

## بررسی ترجیح مرحله طعمه و واکنش تابعی کفشدوزک *Nephus arcuatus* Kapur روی شپشک آرد آلود جنوب *Nipaeococcus viridis* (News.)

سارا زرغامی<sup>۱\*</sup>، محمد سعید مصدق<sup>۲</sup>، فرحان کچیلی<sup>۳</sup>، حسین اللهیاری<sup>۴</sup> و آرش راسخ<sup>۵</sup>

۱، ۲، ۳ و ۵. به ترتیب دانشجوی دکتری حشره شناسی کشاورزی، استاد، دانشیار و استادیار گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز ۴. دانشیار گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۹

### چکیده

شپشک آرد آلود جنوب *Nipaeococcus viridis* (News.) از آفات مهم مرکبات و بسیاری از گیاهان زراعی و غیر زراعی محسوب می-شود. در این تحقیق رفتار تغذیه ای کفشدوزک *Nephus arcuatus* Kapur مهم ترین شکارگر شپشک آرد آلود جنوب در استان خوزستان، از طریق مطالعه ترجیح مرحله طعمه مراحل رشدی کفشدوزک نسبت به مراحل مختلف رشدی شپشک و همچنین واکنش تابعی ماده بالغ کفشدوزک روی طعمه ترجیحی آن در شرایط آزمایشگاهی در دمای  $30 \pm 1$  درجه سلسیوس، رطوبت نسبی  $65 \pm 5$  درصد و دوره نوری ۱۴:۱۰ ساعت (تاریکی: روشنایی) بررسی شد. نتایج نشان داد تخم و ماده بالغ شپشک، طعمه ترجیحی اغلب مراحل رشدی این شکارگر بوده و آن‌ها کمترین ترجیح را نسبت به پوره سن یک شپشک نشان دادند. نوع واکنش تابعی و پارامترهای حاصل از آن به ترتیب با استفاده از رگرسیون لجستیک و رگرسیون غیر خطی محاسبه شدند. بر اساس نتایج رگرسیون لجستیک، نوع واکنش تابعی نوع سوم تعیین شد. ضریب ثابت ( $b$ )  $0.00811$  و زمان دستیابی ( $T_h$ ) برابر  $0.2819$  ساعت بود. حداکثر نرخ حمله ( $T/T_h$ )  $85/1$  تخم شپشک تخمین زده شد. با افزایش تراکم طعمه تعداد تخم گذاشته شده توسط ماده بالغ کفشدوزک افزایش و کارایی بهره برداری از طعمه و کارایی تبدیل غذای بلعیده شده به توده تخم کاهش یافت. بر اساس نتایج به دست آمده کفشدوزک *N. arcuatus* از توانایی زیادی در کنترل شپشک آرد آلود جنوب برخوردار است.

**واژه‌های کلیدی:** *Nipaeococcus viridis*، *Nephus arcuatus*، ترجیح مرحله طعمه، واکنش تابعی، ضریب ثابت ( $b$ )

## مقدمه

شپشک آرد آلود جنوب (*Nipaeococcus viridis*) یکی از آفات مهم گیاهان زینتی و درختان مرکبات بوده که با تشکیل کلنی روی بخش‌های مختلف گیاه باعث خسارت مستقیم از طریق تولید مقدار زیادی عسلک می‌شود (Sharaf and Meyerdirk, 1987). این آفت به طور گسترده در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری دنیا و بخش‌های زیادی از حوزه اقیانوس آرام انتشار یافته است (Sharaf and Meyerdirk, 1987; Nechols, 1995). در ایران نیز این شپشک در مناطق جنوب و جنوب غرب کشور فعالیت داشته و خسارت اقتصادی وارد می‌نماید (Moghadam, 2006). در استان خوزستان کفشدوزک بومی *Kapur arcuatus* Nephus، گونه‌ای جدید گزارش شده (Löbl and Smetana, 2007) مهم‌ترین شکارگر شپشک آرد آلود جنوب در باغ‌های مرکبات دزفول می‌باشد که تاکنون تنها از عربستان و یمن گزارش شده است (Ramindo and van Harten, 2000) و به نظر می‌رسد که می‌تواند به عنوان یک عامل مناسب کنترل بیولوژیک برای مهار شپشک‌های آرد آلود قابل معرفی باشد، اما تاکنون تحقیقی روی آن صورت نگرفته است.

معیارهای مختلفی برای ارزیابی و انتخاب عوامل کنترل بیولوژیک از جمله شکارگرها وجود دارد (Waage, 1990). یکی از این روش‌ها ارزیابی رفتاری تغذیه‌ای شامل ترجیح مراحل مختلف سنی طعمه و رابطه بین تراکم طعمه و تعداد طعمه مورد حمله (واکنش تابعی) می‌باشد (Jervis and Kidd, 1996). واکنش تابعی یک توصیف کمی از رفتار شکارگر در هنگام مواجه شدن با طعمه ارائه می‌دهد که می‌توان از آن برای درک بهتر برهم کنش میان شکارگر و شکار، روشن شدن برهمکنش‌های تکاملی که به طور همزمان با همدیگر رخ داده و بهبود توانایی در پیش بینی کنترل آفت در

مبارزه بیولوژیک استفاده کرد (Houck and Strauss, 1985). هولینگ (Holling, 1959) واکنش تابعی را به سه نوع شامل نوع اول، نوع دوم و نوع سوم تقسیم نمود. اگر چه چندین نوع واکنش تابعی مانند نوع ۴ (واکنش تابعی گنبدی شکل) (Luck, 1985) و نوع ۵ (واکنش تابعی نمایی منفی) (Sabelis, 1992) پس از آن توسط سایر محققین ارائه شد. واکنش تابعی بسیار رایج در میان حشرات واکنش نوع دوم هولینگ می‌باشد. در این نوع واکنش شکارگر وابسته به عکس تراکم طعمه عمل کرده و با افزایش تراکم طعمه درصد طعمه‌های خورده شده کاهش می‌یابد. حال آن‌که در واکنش تابعی نوع سوم، با افزایش تراکم طعمه تعداد طعمه مورد حمله قرار گرفته توسط شکارگر به صورت سیگموئیدی افزایش می‌یابد و به همین دلیل نقش این نوع از واکنش رفتاری شکارگر در کنترل جمعیت آفت از واکنش نوع دوم موثرتر است (Pervez and Omkar, 2005 Jervis and Kidd, 1996).

در پژوهش حاضر، ترجیح مرحله طعمه مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* نسبت به مراحل مختلف رشدی شپشک آرد آلود جنوب و واکنش تابعی ماده بالغ کفشدوزک روی طعمه ترجیحی آن مورد بررسی قرار گرفت تا از نتایج حاصل از این تحقیق به توان قدرت این شکارگر مهم را در کنترل شپشک آرد آلود جنوب تخمین زد. امید به این که زمینه‌ی لازم برای انجام مطالعات وسیع‌تر در راستای کاربرد این شکارگر مهم در برنامه کنترل بیولوژیک شپشک آرد آلود جنوب فراهم شود.

## مواد و روش‌ها

پرورش شپشک *N. viridis* و کفشدوزک *N. arcuatus*

شپشک *N. viridis* از باغ‌های مرکبات دزفول در تابستان ۱۳۹۰ جمع‌آوری و به طور انبوه به عنوان غذای کفشدوزک *N. arcuatus* روی جوانه‌های سیب زمینی *Solanum L.*

داده شد و به شکارگر اجازه داده شد تا بر اساس انتخاب خود در حضور همه مراحل رشدی شپشک از آن‌ها تغذیه کند. در هر دو آزمایش غیرانتخابی و انتخابی از شکارگرهای با ۱۲ ساعت گرسنگی استفاده شد و پس از ۲۴ ساعت تعداد طعمه خورده شده ثبت شد. ۱۲ تا ۱۵ تکرار برای هر تیمار (مرحله رشدی) در آزمایش انتخابی و غیرانتخابی مورد استفاده قرار گرفت. تکرار بیشتر در برخی تیمارها به منظور افزایش دقت آزمایش بود.

### واکنش تابعی ماده بالغ *N. arcuatus*

برای مطالعه واکنش تابعی ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* از ماده‌های بالغ جفت‌گیری کرده هم‌سن ۱۰ روزه استفاده شد. پیش از شروع آزمایش ماده‌های بالغ به طور جداگانه بدون دسترسی به میزبان، به مدت ۱۲ ساعت در میکروتیوب ۱/۵ میلی‌لیتری که درپوش آن تهویه‌دار بود، نگاه داشته شدند. این ماده‌ها در تیمارهای مختلف به تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۵، ۴۰، ۶۵، ۹۰ و ۱۱۵ تخم شپشک که در ظرف آزمایش به ابعاد ۳×۷×۹ سانتی‌متر روی کاغذ صافی قرار داده شده بودند رها شدند. پس از ۲۴ ساعت تعداد تخم خورده شده و تعداد تخم گذاشته شده توسط ماده بالغ شمارش شد. تعداد تکرارها از ۱۰ تا ۱۴ متغیر بود. کارایی بهره‌برداری از غذا و کارایی تبدیل غذای بلعیده شده به توده تخم توسط ماده بالغ کفشدوزک ( $ECI^1$ ) در تراکم‌های مختلف تخم با استفاده از معادله ۱ (Omkar and Kumar, 2013) و معادله ۲ (Pervez and Omkar, 2004) محاسبه شد:

*tuberosum* به عنوان میزبان گیاهی در ظروف پلاستیکی به ابعاد ۱۰×۱۶×۲۴ سانتی‌متر پرورش داده شد که درپوش آن‌ها با یک پارچه با مش ریز جهت تهویه پوشیده شده بود. بالغین کفشدوزک *N. arcuatus* از باغ‌های مرکبات آلوده به شپشک *N. viridis* در منطقه ذکر شده جمع‌آوری و پس از شناسایی، روی شپشک‌های آردآلود جنوب موجود روی سیب زمینی رها شدند. کلنی کفشدوزک و شپشک در انکوباتور در دمای بهینه  $30 \pm 1$  درجه سلسیوس، رطوبت نسبی  $65 \pm 5$  درصد و دوره نوری ۱۴:۱۰ ساعت (تاریکی: روشنایی) نگه‌داری شد. پس از گذشت دو نسل، از کفشدوزک‌ها برای آزمایش استفاده شد.

### آزمایش ترجیح مرحله طعمه کفشدوزک *N. arcuatus*

به منظور تعیین ترجیح مراحل طعمه لاروهای سنین اول تا چهارم (کمتر از ۱۲ ساعت سن)، ماده و نر بالغ (۱۰ روزه) کفشدوزک *N. arcuatus* از روش آزمون انتخابی و غیر-انتخابی استفاده شد. تعداد طعمه مصرفی بر اساس آزمایش‌های اولیه، بر مبنای ۵۰ درصد از میزان مصرف طعمه توسط هر سن رشدی کفشدوزک از هر مرحله رشدی شپشک در طی ۲۴ ساعت بود. در روش غیرانتخابی (تست شاهد) ابتدا تراکم‌های ۱، ۱، ۱، ۱، ۱ و ۱ (به ترتیب تخم، پوره سن یک، پوره سن دو، پوره سن سه و ماده بالغ) برای لارو سن یک، تراکم‌های ۱۰، ۳، ۹، ۱ و ۱ برای لارو سن دو، تراکم‌های ۳۰، ۳۲، ۷، ۳ و ۱ برای لارو سن سه، تراکم‌های ۷۵، ۸۰، ۲۰، ۱۲ و ۳ برای لارو سن چهار، تراکم‌های ۴۲، ۴۷، ۱۳، ۵ و ۲ برای ماده بالغ و تراکم‌های ۱۶، ۲۱، ۲، ۱ و ۱ برای نر بالغ به طور جداگانه در ظرف آزمایش به ابعاد ۳×۷×۹ سانتی‌متر روی دیسک سیب زمینی (قطر ۵ سانتی‌متر و ضخامت ۵ تا ۶ میلی‌متر) قرار گرفته روی ژل آگار (۱/۵ درصد)، رها شد. در آزمایش انتخابی، تراکم‌های ذکر شده از هر مرحله رشدی شپشک به طور هم‌زمان روی دیسک سیب زمینی در اختیار شکارگر قرار

1. Efficiency of conversion of ingested food into egg biomass

معادله (۱)

$$\text{Food exploitation efficiency (\%)} = \frac{\text{Number of prey consumed}}{\text{Number of prey offered}} \times 100$$

$$\text{ECI} = \frac{\text{Number of egg-laid}}{\text{Number of prey consumed}} \times 100 \quad \text{معادله (۲)}$$

از معادله راجرز برای واکنش تابعی نوع سوم به صورت زیر استفاده شد:

معادله (۴)

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

$T$ ، زمان کل آزمایش که در اینجا ۲۴ ساعت بود و  $T_h$ ، زمان دستیابی می‌باشد. پارامترهای  $b$ ،  $c$  و  $d$  مقادیر ثابت‌اند که در برخی حالت‌ها مقدار پارامترهای  $c$  و  $d$  صفر خواهد بود. در واکنش تابعی نوع سوم قدرت جستجو یا ثابت حمله ( $a$ ) تابعی از تراکم شکار بوده و با میزان رویارویی شکارگر با شکار مرتبط است (Hassell, 1978) (معادله ۵):

$$a = ((d + bN_0) / ((1 + c)N_0))$$

برای تجزیه و تحلیل داده‌های ترجیح مرحله طعمه از نرم-افزار SigmaPlot Version 11.0 استفاده شد و میانگین‌ها در سطح  $P=0.05$  مورد مقایسه و گروه‌بندی بر اساس آزمون LSD با استفاده از برنامه آماری SAS Version 9.1 شد.

### نتایج

ترجیح مرحله مراحل مختلف رشدی کفشدوزک  $N. arcuatus$

### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه داده‌های واکنش تابعی در دو مرحله با استفاده از روش توصیه شده جولیانو (Juliano, 2001) انجام شد. ابتدا در مرحله اول برای تعیین نوع واکنش تابعی. کفشدوزک ماده بالغ، رگرسیون لجستیک نسبت تخم شپشک خورده شده به تعداد اولیه ارائه شده ( $N_a/N_0$ ) با استفاده از تابع لجستیک چند جمله‌ای (معادله ۳) برازش یافت:

معادله (۳)

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

$N_0$  تعداد اولیه طعمه ارائه شده،  $N_a$  تعداد طعمه خورده شده و  $P_0, P_1, P_2, P_3$  به ترتیب ضرایب خطی<sup>۱</sup>، درجه یک<sup>۲</sup>، درجه دو<sup>۳</sup> و درجه سه<sup>۴</sup> بوده که با استفاده از رویه CATMOD در برنامه آماری SAS Version 9.1 محاسبه شدند. مثبت یا منفی بودن شیب قسمت خطی منحنی به ترتیب نشان دهنده واکنش تابعی نوع دوم و سوم می‌باشد. در مرحله دوم پس از تعیین نوع واکنش تابعی، پارامترهای اصلی واکنش تابعی با استفاده از رگرسیون غیر خطی کمترین مربعات با رویه NLIN در برنامه آماری SAS Version 9.1 محاسبه شدند. از آنجایی که نوع واکنش تابعی ماده بالغ نوع سوم شناخته شد،

2. Constant
3. Linear
4. Quadratic
5. Cubic

بود. بیشترین درصد مصرف لارو سن دو کفشدوزک از تخم و پس از آن از پوره سن دو شپشک بود و کمترین ترجیح را به پوره سن سه شپشک نشان داد ( $P=0/225$ ،  $df=4,55$ ،  $F=1/47$ ). لارو سن سه کفشدوزک به طور معنی داری تخم شپشک را به سایر مراحل رشدی شپشک ترجیح داد و از سایر مراحل رشدی شپشک بدون اختلاف معنی داری تغذیه کرد ( $P=0/0003$ ،  $df=4,55$ ،  $F=6/24$ ). بیشترین مصرف لارو سن چهار کفشدوزک از ماده بالغ شپشک و کمترین مصرف آن از پوره سن یک شپشک بود ( $P=0/0004$ ،  $df=4,55$ ،  $F=6/18$ ).

جدول ۱- میانگین درصد مصرف ( $\pm$ خطای معیار) لاروهای سنین یک، دو، سه، چهار، ماده و نر بالغ کفشدوزک *Nephus arcuatus* از سنین مختلف رشدی شپشک *Nipaeococcus viridis* در آزمایش غیر انتخابی

Table 1. The mean consumption rate (%) ( $\pm$ SE) of 1<sup>st</sup> to, 4<sup>th</sup> larval instar, female and male of *Nephus arcuatus* on different stages of *Nipaeococcus viridis* in no-choice experiment.

Stages of predator	Mealybug's stages				
	Egg	1 <sup>st</sup> nymphal instar	2 <sup>nd</sup> nymphal instar	3 <sup>rd</sup> nymphal instar	Female
1 <sup>st</sup> larval instar	89.7 $\pm$ 4.4	93 $\pm$ 4.5	100 $\pm$ 0.0	100 $\pm$ 0.0	100 $\pm$ 0.0
2 <sup>nd</sup> larval instar	96.7 $\pm$ 1.9	91.7 $\pm$ 3.1	91.7 $\pm$ 4.4	100 $\pm$ 0.0	100 $\pm$ 0.0
3 <sup>rd</sup> larval instar	93.1 $\pm$ 4.4	95.3 $\pm$ 1.2	98.8 $\pm$ 1.2	94.4 $\pm$ 3.7	100 $\pm$ 0.0
4 <sup>th</sup> larval instar	96.1 $\pm$ 2.1	95.0 $\pm$ 0.8	92.1 $\pm$ 3.6	84.4 $\pm$ 4.1	86.1 $\pm$ 4.8
Female	94.6 $\pm$ 2.6	95.7 $\pm$ 1.4	90.4 $\pm$ 3.5	85 $\pm$ 6.1	91.6 $\pm$ 5.6
Male	94.4 $\pm$ 2.9	83.3 $\pm$ 4.2	85.7 $\pm$ 5.7	85.7 $\pm$ 9.6	80 $\pm$ 10.6

شدند، پوره سن سه میزبان ترجیحی لارو سن سه ( $P=0/271$ ،  $df=5,66$ ،  $F=1/31$ ) و لارو سن یک و لارو سن دو کمترین ترجیح را نسبت به این مرحله رشدی نشان دادند و در نهایت ماده بالغ شپشک طعمه مطلوب برای لارو سن یک و لارو سن چهار بود اما ماده بالغ کفشدوزک کمترین ترجیح را به این مرحله رشدی شپشک نشان داد ( $P=0/025$ ،  $df=5,66$ ،  $F=2/76$ ).

#### واکنش تابعی کفشدوزک *N. arcuatus*

از برازش رگرسیون لجستیک بین تراکم‌های مختلف تخم شپشک آردآلود جنوب و تعداد تخم خورده شده توسط ماده

نتایج آزمایش غیر انتخابی نشان داد که لاروهای سنین یک، دو، سه، چهار، ماده و نر بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* به خوبی از همه مراحل شپشک *N. viridis* تغذیه می‌کنند (جدول ۱). اما هنگامی که همه مراحل رشدی به طور همزمان در آزمایش انتخابی در اختیار شکارگر قرار گرفت رفتارهای متفاوتی مشاهده شد. لارو سن یک کفشدوزک، ماده بالغ و تخم شپشک را به طور معنی داری به سایر مراحل رشدی آن ترجیح داد ( $P=0/007$ ،  $df=4,55$ ،  $F=3/94$ ) و کمترین درصد مصرف این سن رشدی کفشدوزک از پوره سن یک شپشک

در نهایت ماده بالغ کفشدوزک ( $P<0/0001$ ،  $df=4,55$ ،  $F=6/89$ ) و نر بالغ کفشدوزک ( $P=0/337$ ،  $df=4,55$ ،  $F=1/16$ ) تخم شپشک را به عنوان منبع غذایی خود به سایر مراحل رشدی شپشک ترجیح دادند و کمترین مصرف آن‌ها به ترتیب از ماده بالغ و پوره سن یک شپشک بود. هنگامی که میزان مصرف مراحل مختلف رشدی کفشدوزک روی یک مرحله رشدی شپشک با هم مقایسه می‌شوند مشاهده می‌شود که تخم شپشک مرحله ترجیحی لارو سن سه کفشدوزک ( $P=0/362$ ،  $df=5,66$ ،  $F=2/75$ )، پوره سن یک ( $P=0/419$ ،  $df=5,66$ ،  $F=1/11$ ) و پوره سن دو شپشک ( $P=0/419$ ،  $df=5,66$ ،  $F=1/01$ ) به طوریکسان توسط همه افراد انتخاب

کاهش یافت ( $F=2/06$ ,  $df=7,86$ ,  $P=0/0561$ ). حداکثر کارایی بهره‌برداری در تراکم‌های ۲ تا ۴۰ تخم شپشک (۱۰۰) و حداقل بهره‌برداری در تراکم ۱۱۵ تخم شپشک ( $71/8 \pm 3/6$ ) مشاهده شد.

بیشترین ECI در تراکم ۴ ( $20 \pm 9/7$ ) و کمترین ECI در تراکم ۱۱۵ ( $13 \pm 0/9$ ) مشاهده شد (شکل ۲). تجزیه رگرسیون یک رابطه مثبت را بین تعداد تخم گذاشته شده توسط ماده بالغ کفشدوزک و تراکم طعمه نشان داد. با افزایش تراکم طعمه تعداد تخم گذاشته شده از  $0/8 \pm 0/4$  تخم (تراکم ۴) تا  $10/7 \pm 0/8$  تخم (تراکم ۱۱۵) به طور معنی‌داری ( $P < 0/0001$ )، قادر به تخم‌ریزی در تراکم ۲ تخم شپشک نبودند (شکل ۲ راست).

بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* نتیجه‌گیری شد که واکنش تابعی ماده بالغ در رو در رویی با تراکم‌های مختلف تخم میزبان از نوع سوم می‌باشد، چرا که شیب مثبت قسمت خطی منحنی ( $P_I > 0$ ) تأیید کننده نوع سوم واکنش تابعی می‌باشد (جدول ۳). نتایج نشان داد متناسب با افزایش تراکم طعمه از تراکم ۲ تا ۴۰ نسبت طعمه مصرف شده به تراکم طعمه اولیه ابتدا افزایش یافت (وابسته به تراکم) و در تراکم‌های ۶۵ تا ۱۱۵ از میزان آن کاسته شد (وابسته عکس به تراکم) (شکل ۱). زمان دستیابی و ضریب ثابت به ترتیب  $0/2819$  ساعت و  $0/0811$  و حداکثر نرخ حمله طی ۲۴ ساعت شکارگری  $85/1$  تخم شپشک به دست آمد (جدول ۴). کارایی بهره‌برداری از غذا با افزایش تراکم طعمه از تراکم ۲ تا تراکم ۴۰ افزایش و سپس از میزان آن کاسته شد ( $P < 0/0001$ )، اما ECI با افزایش تراکم تخم شپشک

جدول ۲- میانگین درصد مصرف ( $\pm$ خطای معیار) لاروهای سنین یک، دو، سه، چهار، ماده و نر بالغ کفشدوزک *Nephus arcuatus* از سنین مختلف رشدی شپشک *Nipaeococcus viridis* در آزمایش انتخابی

Table 2. The mean consumption rate (%) ( $\pm$ SE) of 1<sup>st</sup> larval instar, 2<sup>nd</sup> larval instar, 3<sup>rd</sup> larval instar, 4<sup>th</sup> larval instar, female and male of *Nephus arcuatus* on different stages of *Nipaeococcus viridis* in choice experiment.

Predator Stages	Mealybug's stages				
	Egg	1 <sup>st</sup> nymphal instar	2 <sup>nd</sup> nymphal instar	3 <sup>rd</sup> nymphal instar	Female
1 <sup>st</sup> instar	52.8 $\pm$ 13.3ABab*	12.5 $\pm$ 6.5Bc**	25 $\pm$ 13.1Abc	16.7 $\pm$ 11.3Bc	66.7 $\pm$ 14.2 Aa
2 <sup>nd</sup> instar	46.7 $\pm$ 8.4 Ba	21.3 $\pm$ 5.0 Bab	38.9 $\pm$ 9.8Aab	16.7 $\pm$ 11.2 Bb	33.3 $\pm$ 14.2ABCab
3 <sup>rd</sup> instar	73.1 $\pm$ 6.6Aa	21.9 $\pm$ 3.6 Bb	29.8 $\pm$ 7.1 Ab	44.4 $\pm$ 8.5 Ab	25.0 $\pm$ 13.1 BCb
4 <sup>th</sup> instar	30.9 $\pm$ 5.5Bb	11.5 $\pm$ 1.9 Bc	41.3 $\pm$ 7.5Aab	29.2 $\pm$ 2.7ABb	52.8 $\pm$ 9.6ABa
Male	45.8 $\pm$ 7.9 Ba	18.3 $\pm$ 4.2 Bb	26.2 $\pm$ 4.3 Aab	33.3 $\pm$ 14.2ABab	25.0 $\pm$ 13.1BCab
Female	46.1 $\pm$ 5.2 Ba	20.0 $\pm$ 2.8Bb	19.9 $\pm$ 4.3Ab	20.0 $\pm$ 4.8ABb	12.56.4Cb

Means in rows with the same small letters are not significantly different at  $P < 0.05$  (LSD test)\*

Means in columns with the same capital letters are not significantly different at  $P < 0.05$  (LSD test)\*\*

آورد. در استان خوزستان همانند بیشتر نقاط جهان، سالانه تعداد فراوانی کفشدوزک وارداتی *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant به منظور کنترل شپشک‌های آرد-آلود در باغ‌های مرکبات و روی گیاهان زینتی آلوده به

## بحث

مطالعه رفتار دشمنان طبیعی در رو در رویی با میزبان می‌تواند بینش ارزشمندی را در مورد شکارگر برای محقق فراهم

بیشتر به پوره سن یک و تخم *Planococcus citri* Risso حمله می‌کند اما موسسو و کلینسر بیان کردند (Mustu and Klincer, 2013) بالغ *Nephus kisseri* Fursch، پوره سن دو، پوره سن سه و ماده بالغ *Planococcus ficus* Signoret را به تخم و پوره سن یک آن ترجیح می‌دهد و لارو سن یک کفشدوزک از پوره سن یک شپشک تغذیه نمی‌کند. کمترین درصد مصرف مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* نیز از پوره سن یک شپشک بود. احتمالاً حرکت سریع پوره سن یک و سازوکار دفاعی آن نرخ برخورد با طعمه را کاهش، زمان دستیابی را افزایش و حمله‌های موفق شکارگر را کاهش داده است و منجر به سود بخشی کم طعمه شده است (Crawley, 1992). ترجیح تغذیه‌ای کفشدوزک *N. arcuatus* به تخم و ماده بالغ شپشک آردآلود جنوب اهمیت آن را به عنوان یک عامل کنترل بیولوژیک موفق بیشتر می‌کند. زیرا از یک سو تغذیه بیشتر از تخم از تشکیل کلنی اولیه و افزایش جمعیت آفت جلوگیری می‌کند و از سوی دیگر با حمله به یک حشره کامل افراد تولید مثل کننده را مورد حمله قرار داده و در نهایت از ایجاد خسارت توسط آفت جلوگیری می‌کند.

واکنش تابعی نوع دوم در میان کفشدوزک‌های شته‌خوار و شپشک‌خوار بسیار رایج می‌باشد به طور مثال، *Nephus ryuguus* Kamiya با شکار از *Oracella acuta* Lobdell (Li et al., 2005)، *Nephus includes* Kirsch با شکار از *P. citri*، *P. ficus* (Milonas et al., 2011)، *Hippodamia variegata* Goeze با شکار از *Aphis fabae* Scolpoli (Farhadi et al., 2010) و *Propylea dissecta* Mulsant با شکار از *Aphis gossypii* Glover (Pervez and Omkar, 2004) واکنش تابعی نوع دوم را نشان دادند، اما در مقابل تعداد شکارگرها دارای واکنش تابعی نوع سوم در حشرات اندک می‌باشد. ایسکبر (Içsikber, 2005) واکنش تابعی دو گونه کفشدوزک را در سه دما مورد بررسی قرار داد و مشاهده کرد که *Cycloneda* L.

شپشک‌های آردآلود رها سازی می‌شود. اما در این منطقه استقرار دائمی کفشدوزک به علت گرمای زیاد تابستان و همچنین وجود مورچه‌های همزیست با شپشک‌ها، صورت نگرفته و نیاز به رهاسازی سالیانه به منظور کنترل آن‌ها می‌باشد (Mossadegh et al., 2008). تحقیقات اخیر نشان داده کفشدوزک *N. arcuatus* در باغ‌های مرکبات دزفول از ابتدای بهار تا اواخر پاییز به فراوانی یافت می‌شود و به طور موثری شپشک *N. viridis* را کنترل می‌نماید (مشاهدات شخصی). علاوه بر این، عزیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2013) این شکارگر را به عنوان مهم‌ترین شکارگر شپشک *Maconellicoccus hirsutus* Green و مصدق و همکاران (Mossadegh et al., 2012) به عنوان مهم‌ترین شکارگر شپشک *Phenacoccus solenopsis* Tinsley در استان خوزستان گزارش داده‌اند که در ماه‌های گرم سال با داشتن بیشترین جمعیت نسبت به سایر کفشدوزک‌های شکارگر شپشک‌ها، در کنترل آن‌ها موفق عمل می‌کند. نتایج حاصل از ترجیح مرحله طعمه مراحل مختلف رشدی *N. arcuatus* با تغذیه از شپشک *N. viridis* نشان داد تخم و ماده بالغ طعمه ترجیحی اغلب مراحل رشدی این شکارگر می‌باشند. انتخاب بیشتر ماده بالغ شپشک *N. viridis* می‌تواند به دلیل اندازه بزرگ طعمه ماده باشد. از آنجایی که میزان انرژی به دست آمده از طعمه و نرخ برخورد با طعمه تابعی از اندازه طعمه است از این رو طعمه بزرگ‌تر می‌تواند به دلیل فراهم کردن ارزش غذایی بالاتر بیشتر ترجیح داده شود (Charnov, 1976). البته این رفتار بر حسب گونه می‌تواند متفاوت می‌باشد به عنوان مثال، گونزالس-هرناندز (Gonzalez-Hernandez, 1995) گزارش داد ماده بالغ کفشدوزک *Nephus bilucernarius* Mulsant پوره سن یک و پوره سن دو شپشک *Dysmicoccus brevipes* Cockerell را به سایر مراحل رشدی آن ترجیح می‌دهد. ایزوسکی و اُرلینسکی گزارش دادند (Izhevsky and Orlinsky, 1988) بالغین *Nephus reunioni* Fursch

*N. arcuatus* در تراکم ۴ نشان دهنده آن است که ماده در این مقدار کم غذا اغلب انرژی خود را به تولید تخم اختصاص می‌دهد و در این روند کمترین میزان انرژی به دست آمده را صرف ادامه زندگی و فعالیت‌های متابولیکی می‌کند (Pervez and Omkar, 2004). در ضمن کمترین مقدار ECI در بیشترین تراکم شپشک نشان دهنده آن است که ماده‌ای که به خوبی تغذیه کرده بیشترین میزان تخمگذاری را دارد و سرمایه‌گذاری بیشتری برای ادامه زندگی و هزینه متابولیکی می‌کند (Hodek and Honek, 1996). این پژوهش نخستین ارزیابی کفشدوزک *N. arcuatus* به عنوان شکارگر شپشک *N. viridis* در دنیا می‌باشد. دامنه میزبانی وسیع، پرخوری زیاد، تغذیه از تمامی مراحل رشدی شپشک و واکنش تابعی نوع سوم ماده بالغ و تولید زیاد تخم نشان دهنده توان بالای این شکارگر در کنترل شپشک آردآلود جنوب می‌باشد. اگرچه توصیه می‌شود واکنش تابعی و عددی این شکارگر در شرایط مزرعه‌ای به منظور ارزیابی کامل‌تر این شکارگر بررسی شود.

### سپاسگزاری

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

*sanguinea* واکنش تابعی نوع سوم را تنها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نشان می‌دهد. سارمنتو و همکاران (Sarmiento et al., 2007) واکنش کفشدوزک *Eriopsis connexa* را با تغذیه از شته *Macrosiphum Thomas* و *euphorbiae* از نوع سوم و با تغذیه از کنه *Tetranychus evansi* Baker and Pritchard از نوع دوم گزارش دادند. آهی و همکاران (Ahi et al., 2012) نشان دادند واکنش لارو سن چهارم و ماده بالغ کفشدوزک *C. montrozieri* نسبت به پوره سن دوم (به ترتیب واکنش تابعی نوع سوم، واکنش تابعی نوع دوم)، پوره سن سوم (واکنش نوع سوم) و شپشک ماده بالغ (واکنش نوع دوم) *P. citri* متفاوت می‌باشد. بروز واکنش تابعی نوع سوم در ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* در این پژوهش بیان کننده واکنش این مرحله رشدی شکارگر نسبت به تخم میزبان در دمای اشاره شده می‌باشد. چه بسا که تغییر هر یک از عوامل به تواند نوع واکنش تابعی را تغییر دهد. فرض بر این است که شکارگرها با واکنش تابعی نوع سوم یاد می‌گیرند که چگونه با مشکلات گرفتن طعمه فایق آیند و طعمه را به چنگ آورند (Schenk and Bacher 2002) حال آن‌که شکارگرها با واکنش تابعی نوع دوم از آغاز بدون یادگیری به تغذیه می‌پردازند (Sarmiento et al., 2007) از اینرو شکارگرها با واکنش تابعی نوع سوم به عنوان عوامل بیولوژیک کارا با پایدار کردن پویایی جمعیت شکارگر- شکار سهم بیشتری را در تنظیم جمعیت نسبت به افراد با واکنش نوع دوم، دارند (Murdoch and Oaten, 1975).

نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش تراکم تخم شپشک میزان تخمگذاری ماده بالغ افزایش یافت. حال آن‌که راندمان بهره‌بردای از غذا و ECI کاهش یافت. اومکار و کومار (Omkar and Kumar, 2013) نیز نشان دادند که میزان تخم‌گذاری ماده *Anegleis cardoni* Weise با افزایش تراکم *A. gossypii* افزایش و راندمان بهره‌بردای از غذا و ECI کاهش می‌یابد. بیشترین میزان ECI در کفشدوزک ماده



جدول ۳- نتایج حاصل از برازش رگرسیون لجستیک نسبت تخم خورده شده *Nipaeococcus viridis* توسط کفشدوزک ماده بالغ *Nephus arcuatus* در مقابل تعداد اولیه تخم ارائه شده

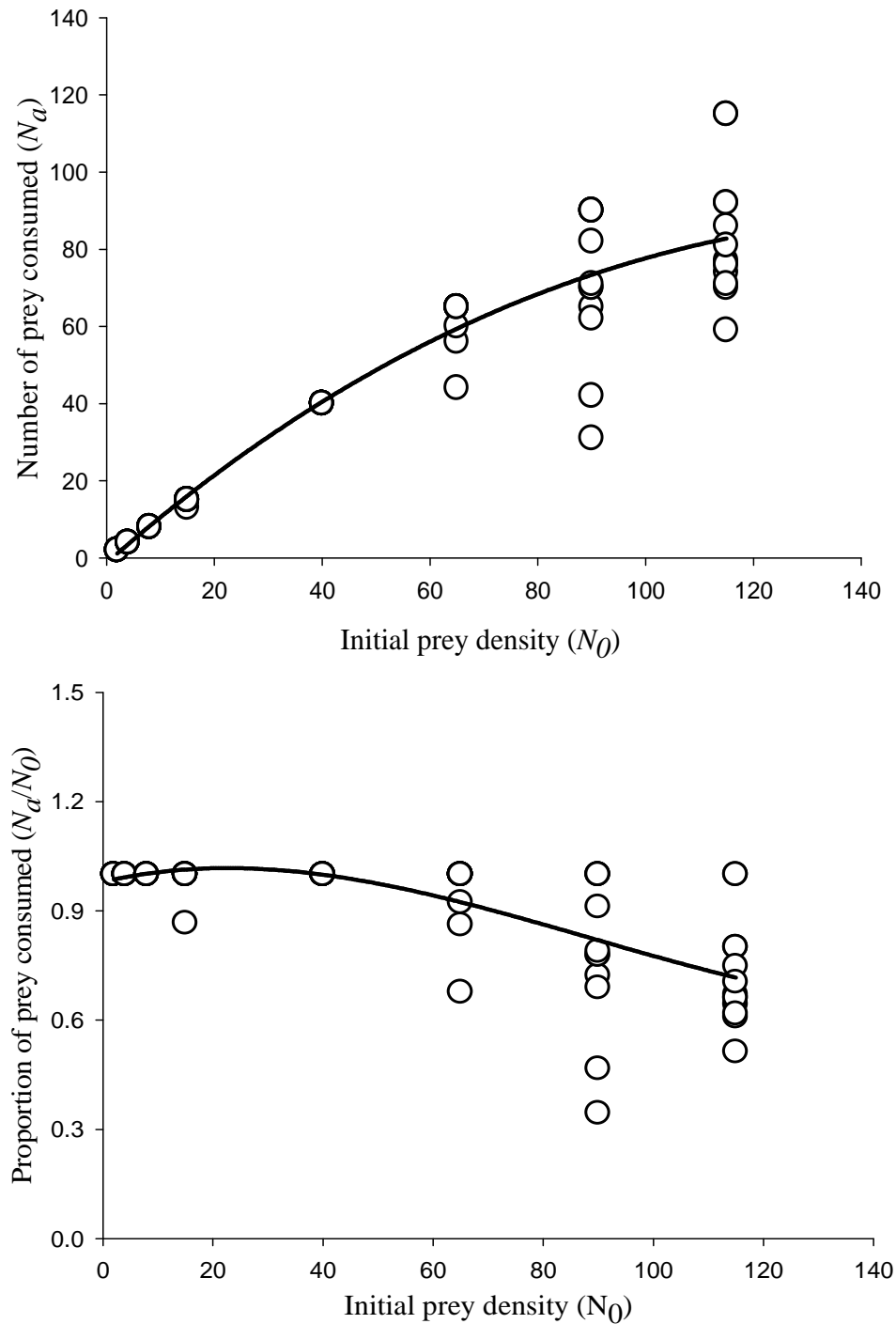
Table 3. Results of logistic regression analysis of the proportion of *Nipaeococcus viridis* egg eaten by female of *Nephus arcuatus* against initial number egg offered.

Parameters	Estimate	SE	P value
Constant( $P_0$ )	5.6587	1.5218	0.0002
Linear ( $P_1$ )	0.0468	0.0650	0.4716
Quadratic( $P_2$ )	-0.00199	0.000889	0.0250
Cubic ( $P_3$ )	0.000011	3.802E-6	0.0050

جدول ۴- پارامترهای به دست آمده از واکنش تابعی نوع سوم کفشدوزک ماده بالغ *Nephus arcuatus* با تغذیه از *Nipaeococcus viridis*

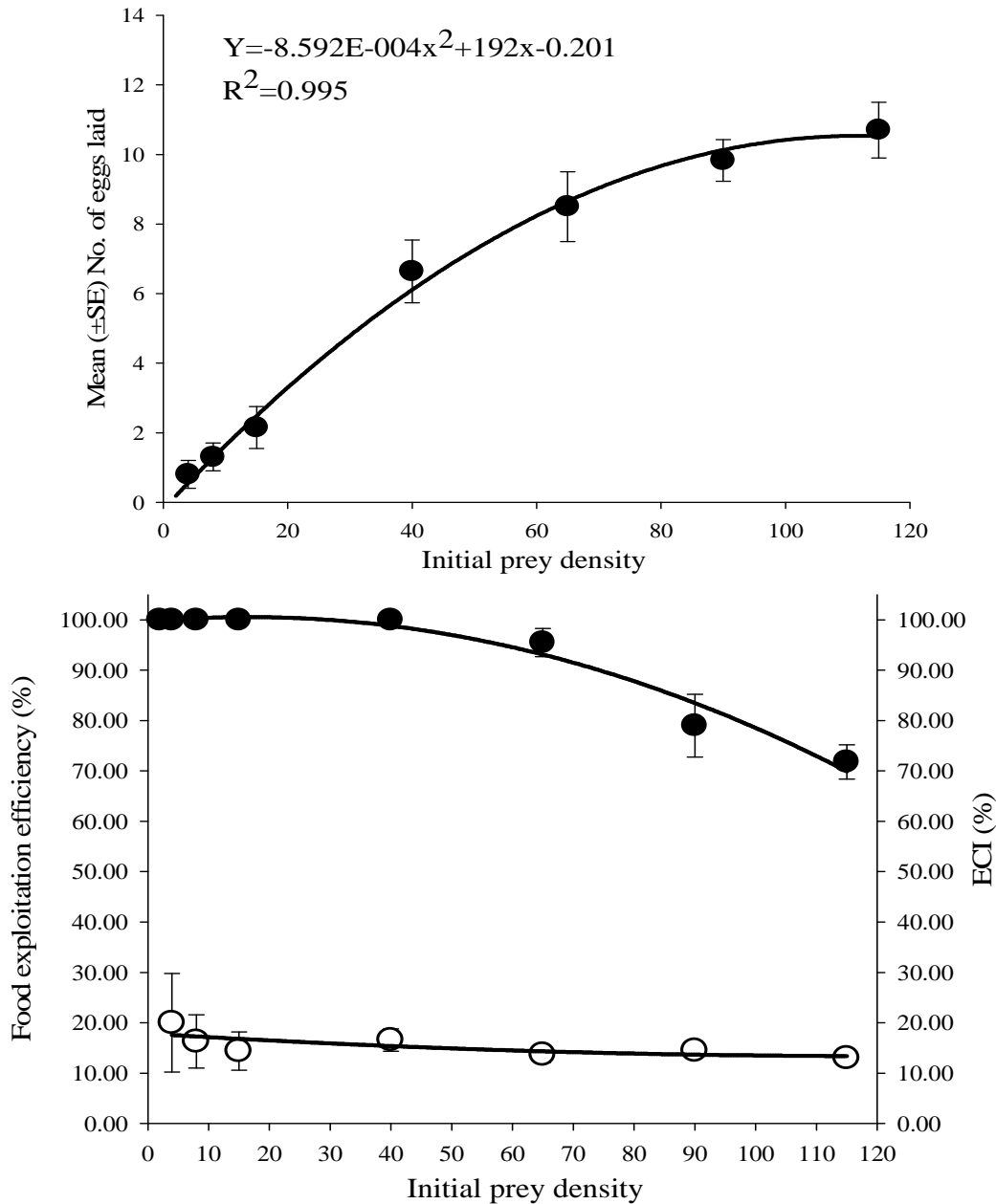
Table 4. Estimated parameters of the type III functional response for *Nephus arcuatus* adult female fed on *Nipaeococcus viridis*

Parameters	Estimate	Asymptotic SE	Asymptotic %95 CI	
			Lower	Upper
Constant( $b$ )	0.00811	0.00267	0.00280	0.0134
Handling time ( $T_h$ )	0.2819	0.0107	0.2607	0.3032



شکل ۱- واکنش تابعی کفشدوزک ماده بالغ *Nephus arcuatus* نسبت به تراکم‌های مختلف تخم *Nipaecoccus viridis*. بالا: تعداد تخم خورده شده. پایین: نسبت تخم خورده شده

Figure 1. Functional responses of adult female of *Nephus arcuatus* at different density of eggs of *Nipaecoccus viridis*. Right: number of eggs consumed. Left: proportion of eggs consumed



شکل ۲- نمودار بالا: رابطه بین تعداد تخم گذاشته شده توسط ماده بالغ کفشدوزک *Nephus arcuatus* در ارتباط با تراکم‌های مختلف تخم شپشک *Nipaeococcus viridis*. نمودار پایین: کارایی بهره برداری از غذا (●) و کارایی تبدیل غذای بلعیده شده به توده تخم (ECI) (○) توسط ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* در ارتباط با تراکم‌های مختلف تخم شپشک *N. viridis*

Figure 2. Up: Relationship between numbers of eggs laid by adult female of *Nephus arcuatus* at varying egg densities of *Nipaeococcus viridis*. Down: Food exploitation efficiency (%) and efficiency of conversion of ingested food (ECI) of females of *Nephus arcuatus*

#### References

- Abdollahi Ahi, G. Afshari, A., Baniameri, V., Dadpour Moghanloo, H., Assadeh, Gh. and Yazdaniyan, M. 2012. Functional response of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Col.: Coccinellidae) to citrus mealybug, *Planococcus citri* (Risso) (Hom.: Pseudococcidae) under

- laboratory conditions. **Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)** 35(1): 1-14. (in Farsi).
- Alizadeh, M. S., Mossadegh, M. S. and Esfandiari, M.** 2013. Natural enemies of *Maconellicoccus hirstus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) and their population fluctuations in Ahvaz, South West of Iran. **Journal of Crop Protection** 2(1):13-21.
- Charnov, E. L.** 1976. Optimal foraging, the marginal value theorem. **Theoretical Population Biology** 9:129-136.
- Crawley, M. J.** 1992. Natural Enemies: The Population Biology of Predators, Parasites, and Diseases. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 576 pp.
- Farhadi, R., Allahyari, H., Juliano, S. A.** 2010. Functional response of larval and adult stages of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental Entomology** 39 (5): 1586-1592.
- Gonzalez-Hernandez, H.** 1995. The status of the biological control of pineapple mealybugs in Hawaii, PhD thesis. The University of Hawaii. 128 pp.
- Hassell, M. P.** 1978. The dynamics of arthropod predator-prey systems. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 248 pp.
- Hodek, I. and A. Honek.** 1996. Ecology of Coccinellidae. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. 464 pp.
- Holling, C. S.** 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. **Canadian Entomologist** 91(7): 385-398.
- Houck, M. A. and Strauss, R. E.** 1985. The comparative study of functional responses: experimental design and statistical interpretation. **Canadian Entomologist** 115: 617-629.
- Içsikber, A. A.** 2005. Functional response of two coccinellid predators, *Scymnus levillanti* and *Cycloneda sanguinea*, to the cotton aphid, *Aphis gossypii*. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** 29:347-355.
- Izhevsky, S. S. and Orlinsky A. D.** 1988. Life history of the imported *Scymnus (Nephus) reunioni* (Col.: Coccinellidae) predator of mealybugs. **Entomophaga** 33(1):101-114.
- Jervis, M. A. and Kidd, N. A. C.** 1996. Insect Natural Enemies: Practical Approaches to their Study and Evaluation. Chapman and Hall, London. 491 pp.
- Juliano, S. A.** 2001. Nonlinear curve fitting: Predation and functional response curves. In Scheiner, S. M. and Gurevitch, J. (Eds.). Design and Analysis of Ecological Experiments (2<sup>nd</sup>ed.) Oxford University Press, New York, USA. pp. 178-196.
- 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.** 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.
- Moghadam, M.** 2006. The mealybugs of Southern Iran (Hem.: Coccoidea: Pseudococcidae). **Journal of Entomological Society of Iran** 26(1):1-11.
- 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.
- Mossadegh, M. S., Esfandiari, M. and Heidarynia, Z.** 2008. The relationship effects of symbiotic ants on biological control of *Nipacoccus viridis* (News.) by *Cryptolaemus montroutieri* Mul. in citrus orchards of North Khuzestan. Proceeding of 18<sup>th</sup> Iranian plant protection congress. 24-27 August, Iran. pp. 36.
- Mossadegh, M. S., Vafaei, Sh., Zarghami, S., Kocheli, F., Farsi, F., Alizadeh, M. S. and Rezaie, N.** 2012. Natural enemies of *Phenacoccus solenopsis* Tinsely (Sternorrhycha: Coccoidea: Pseudococcidae) in Khuzestan, Iran. Proceedings of the 20<sup>th</sup> Iranian Plant Protection Congress. 26-29 August, Iran. pp. 216.
- Mustu, M. and Klincer, N.** 2013. Life table and some feeding features of *Nephus kreissli* fed on *Planococcus ficus*. **Phytoparasitica** 41:203-211.

- Murdoch, W. W. and Oaten, A.** 1975. Predation and population stability. **Advances in Ecological Research** 9: 2-131.
- Nechols, J. R.** 1995. The spherical mealybug. In Nechols, J. R., Andres, L. A., Beurdsley, J. W., Goeden, R. D. and Jackson, C. G. (Eds.). *Biological control in the Western United States: Accomplishments and Benefits of Regional Research Project W-84, 1964 –1989*. University of California Press, Division of Agricultural and Natural Resources, Oakland, California, United States. pp. 164-165.
- Omkar and Kumar, G.** 2013. Responses of an aphidophagous ladybird beetle, *Aneleis cardoni*, to varying densities of *Aphis gossypii*. **Journal of Insect Science** 13(24):1-12.
- Pervez, A. and Omkar.** 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. (Eds.). *Natural Enemies: The population biology of predators, parasites and diseases*. Blackwell, Oxford, UK. pp. 225–264.
- Sarmento, R. A., Pallini, A. Venzon, M. de Souza, O. F. F. A. Molina-Rugama, J. and de Oliveira, C. L.** 2007. Functional response of the predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae) to different prey types. **Brazilian Archives of Biology and Technology** 50: 121-126.
- Schenk, D. and Bacher, S.** 2002. Functional response of a generalist insect predator to one of its prey species in the field. **Journal of Animal Ecology** 71: 524–531.
- Sharaf, N. S. and Meyerdirk, D. E.** 1987. A review of the biology, ecology and control of *Nipaecoccus viridis* (Homoptera: Pseudococcidae). **Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America** 66: 1-18.
- Waage, J.** 1990. Ecological theory and the selection of biological control agents. In: Mackauer, M., Ehler, L. E. and Roland, J. (Eds.). *Critical Issues in Biological Control*. Intercept press, Andover. pp. 135-157.

## Prey stage preference and functional response of the Coccinellid, *Nephus arcuatus* Kapur in response to *Nipaeococcus viridis* (News.)

S. Zarghami<sup>1\*</sup>, M. S. Mossadegh<sup>3</sup>, F. Kocheili<sup>2</sup>, H. Allahyari<sup>4</sup> and A. Rasekh<sup>5</sup>

1, 2, 3 and 5 PhD. Student of Agricultural Entomology, Professor, Associate professor, and Assistant professor respectively, Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences, 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

(Received: February 11, 2014- Accepted: November 11, 2014)

---

### Abstract

The spherical mealybug, *Nipaeococcus viridis* (News.), is a serious pest of citrus and other crop and non-crop plants. In this study the feeding behavior of *Nephus arcuatus* Kapur, the most important predator of *N. viridis* in Khuzestan province. This study was assessed out by determining prey stage preference of larvae and adult of lady beetles to different stage of mealybug and functional response of adult female lady beetles on its preferred prey. All experiments were conducted in laboratory at  $30\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $65\pm 5\%$  RH, and a photoperiod of 14:10h (L: D). The results indicated that the eggs and females of mealybug were preferred more than any other stages by most stages of *N. arcuatus*. While, 1<sup>st</sup> instar was less preferred. Functional response was determined using logistic regression and the parameters, were estimated by non-linear regression using SAS program. The result revealed type III functional response of *N. arcuatus*. Constant ( $b$ ) and handling time were 0.00811 and 0.2819 h, respectively. The maximum attack rate ( $T/T_h$ ) was calculated as 85.1 eggs. The eggs laid by female were increased with increasing prey density while, the food exploitation efficiency and efficiency of conversion of ingested food decreased. According to our results, *N. arcuatus* can be applied as an effective biological control agent against *N. viridis*.

**Key words:** *Nephus arcuatus*, *Nipaeococcus viridis*, prey stage preference, functional response, Constant ( $b$ )