایش، به صورت جداگانه، درون لوله‌های به طول ۱۰ و قطر دهانه‌ی ۱ سانتی‌متری پرورش یافت. با خروج انگل‌واره‌های بالغ، زنبورهای نر و ماده‌ی مربوط به هر تیمار به صورت جفت شده به یک لوله‌ی آزمایش جدید منتقل شدند. روزانه ۵۰ عدد تخم (۰ تا ۲۴ ساعته) *H. armigera* استحصال شده از همان تیمار، به وسیله‌ی محلول رقیق آب قند، روی نوارهای کاغذی چسبانده شد و در اختیار هر جفت زنبور قرار گرفت و تخم‌های روز قبل خارج شدند. تعداد میزبان پارازیت شده توسط هر زنبور ماده در هر روز ثبت شد. آزمایش تا پایان عمر آخرین زنبور ماده ادامه داشت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نرخ انگلی ویژه‌ی سنی مرحله‌ای (C_{xj}) (Age stage specific parasitism rate) با داده‌های حاصل از انگلی روزانه‌ی جمعیت هم‌سن زنبور *T. principium*، محاسبه شد. C_{xj} عبارت است از تعداد تخم‌های انگلی شده توسط زنبور انگل‌واره، در سن x و مرحله‌ی زیستی j

$$C_{xj} = \frac{t_{xj}}{n_{xj}}$$

t_{xj} : کل انگلی همه افراد در سن x و مرحله‌ی زیستی j و n_{xj} : تعداد افراد در سن x و مرحله‌ی زیستی j است (Chi & Yang, 2003). نرخ انگلی ویژه‌ی سنی (K_x) (Age specific parasitism rate) میانگین تعداد میزبان‌هایی است که یک انگل‌واره در سن x پارازیت می‌کند:

$$K_x = \frac{\sum_{j=1}^{\beta} S_{xj} C_{xj}}{\sum_{j=1}^{\beta} S_{xj}}$$

S_{xj} : احتمال زنده ماندن تخم تا سن x در حالی که در مرحله‌ی زیستی j است (Chi & Yang, 2003; Yu et al., 2013; Tuan et al., 2016). β : تعداد مرحله‌ی زیستی است. نرخ خالص انگلی ویژه‌ی سنی (Age specific net parasitism rate) (q_x) (Yu et al., 2013; Tuan et al., 2016) با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$q_x = l_x k_x = \sum_{j=1}^{\beta} S_{xj} C_{xj}$$

نرخ خالص انگلی (Net parasitism rate) (C_0) میانگین تعداد میزبان‌های پارازیت شده توسط یک انگل‌واره در کل طول عمر است که بر اساس روش (Chi & Yang, 2003; Yu et al., 2013; Tuan et al., 2016) محاسبه شد. همچنین نرخ تبدیل جمعیت میزبان به نتاج انگل‌واره (Q_p) (Transformation rate) عبارت است از میانگین میزبان‌هایی که یک انگل‌واره نیاز دارد تا یک عدد تخم تولید کند (Chi & Yang, 2003; Yu et al., 2013; Tuan et al., 2016).

نرخ پایدار انگلی (Stable parasitism rate) (ψ) کل ظرفیت انگلی یک جمعیت پایدار بوده و اندازه آن برابر یک است و با استفاده از روش (Chi et al., 2011) محاسبه شد.

$$\psi = \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\beta} a_{xj} C_{xj}$$

a_{xj} : نسبت افراد متعلق به یک جمعیت پایدار در سن x و مرحله‌ی زیستی j است.

از آنجا که جمعیت انگل‌واره به اندازه‌ی نرخ کرانمند افزایش جمعیت (λ) افزایش می‌یابد، نرخ کرانمند انگلی (ω) (Finit parasitism rate) به صورت تلفیقی از نرخ انگلی ویژه‌ی سنی - مرحله‌ی زیستی (C_{xj})، نرخ کرانمند افزایش جمعیت (λ) و ساختار پایدار ویژه‌ی سنی - مرحله‌ی زیستی (a_{xj}) است (Yu et al., 2013; Tuan et al., 2016):

$$\omega = \lambda \psi = \lambda \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\beta} a_{xj} C_{xj}$$

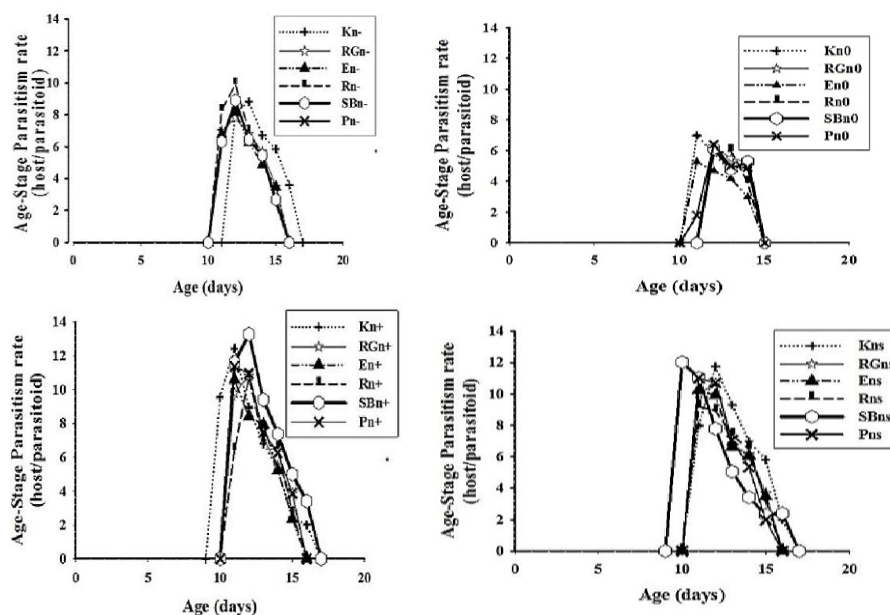
انحراف استاندارد پارامترهای جمعیت با استفاده از روش Bootstrap، با ۱۰۰۰۰۰ تکرار محاسبه شد. به منظور مقایسه‌ی داده‌های به دست آمده در تیمارهای مختلف از بوت استرپ جفت شده (Paired bootstrap test) و از نرم افزار (Chi, 2016) CONSUME-MSChart استفاده شد (Chi, 2016).

نتایج و بحث

به منظور بهره‌مندی از بیشینه‌ی ظرفیت دشمنان طبیعی، بررسی تأثیر عوامل مختلف بر کارایی دشمنان طبیعی ضروری است. کیفیت تغذیه‌ی میزبان بر رشد دشمن طبیعی موثر است (Holton et al., 2003; Pope et al., 2012;) و میزبان مطلوب کارایی انگل‌واره را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Dutton et al., 1996; Jiang & Schulthess, 2005;) (Krauss et al., 2007; De Backer, 2015).

نرخ انگلی ویژه سنی - مرحله‌ای (C_{xy}) زنبور *T. principium* روی شش رقم گوجه‌فرنگی با چهار سطح نیتروژن در (شکل ۱) نشان داده شده است. با توجه به اینکه فقط انگل‌واره‌های ماده‌ی بالغ، قادر به انگلی کردن تخم‌های میزبان هستند، در هر تیمار فقط یک منحنی رسم شده است و الگوی سیر منحنی‌های نرخ انگلی ویژه سنی - مرحله‌ای (C_{xy}) در همه‌ی تیمارهای مورد آزمایش یکسان بود. نقطه‌ی شروع منحنی در اغلب تیمارها روز دهم بود. در ارقام ریوگرند شاهد (RGn0)، ارلی اوربان شاهد (En0) و سوپرسترین B شاهد (SBn0) نقطه‌ی شروع انگلی روز یازدهم بود. همچنین نقطه‌ی شروع انگلی در رقم کینگ استون با بالاترین سطح نیتروژن (Kn+) و سوپرسترین B با سطح استاندارد نیتروژن (SBns) روز نهم بود. در بررسی حاضر بیشترین مقدار انگلی غالباً در نخستین روزهای ظهور زنبور بالغ، مشاهده شد و با افزایش سن زنبورها، از میزان انگلی کاسته شد و سطح زیر منحنی‌های (C_{xy})، در ارقام تیمار شده با کود نیتروژن و ارقام شاهد، متفاوت بود (شکل ۱). بیشینه‌ی نرخ انگلی ویژه سنی - مرحله‌ای (C_{xy}) زنبور *T. principium* به ترتیب در تیمارهای سوپرسترین B و کینگ استون با نیتروژن استاندارد (SBns)، (Kns) و سی درصد بالای نیتروژن استاندارد، (SBn+)، (Kn+) و کمینه‌ی آن در ارقام ارلی اوربان شاهد (En0) و رداستون شاهد (Rn0) بود. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از سطح استاندارد و بالاتر از استاندارد نیتروژن در برخی میزبان‌های گیاهی، منجر به تسریع انگلی توسط زنبور پارازیتوئید شده است.

شواهدی از تغییر در کیفیت میزبان گیاه‌خوار و تاثیر آن در کارایی انگلی وجود دارد از جمله در زنبور Hellen *Diadegma semiclausum* روی بید کلم *Plutella xylostella* L. نقطه‌ی شروع منحنی (C_{xy}) در ژنوتیپ‌های دستکاری شده (جهش یافته با اشعه‌ی گاما و تراریخت) نسبت به جد کلزا *Brssica rapa* L. دو تا سه روز تاخیر داشت (Nikooei et al., 2015). نقطه‌ی شروع منحنی (C_{xy}) زنبور *Trichogramma brassicae* Bezdenko روی بید غلات *Sitotroga. cerealella* Olivier در دماهای ۱۵ تا ۳۰ درجه‌ی سلسیوس از روز بیست و دوم به روز هشتم تنزل یافت (Negahban et al., 2016). همچنین نرخ انگلی زنبور *Trichogramma pretiosum* Riley روی *Heliothis zea*. Boddie در یک دوره‌ی چهارساله، روی گیاه گوجه‌فرنگی *Lycopersicon esculentum* Mill. برابر با ۴۳ درصد و در ژنوتیپ‌های دستکاری شده‌ی *Lycopersicon esculentum*، نرخ انگلی ۲ تا ۱۴ درصد گزارش شد (Farrar et al., 1994).



شکل ۱- نرخ انگلی ویژه سنی- مرحله‌ای (C_{ij}) زنبور انگل‌واره‌ی *Trichogramma principium* در شش رقم گوجه فرنگی با چهار سطح نیتروژن

Fig. 1. Age-stage parasitism rate (C_{ij}) of *Trichogramma principium* reared on six tomato cultivars with four nitrogen levels

کینگ استون (K)، ریوگرند (RG)، ارلی اوربان (E)، رد استون (R)، سوپر استرین B (SB)، پرایم‌اورلی (P) Kingston (K), Riogrand (RG), Earlyurbana (E), Redston (R), Superstrain-B (SB), Primoearly (P).
 (n0) = شاهد، (n-) = ۳۰ درصد پایین‌تر از نیتروژن استاندارد، (ns) = نیتروژن استاندارد، (n+) = ۳۰ درصد بالاتر از نیتروژن استاندارد

(n0) = No fertilization, (n-) = Standard fertilization minus 30%, (ns) = Standard fertilization, (n+) = Standard fertilization plus 30%

تایید دیگری مبنی بر اثر میزان کود دهی شده در افزایش کارایی انگل‌واره در این مطالعه نرخ خالص انگلی (C_0) بود که نرخ خالص انگلی زنبور انگل‌واره با تغذیه از تیمارهای شاهد و کود دهی شده، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار داشت. بالاترین و پایین‌ترین نرخ خالص انگلی به ترتیب $2/59 \pm 23/39$ میزان / انگل‌واره در تیمار سوپر استرین B با بالاترین سطح نیتروژن (SBn+) و $1/00 \pm 13/42$ میزان / انگل‌واره در رقم ارلی اوربان شاهد (En0) بود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌های (C_0) بین ارقام مختلف مورد آزمایش نشان داد که در دو سطح استاندارد و سی درصد بالاتر از استاندارد، نرخ خالص انگلی در ارقام کینگ‌استون و سوپر استرین B به طور معنی‌دار بیشتر از سایر ارقام بود. این نتایج موید این است که کیفیت ارقام گیاه میزبان در حلقه‌ی اول زنجیره‌ی غذایی، پراسنجه‌های جدول زندگی دشمن طبیعی را در حلقه‌ی سوم زنجیره‌ی غذایی تحت تاثیر قرار می‌دهد (Giles *et al.*, 2002; Ranjbar Aghdam and Mahmoudian, 2014; Bagheri *et al.*, 2016; Routray & Hari Prasad, 2016).

جدول ۱- میانگین نرخ خالص انگلی (C₀)، نرخ تبدیل (Q₀)، نرخ پایدار انگلی (ψ)، نرخ کرانمند انگلی (ω) زنبور انگل رواره *Trichogramma principium* در شش رقم گوجه فرنگی با چهار سطح نیتروژن.

Table 1. Mean (± SE) of net parasitism rate (C₀), transformation rate (Q₀), stable parasitism rate (ψ) and finite parasitism rate (ω) of *Trichogramma principium* reared on six tomato cultivars with four nitrogen levels.

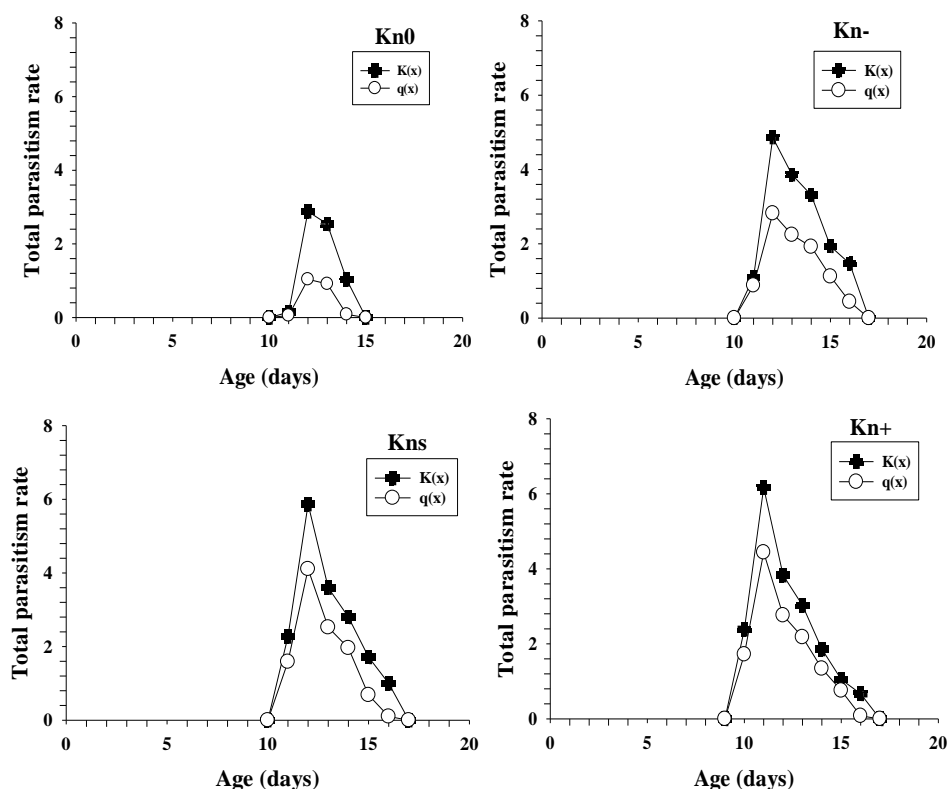
N Level	Kingsont(K)		Riogrand(RG)		Earlyubana(E)		Redston(R)		SuperstraiB(SB)		Primoearly(P)	
	n0	n-	n0	n-	n0	n-	n0	n-	n0	n-	n0	n-
C ₀	n0	14.36±1.18Ab	14.15±1.22Ab	18.71±1.97Aa	13.42±1.00Ab	17.84±1.79Aa	13.52±1.11Ab	18.02±1.76Aa	14.00±1.14Ab	19.63±1.91Aa	14.21±1.16Ab	19.05±1.81Aa
	n-	19.50±1.97Aa	18.50±1.94Ba	17.66±1.84Aa	18.88±1.88Ba	18.53±1.85Ba	23.01±2.38Aa	23.39±2.59Aa	19.97±1.98ABa	19.69±2.02Ba		
	ns	22.24±2.32Aa	22.93±2.35Aa	18.21±1.86Ba	18.26±1.89Ba							
hosts/ parasitoid _d	n0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	n-	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	ns	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Q ₀	n0	0.1568±0.017Ab	0.1487±0.024Ab	0.1392±0.023Ab	0.1403±0.025Ab	0.1489±0.024Ab	0.1493±0.023Ab	0.2089±0.021Aa	0.2235±0.023Aa	0.2195±0.023Aa		
	n-	0.2132±0.023Aa	0.2081±0.024Aa	0.1970±0.024Aa	0.1993±0.023Aa	0.2198±0.022Aa	0.2198±0.022Aa	0.2089±0.021Aa	0.2235±0.023Aa	0.2195±0.023Aa		
	ns	0.2370±0.023Aa	0.2089±0.025Aa	0.1973±0.025Aa	0.2031±0.023Aa	0.2430±0.022Aa	0.2430±0.022Aa	0.2235±0.023Aa	0.2195±0.023Aa	0.2195±0.023Aa		
ψ	n0	0.2410±0.022Aa	0.2054±0.025Aa	0.2052±0.025Aa	0.2049±0.024Aa	0.2551±0.021Aa						
	n-	0.1748±0.029Ab	0.1653±0.030Ab	0.1525±0.028Ab	0.1540±0.031Ab	0.1649±0.029Ab	0.1660±0.028Ab					
	ns	0.2537±0.032Aa	0.2440±0.032Aa	0.2326±0.032Aa	0.2340±0.031Aa	0.2602±0.031Aa	0.2477±0.030Aa					
(hosts/ parasitoid)	n0	0.1748±0.029Ab	0.1653±0.030Ab	0.1525±0.028Ab	0.1540±0.031Ab	0.1649±0.029Ab	0.1660±0.028Ab					
	n-	0.2537±0.032Aa	0.2440±0.032Aa	0.2326±0.032Aa	0.2340±0.031Aa	0.2602±0.031Aa	0.2477±0.030Aa					
	ns	0.2889±0.032Aa	0.2469±0.034Aa	0.2307±0.034Aa	0.2399±0.031Aa	0.2981±0.032Aa	0.2675±0.031Aa					
(hosts/ parasitoid/day)	n0	0.2948±0.031Aa	0.2421±0.033Ba	0.2423±0.034Ba	0.2422±0.033Ba	0.3164±0.031Aa	0.2624±0.033ABa					
	n-	0.2948±0.031Aa	0.2421±0.033Ba	0.2423±0.034Ba	0.2422±0.033Ba	0.3164±0.031Aa	0.2624±0.033ABa					
	ns	0.2948±0.031Aa	0.2421±0.033Ba	0.2423±0.034Ba	0.2422±0.033Ba	0.3164±0.031Aa	0.2624±0.033ABa					

میانگین ها و انحراف استاندارد پارامترهای جمعیت با استفاده از آزمون بوت استرپ جفت شده (P < 0.05) با ۱۰۰۰۰ تکرار محاسبه گردید. حروف نامشابه در ردیفهای جدول نشان دهنده معنی داری بین ارقام و حروف نامشابه بزرگ در ستونهای جدول نشان دهنده معنی داری بین سطوح نیتروژن در هر فراسنج است.

The means and SEs were estimated using 100,000 bootstraps resamplings and compared by paired bootstrap test (comparison of 95% CI) Different small letters in the rows and dissimilar capital letters in the columns refer to the significant differences at (P < 5%) between cultivars and columns (N levels for every parameter) respectively.

(n0) = No fertilization, (n-) = Standard fertilization minus 30%, (ns) = Standard fertilization, (n+) = Standard fertilization plus 30%.

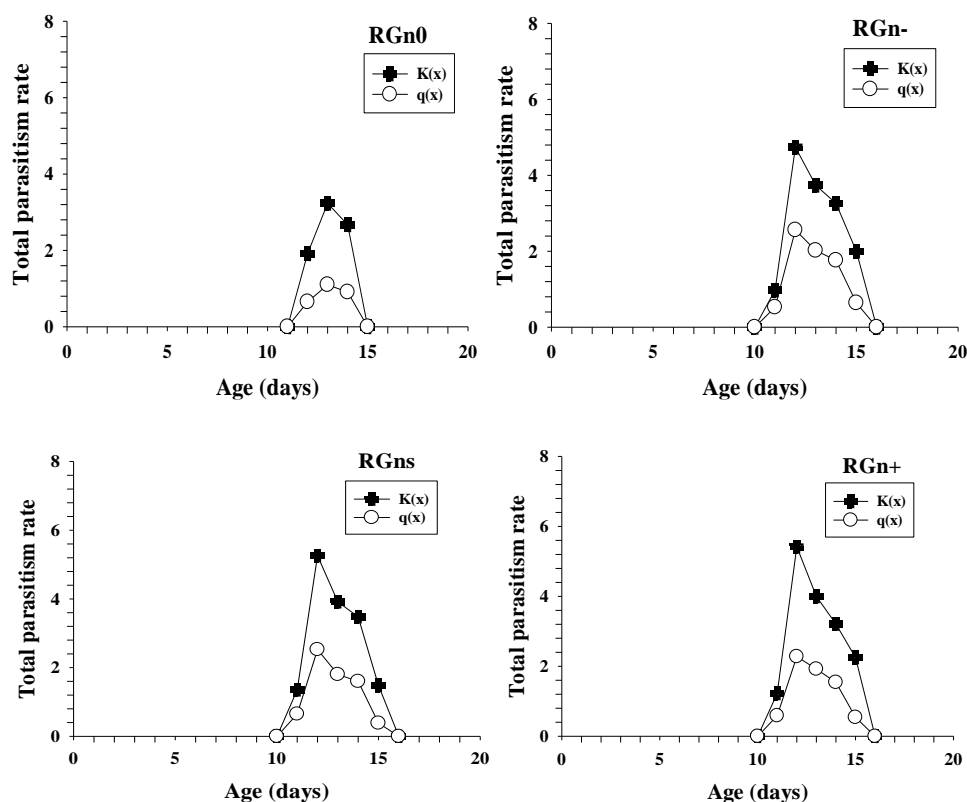
به دلیل اینکه فقط ماده‌ها فعالیت انگلی دارند و در دوره‌ی پیش از بلوغ زنبور نیز انگلی امکان‌پذیر نیست، نتایج حاصل از پراسنجه‌ی C_0 در این پژوهش، در مقایسه با مطالعات انجام شده روی شکارگرها (Nemati, 2016; Chi *et al.*, 2011; Farhadi *et al.*, 2011; Khanamani *et al.*, 2015; Saemi *et al.*, 2017) بسیار پایین‌تر می‌باشد و در دو تیمار سوپر استرین B (SBn+) و کینگ استون (Kn+)، در حدود نرخ انگلی (C_0) زنبور *T. brassicae* روی شب پره بید غلات *S. cerealella* بود (Negahban *et al.*, 2016).



شکل ۲- نرخ انگلی ویژه سنی (K_x) و نرخ خالص انگلی ویژه سنی (q_x) زنبور انگل‌واره *Trichogramma principium* در رقم کینگ استون با چهار سطح نیتروژن

Fig. 2. Age-specific parasitism rate (K_x) and age-specific net parasitism rate (q_x) of *Trichogramma principium* reared on Kingston cultivar with four nitrogen levels.

در تحقیق حاضر، مقدار Q_p در تیمارها برابر یک برآورد شده است (جدول ۱). به منظور تشریح نرخ انتقال جمعیت میزبان به نتاج دشمن طبیعی (Chi & Yang (2003) از پراسنجه‌ی Q_p استفاده نموده بودند. در شکارگرها، تعداد طعمه‌ی شکار شده توسط یک شکارگر در سن x به عنوان نرخ شکارگری ویژه‌ی سنی در نظر گرفته می‌شود، در حالی که نرخ باروری ویژه‌ی سنی (m_x) برابر با تعداد نتاج تولید شده به وسیله‌ی هر ماده‌ی بالغ در سن x است. بنابراین، به طور معمول نرخ شکارگری با میزان باروری متفاوت است، به عبارت دیگر $Ro \leq C_0$ است. ولی در جمعیت انگل‌واره‌ها در صورتی که تمامی تخم‌های تولید شده توسط انگل‌واره، تفریخ شده و به مرحله‌ی بلوغ برسند یعنی نرخ بقای مراحل پیش از بلوغ برابر یک باشد، در آن صورت $Ro = C_0$ خواهد بود (Chi & Yang, 2003). اگر برخی تخم‌های انگل‌واره، تفریخ شوند ولی به مرحله‌ی بلوغ نرسند آنگاه مقادیر نرخ انگلی با نرخ باروری متفاوت خواهد بود (Ebrahimi *et al.*, 2013). بنابراین Q_p رابطه‌ی نرخ تولیدمثل و نرخ انگلی را تبیین می‌نماید.

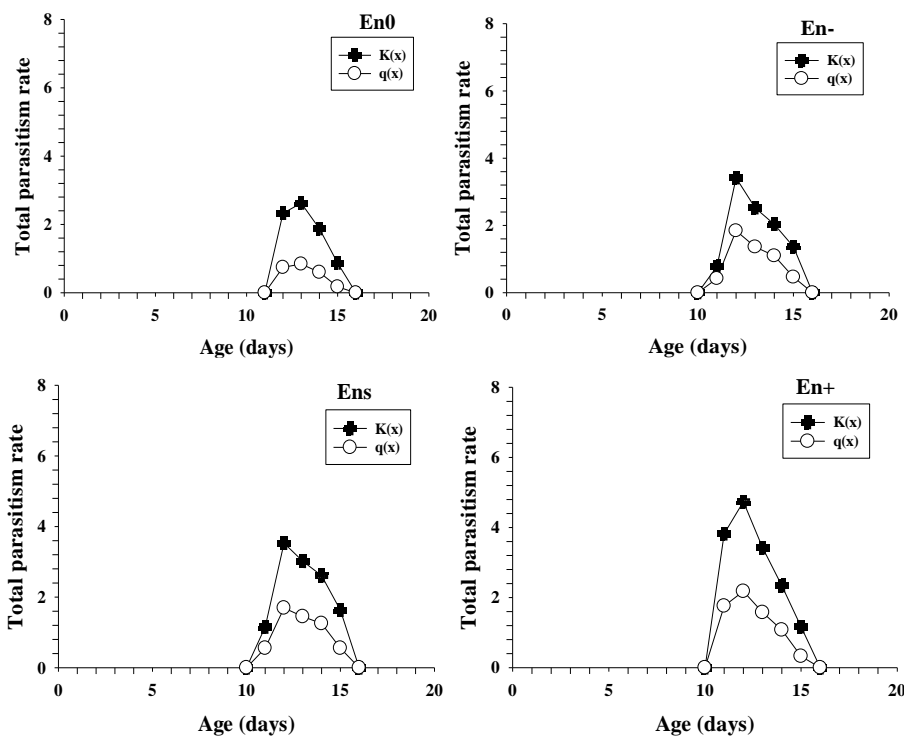


شکل ۳- نرخ انگلی ویژه سنی (K_x) و نرخ خالص انگلی ویژه سنی (q_x) زنبور انگل‌واره *Trichogramma principium* در رقم ریوگرند با چهار سطح نیتروژن

Fig. 3. Age-specific parasitism rate (K_x) and age-specific net parasitism rate (q_x) of *Trichogramma principium* reared on Riogrand cultivar with four nitrogen levels

نرخ تبدیل زنبور *Aphidius gifuensis* Ashmead روی شته‌ی سبز هلو (Chi & Su, 2006) و نرخ تبدیل *T. brassicae* روی بید غلات (Negahban *et al.*, 2016) برابر یک تخم/پارازیتوئید بود که نتایج این تحقیق با مطالعات انجام شده، هماهنگ بود. با این وجود نرخ تبدیل زنبور *Diadegma insulare* روی لارو شب پره پشته الماسی $2/4 \pm 0.2 \pm 0.054$ لارو/پارازیتوئید گزارش گردیده است که در حدود دو و نیم برابر نتایج این تحقیق بود (Ebrahimi *et al.*, 2013). این اختلاف می‌تواند ناشی از تفاوت در نیاز غذایی، نوع میزبان گیاهی، ارزش غذایی و ویژگی‌ها و توانایی‌های سرشته‌ی گونه‌های مختلف باشد (Lill *et al.*, 2002; Hunter, 2003; Sarfraz *et al.*, 2009a). شاید وزن و اندازه بدن انگل‌واره و اختلاف مواد غذایی تخم کرم میوه‌خوارگوجه فرنگی و لارو شب پره پشته الماسی هم از دیگر عوامل موثر باشد. علاوه بر این اعداد حاصل از نرخ تبدیل در شکارگرها با انگل‌واره‌ها بسیار متفاوت است. نرخ تبدیل *Lemnia biplagiata* Swartz روی شته‌ی جالیز *Aphis gossypii* Glover (Chi & Yang 2003) و *Harmonia dimidiata* F. با تغذیه از *A. gossypii* ۲۱۹/۱ شته / شکارگر ۱۰/۴ شته / شکارگر (Mou *et al.*, 2015) که با توجه به نیاز غذایی شکارگران به بیش از چند میزبان، اختلاف با عدد یک، صرف نظر از گونه‌ی شکار و شکارگر طبیعی به نظر می‌رسد.

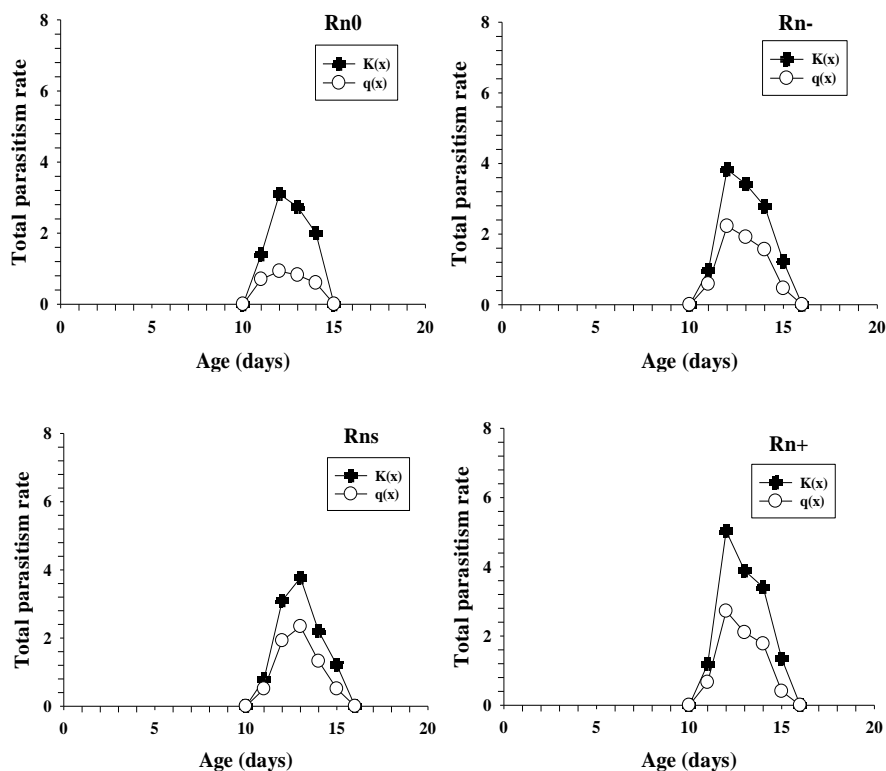
نرخ پایدار انگلی (ψ) در این پژوهش نشان دهنده‌ی تفاوت معنی‌دار ارقام تیمار شده با سطوح کود نیتروژن در مقایسه با شاهد می‌باشد (جدول ۱). سطوح نیتروژن و نرخ پایدار انگلی در ارقام سوپر استرین B و کینگ استون همبستگی مثبت داشتند.



شکل ۴- نرخ انگلی ویژه سنی (K_x) و نرخ خالص انگلی ویژه سنی (q_x) زنبور انگل‌واره *Trichogramma principium* در رقم ارلی اوربان با چهار سطح نیتروژن

Fig. 4. Age-specific parasitism rate (K_x) and age-specific net parasitism rate (q_x) of *Trichogramma principium* reared on Earlyurbana cultivar with four nitrogen levels

نرخ کرانمند انگلی (ω) در تیمارهای مختلف متأثر از سطوح نیتروژن بوده است. بالاترین و پایین‌ترین مقدار پراسنجه‌ی ω به ترتیب 0.3164 ± 0.031 و 0.1525 ± 0.028 بر روز در تیمارهای سوپر استرین B با بالاترین سطح نیتروژن (SBn+) و ارلی اوربان شاهد (En0) ثبت شد (جدول ۱). در همه‌ی ارقام به استثنای ریوگرنند، نرخ کرانمند انگلی با افزایش سطوح نیتروژن سیر افزایشی داشت، که این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبوده و نشان دهنده‌ی تغییر در پراسنجه‌ی کارایی انگل‌واره در اثر تغییر در کیفیت گیاه میزبان می‌باشد. مقایسه‌ی میانگین‌های نرخ کرانمند انگلی (ω) در ارقام مختلف نشان داد که ارقام کینگ استون و سوپر استرین B در بالاترین سطح نیتروژن، با سایر ارقام تفاوت معنی‌دار داشتند.



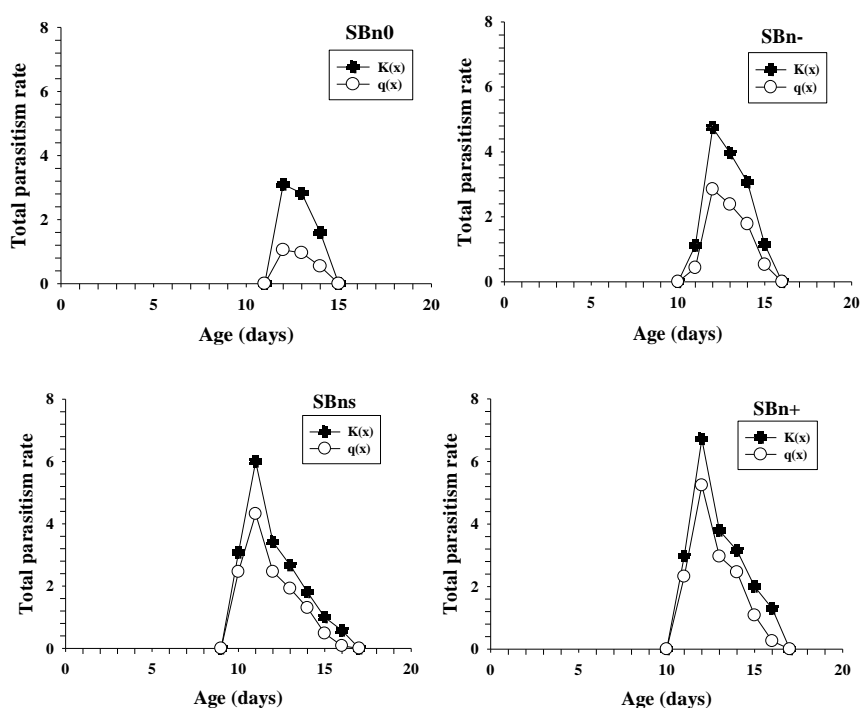
شکل ۵- نرخ انگلی ویژه سنی (K_x) و نرخ خالص انگلی ویژه سنی (q_x) زنبور انگل‌واره *Trichogramma principium* در رقم رداستون با چهار سطح نیتروژن

Fig. 5. Age-specific parasitism rate (K_x) and age-specific net parasitism rate (q_x) of *Trichogramma principium* reared on Redston cultivar with four nitrogen levels

نرخ کرانمند انگلی (ω) یک معیار مناسب در ارزیابی کارایی دشمنان طبیعی محسوب می‌شود (Chi et al., 2011; Farhadi, et al., 2011) و برای مقایسه‌ی ظرفیت پارازیتسیم، در شرایط مختلف ایزاری کارآمد است (Yu et al., 2013). نرخ کرانمند انگلی زنبور انگل‌واره *T. brassicae* در دمای ۲۵ درجه سلسیوس 0.392 ± 0.027 بر روز گزارش شد (Negahban et al., 2016) که نرخ کرانمند انگلی در رقم سوپر استرین B با بالاترین سطح نیتروژن (SBn+)، به نتایج پژوهش یاد شده نزدیک است. نمونه دیگر تاثیر کیفیت گیاه میزبان در نرخ انگلی در مطالعه‌ی نیکویی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شده است که نرخ کرانمند انگلی در ژنوتیپ ترا ریخته‌ی کلزا (0.202 ± 0.03) بر روز، به طور معنی‌دار کمتر از رقم زراعی دستکاری نشده‌ی اوپرا (0.285 ± 0.04 بر روز) بود (Nikooei et al., 2015).

طبق نتایج حاصل از این تحقیق، مقادیر ω و Co تحت تاثیر سطوح نیتروژن قرار گرفتند، در سطوح بالای نیتروژن، کارایی انگلی زنبور *T. Principium* روی ارقام کینگ استون و سوپر استرین B نسبت به سایر تیمارها، به طور معنی‌دار افزایش داشت (جدول ۱). علت تفاوت در مقادیر نرخ کرانمند انگلی (ω) زنبور انگل‌واره روی میزبان‌های مختلف، می‌تواند کیفیت گیاه میزبان باشد که بیشتر جدول زندگی و کارایی انگل‌واره را به واسطه‌ی گیاه‌خوار، تحت تاثیر قرار می‌دهد (Nikooei et al., 2015). پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که تغذیه‌ی حشرات شکارگر از طعمه‌ی دارای کیفیت مناسب از لحاظ محتوای نیتروژن می‌تواند بر رجحان غذایی، رشد، تولیدمثل، بقا و

جمعیت دشمنان طبیعی اثر بگذارند (Fox et al., 1996; Aqueel et al., 2015). به عنوان مثال درصد انگلی پوره‌های سفیدبالک *Bemisia argentifolii* Bel & Per توسط زنبور انگل‌واره *Encarsia formosa* Gahan در گیاهان کود دهی شده با نیتروژن افزایش داشت (Bentz et al., 1996). تغذیه‌ی لاروهای شب‌پره پشت الماسی *Plutella xylostella* L. از گیاهان کلزای تیمار شده با سطح میانی کود نیتروژن (۲ گرم کود به ازای هر گلدان) به افزایش کارایی زنبورهای انگل‌واره *D. insulare* Cresson منجر شد (Sarfraz et al., 2009b). در مطالعه‌ای دیگر نیز فراوانی زنبور انگل‌واره *D. insulare* به طور مستقیم تحت تأثیر فراوانی شب‌پره پشت الماسی قرار گرفت و فراوانی هر دو گونه، همبستگی معنی‌داری با محتوای نیتروژن برگ گیاهان کلم زیتنی، *oleracea* var. *acephala* L. داشت، به علاوه نسبت زنبورهای ماده‌ی انگل‌واره در سطح کود دهی شده افزایش یافت (Fox et al., 1990).

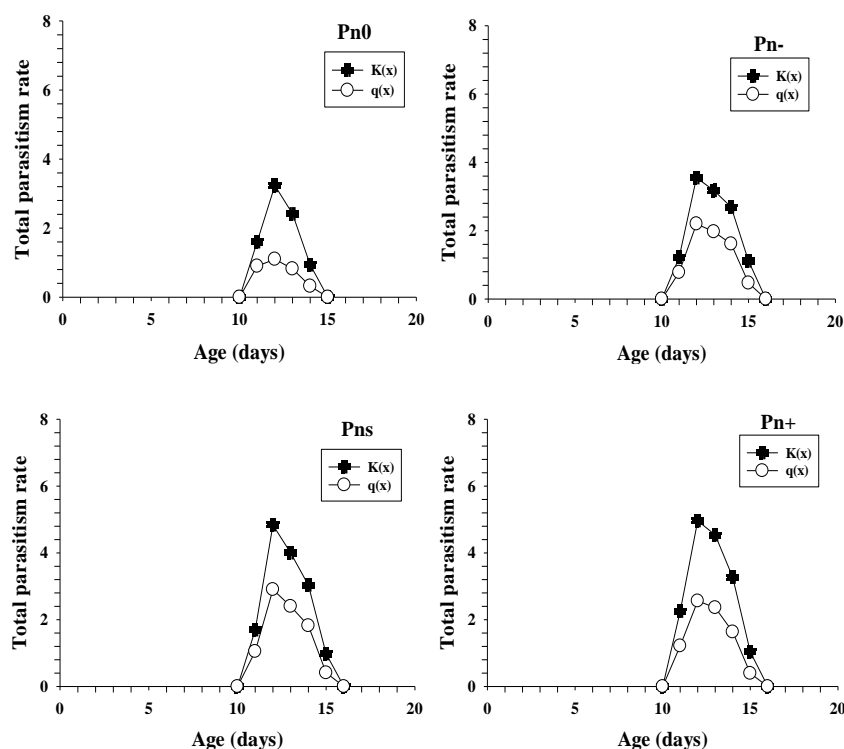


شکل ۶- نرخ انگلی ویژه سنی (K_x) و نرخ خالص انگلی ویژه سنی (q_x) زنبور انگل‌واره *Trichogramma principium* در رقم سوپر استرین بی با چهار سطح نیتروژن

Fig. 6. Age-specific parasitism rate (K_x) and age-specific net parasitism rate (q_x) of *Trichogramma principium* reared on Superstrain-B cultivar with four nitrogen levels

نرخ خالص انگلی ویژه سنی (q_x) در این پژوهش، در تیمارهای کود دهی شده و شاهد به طور معنی‌دار متفاوت بود که برابر با سطح زیر منحنی در شکل‌های ۲-۷ است. تغییرات نرخ انگلی ویژه سنی (K_x)، نشان دهنده‌ی تعداد میزبان پارازیت شده توسط زنبور در سن x می‌باشد. با در نظر گرفتن احتمال بقای افراد، می‌توان نرخ خالص انگلی ویژه سنی (q_x) را در شکل‌های ۲-۷ مشاهده نمود. با توجه به رابطه $q_x = l_x K_x$ معمولاً نرخ خالص انگلی ویژه سنی (q_x) مساوی یا کمتر از نرخ انگلی ویژه سنی (K_x) می‌باشد. اگر تا زمان پایان تخم‌ریزی انگل‌واره، نرخ بقای ویژه‌ی سنی (l_x) (Age specific survival rate) برابر با عدد یک باشد، تفاوتی میان K_x و q_x مشاهده نخواهد شد

و منحنی‌های مربوطه منطبق بر هم خواهند شد. در این تحقیق مساحت زیر منحنی‌های K_x و q_x در تیمارهای کوددهی شده نسبت به ارقام شاهد، تفاوت معنی‌دار داشت (شکل ۷). در ارقام کینگ‌استون و سوپر استرین B با افزایش سطح نیتروژن و نرخ بقا، فاصله‌ی دو منحنی K_x و q_x کاهش یافت. سطح زیر منحنی‌ها در اغلب تیمارها با افزایش سطح نیتروژن، همبستگی مثبت نشان داد و کمینه‌ی این همبستگی در رقم ارلی‌اوربان و بیشینه‌ی آن در ارقام کینگ‌استون و سوپر استرین B مشاهده شد. طبق مطالعات (Jansson 2003) بقا و نسبت زنبورهای ماده *Aphidius ervi* Haliday با انگلی کردن شته‌های *Myzus persicae* Sulzer و *Macrosiphon euphorbiae* Thomas روی گیاهان فلغل کوددهی شده با نیتروژن به طور معنی‌داری بیشتر بود و درصد انگلی شته‌های *M. euphorbiae* با کوددهی افزایش یافت. در مقابل، میزان انگلی *Ceutorhynchus* sp. توسط زنبورهای انگل‌واره Aub. *Tersilochus fulvipes* Grav. و *Tersilochus obscurator* تحت تأثیر کوددهی گیاه کلزا قرار نگرفت (Zaller et al., 2009).



شکل ۷- نرخ انگلی ویژه سنی (K_x) و نرخ خالص انگلی ویژه سنی (q_x) زنبور انگل‌واره *Trichogramma principium* در رقم پرایموآرلی با چهار سطح نیتروژن

Fig. 7. Age-specific parasitism rate (K_x) and age-specific net parasitism rate (q_x) of *Trichogramma principium* reared on Primoearly cultivar with four nitrogen levels

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که فعالیت انگلی زنبور *T. principium* اغلب با سطوح نیتروژن در تیمارهای مورد آزمایش، همبستگی مثبت دارد و کارایی انگلی می‌تواند متاثر از ارقام مختلف گیاه میزبان با سطوح متفاوت نیتروژن باشد. بر این اساس شایسته است، در برنامه‌های مهار زیستی، علاوه بر گیاه‌خوار، گیاه میزبان و سطوح مطلوب کودی موثر در عملکرد انگل‌واره نیز مورد توجه قرار گیرد و انجام مطالعات گسترده با هدف ارزیابی

دقیق‌تر کارایی زیستی زنبور انگل‌واره *T. principium* ضروری است.

سپاسگزاری

بدینوسیله از گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه مراغه و بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک موسسه‌ی تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور برای تأمین امکانات انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نماییم.

References

- Amin, M. R., Chakma, A., Alam, M. Z., Hossain, M. M. & Ge, F.** (2016) Screening of Tomato Varieties against Tomato Fruit Borer and Associated Plant Characters. *SAARC Journal of Agriculture* 14(2), 150-161.
- Aqueel, M. A., Raza, A. B. M., Balal, R. M., Shahid, M. A., Mustafa, I., Javaid, M. M., & Leather, S. R.** (2015) Tritrophic interactions between parasitoids and cereal aphids are mediated by nitrogen fertilizer. *Insect science* 22(6), 813-820.
- Bagheri, M.R., Hassanpour, M., Golizadeh, A., Farrokhi, S. & Samih, M.A.** (2016) Age-stage two-sex life table and predation capacity of *Nesidiocoris tenuis* feeding on *Trialeurodes vaporariorum* on three important greenhouse crops. *Biocontrol in Plant Protection* 3 (2), 77-96. (In Persian).
- Barbosa, P., Gross, P. & Kemper, J.** (1991) Influence of plant allelochemicals on the tobacco hornworm and its parasitoid, *Cotesia congregata*. *Ecology* 72(5), 1567-1575.
- Bentz, J. A., Reeves, J., Barbosa, P. & Francis, B.** (1996) The effect of nitrogen fertilizer applied to *Euphorbia pulcherrima* on the parasitization of *Bemisia argentifolii* by the parasitoid *Encarsia formosa*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 78(1), 105-110.
- Cascone, P., Carpenito, S. Slotsbo, S. Iodice, L. Givskov Sørensen, J. & Holmstrup, M.** (2015) Improving the efficiency of *Trichogramma achaeae* to control *Tuta absoluta*. *Biological control* 60(6), pp.761-771.
- Chailleux, A., Desneux, N., Seguret, J., Thi Khanh, H., Maignet, P. & Tabone, E.** (2012) Assessing European egg parasitoids as a mean of controlling the invasive South American tomato pinworm *Tuta absoluta*. *Plos One* 7(10), 48068.
- 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(2), 327-333.
- 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(1), 10-21.
- Chi, H., Huang, Y. B., Allahyari, H., Yu, J. Z., Mou, D. F., 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* hdl:10101/npre.2011.6651.1.
- Chi, H.** (2016) TWSEX-MS Chart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. URL National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, Available from: (<http://140.120.197.173/Ecology/Download/Twosex-MSChart.zip>) (accessed 1 March 2017).
- Cleary, A. J., Cribb, B. W. & Murray, D. A.** (2006) *Helicoverpa armigera* (Hübner): can wheat stubble protect cotton plants against attack. *Austral Entomology* 45(1), 10-15.
- De Backer, L., Caparros Megido, R., Haubruge, E. & Verheggen, F.** (2015) *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) as an efficient predator of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick). *Europe Journal of Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 18(4), 536-543.
- Dutton, A., Cerutti, F., & Bigler, F.** (1996) Quality and environmental factors affecting *Trichogramma brassicae* efficiency under field conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 81(1), 71-79.
- Ebrahimi, M., Sahragard, A., Talaei-Hassanloui, R., Kavousi, A. & Chi, H.** (2013) The life table and parasitism rate of *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) reared on larvae of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), with special reference to the variable sex ratio of the offspring and comparison of jackknife and bootstrap techniques. *Annals of the Entomological Society of America* 106(3), 279-287.
- E-Loeb, G., Stout, M.J. & Duffey, S. S.** (1997) Drought stress in tomatoes: changes in plant chemistry and potential nonlinear consequences for insect herbivores. *Oikos* 79, 456-68.
- Farrar, R. R., Barbour, J. D. & Kennedy, G. G.** (1994) Field evaluation of insect resistance in a wild tomato and its effect on insect parasitoids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 71, 211-26
- Farhadi, R., Allahyari, H. & Chi, H.** (2011) Life table and predation capacity of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Biological Control* 59(2), 83-89.
- Fitt, G. P.** (1989) The ecology of *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) role of certain plant attributes. *Australian Journal of Zoology* 37, 678-833.
- Fox, L. R., Kester, K. M., & Eisenbach, J.** (1996) Direct and indirect responses of parasitoids to plants: sex ratio, plant quality and herbivore diet breadth. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 80(1), 289-292.
- Giles, K. L., Berberet, R. C., Zarrabi, A. A. & Dillwith, J. W.** (2002) Influence of alfalfa cultivar on suitability of *Acyrtosiphon kondoi* (Homoptera: Aphididae) for survival and

- development of *Hippodamia convergens* and *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) *Economic Entomology* 95, 552-557.
- Gols, R., Raaijmakers, C. E., Van Dam, N. M., Dicke, M., Bukovinszky, T. & Harvey, J. A.** (2007) Temporal changes affect plant chemistry and tritrophic interactions. *Basic and Applied Ecology* 8(5), 421-433.
- Gols, R., Witjes, L., Van Loon, J. J., Posthumus, M. A., Dicke, M. & Harvey, J. A.** (2008) The effect of direct and indirect defenses in two wild brassicaceous plant species on a specialist herbivore and its gregarious endoparasitoid. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 128(1), 99-108.
- Green, P. W. C., Stevenson, P. C., Simmonds, M. S. J. & Sharma, H. C.** (2002) Can larvae of the pod-borer, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), select between wild and cultivated pigeonpea *Cajanus* sp. (Fabaceae). *Bulletin of entomological research* 92(1), 45-51.
- Harvey, J. A., Van Nouhuys, S., & Biere, A.** (2005) Effects of quantitative variation in allelochemicals in *Plantago lanceolata* on development of a generalist and a specialist herbivore and their endoparasitoids. *Journal of Chemical Ecology* 31(2), 287-302.
- Holton, M. K., Lindroth, R. L. & Nordheim, E. V.** (2003) Foliar quality influences tree-herbivore-parasitoid interactions: effects of elevated CO₂, O₃, and plant genotype. *Oecologia* 137(2), 233-244.
- Huang, Y. B., & Chi, H.** (2012) Assessing the application of the Jackknife and Bootstrap techniques to the estimation of the variability of the Net Reproductive Rate and Gross Reproductive Rate: a Case Study in *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae). *Journal of Agricultural and Forest* 61(1), 37-45.
- Hunter, M. D.** (2003) Effects of plant quality on the population ecology of parasitoids. *Agricultural and Forest Entomology* 5(1), 1-8.
- Jiang, N. & Schulthess, F.** (2005) The effect of nitrogen fertilizer application to maize and sorghum on the bionomics of *Chilo partellus* (Lepidoptera: Crambidae) and the performance of its larval parasitoid *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae). *Bulletin of entomological research* 95(6), 495-504.
- Johnson, M. T.** (2008) Bottom-up effects of plant genotype on aphids, ants, and predators. *Ecology* 89(1), 145-154.
- Kagata, H. & Ohgushi, T.** (2007) Carbon–nitrogen stoichiometry in the tritrophic food chain willow, leaf beetle, and predatory ladybird beetle. *Ecological research* 22(4), 671-677.
- Kalule, T. & Wright, D. J.** (2002) Tritrophic interactions between cabbage cultivars with different resistance and fertilizer levels, cruciferous aphids and parasitoids under field conditions. *Bulletin of entomological research* 92(1), 61-69.
- Khanamani, M., Fathipour, Y. & Hajiqanbar, H.** (2015) Assessing compatibility of the predatory mite *Typhlodromus bagdasarjani* (Acari: Phytoseiidae) and resistant eggplant

- cultivar in a tritrophic system. *Annals of the Entomological Society of America* 108(4), 501-512.
- Karami, S., Fathipour, Y., Talebi, A. A. & Reddy, G. V. P.** (2018) Parasitism capacity and searching efficiency of *Diaeretiella rapae* parasitizing *Brevicoryne brassicae* on susceptible and resistant canola cultivars. *Journal of Asia Pacific Entomology* 21(4), 1095-1101.
- Karp, D. S., Moses, R., Gennet, S., Jones, M. S., Joseph, Sh., M'Gonigle, L. K., Ponisio, L. C., Snyder, W. E. & Kremen, C.** (2016) Agricultural practices for food safety threaten pest control services for fresh produce. *Applied Ecology* 53(5), pp.1402-1412.
- Kennedy, G. G.** (2003) Tomato, Pests, Parasitoids, and Predators: Tritrophic interactions involving the genus *Lycopersicon*. *Annual Review of Entomology* 48, 51-72
- Krauss, J., Harri, S. A., Bush, L., Husi, R., Bigler, L., Power, S. A. & Muller, C. B.** (2007) Effects of fertilizer, fungal endophytes and plant cultivar on the performance of insect herbivores and their natural enemies. *Functional Ecology* 21(1), 107-116.
- Lill, J. T., Marquis, R. J. & Ricklefs, R. E.** (2002) Host plants influence parasitism of forest caterpillars. *Nature* 417(6885), 170.
- Lietti, M. M., Botto, E. & Alzogaray, R. A.** (2005) Insecticide resistance in argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotropical Entomology* 34(1), 113-119.
- Lu, M. CH., Chen, H.R. & Wu, Y. H.** (2018) Current status and future perspectives on natural enemies for pest control in Taiwan. *Biocontrol Science and Technology* 28(10), 953-960.
- Mou, D. F., Lee, C. C., Smith, C. L. & Chi, H.** (2015) Using viable eggs to accurately determine the demographic and predation potential of *Harmonia dimidiata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Applied entomology* 139(8), 579-591.
- Negahban, M., Sedaratian-Jahromi, A., Ghane-Jahromi, M. & Haghani, M.** (2016) Temperature-dependent parasitism in *Trichogramma brassicae* (Hym.: Trichogrammatidae), modeling finite parasitism rate. *Entomological Society of Iran* 36(1), 13-27. (In Persian).
- Nemati, A.** (2016) Bionomics of predator bug *Macrolophus pygmaeus* (Heteroptera: Miridae) feeding on tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) M.Sc. thesis, College of Agriculture, Maragheh University. (In Persian with English summary).
- Nikooei, M., Fathipour, Y., Jalali Javaran, M. & Soufbaf, M.** (2015) Influence of genetically manipulated Brassica genotypes on parasitism capacity of *Diadegma semiclausum* parasitizing *Plutella xylostella*. *Agricultural Science and Technology* 17, 1743-1753.
- Nikooei, M., Fathipour, Y., Javaran, M. J. & Soufbaf, M.** (2017) Genetically manipulated Brassica genotypes affect demography and performance of *Diadegma semiclausum* parasitizing *Plutella xylostella*. *Journal of applied entomology* 141(3), 161-171.
- Ode, P. J.** (2006) Plant chemistry and natural enemy fitness: effects on herbivore and natural enemy interactions. *Annual Review of Entomology* 51, 163-185.

- Pinto, J. D. and Stouthamer, R. S.** (1994) Systematics of the Trichogrammatidae with emphasis on *Trichogramma*. In: Wajnberg, E., & Hassan, S. A. (Eds.). Biological control with egg parasitoids. 1-36. Wallingford, Oxon: CAB International.
- Pope, T. W., Girling, R. D., Staley, J. T., Trigodet, B., Wright, D. J., Leather, S. R., van Emden, H. F. & Poppy, G. M.** (2012) Effects of organic and conventional fertilizer treatments on host selection by the aphid parasitoid *Diaeretiella rapae*. *Applied Entomology* 136(6), 445-455.
- Ranjbar Aghdam, H. & Mahmoudian, R.** (2014) Effect of different rice varieties on age specific life table and population growth parameters of *Trichogramma brassicae*, the egg parasitoid of the Striped Stem Borer, *Chilo suppressalis*. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 45(1), 1-11. [In Persian with English Summary].
- Routray, S. & Hari-Prasad, K. V.** (2016) Tri-trophic interaction involving host plants, black legume aphid, *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) and the predator, *Cheilomenes sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology* 113, 551-557.
- Saemi, S., Rahmani, H., Kavousi, A. & Chi, H.** (2017) Group-rearing did not affect the life table and predation rate of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) fed on *Tetranychus urticae*. *Systematic and Applied Acarology* 22(10), 1698-1714.
- Sarfraz, M., Dossall, L. M. & Keddie, A. B.** (2009a) Fitness of the parasitoid *Diadegma insulare* is affected by its host's food plants. *Basic and Applied Ecology* 10(6), 563-572.
- Sarfraz, R. M., Dossall, L. M. & Keddie, A. B.** (2009b) Bottom-up effects of host plant nutritional quality on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and top-down effects of herbivore attack on plant compensatory ability. *European Journal of Entomology* 106(4), 583-594.
- Siqueira, H. A. A., Guedes, R. N. C., Fragoso, D. D. B. & Magalhaes, L. C.** (2001) Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Pest Management* 47(4), 247-251.
- Staley, J. T., Girling, R. D., Stewart-Jones, A., Poppy, G. M., Leather, S. R. & Wright, D. J.** (2011) Organic and conventional fertilizer effects on a tritrophic interaction: parasitism, performance and preference of *Cotesia vestalis*. *Applied Entomology* 135(9), 658-665.
- Tabone, E., Bardon, C., Desneux, N. & Wajnberg, E.** (2010) Parasitism of different *Trichogramma* species and strains on *Plutella xylostella* L. on greenhouse cauliflower. *Pest Science* 83(3), 251-256
- Teakle, R. E.** (1991) Laboratory culture of *Heliothis* species and identification of disease. In: M. P. Zalucki, (Ed.), *Heliothis: research methods and prospects*. Springer, New York, NY. 22-29.
- Tuan, S. J., Yeh, C. C., Atlihan, R. & Chi, H.** (2016) Linking life table and predation rate for biological control: A comparative study of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera:

- Pentatomidae) fed on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Economic Entomology* 109(1), 13-24.
- Wang, S. Y., Chi, H. & Liu, T. X.** (2016). Demography and parasitic effectiveness of *Aphelinus asychis* reared from *Sitobion avenae* as a biological control agent of *Myzus persicae* reared on chili pepper and cabbage. *Biological control* 92, 111-119.
- Wilkins, R.T., Spoerke, J.M. & Stamp, N.E.** (1996). Differential responses of growth and two soluble phenolics of tomato to resource availability. *Ecology* 77, 247-58.
- Wilcox, J. & Howland, A.** (1963) The tomato fruitworm: How to control it. *Entomology Research* 12, 354-367.
- Yanquin, D. C. & shijun, M. f.** (1985) Distribution and economic importance of *Heliothis armigera* and its natural enemies in China. *Environmental Entomology* 4, 44-446.
- Yu, J. Z., Chi, H. & Chen, B. H.** (2013). Comparison of the life tables and predation rates of *Harmonia dimidiata* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) at different temperatures. *Biological Control* 64(1), 1-9.
- Zaller, J. G., Moser, D., Drapela, T., Schmoger, C. & Frank, T.** (2009) Parasitism of stem weevils and pollen beetles in winter oilseed rape is differentially affected by crop management and landscape characteristics. *Biocontrol* 54(4), 505-514.
- Zolfi Bavaryani, M. & Basirat, M.** (2016) Tomato plant nutrition guide In order to reduce the residual nitrate in the product. No. 48658. Institute for Natural Resources and Resources Research, Bushehr, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. 21 pp. (In Persian).
-