

واکنش تابعی وابسته به مرحله رشدی کفشدوزک *Nephus arcuatus* با تغذیه از شپشک *Nipaecoccus viridis* آردآلود جنوب

سارا ضرغامی^{۱*}، فرحان کچیلی^۲، محمد سعید مصدق^۳، حسین اللهیاری^۴ و آرش راسخ^۵

- ۱- ***نویسنده مسوول:** دانشجوی سابق دانشگاه شهید چمران اهواز و استادیار پژوهشکده خرما و میوه های گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، اهواز، ایران (sar.zarghami@gmail.com)
- ۲- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۳- استاد، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۴- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۵- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۱۵

چکیده

در کنترل بیولوژیک کاربردی ابتدایی ترین روش ارزیابی کارایی شکارگرها، استفاده از واکنش تابعی و پارامترهای حاصل از آن شامل قدرت جستجو (a) و زمان دستیابی (T_h) به طعمه می باشد. در این تحقیق واکنش تابعی لارو سن یک تا چهار و نر و ماده بالغ کفشدوزک *Nephus arcuatus* مهمترین شکارگر شپشک *Nipaecoccus viridis* مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج، نوع واکنش تابعی برای لاروهای سن یک تا چهار و نر و ماده بالغ کفشدوزک به تراکم های مختلف پوره سن دو شپشک به ترتیب نوع دوم، سوم، سوم، سوم، دوم و دوم تعیین شد. مقدار پارامترهای a و T_h برای لارو سن یک به ترتیب ۰/۱۱۳۹ بر ساعت و ۱۱/۴۱۷ ساعت، سن دو ۰/۳۲۳۷ بر ساعت و ۴/۷۰۱۳ ساعت، نر بالغ ۰/۲۲۳۳ بر ساعت و ۱/۴۷۱۱ ساعت و ماده بالغ ۰/۲۸۳۶ بر ساعت و ۱/۰۱۹۸ ساعت تعیین شد. ضریب b و T_h برای لارو سن سه ۰/۰۱۹۵ بر ساعت و ۱/۷۳۹۶ ساعت و سن چهار ۰/۰۰۷۷۴ بر ساعت و ۰/۴۹۱۲ ساعت برآورد شد. حداکثر نرخ حمله در لارو سن چهار و سپس ماده و نر بالغ و به ترتیب ۴۸/۶، ۲۳/۵ و ۱۶/۳ طعمه تعیین شد. مقایسه پارامترها نشان داد قدرت جستجوگری افراد تفاوت معناداری در یافتن طعمه با یکدیگر ندارد اما زمان دستیابی به طور معناداری با افزایش سن لاروی از لارو سن یک تا چهار افزایش و در ماده ها بیشتر از نرها بود. بر اساس نتایج بدست آمده، استفاده از لارو سن سه، چهار و ماده بالغ کفشدوزک در زمان بالا بودن جمعیت پوره سن دو شپشک می تواند کنترل موفقتری در کاهش جمعیت آن فراهم آورد.

کلیدواژه ها: *Nephus arcuatus*، *Nipaecoccus viridis*، واکنش تابعی

مقدمه

خانواده از ۸۷ کشور در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری دنیا گزارش شده است (Garcia Morales et al., 2016; CABI/EPPO, 2017). این شپشک در ایران نیز از اهمیت اقتصادی برخوردار بوده و آفت اصلی

شپشک آردآلود جنوب *Nipaecoccus viridis* (Newstead) (Hemiptera: Pseudococcidae) آفتی پلی فاژ بوده و تاکنون از ۱۱۴ گونه گیاهی از ۴۵

کمی از رفتار شکارگر در هنگام رویارویی با طعمه ارائه می‌دهد که می‌توان از آن برای درک بهتر برهمکنش میان شکارگر و شکار، فهم تکاملی که بین گونه‌ها به طور همزمان و در ارتباط باهمدیگر رخ داده و بهبود توانایی در پیش‌بینی کنترل آفت در مبارزه بیولوژیک استفاده کرد (Houck and Strauss, 1985).

Holling (1959) واکنش تابعی را به نوع اول، نوع دوم و نوع سوم تقسیم نمود اگر چه چندین نوع واکنش تابعی مانند نوع ۴ (Luck, 1985) و نوع ۵ (Sabelis, 1992) پس از آن توسط سایر محققین ارائه شده است. در میان واکنش‌های تابعی ذکر شده واکنش تابعی نوع دوم (مرگ و میر منفی وابسته به تراکم طعمه) و نوع سوم (مرگ و میر مثبت وابسته به تراکم طعمه) مورد توجه اکثر اکولوژیست‌ها قرار گرفته است و تفاوت میان این دو در رفتار شکارگر در تراکم‌های اولیه ابتدایی شکار می‌باشد (Pervez and Omark, 2005). از نوع واکنش تابعی و دو پارامتر اصلی آن شامل نرخ شکارگری یا قدرت جستجوگری (a) و زمان دستیابی (T_h) می‌توان برای ارزیابی شایستگی مراحل رشدی یک شکارگر استفاده کرد (Holling, 1965; Hassell, 1978) هر چند در ارزیابی و استفاده از این اطلاعات می‌بایست این نکته در نظر گرفته شود که نوع واکنش و پارامترهای حاصل از آن می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله دما (Jalali et al., 2010)، گیاه میزبان (Mahdian et al., 2007)، مرحله رشدی طعمه (Milonas et al., 2011)، سن-جنس و مرحله رشدی شکارگر (Sahayara et al., 2015; Mukerji and LeRoux, 1969; Koch et al., 2003; Bayoumy, 2011; Zarghami et al., 2016) تغییر یابد. علی‌رغم نقش مهم مراحل مختلف رشدی کفشدوزک‌های شپشک‌خوار در کنترل شپشک‌های آردآلود، تحقیقات اندکی در خصوص واکنش تابعی آنها صورت گرفته است. Forouzan (2014) با بررسی واکنش تابعی مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* با

درختان مرکبات در جنوب و جنوب غرب ایران می‌باشد (Asadeh and Mossadegh 1993; Ghanbari et al., 2012; Moghadam, 2013) و با مکیدن شیره گیاهی سبب پیچیدگی، زرد شدن برگ، کاهش رشد جوانه انتهایی، عدم رشد گل‌ها و ریزش میوه شده (خسارت مستقیم) و با تولید عسلک که بر روی آن قارچ مولد دوده رشد می‌کند فعالیت‌های بیولوژیکی گیاه را مختل می‌کند (خسارت غیر مستقیم) (Al-Rawy et al., 1977; Sharaf and Meyerdirk, 1987).

یکی از مهمترین شکارگرهای شپشک آردآلود جنوب در در باغ‌های مرکبات شهرستان دزفول در شمال استان خوزستان، کفشدوزک شپشک‌خوار *Nephus arcuatus* Kapur (Coleoptera : Coccinellidae) می‌باشد. این کفشدوزک گونه‌ی بومی مناطق گرم استان خوزستان بوده و تاکنون تنها از عربستان و یمن گزارش شده است (Löbl and Smetana, 2007; Alizadeh et al., 2013; Mosadegh et al., 2015; Ramindo and van Harten, 2000). بررسی‌های آزمایشگاهی و صحرایی نشان می‌دهد در شرایط اقلیمی استان این شکارگر در اغلب ماه‌های سال روی شپشک‌های آردآلود منطقه فعال است (Alizadeh et al., 2013; Bushi, 2016). دمای بهینه برای فعالیت این کفشدوزک ۳۰ درجه سلسیوس گزارش شده اما این حشره تحمل دماهای بالاتر را هم دارد (Zarghami et al., 2014a) و به نظر می‌رسد می‌تواند به عنوان یک عامل مناسب کنترل بیولوژیک برای مهار شپشک‌های آردآلود قابل‌معرفی باشد (Alizadeh et al., 2013; Zarghami, 2014; Zarghami et al., 2014a, 2014b).

یکی از معیارهای مهم در انتخاب یک شکارگر برنامه کنترل بیولوژیک، بررسی رفتاری واکنش شکارگر نسبت به تغییر در تراکم طعمه یا واکنش تابعی آن می‌باشد (Murdoch and Oaten, 1975; Pervez and Omark, 2005). واکنش تابعی یک توصیف

دوره نوری به تاریکی ۱۰:۱۴ نگهداری شدند (Zarghami et al., 2014). پس از گذشت ۲ نسل، از کفشدوزک‌ها برای آزمایش استفاده شد.

ارزیابی واکنش تابعی مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus*

ابتدا ۵۰ جفت نر و ماده کفشدوزک بالغ بر روی کلنی شپشک آردآلود جنوب (شامل همه مراحل رشدی شپشک) در ظروف پرورش (۸×۱۳×۲۰ سانتی‌متر) رها کرده و پس از ۱۲ ساعت افراد بالغ حذف شدند. ظرف‌های پرورش در انکوباتور در شرایط مذکور در بالا نگهداری شدند. هر ۱۲ ساعت نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از این روش از مراحل مختلف رشدی هم سن شامل لاروهای سن یک تا سن چهار (۰-۱۲ ساعت طول عمر)، نر و ماده بالغ کفشدوزک (۱۰ روزه جفت‌گیری کرده) استفاده شد. بر اساس ارزیابی بیولوژی کفشدوزک، افراد بالغ در این سن به بلوغ جنسی رسیده و آمادگی لازم برای رهاسازی، استقرار و تشکیل یک نسل جدید را در طبیعت دارا هستند (Zarghami, 2014). قبل از شروع آزمایش ابتدا هر فرد شکارگر (لارو سن یک، سن دو، سن سه، سن چهار، نر و ماده بالغ) به مدت ۱۲ ساعت به منظور استاندارد کردن سطح گرسنگی در این دورف ۱/۵ میلی‌لیتری نگه داشته شد و سپس در ظروف حاوی طعمه در هر تراکم رها شد. تراکم‌های استفاده شده از پوره سن دو شپشک آردآلود جنوب به عنوان طعمه بر اساس آزمایش‌های مقدماتی بر حسب میزان مصرف هر مرحله رشدی شکارگر از این مرحله رشدی شپشک بود. از تراکم ۱-۳-۵-۷-۹ طعمه برای لارو سن دو، تراکم ۲-۴-۶-۱۲-۱۸-۲۴-۳۰ طعمه برای لاروسن سه، تراکم ۲-۴-۶-۱۰-۲۰-۳۵-۵۰-۶۵ طعمه برای لارو سن چهار، تراکم ۲-۴-۶-۱۰-۲۰-۳۵-۵۰-۶۵ طعمه برای ماده بالغ و تراکم ۱-۳-۵-۹-۱۵-۲۱-۲۷ طعمه برای نر بالغ استفاده شد. طعمه‌ها پس از جمع‌آوری توسط قلم مو در ظروف آزمایش پلاستیکی (۳×۷×۹

تغذیه از پوره سن یک تا سن سه شپشک آردآلود پنبه Zarghami و *Phenacoccus solenopsis* Tinsley et al. (2016) با تغذیه از تخم شپشک آردآلود جنوب بیان کردند نوع واکنش بر اساس مرحله رشدی شکارگر و مرحله رشدی طعمه متفاوت می‌باشد. شپشک‌های آردآلود به دلیل داشتن تعداد نسل زیاد و طول دوره‌های رشدی طولانی، از یک طرف نسل‌ها در همدیگر همپوشانی داشته و از طرف دیگر ممکن است واکنش رفتاری شکارگر نسبت همه مراحل طعمه یکسان نباشد. لذا در پژوهش حاضر به منظور درک بهتر قدرت شکارگری مراحل مختلف رشدی این شکارگر، واکنش تابعی لاروهای سن یک تا چهار و ماده و نر بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* به تراکم‌های مختلف پوره سن دو شپشک آردآلود جنوب در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت تا ظرفیت شکارگری مراحل مختلف رشدی مورد ارزیابی قرار گیرد و زمینه لازم برای کاربرد این شکارگر در برنامه مبارزه بیولوژیک شپشک آردآلود جنوب فراهم شود.

مواد و روش‌ها

تهیه کلنی حشرات

شپشک آردآلود جنوب به طور انبوه به عنوان غذای کفشدوزک *N. arcuatus* روی جوانه‌های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در ظروف پلاستیکی (۱۰×۱۶×۲۴ سانتی‌متر) که درپوش آنها با یک پارچه با مش ریز جهت تهویه پوشیده شده بود پرورش داده شد. بالغین کفشدوزک *N. arcuatus* از باغات مرکبات آلوده به شپشک آردآلود جنوب از دزفول، در تابستان ۱۳۹۰ جمع‌آوری و پس از شناسایی، روی شپشک‌های آردآلود موجود روی سیب‌زمینی رها شدند. روزانه جمعیت کفشدوزک مورد بررسی قرار گرفت و در صورت نیاز غذای جدید برای کفشدوزک‌ها جایگزین شد. کلنی کفشدوزک و شپشک در دمای بهینه فعالیت کفشدوزک 1 ± 30 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و

تابعی با استفاد از معادله "شکارگری-تصادفی" که توسط Rogers (1972) ارائه شد، محاسبه شدند. شکل معادله راجرز برای واکنش تابعی نوع دوم به صورت زیر می‌باشد.

$$N_a = N_0 \{1 - \exp[a(T_h N_0 - T)]\} \quad (۲)$$

در اینجا، a نرخ حمله یا قدرت جستجوگری شکارگر، T_h زمان دستیابی و T زمان کل آزمایش است که در اینجا ۲۴ ساعت بود. این مدل، واکنش تابعی را مدلسازی می‌کند (واکنش تابعی نوع دوم) که در آن فرض شده در تمامی تراکم‌ها نرخ حمله و زمان دستیابی ثابت می‌باشد (Trexler et al., 1988; Juliano, 2001). حال آنکه در واکنش تابعی نوع سوم فرض می‌شود نرخ حمله ثابت نیست و تابعی از تراکم طعمه در نظر گرفته می‌شود و این پارامتر با افزایش N_0 ، افزایش یافته تا به خط مجانب^۱ برسد. به منظور مدل سازی واکنش تابعی نوع سوم، نرخ حمله (a) در معادله ۳ در معادله ۲ قرار داده شد و به عنوان تابعی از تراکم طعمه در نظر گرفته شد (Pervez and Hassell, 1978; Omkar, 2005). در شکل ساده نرخ حمله که تابعی از تراکم اولیه بوده به شکل زیر خواهد بود:

$$a = (d + bN_0)/(1 + cN_0) \quad (۳)$$

در این معادله b ، c و d ثابت می‌باشند که می‌بایست محاسبه شوند. شکل ساده معادله راجرز برای واکنش تابعی نوع سوم به صورت زیر محاسبه شد:

$$N_a = N_0 \{1 - \exp[(d + bN_0)(T_h N_a - T)(1 - cN_0)]\} \quad (۴)$$

پارامترهای واکنش تابعی لارو سن یک، سن دو و ماده و نر بالغ با استفاده از معادله (۲) و لارو سن سه و سن چهار با استفاده از معادله (۳ و ۴) محاسبه شد. به منظور مقایسه پارامترهای واکنش تابعی مراحل مختلف

سانتی‌متر) حاوی دیسک سیب‌زمینی قرار گرفته در بستر آگار رها شدند. سپس یک شکارگر در ظرف مربوطه رها شد و بعد از ۲۴ ساعت شکارگر حذف و تعداد طعمه خورده شده توسط شکارگر ثبت شد. تعداد تکرارها از ۱۰ تا ۱۵ تکرار متغیر بود. تکرار بیشتر در برخی تراکم‌ها به منظور افزایش دقت آزمایش بود.

آنالیز آماری داده‌های آزمون واکنش تابعی

تجزیه داده‌های واکنش تابعی در دو مرحله با استفاده از روش توصیه شده (Juliano 2001) انجام شد. ابتدا برای تعیین نوع (شکل) واکنش تابعی هر مرحله رشدی کفشدوزک، رگرسیون لجستیک نسبت طعمه خورده شده به تعداد اولیه طعمه (N_a/N_0) در مقابل تعداد اولیه طعمه ارائه شده (N_0) با استفاده از تابع لجستیک چند جمله‌ای از طریق معادله (۱) برازش یافت:

$$\frac{N_a}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)} \quad (۱)$$

P_0 ، P_1 ، P_2 و P_3 به ترتیب ضرایب خطی، درجه یک، درجه دو و درجه سه بوده که با استفاده از رویه CATMOD در SAS (Juliano, 2001; SAS Institute Inc., 2003) محاسبه شدند. هر ۶ دسته داده‌ها با معادله ۱ برازش یافت و از علامت P_1 ، P_2 برای تعیین نوع واکنش تابعی استفاده شد. اگر $P_1 < 0$ و $P_2 > 0$ باشد واکنش شکارگر نوع دوم و چنانچه $P_1 > 0$ و $P_2 < 0$ واکنش تابعی نوع سوم و شکل منحنی سیگموییدی خواهد بود.

در مرحله دوم پس از تعیین نوع واکنش تابعی، پارامترهای اصلی واکنش تابعی زمان دستیابی (T_h) و نرخ حمله (a) (برای واکنش تابعی نوع دوم) یا ضرایب ثابت b ، c و d (برای واکنش تابعی نوع سوم) با استفاده از رگرسیون غیر خطی کمترین مربعات با رویه NLIN در SAS (SAS Institute Inc., 2003) محاسبه شدند. از آنجایی که تعداد طعمه مصرف شده در طی زمان آزمایش جایگزین نشد پارامترهای واکنش

منفی بود ($P_1 < 0$) و با افزایش تراکم طعمه تعداد طعمه خورده شده افزایش و نسبت طعمه خورده شده N_a/N_0 کاهش یافت.

پارامترهای واکنش تابعی مراحل رشدی ذکر شده شامل قدرت جستجو (a) و زمان دستیابی (T_h) شکارگر با استفاده از معادله راجرز (معادله ۲) تعیین شد (جدول ۲). نرخ حمله/ قدرت جستجوگری و زمان دستیابی، تحت تاثیر مرحله رشدی شکارگر تغییر یافت. کمترین قدرت جستجوگری در لارو سن یک (۰/۱۱۳۹ بر ساعت) و بیشترین مقدار در لارو سن دو (۰/۳۲۳۷ بر ساعت) برآورد شد. همچنین کوتاهترین زمان دستیابی به طعمه در ماده بالغ کفشدوزک (۱/۰۱۹۸ ساعت) و طولانی‌ترین زمان دستیابی در لارو سن یک (۱۱/۴۱۷ ساعت) مشاهده شد (جدول ۲).

مقایسه نرخ حمله و زمان دستیابی مراحل مختلف رشدی ذکر شده با استفاده از شاخص متغیر نشان داد حدود اطمینان ۹۵٪ برای D_a ، صفر را در برداشت اما برای D_{th} ، صفر را شامل نشد. این به این معناست که اختلاف معناداری میان قدرت جستجوگری این سه مرحله رشدی وجود نداشت اما زمان دستیابی تحت تاثیر مرحله رشدی قرار داشت به طوری که برای لارو سن یک به طور معناداری بیشتر از لارو سن دو، نر و ماده بالغ کفشدوزک بود (جدول ۳).

بررسی واکنش تابعی لاروهای سن سه و چهار کفشدوزک *N. arcuatus* نشان داد با افزایش تراکم طعمه تعداد میزبان‌های خورده شده سیگموئیدی شکل افزایش خواهد یافت (شکل ۱). برازش رگرسیون لجستیک لارو سن سه و چهار واکنش تابعی نوع سوم را نشان داد زیرا در تمامی موارد شیب قسمت خطی منحنی مثبت بود ($P_1 > 0$) (جدول ۱). برای لارو سن سه نسبت طعمه خورده شده از تراکم ۲ تا ۶ افزایش و سپس تا تراکم ۳۰ کاهش یافت. در لارو سن چهار نسبت طعمه خورده شده از تراکم ۲ تا ۲۰ افزایش و سپس تا تراکم ۶۵ کاهش یافت (شکل ۲). نتایج حاصل

رشدی که واکنش یکسانی داشتند از یک شاخص متغیر استفاده شد (Juliano, 2001).

$$N_a = \{1 - \exp[-(a + D_a(j))(T - (T_h + D_{Th}(j))N_a)]\} \quad (5)$$

$$N_a = \frac{\exp[b + D_b(j)]N_0^2 T}{1 + \exp[b + D_b(j)]N_0^2 [T_h + D_{Th}(j)]}$$

در اینجا j شاخص متغیر است که مقدار آن از ۰ برای دسته اول داده‌ها و یک برای دسته دوم داده‌ها می‌باشد. برای واکنش تابعی نوع دوم با استفاده از این معادله ۵ پارامترهای D_a و D_{Th} تفاوت‌ها را بین T_h و a دو دسته داده مشخص شد. چنانچه زمان دستیابی شکارگر اول T_h باشد، زمان دستیابی شکارگر دوم $T_h + D_{Th}$ در نظر گرفته می‌شود. معنی‌دار بودن زمان دستیابی (یا نرخ حمله) با استفاده از فرضیه $D_{Th} = 0$ اثبات شد. برای واکنش تابعی نوع سوم با استفاده از معادله ۶ D_{Th} و D_b برای تخمین تفاوت‌ها میان مقدار b و زمان دستیابی افراد با این نوع واکنش مشخص شد (Juliano, 2001). حداکثر نرخ حمله (T_h/T) با استفاده از زمان دستیابی افراد شکارگر (T_h) در طی ۲۴ ساعت آزمایش محاسبه شد (Hassell, 2000). مقدار ضریب تبیین با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد (Allahyari et al., 2004):

$$r^2 = 1 - \text{residual sum of sq.} / \text{corrected total sum of sq.} \quad (7)$$

نتایج

بررسی واکنش تابعی لاروهای سن یک تا چهار و نر و ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* با تغذیه از پوره سن دو شپشک آردآلود جنوب نشان داد با افزایش تراکم شکار، تعداد طعمه خورده شده توسط شکارگر افزایش یافت. نتایج حاصل از رگرسیون لجستیک مراحل مختلف رشدی شکارگر با تغذیه از پوره سن دو شپشک آردآلود جنوب در جدول ۱ ارائه شده است. برازش رگرسیون لجستیک با داده‌های لاروهای سن یک، سن دو، نر و ماده بالغ کفشدوزک واکنش تابعی نوع دوم را نشان داد. زیرا در تمامی موارد شیب قسمت خطی منحنی

بر اساس شاخص متغیر پارامتر D_b مشاهده شد این پارامتر صفر را شامل نمی‌شود. از اینرو میان پارامتر ضریب b این دو مرحله رشدی شکارگر اختلاف معناداری وجود نداشت اما زمان دستیابی به طعمه در لارو سن چهار (۰/۴۹۱۲ ساعت) به طور معناداری کوتاهتر از لارو سن سه (۰/۷۳۹۶ ساعت) بود.

بررسی حداکثر نرخ شکارگری (Th/T) در طی ۲۴ ساعت نشان داد با افزایش سن لاروی حداکثر شکارگری از ۲/۱۲ تا ۴۸/۵۶ طعمه در روز افزایش یافت و شکارگری ماده‌ها با ۲۳/۵۳ طعمه بیشتر از نرها بود (جدول ۲). محاسبه ضریب تبیین در جدول ۲ نشان داد معادله راجرز به خوبی واکنش تابعی مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* با تغذیه از پوره سن دو شپشک آردآلود جنوب توصیف می‌کند.

از رگرسیون غیر خطی حداقل مربعات برای لارو سن سه با تغذیه از پوره سن دو نشان داد که پارامترهای c و d (معادله ۴) با صفر اختلاف معناداری ندارند. از این رو با حذف آنها از مدل کاهش یافته $a=bN_0$ به منظور تعیین مقدار ثابت حمله استفاده شد (Juliano, 2001). بر این اساس، در واکنش تابعی نوع سوم مقدار b تابعی از تراکم طعمه اولیه بوده و تغییر در قدرت جستجوگری را با تغییر در تراکم طعمه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاضر، در لارو سن سه بین نرخ حمله و تراکم اولیه طعمه یک رابطه خطی برقرار بود ($a=bN_0$). مقدار a برای لارو سن سه به ترتیب ۰/۶۸۲۵-۰/۹۷۵-۱/۲۶۷۵-۰/۳۹-۰/۱۹۵-۰/۱۱۷-۰/۰۷۸-۰/۰۳۹ بر ساعت و برای لارو سن چهار به ترتیب ۰/۱۵۴۸/۲۷۰۹-۰/۳۸۷-۰/۵۰۳۱-۰/۰۴۶۴۴-۰/۰۳۰۹۶-۰/۰۱۵۴۸ بر ساعت برآورد شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه رگرسیون لجستیک نسبت طعمه خورده شده توسط مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* بر تعداد اولیه طعمه ارائه شده

Table 1. Results of logistic regression analysis of the proportion of prey consumed by different stages of *N. arcuatus* as a function of initial prey density

Stages of predator	Coefficient	Estimate	SE	χ^2	P value
1 st instar	Constant	5.7571	2.5566	5.07	0.0243
	Linear	-2.9881	1.5384	3.77	0.0521
	Quadratic	0.4365	0.2843	2.37	0.1236
	Cubic	-0.0211	0.0162	1.70	0.1920
2 nd instar	Constant	6.8870	2.0935	1.082	0.0010
	Linear	-1.5416	0.7053	4.78	0.0288
	Quadratic	0.1122	0.0733	2.35	0.1257
	Cubic	-0.00288	0.00235	1.50	0.2208
3 rd instar	Constant	-0.0793	0.4278	0.03	0.8529
	Linear	0.4558	0.1129	16.30	<.0001
	Quadratic	-0.0345	0.00756	20.79	<.0001
	Cubic	0.000643	0.000144	20.05	<.0001
4 th instar	Constant	0.0937	0.2662	0.12	0.7248
	Linear	0.2841	0.0399	50.70	<.0001
	Quadratic	-0.00908	0.00129	49.65	<.0001
	Cubic	0.000075	0.000011	43.84	<.0001
Adult females	Constant	4.4562	0.6523	46.66	<.0001
	Linear	-0.2248	0.0763	8.69	0.0032
	Quadratic	0.00454	0.00271	2.81	0.0935
	Cubic	-0.00004	0.000029	1.85	0.1733
Adult males	Constant	3.6639	0.9563	14.68	<.0001
	Linear	-0.2983	0.2194	1.85	0.1739
	Quadratic	0.0138	0.0146	0.98	0.3216
	Cubic	-0.00029	0.000288	6.27	0.0123

جدول ۲- مقادیر برآورد شده پارامترهای واکنش تابعی توسط مدل راجرز، مقدار ضریب تعیین R^2 و حداکثر نرخ شکارگری مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* نسبت به پوره سن دو شپشک آردآلود جنوب

Table 2. Parameters estimated by Rogers` random predator equation as well as R^2 and maximum predation rate (T/T_h) for six life stages of *N. arcuatus* fed on 2nd instar nymph of *N. viridis*

Stages of predator	Parameter	Estimate	Approximate SE	Approximate 95% Confidence		T/T_h	R^2
				Lower	Upper		
1 st instar	a	0.1139	0.0554	0.00275	0.2251	2.12	0.898
	T_h	11.417	1.1185	9.0951	13.5883		
2 nd instar	a	0.3237	0.1544	0.0139	0.6336	5.10	0.958
	T_h	4.7013	0.2589	4.1818	5.2208		
3 rd instar	b	0.0195	0.000386	0.0118	0.0272	13.80	0.958
	T_h	1.7396	0.0590	1.6223	1.8568		
4 th instar	b	0.00774	0.00150	0.00477	0.0107	48.56	0.959
	T_h	0.4912	0.0204	0.4508	0.5316		
Adult females	a	0.2836	0.1179	0.0497	0.5175	23.53	0.948
	T_h	1.0198	0.0679	0.8850	1.1546		
Adult males	a	0.2233	0.0765	0.0711	0.3755	16.32	0.954
	T_h	1.4711	0.1204	1.2315	1.7107		

جدول ۳- مقدار پارامترهای D_a , D_b و D_{Th} تخمین زده شده برای مقایسه پارامترهای واکنش تابعی مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* نسبت به پوره سن دو شپشک آردآلود جنوب

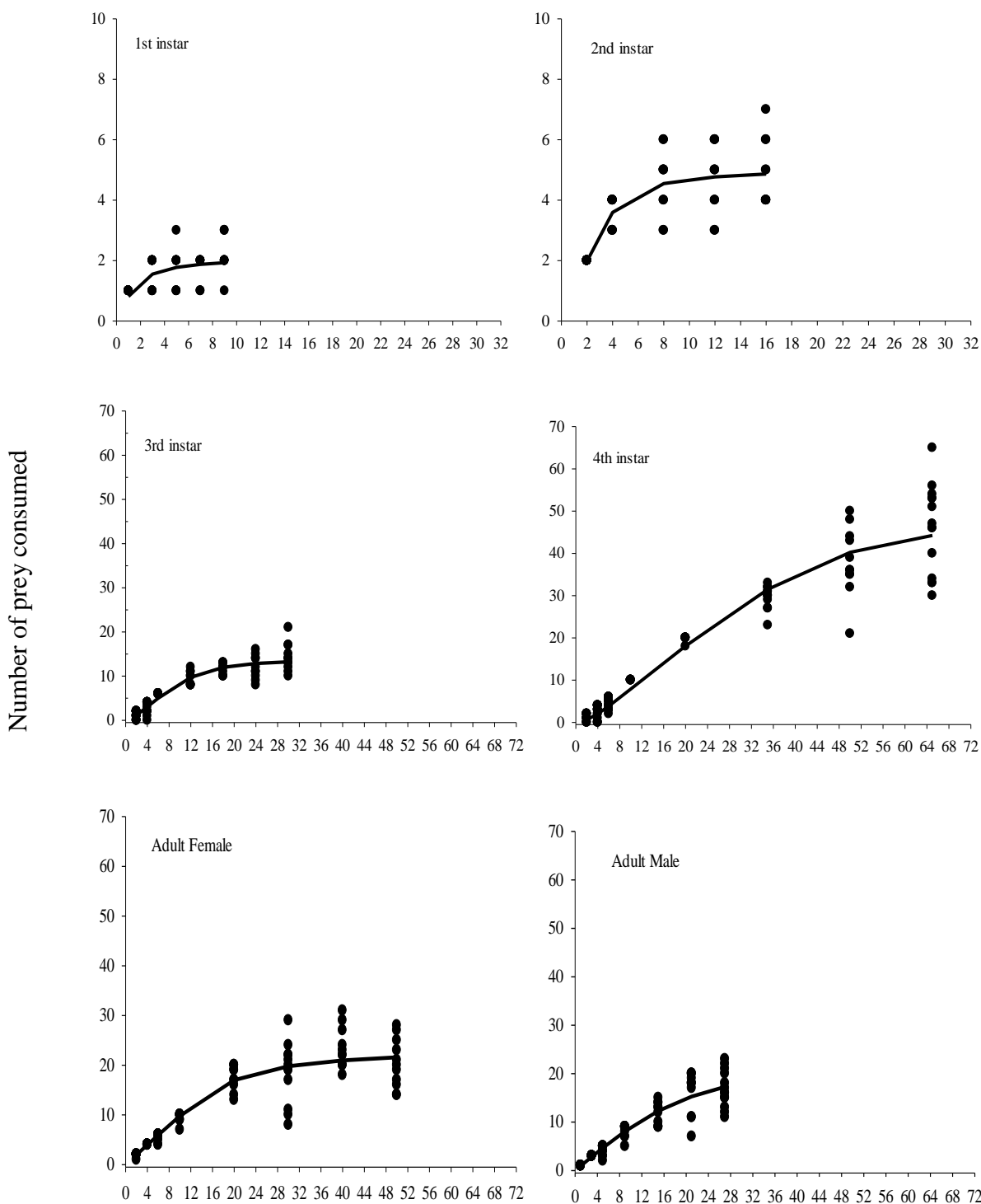
Table 3. The Parameters D_a , D_b and D_{Th} estimated by an equation with an indicator variable for comparing type II and type III functional response parameters different stages of *N. arcuatus* fed on 2nd instar nymph of *N. viridis*

Comparison stage	Estimate	Approximate SE	Approximate 95% Confidence		
			Lower	Upper	
1 st instar-2 nd instar	D_a^*	0.2098	0.1491	-0.0860	0.5056
	D_{Th}	-0.6404	1.4978	-9.6112	-3.6696
1 st instar- Male adult	D_a	0.1094	0.1723	-0.2316	0.4503
	D_{Th}	-9.8702	3.2569	-16.3142	-3.4263
1 st instar-Female adult	D_a	0.1697	0.2901	-0.4036	0.7430
	D_{Th}	-10.3214	5.5303	-21.2501	0.6073
2 nd instar-Male adult	D_a	-0.1004	0.2998	-0.6936	0.4927
	D_{Th}	-3.2302	0.5015	-4.2222	-2.2381
2 nd instar-Female adult	D_a	-0.0402	0.4962	-1.0207	0.9403
	D_{Th}	-3.6815	0.8178	-5.2975	-2.0655
Male adult-Female adult	D_a	-0.0603	0.1465	-0.3495	0.2289
	D_{Th}	0.4513	0.1786	0.0988	0.8037
3 rd instar-4 th instar	D_b^{**}	-0.0118	0.00821	-0.0280	0.00442
	D_{Th}^{***}	-1.2483	0.1252	-1.4953	-1.0014

*An indicator showing differences between treatments for a .

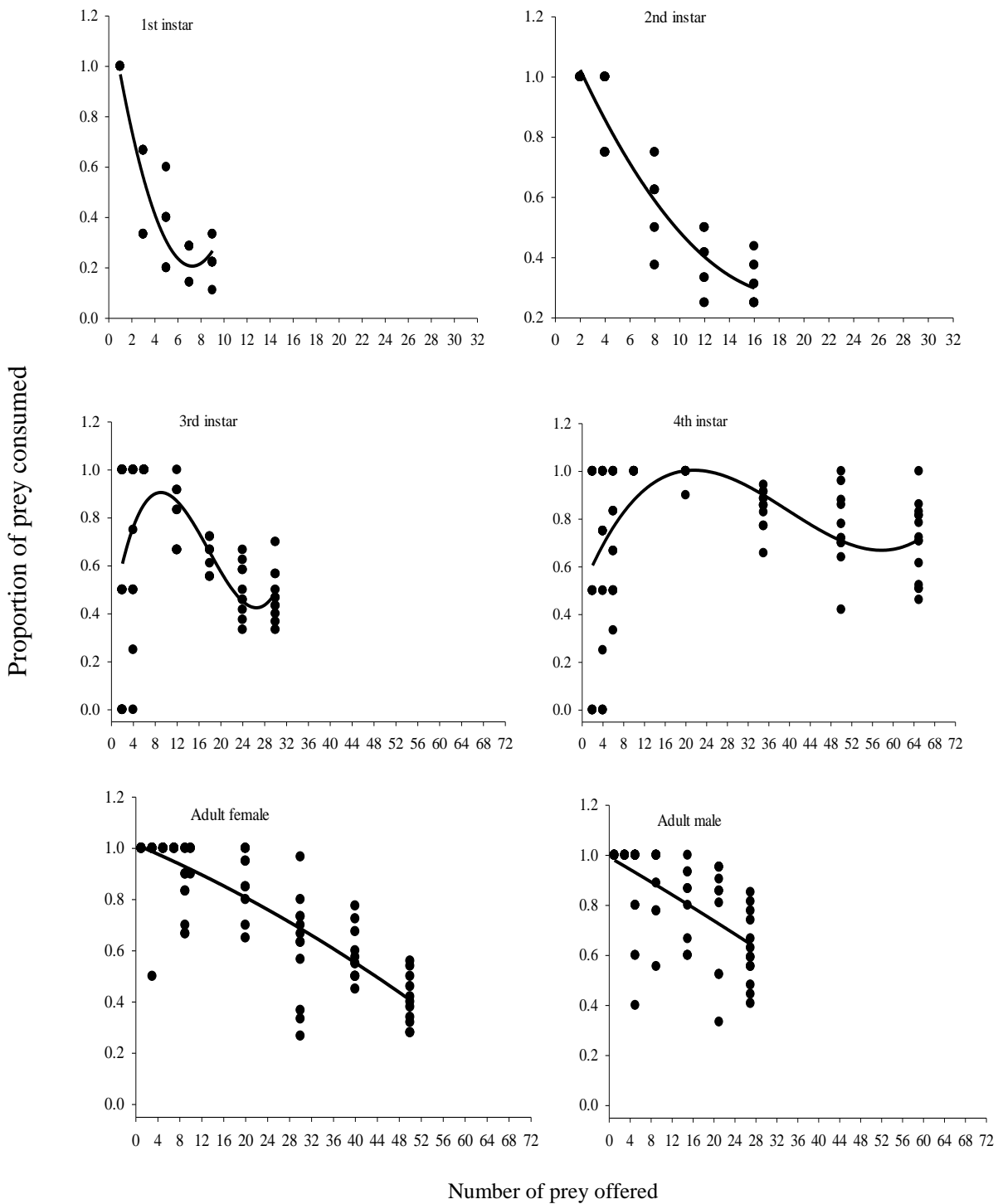
** An indicator showing differences between treatments for b .

*** An indicator showing differences between treatments for T_h .



شکل ۱- واکنش تابعی وابسته به سن مراحل رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* نسبت به تراکم های مختلف پوره سن دو شپشک آردآلود جنوب. نقاط سیاه رنگ داده های مشاهداتی بوده و خطوط با استفاده از معادله تصادفی راجرز پیش بینی شده است

Figure 1. Stage-specific functional responses of *N. arcuatus* to different densities of 2nd instar nymph of *N. viridis*. Symbols are observed data and lines were predicted by model



شکل ۲- نسبت طعمه خورده شده توسط مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* نسبت به تراکم های مختلف پوره سن دو شپشک آردآلود جنوب. نقاط سیاه رنگ داده های مشاهداتی بوده و خطوط با استفاده از مدل پیش بینی شده است
Figure 2. Proportion of 2nd instar nymph of *N. viridis* consumed by different stages of *N. arcuatus*. Symbols are observed data and lines were predicted by model

بحث

در شرایط اقلیمی استان خوزستان باده شدن آب و هوای نیمه بیابانی و استپ گرم، کفشدوزک شپشک‌خوار *N. arcuatus* در زیستگاه‌های مختلف از جمله باغ‌های مرکبات آلوده به شپشک آردآلود جنوب، روی گیاهان زینتی مانند شاهپسند و بوته‌های ختمی چینی آلوده به گونه‌های مختلفی از شپشک‌های آردآلود از جمله، شپشک آردآلود صورتی *Maconellicoccus* (Allizadeh et al., 2013) و *hirsutus* (Green) شپشک آردآلود پنبه *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Mossadegh et al., 2015) با جثه کوچک، پرخوری زیاد و قدرت جستجوگری بالا فعالیت کرده و به خوبی استقرار یافته است. در حالی که در این نواحی کفشدوزک وارداتی از جمله *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant صورت انبوه پرورش و رهاسازی می‌شود به دلیل گرمای زیاد تابستان و وجود مورچه‌های همزیست با شپشک‌ها قادر به استقرار و فعالیت نبوده، و علاوه بر رهاسازی سالیانه نتوانسته جمعیت شپشک‌های آردآلود طغیان کننده را کنترل کند (Mossadegh et al., 2008). Zarghami et al. (2014a) با بررسی زیست‌شناسی این شکارگر با تغذیه از شپشک آردآلود جنوب بیان کردند این شکارگر در دامنه دمایی ۲۰ تا ۳۵ درجه فعالیت کرده و دمای بهینه ۳۰ درجه را به عنوان دمای مناسب جهت پرورش انبوه این شکارگر گزارش دادند. در ادامه تحقیقات آنها مشاهده شد این شکارگر علاوه بر شپشک‌های موجود در منطقه به خوبی از مراحل مختلف رشدی شپشک مرکبات *Planococcus citri* Risso و بالشتک‌های *Pulvinaria floccifera* Westwood و *Pulvinaria aurantii* Cockerell نیز به عنوان طعمه تغذیه می‌کرد (Zarghami, 2014). علاوه بر این بررسی ترجیح مرحله طعمه‌ای نشان داد تخم و ماده بالغ شپشک آردآلود جنوب مرحله ترجیحی اکثر مراحل رشدی این کفشدوزک بودند اگرچه این شکارگر به خوبی

از سایر مراحل نیز تغذیه می‌کرد (Zarghami et al., 2014b).

بررسی زیست‌شناسی این شپشک در شرایط آب و هوایی خوزستان نشان داد تولید مثل آن از طریق جنسی و بکرزایی با تولید تخم در کیسه مومی سفید رنگ که چند روز قبل از تخمگذاری ترشح شده انجام می‌شود. این شپشک در شرایط آب و هوایی اهواز دارای ۸ نسل کامل با دو نقطه اوج در بهار و پاییز و در شرایط دزفول ۷ نسل کامل و یک نسل ناقص می‌باشد (Khodaman, 1993; Novin et al., 2000). با توجه به تعداد نسل زیاد و طولانی بودن دوره‌های رشدی این شپشک، مراحل مختلف رشدی با یکدیگر همپوشانی داشته و چنانچه هدف استفاده از دشمن طبیعی جهت کنترل شپشک باشد واکنش رفتاری شکارگر در مواجهه با شپشک بسیار حائض اهمیت است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد واکنش تابعی مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* و پارامترهای حاصل از آن بر حسب مرحله رشدی شکارگر متفاوت بود. نوع واکنش تابعی حشرات و پارامترهای حاصل از آن می‌تواند تحت تاثیر فاکتورهای مختلفی از جمله مرحله رشدی شکارگر قرار گیرد (Koch et al., 2003). Foruzan (2014) گزارش داد حشرات ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* با تغذیه از پوره‌های سن یک و سن سه شپشک آردآلود پنبه واکنش تابعی نوع سوم و با تغذیه از پوره سن دوم، واکنش نوع دوم نشان دادند. همچنین با بررسی منابع سایر کفشدوزک‌های شکارگر شپشک‌های آردآلود نتایج مشابهی را می‌توان مشاهده کرد. به عنوان مثال: واکنش لارو سن دوم و لارو سن چهار *C. montrouzieri* با تغذیه از پوره‌های سن دوم، سوم و ماده بالغ شپشک آردآلود مرکبات *P. citri* به ترتیب سوم، سوم و دوم و واکنش ماده بالغ با تغذیه از طعمه‌های فوق‌الذکر به ترتیب نوع دوم، سوم و سوم بود (Abdollahi Ahi et al., 2012).

(1975). سه مکانیسم اصلی که سبب بروز واکنش تابعی نوع سوم می‌شود شامل بروز رفتار سویچینگ (Murdoch, 1969)، یادگیری و تمرکز شکارگر به منظور صید شکار در لکه‌هایی با تراکم بالا می‌باشد (Holling 1965; Murdoch and Oaten, 1975). از آنجایی که آزمایشات ما در یک دوره کوتاه مدت و بر روی یک گونه طعمه انجام شده است، احتمالاً تمرکز شکارگر در بدام انداختن طعمه در تراکم‌های بالا، سبب بروز واکنش تابعی نوع سوم در لارو سن سه و چهار کفشدوزک شده است.

واکنش تابعی بر اساس پارامترهای آن یعنی قدرت جستجو و زمان دستیابی ارزیابی می‌شود. قدرت جستجو نه تنها میزان جستجوی انجام شده توسط شکارگر برای پیدا کردن طعمه را نشان می‌دهد بلکه همچنین نشان دهنده سرعت رسیدن منحنی واکنش تابعی به قسمت مجانب خود نیز می‌باشد (Holling, 1966). زمان دستیابی یک شکارگر نیز، یعنی زمان صرف شده توسط شکارگر برای فعالیت‌هایی نظیر گرفتن طعمه، رام کردن، کشتن و هضم کردن آن بوده و به تخمین آستانه سیر شدن شکارگر کمک می‌کند (Veeravel and Baskaran, 1997). بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر قدرت جستجوگری افراد در یافتن طعمه اختلاف معناداری با یکدیگر نداشت و سنین مختلف رشدی کفشدوزک با واکنش تابعی مشابه، توانایی مشابهی در پاسخ به افزایش تراکم طعمه داشتند. اما با افزایش سن لاروی از لارو سن یک تا لارو سن چهار زمان دستیابی به طعمه به طور معناداری کاهش یافت و زمان دستیابی ماده بالغ کفشدوزک به طعمه کمتر از نر بالغ بود. در حقیقت بیشتر بودن زمان دستیابی به طعمه در لارو سن یک به دلیل نیاز کمتر به غذا و توانایی کمتر این مرحله در دنبال کردن، گرفتن و مصرف طعمه نسبت به سایر مراحل لاروی می‌باشد. مشابه نتایج این تحقیق Zarghami et al. (2016) گزارش دادند قدرت

واکنش تابعی لاروسن چهار، نر و ماده کفشدوزک *Hyperaspis polita* Weise با تغذیه از تخم شپشک آردآلود جنوب به ترتیب نوع دوم، دوم و سوم بود (Farhadi et al., 2018). با این حال، Milonas et al. (2011) گزارش دادند تغییر در مرحله رشدی شکارگر و مرحله رشدی طعمه، تاثیری در نوع واکنش تابعی کفشدوزک *Nephus includes* (Kirsch) نسبت به شپشک‌های آردآلود *Planococcus ficus* Signoret و *Planococcus citri* Risso نداشت. همچنین Seyfollahi et al. (2019) واکنش تابعی لارو سن چهار، نر و ماده بالغ کفشدوزک *H. polita* با تغذیه از پوره‌های سن یک تا سه شپشک آردآلود پنبه نوع دوم و به طور مشابه (Nakhai Madih et al. 2016-2017) واکنش تابعی لارو سن چهار، نر و ماده کفشدوزک *H. polita* با تغذیه از ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه را از نوع دوم گزارش دادند. گونه فوق الذکر یک گونه بومی منطقه و از رقیب‌های اصلی کفشدوزک *N. arcuatus* در کنترل بیولوژیک شپشک‌های آردآلود و یکی از مهمترین کاندیدهای احتمالی پرورش انبوه می‌باشد که مقایسه کارایی آن با کفشدوزک *N. arcuatus* قابل اهمیت است.

علی‌رغم فراوان بودن واکنش تابعی نوع دوم در میان کفشدوزک‌های شپشک‌خوار که مثال‌هایی از آنها ذکر شد، تعدادی از شکارگرها واکنش تابعی نوع سوم دارند (منابع موردی آنها در پاراگراف قبل ذکر شد). به عقیده اکثر اکولوژیست‌ها از آنجایی که شکارگرهای با واکنش تابعی نوع سوم در محدودهایی از تراکم میزبان تاحدی ابتدا مرگ‌ومیر وابسته به تراکم و سپس وابسته به عکس تراکم ایجاد می‌کنند، به عنوان عوامل کنترل بیولوژیک کارا با ثبات در دینامیسم جمعیت شکارگر-شکار سهم بیشتری در تنظیم جمعیت آفت نسبت به شکارگرهای با واکنش نوع دوم، دارند (Holling, 1959; Murdoch, 1969; Murdoch and Oaten,

سن دوم شپشک آردآلود پنبه به ترتیب ۰/۱۱۲۱، ۰/۱۱۲۵، ۰/۰۶۲، ۰/۱۸۶۸، ۰/۰۶۱۲ بر ساعت و زمان دستیابی را ۰/۰۸۱ ساعت گزارش دادند. NakhaiMadih et al. (2016-2017) قدرت جستجوی لارو سن چهار *H. Polita* را با تغذیه از ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه به ترتیب ۰/۰۱۹۶ بر ساعت و ۳/۳۲۶۲ ساعت، نر بالغ ۰/۰۱۹۵ بر ساعت و ۱۲/۰۱۲۶ ساعت و ماده بالغ کفشدوزک را ۰/۰۱۳۱ بر ساعت و ۳/۴۷۶۵ ساعت گزارش دادند. Farhadi et al. (2018) قدرت جستجو و زمان دستیابی *H. polita* را برای لارو سن چهار با تغذیه از شپشک آردآلود جنوب ۰/۲۵۵۳ بر ساعت و ۰/۰۸۸۱ ساعت، برای ماده بالغ ۰/۱۹۸۳۳ بر ساعت و ۰/۱۵۵۹ ساعت و برای نر بالغ ضریب ثابت $b = 0.0405$ بر ساعت و ۰/۳۱۰۱ ساعت گزارش دادند. مطابق پژوهش حاضر، در تمامی تحقیقات ذکر شده توسط این محققین توان جستجوگری افراد تفاوت معناداری با یکدیگر در یافتن طعمه نداشت اما زمان دستیابی در لارو سن چهار به طور معناداری بیشتر از ماده‌ها و در ماده‌ها بیشتر از نرها بود. اگرچه در بررسی Li et al. (2005) مشاهده شد که با افزایش مرحله لاروی از لارو سن یک تا لارو سن سه *Nephus ryuguus* (Kamiya) با تغذیه از شپشک *Oracella acuta* (Lobdell) قدرت جستجوگری افزایش و زمان دستیابی کاهش یافت. با توجه به اهمیت شکارگری کفشدوزک *N. arcuatus* و جنه حدود ۴ برابر کوچکتر نسبت به کفشدوزک های شکارگر رقیب خود نظیر *H. polita* و *C. montrouzieri* این قدرت جستجو و زمان دستیابی قابل اهمیت است.

در مطالعه حاضر حداکثر نرخ شکارگری (T/T_h) در لارو سن چهار با ۴۸/۵۶ طعمه و به دنبال آن ماده بالغ با ۲۳/۵۳ و نر بالغ کفشدوزک با ۱۶/۳۲ طعمه در طی ۲۴ ساعت مشاهده شد. بیشتر بودن نرخ شکارگری لارو سن چهار در مقایسه با دیگر مراحل لاروی به دلیل نرخ جستجوگری بالای آن می‌باشد و نیاز بیشتر لارو سن چهار به انرژی جهت رشد و رسیدن به یک وضعیت

جستجوگری لاروهای سن یک تا چهار و نر و ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* در یافتن تخم شپشک آردآلود جنوب تفاوت معناداری نداشت اما زمان دستیابی به تخم شپشک از لارو سن یک تا چهار از ۵/۴۲۵۲ تا ۰/۱۴۹۲ ساعت کاهش یافت. همچنین زمان دستیابی ماده‌ها با ۰/۲۸۵۰ ساعت به طور معناداری کمتر از نرها با ۰/۷۷۶۵ ساعت بود. تفاوت مشاهده شده در مقایسه با پارامتر مربوطه در پژوهش حاضر به دلیل کوچکتر بودن طعمه و غیر متحرک بودن این مرحله رشدی نسبت به طعمه استفاده شده در پژوهش حاضر می‌باشد. اگرچه طعمه‌های بزرگتر راحت‌تر در معرض دید شکارگر قرار می‌گیرند اما به دلیل قدرت دفاعی بیشتری و یا توانایی بهتر در فرار کردن از چنگ شکارگر و طولانی‌تر بودن زمان مصرف شان سبب افزایش زمان دستیابی شکارگر به طعمه می‌شوند (Holling, 1966; Tompson, 1975). مشابه نتایج بدست آمده Milonas et al. (2011) گزارش کردند که در قدرت جستجوگری لارو سن دو و سن چهار کفشدوزک *N. includens* در جستجوی پوره سن دو شپشک‌های *P. ficus* و *P. citri* تفاوت معناداری وجود نداشت، اما زمان دستیابی در شکارگر بزرگتر یعنی لارو سن چهار بیشتر از شکارگر کوچکتر، لارو سن دو بود. مقایسه نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر با تحقیقات انجام شده روی سایر شکارگرهای رقیب اصلی کفشدوزک *N. arcuatus* در کنترل شپشک‌های آردآلود در منطقه نمایانگر توانایی بالای شکارگری این کفشدوزک با تغذیه از شپشک آردآلود جنوب می‌باشد. به عنوان مثال تحقیقات Abdollahi Ahi et al. (2012) قدرت جستجوی لارو سن چهار و ماده بالغ کفشدوزک *C. montrouzieri* را با تغذیه از پوره سن دوم شپشک آردآلود مرکبات به ترتیب ۰/۰۱۲۶ و ۰/۰۴۸ بر ساعت و زمان دستیابی را ۰/۷۰۱ و ۰/۱۷۷ ساعت گزارش دادند. Seyfolahi et al. (2019) قدرت جستجوی لارو سن چهار، نر و ماده کفشدوزک *H. polita* را با تغذیه از پوره

سن دو شپشک آردآلود پنبه به ترتیب ۷۰/۱۱، ۳۹/۲۸ و ۲۵ طعمه بود (Seyfolahi et al. 2019).

این تحقیق اولین ارزیابی کارایی مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* با تغذیه از پوره سن دو شپشک آردآلود جنوب *N. viridis* می باشد. با توجه به نوع واکنش تابعی و پرخوری بالای لارو سن سه، لارو سن چهار و ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* احتمالاً رهاسازی این سه مرحله رشدی در زمانی که جمعیت پوره سن دو شپشک بالا است می تواند کنترل موفق و سریعی را در آلودگی شپشک با تغذیه از آنها فراهم آورد. اگرچه شکارگرها معمولاً در طبیعت با شرایط غیرقابل کنترل و یا متغیری روبرو می شوند. مثلاً هر گونه تغییر دمایی و یا رطوبتی می تواند سریعاً سبب تغییر نوع واکنش شکارگر نسبت به تغییر تراکم طعمه شود و این بسیار مشکل است که حدس زده شود که اینگونه اثرات آب و هوایی چگونه سبب تغییر تعداد طعمه خورده شده در هر تراکم می شود.

سپاس گذاری

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر تامین اعتبار لازم و مساعدت در اجرای این تحقیق قدردانی می شود.

مناسب جهت سفیره شدن می باشد (Hodek and Honek, 1996; Wells and McPherson, 1999) علاوه بر این پرخوری بیشتر ماده ها می تواند به دلیل اندازه بزرگتر ماده و نیاز بیشتر غذایی ان برای تولید تخم و تخمیزی باشد (Van Den Meiracker and Sabelis, 1999; Omkar and Pervez, 2004; Seagraves, 2009).

مقایسه حداکثر تغذیه نرخ شکارگری مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* با سایر کفشدوزک های رقیب خود در کنترل شپشک های آردآلود قابل تامل است. به عنوان مثال حداکثر تغذیه روزانه لارو سن دو و سن چهار کفشدوزک *N. includens* با تغذیه از پوره سن دو شپشک های *P. Ficus* به ترتیب ۱/۸۵ و ۴ طعمه و با تغذیه از پوره سن دو *P. Citri* به ترتیب ۲/۷ و ۳/۴۴ طعمه (Milonas et al., 2011)، ماده بالغ و لارو سن چهار کفشدوزک *C. montrouzieri* با تغذیه از پوره سن دو شپشک آردآلود مرکبات به ترتیب ۴۲/۱۷ و ۳۴/۵ (Abdollahi Ahi et al., 2012)، لارو سن چهار، نر و ماده بالغ کفشدوزک *H. polita* با تغذیه از ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه به ترتیب ۷/۲، ۲ و ۶/۹ طعمه (Nakhai Madih et al., 2016-2017)، پوره

REFERENCES

Abdollahi Ahi, Gh., Afshari, A., Baniameri, V., Dadpour Moghanloo, H., Asadeh, Gh., and Yazdani, M. 2012. Functional response of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Col.:Coccinellidae) on citrus mealybug *Planococcus citri* (Risso) (Hom.: Pseudococcidae) in laboratory conditions. Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 35(1): 1-15. (In Farsi with English abstract).

Alizadeh, M.S., Mossadegh, M.S., and Esfandiari, M. 2013. Natural enemies of *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera:Pseudococcidae) and their population fluctuations in Ahvaz, southwest of Iran. Journal of Crop Protection, 2 (1): 13-21.

Allahyari, H., Fard, P.A., and Nozari, J. 2004. Effects of host on functional response of offspring in two populations of *Trissolcus grandis* on the sunn pest. Journal of Applied Entomology, 128 (1): 39–43.

Al-Rawy, M.A., Kaddou, I.K., and Al-omar, M.A. 1977. The Present status of the spherical mealybug, *Nipaeococcus vastator* (Maskell) (Homoptera: Pseudococcidae) in Iraq. Bulletin of the Biological Research Centre (Baghdad), 8: 3-15

Asadeh, Gh.A., and Mossadegh, M.S. 1993. Investigation on the mealybugs (Pseudococcidae) fauna of the Khuzestan province, southwest Iran. Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 16: 76–81. (In Farsi with English abstract).

Bayoumy, M.H., 2011. Foraging behavior of the coccinellid *Nephus includes* (Coleoptera: Coccinellidae) in response to *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) with particular emphasis on larval parasitism. Environmental Entomology, 40 (4): 835-843.

Boushi, S. 2017. Investigation the biology and population dynamics of the cotton mealybugs, *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) (Hem.: Pseudococcidae and identification of its natural enemies on *Hibiscus rosa-sinensis*. Agriculture and Natural Resources University of Ramin Khuzestan, Ahvaz, Iran.

CABI/EPPO. (2017). *Nipaeococcus viridis*. Distribution maps of plant pests no. 446. CAB International, Wallingford, UK.

Farhadi, Z., Esfandiari, M., Mossadegh, M.S., Shishehbor, P. 2018. Prey stage preference and functional response of the coccinellid *Hyperaspis polita*, feeding on the mealybug *Nipaeococcus viridis*. Plant Pest Research, 7(4):63-78. (In Farsi with English abstract).

Forouzan, A. 2014. Biology and functional response of *Nephus arcuatus* Kapur ;adybird on cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. M. Sc. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

García Morales, M., Denno, B.D., Miller, D.R., Miller, G.L., Ben-Dov, Y., Hardy, N.B. 2016. *ScaleNet*: A literature-based model of scale insect biology and systematics. Database. doi: 10.1093/database/bav118. <http://scalenet.info>.

Ghanbari, Gh., Ghajarie, H., Alich, M., Kheradmand, K. 2011. A Study of the Population Dynamics of *Nipaeococcus viridis* Newstead in Shiraz region: effective factors on population decrease. Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 34(2): 47-58. (In Farsi with English abstract).

Hassell, M.P. 1978. The Dynamics of arthropod predator-prey systems. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Hassell, M.P. 2000. The spatial and temporal dynamics of host parasitoid interactions. Oxford University Press, London, UK.

Holling, C.S. 1959. The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the European pine sawfly. Canadian Entomologist, 91: 293-320.

Holling, C.S. 1965. The functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 45: 1–60.

Holling, C.S. 1966. Functional response of invertebrate predators to prey density. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 48: 1-86.

Hodek, I., and Honek, A. 1996. *Ecology of Coccinellidae*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherland.

Houck, M.A., and Strauss, R.E. 1985. The comparative study of functional responses: experimental design and statistical interpretation. *Canadian Entomologist*, 117: 617–629.

Jalali, M.A., Tirry, L., De Clercq, P. 2010. Effect of temperature on the functional response of *Adalia bipunctata* to *Myzus persicae*. *Biological Control*, 55: 261–269.

Juliano, S.A. 2001. Nonlinear curve fitting: predation and functional response curve. In Scheiner, S.M. and Gurevitch, J. (Eds). *Design and analysis of ecological experiments*. Oxford University Press, New York, pp. 178–216.

Koch, R.L., Hutchison, W.D. Venette, R.C., and Heimpel, G.E. 2003. Susceptibility of immature monarch butterfly, *Danaus plexippus* (Lepidoptera: Nymphalidae: Danainae), to predation by *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biological Control*, 28: 265-270.

Khodaman, A. 1993. Biological study of mealybug *Nipaecoccus viridis* and possibility of its biological control, by crypt ladybird and other available coccinellids in Khuzestan province (southwest Iran). M. Sc. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Li, T., Yumei, Z., Cai, T., Changge, Z., and Xiaojun, L. 2005. Study on functional response of *Nephus ryuguus* (Kamiya) to *Oracella acuta* (Lobdell). *Natural Enemies of Insects*, 1: 27-31.

Löbl, I., and Smetana, A. (Eds.). 2007. *Catalogue of palearctic Coleoptera*. Vol. 4: Elateroidea, Derodontoidea, Bostrichoidea, Lymexyloidea, Cleroidea and Cucujoidea. Apollo Books, Stenstrup, Denmark.

Luck, R.F. 1985. Principles of arthropod predation. In Huffaker, C.B. and Rabb, R.L. (Eds). *Ecological Entomology*. Wiley, New York, pp. 497–530.

Mahdian, K., Tirry, L., De Clercq, P., 2007. Functional response of *Picromerus bidens*: effect of host plant. *Journal of Apply Entomology*, 131(3): 160–164.

Milonas, P.G., Kontodimas, D.CH., and Martinou, A.F. 2011. A predator's functional response: influence of prey species and size. *Biological Control*, 59: 141-146.

- Moghadam, M. 2013. An annotated checklist of the scale insects of Iran (Hemiptera, Sternorrhyncha, Coccoidea) with new records and distribution data. *ZooKeys*, 334: 1-92.
- Mossadegh, M.S., Eslamizadeh, R., and Esfandiari, M. 2008. Biological study of mealybug *Nipaecoccus viridis* (New.) and possibility of its biological control by *Cryptolaemus montrouzier* Mul. in citrus orchards of north Khuzestan. XXIII International Congress of Entomology: 31 Jul.-3 Aug. South Africa.
- Mossadegh, M.S., Vafaei, Sh., Farsi, A., Zarghami, S., Esfandiari, M., Dehkordi, S., Fazelinejad, F., and Seyfollahi, F. (2015). *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Sternorrhyncha: Pseudococcidae), its natural enemies and host plants in Iran. Proceedings of the 1st Iranian International Congress of Entomology, Tehran, Iran. pp. 159-167.
- Mukerji, M.K., and Le Roux, E.R. 1969. The effect of predator age on the functional response of *Podisus maculiventris* to the prey size of *Galleria mellonella*. *The Canadian Entomologist*, 101 (3): 314-327.
- Murdoch, W.W. 1969. Switching in general predators: experiments on predator specificity and stability of prey populations. *Ecological Monographs*, 39: 335-364.
- Murdoch, W.W. and Oaten, A. 1975. Predation and population stability. *Advances in Ecological Research*, 9:2-131.
- Nakhai Madih, S., Ramezani, L., Zarghami, S. and Zandi-Sohani, N. (2016-2017) Functional response of different life stages of *Hyperaspis polita* feeding on cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis*. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 47(2): 303-311. (In Farsi with English abstract).
- Novin, M. 2000. The biology and population fluctuations of *Nipaecoccus viridis* (New.) and its natural enemies in citrus orchards of Dezful. M. Sc. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
- Omkar and Pervez, A. 2004. Functional and numerical response of *Propylea dissecta* (Col., Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology*, 128:140-146.
- Pervez, A. and Omkar. 2005. Functional responses of coccinellid predators: an illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science*, 5(5):1-6.
- Ramindo, A.A.C., and van Harten, W.A. 2000. An annotated checklist of the Coccinellidae (Insecta: Coleoptera) of Yemen. *Fauna of Arabia*, 18:211-243.
- Sabelis, M.W. 1992. Predatory arthropods. In Crawley, M. J (Ed.). *Natural enemies: The population biology of predators, parasites and diseases*. Blackwell, Oxford, UK, pp. 225–264.

Sahayara, K., Kumar, V., Avery, P.B., 2015. Functional response of *Rhynocoris kumarii* (Hemiptera: Pseudococcidae) to different population densities of *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) recorded in laboratory. Eur. J. Entomol. 112(1): 69-74.

SAS Institute. 2008. SAS user's guide: statistics, version 9.2. SAS institute, Cary, NC.

Seagraves, M.P. 2009. Lady beetle oviposition behavior in response to the trophic environment. Biological Control, 51(2): 313-322.

Seyfollahi, F., Esfandiari, M., Mossadegh, M.S., Rasekh, A. 2019. Functional response of *Hyperaspis polita* (Coleoptera, Coccinellidae) to the recently invaded mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera, Pseudococcidae). Neotropical of Entomology, 48 (3): 484-495.

Sharaf, N.S. and Meyerdirk, D.E. 1987. A review of the biology, ecology and control of *Nipaeococcus viridis* (Homoptera: Pseudococcidae). Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America, 66: 1-18.

Thompson, D.J. 1975. Towards a predator-prey model incorporating age structure: the effects of predator and prey size on the predation of *Daphnia magna* by *Ischnura elegans*. Journal of Animal Ecology, 44: 907-916.

Trexler, J.C., Charles, E.M. and Travis, J. 1988. How can the functional response best be determined? Oecologia, 76: 206-214.

Van Den Meiracker, R.A.F. and Sabelis, M.W. 1999. Do functional responses of predatory arthropods a plateau? A case study of *Orius insidiosus* with western flower thrips as prey reach. Entomologia Experimentalis et Applicata, 90: 323-329.

Veeravel, R., and Baskaran, P. 1997. Searching behaviour of two coccinellid predators, *Coccinella transversalis* Fab. and *Cheilomenes sexmaculatus* Fab., on eggplant infested with *Aphis gossypii* Glov. Insect Science and its Application, 17(3-4): 363-368.

Wells, M.L., and McPherson, R.M. 1999. Population dynamics of three coccinellids in flue-cured tobacco and functional response of *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on tobacco aphids (Homoptera: Aphididae). Environmental Entomology, 28: 768-773.

Zarghami, S. 2014. Investigation of life table parameters and predation efficacy of predatory coccinellid, *Nephus arcuatus* Kapur on mealybug *Nipaeococcus viridis* (Newstead) at laboratory conditions. Ph. D. Thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz, Iran.

Zarghami, S., Kocheili, F., Mossadegh, M.S., Allahyari, H., and Rasekh, A. 2014 a. Effect of temperature on population growth and life table parameters of *Nephus arcuatus* (Coleoptera: Coccinellidae). European Journal of Entomology, 111 (2): 199-206.

Zarghami, S., Kocheili, F., Mossadegh, M.S., Allahyari, H., Rasekh, A. 2014b. Prey preference and consumption capacity of *Nephus arcuatus* (Coleoptera: Coccinellidae): the influence of prey stage, prey size and feeding experience. *Biocontrol Science and Technology*, 24(9): 1062-1072.

Zarghami, S., Mossadegh, M.S., Kocheili, F., Allahyari, H., Rasekh, A. 2016. Functional responses of *Nephus arcuatus* Kapur (Coleoptera: Coccinellidae), the most important predator of spherical mealybug *Nipaecoccus viridis* (Newstead). *Psyche*, 1-9.



© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Stage-Specific functional response of *Nephus arcuatus* to *Nipaeococcus viridis*

S. Zarghami^{1*}, F. Kocheili², M. S. Mossadegh³, H. Allahyari⁴ and A. Rasekh⁵

1. ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Date Palme and Tropical Fruits Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. Associate Professor, Department of Plant Protection, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
5. Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(DOI): 10.22055/ppr.2019.14999

Received: 12 November 2019

Accepted: 7 October 2019

Abstract

Background and objectives

Understanding the functional response of a predator to its prey and its parameters including attack rate and handling time, are one of the basic methods in applied biological control for evaluation of the efficiency of a predator. *Nephus arcuatus* is one of the most important biological control agents of *Nipaeococcus viridis*.

Material and Methods

In this study, a laboratory study has been conducted to evaluate the stage-specific functional response of larval stages and adult females and males of *N. arcuatus* to varying densities of *N. viridis* 2nd instar nymph. Experimental conditions were based on optimal temperature for *N. arcuatus* activities, 30±1°C, 65±5% RH, and 14L:10D photoperiod.

Results and Discussion

The shape of functional response curve and the functional response parameters were determined respectively by logistic regression and nonlinear least square regression. The 1st instar, 2nd instar larvae, adult males as well as adult females exhibited a type II functional response. Attack rate (a) and handling time (T_h) were estimated to be 0.1139 h⁻¹ and 11.4117 h for the 1st instar, 0.3237 h⁻¹ and 4.7013 h for 2nd instar larvae, 0.2233h⁻¹ and 1.4711 h for adult males, and 0.2836h⁻¹ and 1.0198 h for adult females, respectively. In contrast, the 3rd instar and 4th instar larvae of *N. arcuatus* exhibited a type III functional response. Constant b and handling time were estimated to be 0.0195 and 1.7396 h for the 3rd instar, and 0.00774 and 0.4912 h for 4th instar larvae, respectively. Our results indicated that estimated attack rates did not change significantly between different stages of *N. arcuatus* with similar functional response curve. In contrast, the handling times of *N. arcuatus* to its prey increased as the larval age of this predator increased,

also females had longer handling time than adult males. Based on the maximum predation rate (T/T_h), the 4th instar larva was the most voracious stage (48.56 prey/d) followed by the adult female (23.53 prey/d) and male (16.32 egg/d) *N. arcuatus*. These findings suggest that the voracity of all stages of *N. arcuatus* toward *N. viridis* hold good promises for a use of especially simultaneously 4th instar larvae, and adult males and females of *N. arcuatus* in a biological control program against *N. viridis* in orchards and on ornamental plants.

Keywords: *Nephus arcuatus*, *Nipaecoccus vridis*, *Functional response*