تحقیقات آفات گیاهی
۷۸-۶۳ :(۴) ۷- ۱۳۹۶

ترجیح مرحله طعمه و واکنش تابعی کفشدوزک *Hyperaspis polita* با تغذیه از شپشک *Nipaecoccus viridis*

زهره فرهادی[۱]، مهدی اسفندیاری*[۱]، محمد سعید مصدق[۱] و پرویز شیشه بر[۱]
۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۰)

چکیده

شپشک آردآلود جنوب *Nipaecoccus viridis* (Newstead) یکی از مهم‌ترین آفات مرکبات در دنیا است که از نظر اقتصادی اهمیت ویژه‌ای داشته و در جنوب ایران و به ویژه خوزستان نیز فعال می‌باشد. در این پژوهش ترجیح مراحل مختلف سنی طعمه و واکنش تابعی در کفشدوزک *Hyperaspis polita* Weise با تغذیه از شپشک آردآلود جنوب در دمای ۱±۳۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره روشنایی: تاریکی ۱۰:۱۴ مطالعه شد. نتایج نشان داد تخم شپشک طعمه ترجیحی غالب این شکارگر بود و کم‌ترین ترجیح به حشرات کامل ماده شپشک نشان داده شد. برازش رگرسیون لجستیک لارو سن چهار، حشره کامل ماده و نر کفشدوزک با تغذیه از طعمه ترجیحی یعنی تخم شپشک آردآلود جنوب نشان داد که واکنش تابعی آن‌ها به ترتیب از نوع دوم، دوم و سوم بود. با استفاده از معادله راجرز قدرت جستجوگری (a) لارو سن چهار و حشره کامل ماده به ترتیب ۰/۲۵۵۳ و ۰/۱۹۸۳ در ساعت تعیین شد. ضریب ثابت (b) برای حشره کامل نر نیز ۰/۰۰۴۰۵ بود. کم‌ترین زمان دستیابی (T_h) به تخم شپشک در لارو سن چهار کفشدوزک (۰/۰۸۸۱ ساعت) و بیش‌ترین آن در حشره کامل نر کفشدوزک (۰/۳۱۰۱ ساعت) بود. بیش‌ترین نرخ شکارگری (T/T_h) یا نسبت کل زمان آزمایش به زمان دستیابی در لارو سن چهار کفشدوزک ۲۹۸/۵۱ تخم در روز و کم‌ترین آن در حشره کامل نر کفشدوزک ۷۷/۳۹ تخم در روز محاسبه شد. بر اساس نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که کفشدوزک *H. polita* توانایی کافی برای کنترل شپشک آرد آلود جنوب را داشت. با این حال، باید مطالعات تکمیلی در طبیعت و در مقایسه با سایر شکارگرهای موجود انجام شود.

واژه‌های کلیدی: کنترل بیولوژیک، برهمکنش شکار-شکارگر، رگرسیون لجستیک، شپشک آردآلود جنوب

*نویسنده مسئول: apameini@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

شپشک آردآلود جنوب *Nipaecoccus viridis* (Newstead) (Hemiptera: Pseudococcidae) یکی از مهم‌ترین آفات مرکبات در دنیا است که از نظر اقتصادی اهمیت ویژه‌ای داشته و از آفات مهم در باغ‌های مرکبات جنوب ایران و به ویژه خوزستان نیز محسوب می‌شود (Asadeh, 1991; Novin, 2000; Moghaddam, 2006). این حشره چند خوار بوده، دارای پراکنش جغرافیای وسیعی است و از ۱۶۶ کشور دنیا گزارش شده است. این شپشک علاوه بر مرکبات به دامنه وسیعی از گیاهان زراعی، غیر زراعی، زینتی و علف‌های هرز در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری دنیا و بخش‌های زیادی از حوزه اقیانوس آرام نیز حمله می‌کند (Sharaf and Meyerdirk, 1987; Nechols, 1995; García Morales *et al.*, 2016).

در بین کفشدوزک‌های شکارگر شپشک‌های آردآلود در خوزستان، کفشدوزک بومی *Hyperaspis polita* Weise از اهمیت بسیاری برخوردار است (Asadeh and Mossadegh, 1993; Mossadegh *et al.*, 2015). این کفشدوزک از لبنان و مناطق ساحلی شرق دریای مدیترانه، ترکیه تا پاکستان و سرزمین‌های خشک در جنوب غربی آسیا گزارش‌شده است (Alizadeh *et al.*, 2013). در ایران این گونه از استان کرمان، خوزستان، گلستان، فارس، هرمزگان، کرمانشاه و کهکیلویه و بویراحمد گزارش شده است (Mossadegh *et al.*, 2012; Farhadi, 2017). بررسی‌های اولیه آزمایشگاهی و صحرایی در مورد زیست شناسی کفشدوزک *H. polita* در اهواز نشان داده است که این حشره در تغذیه از شپشک آردآلود جنوب موفق‌تر از سایر گونه‌های کفشدوزک موجود در این منطقه است (Khodaman, 1993; Seyfollahi *et al.*, 2016).

واکنش تابعی و ترجیح مراحل مختلف سنی طعمه از جمله رفتارهای تغذیه‌ای مهم در ارزیابی شکارگرها هستند (van Alphen & Jervis, 1996). تعداد شکاری که هر فرد شکارگر می‌کشد یا تعداد میزبانی که هر فرد پارازیتویید مورد حمله قرار می‌دهد، می‌تواند تابعی از تراکم طعمه بوده و به عنوان واکنش تابعی شناخته می‌شود. واکنش تابعی، در فرایند تنظیم جمعیت آفات نقش مهمی دارد و از جمله معیارهای مهم انتخاب یک دشمن طبیعی برای استفاده در برنامه‌های کنترل بیولوژیک به شمار می‌رود و بنابراین تعیین آن برای ارزیابی توانایی شکارگرها در تنظیم جمعیت آفات و مقایسه کارایی آن‌ها در کنترل جمعیت شکار اهمیت زیادی دارد (Holling, 1966).

هولینگ (Holling, 1966) واکنش تابعی را به سه نوع واکنش تابعی نوع اول (مستقل از تراکم)، واکنش تابعی نوع دوم (وابسته به عکس تراکم) و واکنش تابعی نوع سوم (وابسته به تراکم) تقسیم کرد و سپس ون آلفن و جرویس (van Alphen & Jervis, 1996) نوع‌های چهارم و پنجم را نیز به آن‌ها افزودند. واکنش تابعی با ارزیابی دو شاخص شرح داده می‌شود: قدرت جستجوگری (a) و زمان دستیابی (T_h). قدرت جستجوگری یا نرخ حمله شدت افزایش شکارگری را با افزایش تراکم طعمه تخمین می‌زند و زمان دستیابی شامل مجموعه زمان‌هایی است که شکارگر یا پارازیتوئید برای سایر امور غیر از جستجو صرف می‌نماید (Hassell, 1978; Pervez and Omkar, 2005). واکنش تابعی تعداد زیادی از کفشدوزک‌ها از نوع دوم گزارش شده است. اگرچه در برخی مراحل رشدی آن‌ها از نوع سوم گزارش شده است (Pervez and Omkar, 2005; Jalali and Ziaaddini, 2016).

واکنش تابعی لارو سن چهار، حشرات کامل ماده و نر کفشدوزک *H. polita* روی مراحل مختلف رشدی شپشک آردآلود پنبه *Phenacoccus solenopsis* Tinsley توسط سیف الهی (Seyfollahi, 2015) و روی ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه توسط نخعی مدیح و همکاران (Nakhaei Madih *et al.*, 2016) مورد بررسی قرار گرفت و در کل از نوع دوم تعیین شد. آن‌ها اظهار نمودند که این کفشدوزک

Archive of SID

www.SID.ir

کارایی بالایی برای کنترل شپشک آردآلود پنبه دارد. با این حال تاکنون مطالعه‌ای در خصوص ارزیابی رفتار تغذیه‌ای و ترجیح مراحل مختلف سنی طعمه و همچنین رابطه بین تراکم طعمه و تعداد طعمه مورد حمله (واکنش تابعی) در مورد کفشدوزک *H. polita* با تغذیه از شپشک آردآلود جنوب انجام نشده است. بنابراین هدف از این مطالعه ارزیابی عوامل مذکور در خصوص کفشدوزک *H. polita* است.

مواد و روش‌ها

پرورش شپشک *N. viridis* و کفشدوزک *H. polita*

حشرات کامل ماده شپشک آردآلود جنوب در فروردین‌ماه ۱۳۹۴ از باغ‌های مرکبات دزفول جمع‌آوری و به منظور تکثیر شپشک به آزمایشگاه منتقل و روی غده‌های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) جوانه‌زده رها شدند. تکثیر شپشک‌ها در ظروف پرورش پلاستیکی به ابعاد ۲۹×۲۹×۴۲ سانتی‌متر انجام شد تا شپشک‌ها برای پرورش و تغذیه کفشدوزک *H. polita* استفاده شوند (Khodaman, 1993).

کفشدوزک‌های بالغ *H. polita* از بوته‌های ختمی چینی آلوده به شپشک در محوطه دانشگاه شهید چمران جمع‌آوری و پس از شناسایی مورد استفاده قرار گرفتند. کفشدوزک‌ها در ظروف پلاستیکی مدور به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر که درپوش آن‌ها به منظور تهویه با پارچه دارای مش ریز پوشیده شده بود پرورش یافتند. این ظروف در اتاقک رشد و در دمای ۱±۳۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره روشنایی: تاریکی ۱۰:۱۴ نگهداری شدند. بعد از تغذیه کفشدوزک‌ها با ترکیبی از شپشک‌های سنین مختلف رشدی و گذشت دو نسل، از آن‌ها در آزمایش‌ها استفاده شد.

ترجیح مرحله رشدی طعمه در کفشدوزک *H. polita*

به منظور تعیین ترجیح مراحل مختلف رشدی طعمه در لاروهای سنین اول تا چهارم (کم‌تر از ۲۴ ساعت سن)، حشرات کامل ماده و نر (۱۰ روزه) در کفشدوزک *H. polita* از دو آزمون انتخابی و غیرانتخابی استفاده شد. در یک آزمایش اولیه، تعداد طعمه لازم از هر مرحله رشدی شپشک آردآلود جنوب *N. viridis* برای هر سن رشدی کفشدوزک در ۲۴ ساعت تعیین شد. سپس در آزمایش‌های ترجیح دو برابر میزان مصرف در اختیار کفشدوزک‌ها قرار گرفت. در آزمون غیرانتخابی (آزمون شاهد) ابتدا تراکم‌های ۱۵، ۱۰، ۸، ۸ و ۱ به ترتیب تخم، پوره‌های سنین یک، دو، سه و ماده بالغ شپشک برای لارو سن یک کفشدوزک، تراکم‌های ۳۰، ۲۰، ۲۵، ۱۵، و ۲ برای لارو سن دو کفشدوزک، تراکم‌های ۵۰، ۵۰، ۳۰، ۲۰، و ۲ برای لارو سن سه کفشدوزک، تراکم‌های ۱۰۰، ۸۰، ۵۰، ۲۵ و ۴ برای لارو سن چهار کفشدوزک، تراکم‌های ۱۰۰، ۸۰، ۴۰، ۲۰ و ۳ برای حشرات کامل ماده کفشدوزک و تراکم‌های ۷۰، ۷۰، ۲۵، ۲۰ و ۳ برای حشرات کامل نر کفشدوزک گذاشته شد. طعمه‌ها به طور جداگانه در ظروف آزمایش تهویه دار مدور به قطر ۵ و ارتفاع ۳ سانتی‌متر در اختیار کفشدوزک‌ها قرار گرفت. برای آزمون انتخابی، تراکم‌های مذکور از هر مرحله رشدی شپشک به طور همزمان در اختیار شکارگر قرار داده شد تا در حضور همه مراحل رشدی شپشک بر اساس انتخاب خود از آن‌ها تغذیه صورت گیرد. در هردو آزمون غیرانتخابی و انتخابی، کفشدوزک قبل از شروع آزمایش به مدت ۱۲ ساعت در محیط فاقد طعمه نگهداری شد و بعد از آن در ظرف آزمایش رها شد و پس از ۲۴ ساعت تعداد طعمه خورده شده آن ثبت شد.

واکنش تابعی حشرات کامل نر و ماده و لارو سن چهار *H. polita*

این مطالعه در شرایط آزمایش‌های قبل و با استفاده از مرحله طعمه ترجیحی کفشدوزک یعنی تخم شپشک آردآلود انجام شد. تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ عدد تخم در اختیار نرهای ۱۰ روزه و جفت‌گیری کرده، و تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۴۰، ۶۵، ۹۰، ۱۱۰، ۱۳۰ و ۱۷۰ عدد تخم در اختیار حشرات کامل ماده ۱۰ روزه جفت‌گیری کرده کفشدوزک قرار داده شد. تراکم‌های ۴، ۸، ۱۶، ۴۰، ۸۰، ۲۱۰

Archive of SID

www.SID.ir

و ۲۸۰ عدد تخم نیز به‌طور جداگانه در اختیار لاروهای سن ۴ با عمر ۲۴ ساعت قرار داده شد. بعد از ۱۲ ساعت عدم دسترسی به میزبان، تراکم‌های طعمه به مدت ۲۴ ساعت در اختیار لاروهای سن چهار و حشرات کامل کفشدوزک گذاشته شد و سپس در پایان آزمایش تعداد طعمه خورده شده توسط هر کفشدوزک شکارگر ثبت شد. تعداد تکرارهای این آزمایش ۱۰ تکرار برای هر تراکم بود.

تحلیل آماری

تعداد ده تکرار برای هر تیمار (مرحله رشدی کفشدوزک) در آزمایش انتخابی و غیرانتخابی ترجیح مورد استفاده قرار گرفت. برای تحلیل داده‌های آزمایش غیر انتخابی ضمن بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون واریانس و آزمون تکمیلی Tukey در سطح ۵٪ برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها استفاده شد. در آزمایش انتخابی از آزمون کای اسکوئر[1] در برنامه SPSS 20 استفاده شد.

در آزمایش واکنش تابعی برای تعیین نوع واکنش تابعی و پارامترهای حاصل از آن، از روش دومرحله‌ای جولیانو (Juliano, 2001) استفاده شد. در مرحله‌ی اول برای تعیین نوع واکنش تابعی مراحل مختلف رشدی کفشدوزک، رگرسیون لجستیک نسبت طعمه‌ی خورده شده به تعداد طعمه‌ی اولیه $\frac{N_a}{N_0}$ با استفاده از تابع لجستیک چندجمله‌ای زیر برازش یافت:

معادله (۱)

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

در این معادله، P_0، P_1، P_2 و P_3 به ترتیب عرض از مبدأ[2]، بخش خطی[3]، درجه دو[4] و درجه سه[5] منحنی است که با شیب منحنی واکنش تابعی مرتبط بوده که با استفاده از رویه CATMOD در برنامه‌ی آماری SAS 9.2 محاسبه شدند (SAS Institute, 2008). منفی بودن شیب قسمت خطی منحنی نشان دهنده واکنش تابعی نوع دوم و مثبت بودن آن بیانگر واکنش تابعی نوع سوم است.

در مرحله‌ی دوم پارامترهای اصلی واکنش تابعی یعنی 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 غیرخطی کم‌ترین مربعات با رویه‌ی NLIN در برنامه‌ی SAS 9.2 محاسبه شدند. به این منظور از معادله راجرز (Rogers, 1972) به شرح زیر استفاده شد:

برای واکنش نوع دوم: معادله (۲)

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

برای واکنش نوع سوم: معادله (۳)

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

کل زمان در دسترس (T) برابر ۲۴ ساعت است. در واکنش تابعی نوع سوم قدرت جستجوگری تابعی از تراکم طعمه است و میزان رویارویی شکارگر با طعمه مرتبط است (Hassell, 1978): معادله (۴)

$$a = \frac{(d+bN_0)}{(1+cN_0)}$$

تفاوت بین قدرت جستجوگری (a) و زمان دستیابی (T_h) برای واکنش تابعی نوع دوم با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

معادله (۵)

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

با تخمین پارامترهای D_a و D_{Th} می‌توان تفاوت معنی‌دار در مقدار قدرت جستجوگری و زمان دستیابی را محاسبه نمود. یعنی برای مقایسه دو تیمار، زمان دستیابی تیمار اول T_h و زمان دستیابی تیمار دوم $T_h + D_{Th}$ در نظر گرفته می‌شود. اگر D_{Th} مقدار معناداری باشد و با صفر تفاوت معنادار داشته باشد، تفاوت بین زمان دستیابی این دو تیمار معنادار است و بالعکس. به همین شکل D_a محاسبه می‌شود.

[1] Chi-square goodness of fit

[2] Constant
[3] Linear
[4] Quadratic
[5] Cubic

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

ترجیح مرحله رشدی طعمه در کفشدوزک *H. polita*

در آزمایش غیرانتخابی، لاروهای سنین یک، دو، سه، چهار، نر و حشرات کامل ماده کفشدوزک *H. polita* از همه مراحل رشدی شپشک آردآلود جنوب *N. viridis* تغذیه کردند. به جز لارو سن یک کفشدوزک که از ماده بالغ شپشک تغذیه نکرد (جدول ۱). میزان تغذیه لارو سن چهار کفشدوزک از تخم (F=303.51, df=5,54, P<0.0001)، پوره سن دو (F=254.48, df=5,54, P<0.0001) و ماده بالغ (F=15.88, df=5,54, P<0.0001) شپشک به طور معناداری بیش‌تر از سایر مراحل رشدی کفشدوزک بود. میزان تغذیه حشرات کامل ماده و نر کفشدوزک از پوره سن یک شپشک نیز به طور معناداری (F=173.77, df=5,54, P<0.0001) بیش‌تر از سایر مراحل رشدی کفشدوزک بود. اما نر و ماده اختلاف معناداری با یکدیگر نشان ندادند. همچنین بیش‌ترین میزان تغذیه از پوره سن سه شپشک (F=98.80, df=5,54, P<0.0001) در لارو سن چهار و حشرات کامل ماده کفشدوزک بود که اختلاف معناداری با یکدیگر نشان نداد. همچنین در تغذیه لارو سن اول (F=129.99, df=4,45, P<0.0001)، لارو سن دوم (F=251.79, df=4,45, P<0.0001)، لارو سن سوم (F=273.29, df=4,45, P<0.0001) و لارو سن چهارم (F=460.05, df=4,45, P<0.0001) کفشدوزک تعداد بیش‌تری از تخم نسبت به سایر مراحل رشدی شپشک مصرف شد. تغذیه نر بالغ از پوره سن یک شپشک (F=443.52, df=4,45, P<0.0001) به طور معناداری بیش‌تر از سایر مراحل رشدی شپشک بود. در حشرات کامل ماده کفشدوزک نیز تغذیه از تخم و پوره سن یک (F=640.75, df=4,45, P<0.0001) بیش‌تر از سایر مراحل بود (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین تغذیه (±خطای معیار) لاروهای سنین یک، دو، سه، چهار، حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *Hyperaspis polita* از مراحل مختلف شپشک *Nipaecoccus viridis* در آزمایش غیرانتخابی

Table 1. The mean consumption number (±SE) of 1st, 2nd and 3rd larval instars and male and female *Hyperaspis polita* on different stages of *Nipaecoccus viridis* in no-choice experiment

Predator Stages	**Mealybug's stages**				
	Egg	1st nymphal instar	2nd nymphal instar	3rd nymphal instar	Adult female
1st instar	8.90 ± 0.52^{Ae}	0.50 ± 0.17^{Ce}	2.90 ± 0.41^{Bd}	2.60 ± 0.16^{Bd}	0.00 ± 0.00^{Dc}
2nd instar	19.60 ± 1.15^{Ad}	12.30 ± 1.06^{Cd}	15.40 ± 0.37^{Bc}	9.30 ± 0.37^{Db}	0.10 ± 0.10^{Ec}
3rd instar	40.70 ± 1.67^{Ac}	30.70 ± 2.19^{Bc}	16.00 ± 0.85^{Cc}	12.10 ± 0.87^{Cb}	0.20 ± 0.13^{Dc}
4th instar	89.70 ± 2.68^{Aa}	49.80 ± 3.65^{Bb}	39.40 ± 0.94^{Ca}	18.30 ± 0.93^{Da}	1.60 ± 0.16^{Ea}
Adult male	44.10 ± 1.9^{Bc}	58.50 ± 1.92^{Aab}	16.20 ± 0.77^{Cc}	6.60 ± 0.76^{Dc}	0.70 ± 0.15^{Eb}
Adult female	69.70 ± 2.81^{Ab}	69.90 ± 1.59^{Aa}	29.70 ± 1.42^{Bb}	16.20 ± 0.53^{Ca}	0.40 ± 0.16^{Dbc}

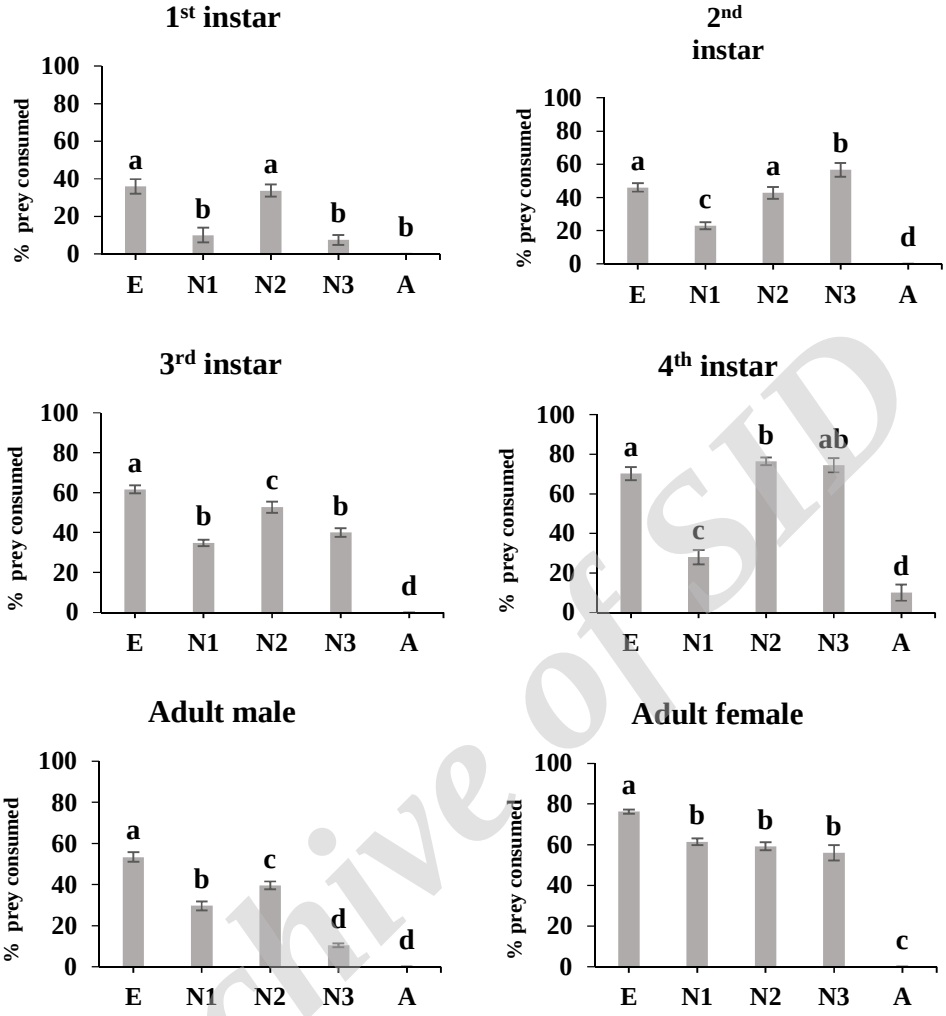
Values in columns followed by the same lowercase letter are not significantly different at P<0.05 (Tukey test)

در آزمایش انتخابی که همه مراحل رشدی طعمه به طور همزمان در اختیار شکارگر قرار داده شد، تغذیه لاروهای سنین یک (χ^2 = 42.79, P<0.0001)، دو (χ^2 = 59.39, P<0.0001)، سه (χ^2 = 98.03, P<0.0001)، چهار (χ^2 = 491.05, P<0.0001)، حشرات کامل نر (χ^2 = 174.84, P<0.0001) و ماده (χ^2 = 129.12,

Archive of SID

www.SID.ir

(P<0.0001) کفشدوزک از مراحل مختلف طعمه به طور معناداری متفاوت بود (شکل ۱).



شکل۱- میانگین درصد تغذیه لاروهای سنین اول، دوم، سوم، چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *Hyperaspis polita* از تخم (E)، پوره سن یک (P1)، پوره سن دو (P2)، پوره سن سه (P3) و ماده بالغ (A) شپشک *Nipaecoccus viridis* در آزمایش دسترسی انتخابی. ستون‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (کای اسکوئر، P<0.05).

Figure 1. Mean consumption rate (%) of 1st, 2nd, 3rd and 4th larval instars as well as adult males and females of *Hyperaspis polita* from egg (E), 1st (N1), 2nd (N2) and 3rd (N3) nymphal instars and adult female (A) of *Nipaecoccus viridis* in choice test. Values in columns followed by the same lowercase letter are not significantly different (Chi-square, P<0.05).

لاروهای سن یک کفشدوزک به طور معناداری از تخم شپشک بیش‌تر از سایر مراحل رشدی آن (به جز پوره سن دوم شپشک که تفاوتش معنادار نبود) تغذیه کردند، در حالی که از شپشک بالغ تغذیه نکردند. لاروهای سن دو کفشدوزک به طور معناداری از پوره‌های سن سه شپشک بیش‌تر از سایر مراحل رشدی آن تغذیه کردند. سپس تخم شپشک بدون

Archive of SID

www.SID.ir

اختلاف معنادار با پوره سن دو آن در رتبه بعدی بود. لاروهای سن سه کفشدوزک نیز به طور معناداری از تخم‌های شپشک بیشتر از سایر مراحل رشدی آن تغذیه کردند. همچنین لاروهای سن چهار کفشدوزک به طور معناداری از پوره‌های سن دوم و سوم شپشک بیشتر از سایر مراحل رشدی آن تغذیه کردند. سپس تخم شپشک بدون اختلاف معنادار با پوره سن سه آن در رتبه بعدی بود. نتایج نشان داد که حشرات کامل نر کفشدوزک به طور معناداری از تخم‌های شپشک بیش‌تر از سایر مراحل رشدی آن تغذیه کردند. حشرات کامل ماده کفشدوزک نیز از تخم‌های شپشک بیش‌تر از سایر مراحل رشدی آن تغذیه کردند، به طوری که اختلاف معنی داری مشاهده شد (جدول۲، شکل۱).

جدول ۲- ترجیح مراحل مختلف شپشک *Nipaecoccus viridis* (تخم (E)، پوره سن یک (N1)، پوره سن دو (N2)، پوره سن سه (N3)، ماده بالغ (A)) توسط لاروهای سنین مختلف و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *Hyperaspis polita* در آزمایش دسترسی انتخابی (کای اسکوئر، $P<0.05$)

Table 2. Prey preference of different larval stages, adult males and females of the coccinellid *Hyperaspis polita* to the mealybug, *Nipaecoccus viridis* (Egg (E), 1st (N1), 2nd (N2) and 3rd nymphal instars (N3), and adult female (A)) in choice test (Chi-square, $P<0.05$)

	Predator Stages					
Mealybug prey stages	**1st instar**	**2nd instar**	**3rd instar**	**4th instar**	**Adult male**	**Adult female**
E vs. N1	χ^2= 21.3, P<0.0001	χ^2= 27.3, P<0.0001	χ^2= 71.9, P<0.0001	χ^2= 316.7, P<0.0001	χ^2= 81.0, P<0.0001	χ^2= 46.2, P<0.0001
E vs. N2	χ^2 = 0.1, P=0.734	χ^2 = 0.6, P=0.452	χ^2 = 6.1, P=0.013	χ^2 = 6.4, P<0.011	χ^2 = 14.1, P<0.0001	χ^2 = 40.2, P<0.0001
E vs. N3	χ^2 = 21.9, P<0.0001	χ^2 = 4.5, P=0.033	χ^2 = 26.9, P<0.0001	χ^2 = 1.7, P=0.190	χ^2 = 116.4, P<0.0001	χ^2 = 34.4, P<0.0001
E vs. A	χ^2 = 5.4, P=0.017	χ^2 = 16.2, P<0.0001	χ^2 = 30.2, P<0.0001	χ^2 = 63.9, P<0.0001	χ^2 = 32.9, P<0.0001	χ^2 = 87.9, P<0.0001
N1 vs. N2	χ^2 = 15.3, P<0.0001	χ^2 = 19.4, P<0.0001	χ^2 = 24.6, P<0.0001	χ^2 = 289.6, P<0.0001	χ^2 = 8.2, P=0.004	χ^2 = 0.5, P=0.477
N1 vs. N3	χ^2 = 0.3, P=0.558	χ^2 = 41.5, P<0.0001	χ^2 = 1.7, P=0.196	χ^2 = 172.3, P<0.0001	χ^2=30.3, P<0.0001	χ^2=1.9., P=0.165
N1 vs. A	χ^2 = 1.1, P=0.594	χ^2 = 5.8, P=0.009	χ^2 = 10.5, P=0.001	χ^2 = 6.2, P=0.012	χ^2 = 12.5, P<0.0001	χ^2 = 45.1, P<0.0001
N2 vs. N3	χ^2 =16.8, P<0.0001	χ^2 =7.2, P=0.007	χ^2 =7.7, P=0.005	χ^2 = 0.4, P=0.547	χ^2 = 48.1, P<0.0001	χ^2 = 0.6, P=0.447
N2 vs. A	χ^2 = 4.8, P=0.029	χ^2 = 14.2, P<0.0001	χ^2 = 20.8, P<0.0001	χ^2 = 80.1, P<0.0001	χ^2 = 18.4, P<0.0001	χ^2 = 39.6, P<0.0001
N3 vs. A	χ^2 = 0.8, P=1.000	χ^2 = 22.7, P<0.0001	χ^2 = 12.6, P<0.0001	χ^2 = 63.3, P<0.0001	χ^2 = 3.5, P=0.085	χ^2 = 32.7, P<0.0001

بر اساس نتایج حاصل این کفشدوزک ضمن تغذیه از همه مراحل شپشک آفت، در غالب موارد تخم شپشک را نسبت به سایر مراحل رشدی آن برای تغذیه ترجیح داد. نتایج سایر پژوهشگران نشان داد که ترجیح غذایی شکارگرها بر حسب گونه و مرحله رشدی آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد. گزارش‌های دیگری نیز از ترجیح تخم شپشک توسط کفشدوزک‌ها ارائه شده است. در پژوهشی مشخص شد که حشرات کامل کفشدوزک *Nephus reunion* (Fürsch) بیش‌تر پوره سن سه و تخم شپشک *Planococcus citri* (Risso) را مورد تغذیه قرار دادند (Izhevsky, and Orlinsky, 1988).

Archive of SID

www.SID.ir

خدامان (Khodaman, 1993) نیز اظهار داشته است که لاروهای کفشدوزک *Nephus includens* (Kirsch) تخم شپشک آردآلود جنوب *N. viridis* و حشرات کامل آن تخم و پوره سن اول را نسبت به سایر مراحل رشدی این شپشک ترجیح دادند. همچنین در آزمایشی دیگر گزارش شد که لارو سن یک و لارو سن دو کفشدوزک *Nephus kisseri* Fürsch & Uygun نیز تخم شپشک *Planococcus ficus* (Signoret) را نسبت به سایر مراحل رشدی آن ترجیح دادند، در حالی که لارو سن چهار و حشرات کامل این کفشدوزک پوره‌های سن دو، سه و ماده بالغ شپشک را ترجیح دادند (Mustu, and Klincer, 2013). ضرغامی و همکاران (Zarghami *et al.*, 2014) نیز گزارش کردند که تخم و ماده بالغ شپشک *N. viridis* طعمه ترجیحی اغلب مراحل رشدی کفشدوزک *Nephus arcuatus* Kapur بود و کم‌ترین درصد مصرف مراحل مختلف رشدی این کفشدوزک شکارگر نیز از پوره سن یک شپشک آردآلود جنوب بود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ترجیح کفشدوزک *H. polita* به تغذیه از تخم شپشک آردآلود جنوب *N. viridis* می‌تواند به عنوان یک مزیت در موفقیت آن در کنترل بیولوژیک این شپشک دارای اهمیت باشد. زیرا تغذیه بیش‌تر از تخم باعث می‌شود تشکیل کلنی اولیه و افزایش جمعیت آفت با مانع مواجه شده و در نهایت باعث کاهش جمعیت آفت و خسارت آن شود.

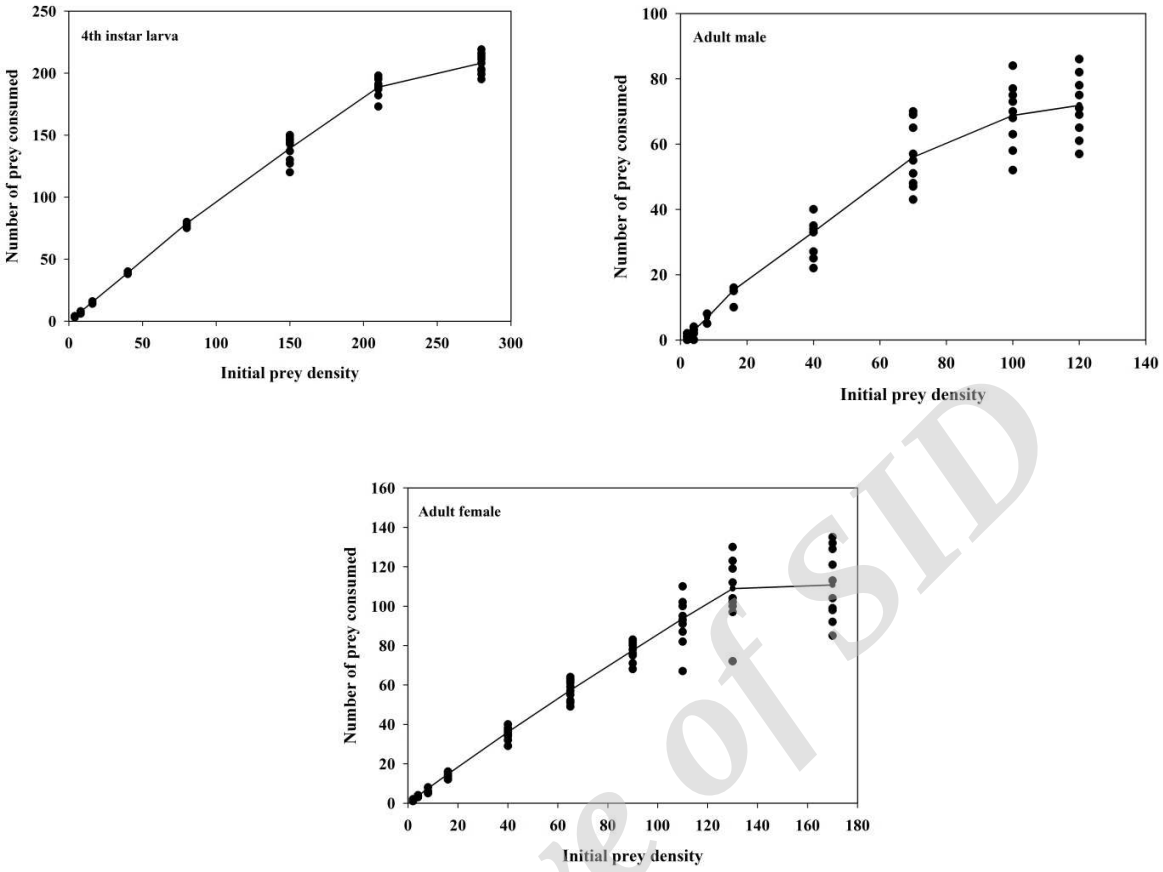
واکنش تابعی حشرات کامل نر و ماده و لارو سن چهار کفشدوزک *H. polita*

بررسی واکنش تابعی لارو سن چهار و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *H. polita* با تغذیه از طعمه ترجیحی کفشدوزک یعنی تخم شپشک آردآلود جنوب *N. viridis* نشان داد که ابتدا با افزایش جمعیت طعمه، تعداد طعمه خورده شده توسط شکارگر افزایش یافت که این افزایش در یک سطح از تراکم‌های بالاتر متوقف شده و به یک حد ثابت میل کرد (شکل ۲). برازش رگرسیون لجستیک لارو سن چهار و حشرات کامل ماده کفشدوزک با تغذیه تخم شپشک نشان داد که شیب قسمت خطی منحنی در هردو مورد منفی بود که این امر نمایانگر وجود واکنش تابعی نوع دوم بود ($P_1<0$). در مقابل، برازش رگرسیون لجستیک حشرات کامل نر کفشدوزک با تغذیه از تخم شپشک نشان داد که شیب قسمت خطی منحنی مثبت بوده که این خود نمایانگر وجود واکنش تابعی نوع سوم بود ($P_1>0$) (جدول ۳).

با استفاده از معادله راجرز قدرت جستجوگری (a) یا نرخ حمله (برای واکنش تابعی نوع دوم)، ثابت حمله (b) (برای واکنش تابعی نوع سوم) و زمان دستیابی (T_h) لارو سن چهار، حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *H. polita* نسبت به تخم شپشک آردآلود جنوب *N. viridis* محاسبه و در جدول ۴ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، کم‌ترین زمان دستیابی به تخم شپشک به عنوان طعمه، در لارو سن چهار کفشدوزک (۰/۰۸۸۱ ساعت) و بیش‌ترین آن در حشرات کامل نر کفشدوزک (۰/۳۱۰۱ ساعت) مشاهده شد که ۳/۵ برابر بیشتر از لارو سن چهار بود. بیش‌ترین نرخ شکارگری (T/T_h) یا نسبت کل زمان آزمایش (۲۴ ساعت) به زمان دستیابی، به عنوان شاخصی مناسب برای تعیین بیش‌ترین نرخ شکارگری یک شکارگر در روز استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر مشخص شد که بیش‌ترین نرخ شکارگری در لارو سن چهار کفشدوزک ۲۹۸/۵۱ تخم در روز و کم‌ترین آن در حشرات کامل نر کفشدوزک ۷۷/۳۹ تخم در روز بود. این یافته‌ها مشابه نتایج سیف الهی (Seyfollahi, 2015) و نخعی مدیح و همکاران (Nakhaei Madih *et al.*, 2016) بود. بر اساس نتایج برازش رگرسیون در مورد میزان همبستگی بین تراکم‌های مختلف تخم شپشک و تعداد تخم مورد تغذیه، لارو سن چهار کفشدوزک بالاترین ضریب تبیین و حشرات کامل نر نیز کم‌ترین ضریب تبیین را نشان دادند (جدول ۴).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- واکنش تابعی لارو سن چهار، حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *Hyperaspis polita* نسبت به تراکم‌های مختلف تخم شپشک *Nipaecoccus viridis*. نقاط سیاه رنگ داده‌های حاصل از مشاهدات بوده و خطوط با استفاده از معادله تصادفی راجرز پیش بینی شده است.

Figure 2. Consumption rates by fourth instar larvae of *Hyperaspis polita* at different densities of *Nipaecoccus viridis* eggs. The symbols represent the observed data and the lines to the fitted model.

نتایج مقایسه پارامترهای واکنش تابعی یعنی قدرت جستجوگری (D_a) و زمان دستیابی (D_{Th}) برای لارو سن چهار و حشرات کامل ماده کفشدوزک *H. polita* که با تغذیه از تخم شپشک آردآلود جنوب *N. viridis* هر دو واکنش تابعی نوع دوم را داشتند، نشان داد که بین قدرت جستجوگری لارو سن چهار و حشرات کامل ماده اختلاف معناداری وجود نداشت. اما در زمان دستیابی لارو سن چهار نسبت به حشرات کامل ماده اختلاف معناداری وجود داشت. در واقع اگر حدود اطمینان ۹۵٪ برای D_a و D_{Th} صفر را شامل نشود، نشان دهنده این است که اختلاف معناداری در قدرت جستجوگری و زمان دستیابی بین دو تیمار وجود دارد. در حالی که، اگر حدود اطمینان صفر را شامل شوند، تفاوت معناداری در پارامترهای مذکور بین دو تیمار وجود ندارد (جدول ۵).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- برازش رگرسیون لجستیک نسبت تخم خورده شده شپشک آردآلود جنوب *Nipaecoccus viridis* توسط لارو سن چهار، حشرات کامل ماده و نر کفشدوزک *Hyperaspis polita* در مقابل تعداد اولیه تخم ارائه شده

Table 3. Logistic regression analysis of the proportion of *Nipaecoccus viridis* eggs eaten as a function of initial prey density by fourth instar larva, adult female and male of *Hyperaspis polita*

Predator stage	**Coefficient**	**Estimate**	**SE**	**Chi-squared Value**	***P* value**
4^{th} instar larva	Intercept	3.9747	0.4184	90.25	<0.0001
	Linear	-0.0118	0.00948	1.55	0.2136
	Quadratic	0.000033	0.000062	0.28	0.5950
	Cubic	-9.99E-8	1.206E-7	0.69	0.4071
Adult female	Intercept	2.8905	0.3105	86.64	<0.0001
	Linear	-0.0298	0.0116	6.57	0.0104
	Quadratic	0.000332	0.000129	6.63	0.0100
	Cubic	-1.38E-6	4.21E-7	10.74	0.0010
Adult male	Intercept	1.6680	0.2679	38.77	<0.0001
	Linear	0.0141	0.0157	0.81	0.3686
	Quadratic	-0.00036	0.000256	2.01	0.1565
	Cubic	1.321E-6	1.212E-6	1.19	0.2760

در مورد مقایسه واکنش تابعی نوع دوم و سوم در تعیین کارایی شکارگرها بحث‌های مختلفی انجام شده است. هولینگ (Holling, 1966) معتقد است که واکنش تابعی نوع سوم از نظر تئوری توانایی بیش‌تری در سرکوب جمعیت طعمه دارد. اگرچه شکل منحنی واکنش تابعی عامل مهمی است، اما این عامل به تنهایی نمی‌تواند موفقیت یا شکست یک عامل کنترل بیولوژیک را تعیین کند. زیرا عواملی دیگر مانند واکنش عددی، نرخ ذاتی رشد، شکل تجمع میزبان، رقابت و پیچیدگی‌های محیطی نیز تاثیر عمده‌ای روی کارایی شکارگر در کنترل آفت دارند (Omkar and Pervez, 2005). در واقع مزیت واکنش تابعی نوع سوم تنها در تراکم‌های پایین است، زیرا تنها در این تراکم‌هاست که شکارگر قادر به کنترل بهتر طعمه خود بوده و می‌تواند جمعیت آن را کنترل کند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- مقادیر برآورد شده توسط مدل راجرز برای پارامترهای واکنش تابعی لارو سن چهار، حشرات کامل ماده و نر کفشدوزک *Hyperaspis polita* نسبت به تخم شپشک *Nipaecoccus viridis*

Table 4. Estimated parameters of the random predator equation for fourth instar larva, adult female and male of *Hyperaspis polita* fed on *Nipaecoccus viridis* eggs

Prey stage	Parameter	Estimate	Asymptotic SE	Asymptotic 95% CI		T/Th	r^2
				Lower	Upper		
4th instar larva	*a*	0.2553	0.0319	0.1917	0.3188	298.51	0.996
	Th	0.0881	0.00411	0.0799	0.0963		
Adult female	*a*	0.1983	0.0375	0.1240	0.2726	150.47	0.979
	Th	0.1595	0.0136	0.1326	0.1864		
Adult male	*b*	0.00405	0.000692	0.00267	0.00543	77.39	0.978
	Th	0.3101	0.0102	0.2898	0.3303		

جدول ۵- مقدار پارامترهای D_a و D_{Th} تخمین زده شده برای مقایسه واکنش تابعی لارو سن چهار و حشرات کامل ماده کفشدوزک *Hyperaspis polita* نسبت به تخم شپشک آردآلود جنوب *Nipaecoccus viridis*

Table 5. Parameters estimated by an equation with an indicator variable for comparing functional response parameters (D_a, D_{Th}) of 4th instar larvae and adult females of *Hyperaspis polita* fed on *Nipaecoccus viridis* eggs.

Prey stage	Parameter	Estimate	Asymptotic SE	Asymptotic 95% CI	
				Lower	Upper
4th instar larva - Adult female	D_a*	-0.0570	0.0509	-0.1574	0.0435
	D_{Th}**	0.0714†	0.0131	0.0456	0.0973

* Indicating differences between treatments for *a*.
** Indicating differences between treatments for T_h.
† Indicating significant differences between treatments.

نوع واکنش تابعی کفشدوزک *H. polita* بر اساس مرحله‌ی رشدی شکارگر تفاوت نشان داد. چنان‌که لارو سن چهار و حشرات کامل ماده کفشدوزک واکنش تابعی نوع دوم و حشرات کامل نر واکنش تابعی نوع سوم را نشان دادند. نتایج آزمایش واکنش تابعی توسط سیف الهی (Seyfollahi, 2015) روی کفشدوزک *H. polita* با تغذیه از شپشک آردآلود پنبه مغایر با پژوهش حاضر بود. وی به طور کلی نشان داد که واکنش تابعی در مراحل مختلف رشدی شکارگر نسبت به مراحل مختلف رشدی طعمه از نوع دوم بود. نخعی مدیح و همکاران (Nakhaei Madih *et al.*, 2016) نیز واکنش تابعی لارو سن چهار و حشرات کامل ماده و نر این کفشدوزک را نسبت به ماده‌های بالغ شپشک آردآلود پنبه از نوع دوم گزارش کردند. میلوناس و همکاران (Milonas *et al.*, 2011) نیز گزارش کردند که تغییر در مرحله‌ی رشدی کفشدوزک *N. includens* شکارگر شپشک‌های آردآلود مرکبات، از لارو سن دو به لارو سن چهار تغییری در نوع واکنش تابعی آن ایجاد نکرد. با این حال بر اساس نتایج ضرغامی (Zarghami, 2014) واکنش تابعی مراحل مختلف رشدی *N. arcuatus* نسبت به مراحل مختلف رشدی طعمه خود یعنی شپشک *N. viridis* متغیر و مشابه نتایج پژوهش حاضر بود.

بررسی تأثیر مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *H. polita* (لارو سن چهار، حشرات کامل نر و ماده) روی پارامترهای واکنش تابعی نشان داد که بین قدرت جستجوگری

Archive of SID

www.SID.ir

آن‌ها در یافتن طعمه اختلاف معناداری وجود نداشت. اما مقایسه زمان دستیابی شکارگرها در یافتن یک طعمه اختلاف معناداری را نشان داد. به طوری که در در تمامی تیمارها زمان دستیابی لارو سن چهار کم‌تر از زمان دستیابی حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک و همچنین زمان دستیابی ماده‌ها نیز کم‌تر از زمان دستیابی نرها بود. این یافته‌ها مشابه نتایج سیف الهی (Seyfollahi, 2015) و نخعی مدیح و همکاران (Nakhaei Madih *et al.*, 2016) بود. زمان دستیابی بعنوان زمان لازم برای تعقیب، تسخیر، خوردن و هضم طعمه تعریف شده است (Holling, 1966). از آنجا که اندازه جثه لارو سن چهار کفشدوزک *H. polita* نسبت به ماده و اندازه جثه ماده نسبت به نر بیشتر است، بنابراین این اندازه بزرگتر می‌تواند فرایندهای طی شده در دستیابی به طعمه را تسهیل و زمان دستیابی به طعمه را کاهش دهد.

عبدالهی آهی و همکاران (Abdollahi Ahi *et al.*, 2012) گزارش دادند که در کفشدوزک *Cryptolaemus montrozieri* (Mulsant) با تغذیه از شپشک *Planococcus citri* (Risso) زمان دستیابی و قدرت جستجوگری لارو سن چهار کفشدوزک به پوره‌های سن دو و سه شپشک بیش‌تر از حشرات کامل ماده کفشدوزک بود. این مقادیر در تغذیه از ماده‌های شپشک در لارو سن چهار کم‌تر از حشرات کامل ماده کفشدوزک بود. عدم وجود اختلاف معنادار در قدرت جستجو و وجود اختلاف معنادار در زمان دستیابی به طعمه توسط ضرغامی (Zarghami, 2014) و ضرغامی و همکاران (Zarghami *et al.*, 2016) برای مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *N. arcuatus* با تغذیه از شپشک *N. viridis* گزارش شده است که مشابه پژوهش حاضر است. در دو پژوهش ذکر شده اخیر زمان دستیابی به طعمه با افزایش سن لاروی در کفشدوزک *N. arcuatus* کاهش یافت. با این‌حال مشابه پژوهش حاضر، حشرات کامل کفشدوزک *N. arcuatus* زمان دستیابی به طعمه بیشتری نسبت به لارو سن چهار داشتند. این مقدار برای حشرات کامل کفشدوزک ماده کم‌تر از حشرات کامل نر بود.

در مطالعه حاضر لارو سن چهار کفشدوزک بیش‌ترین نرخ شکارگری را داشت و پس از آن حشرات کامل ماده و سپس نر کفشدوزک قرار داشتند. هودک و هونک (Hodek and Honek, 1996) به طور کلی در کفشدوزک‌ها تغذیه بیشتر لارو سن چهار را به دلیل نیاز به انرژی بیشتر برای رشد و رسیدن به یک وضعیت حیاتی و مهم برای تبدیل شدن به شفیره دانسته‌اند. در پژوهش حاضر نیز حشرات کامل ماده کفشدوزک *H. polita* به دلیل اندازه بزرگ‌تر و نیاز غذایی بیش‌تر برای تولید تخم، نزدیک به سه برابر کفشدوزک نر تغذیه کردند. همچنین زمان دستیابی کم‌تر به طعمه، امکان مصرف تعداد طعمه بیشتری را فراهم می‌کند. سیف الهی (Seyfollahi, 2015) نیز تغذیه دو برابری حشرات کامل ماده نسبت به نر این کفشدوزک از شپشک آردآلود پنبه را گزارش کرد. نخعی مدیح و همکاران (Nakhaei Madih *et al.*, 2016) نیز نتایج مشابهی را روی همین کفشدوزک گزارش نموده‌اند.

مقایسه نتایج ضرغامی (Zarghami, 2014) در مورد بررسی واکنش تابعی کفشدوزک *N. arcuatus* روی تخم شپشک *N. viridis* در دمای ۳۰ درجه سلسیوس نشان داد که میزان تغذیه روزانه کفشدوزک *H. polita* حدود ۱/۵ برابر بیش‌تر از تغذیه کفشدوزک *N. arcuatus* از تخم شپشک *N. viridis* بود. کفشدوزک *N. arcuatus* در باغات مرکبات منطقه رقیب کفشدوزک *H. polita* در شکار شپشک آردآلود جنوب محسوب می‌شود. بنابراین در یک آلودگی اولیه توسط تخم‌های شپشک، کفشدوزک *H. polita* کارایی بالاتری در کنترل آفت نسبت به کفشدوزک *N. arcuatus* که جثه کوچک‌تری نیز دارد می‌تواند نشان دهد. با این حال یافته‌های آزمایشگاهی را نمی‌توان به طورمستقیم در طبیعت اعمال نمود. زیرا بررسی‌های بیشتری در این خصوص در طبیعت لازم است.

Archive of SID

www.SID.ir

در استان خوزستان کفشدوزک وارداتی *Cryptolaemus montrozieri* (Mulsant) در باغ‌های مرکبات دزفول قادر به کنترل شپشک آردآلود جنوب *N. viridis* و تولید یک نسل بهاره بود اما به دلیل گرمای تابستان و وجود مورچه‌های همزیست با شپشک تلفات زیادی را متحمل می‌شود (Mossadegh *et al.*, 2008a,b). از آن‌جا که شپشک *N. viridis* به عنوان یکی از مهم‌ترین آفات مرکبات در استان خوزستان دارای فون غنی از دشمنان طبیعی می‌باشد، همانند پژوهش‌هایی که در گذشته روی کفشدوزک شکارگر *N. arcuatus* (Zarghami, 2014) در کنترل این شپشک آفت انجام شده است، لازم است که چنین پژوهش‌هایی روی سایر دشمنان طبیعی بومی این آفت مانند کفشدوزک *H. polita* که با اقلیم منطقه سازگار هستند نیز صورت گیرد و کارایی آن‌ها در مقایسه با یکدیگر و نیز سایر کفشدوزک‌های شکارگر موجود در طبیعت ارزیابی و دامنه میزبانی و ویژگی-های رفتاریشان بررسی شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر تامین اعتبار لازم و مساعدت در اجرای این تحقیق قدردانی می‌شود. همچنین از آقای دکتر آرش راسخ به خاطر برخی مشاوره‌های آماری سپاسگزاری می‌شود.

References

Abdollahi Ahi, Gh., Afshari, A., Baniameri, V., Dadpour Moghanloo, H., Asadeh, Gh., Yazdanian, M. 2012. Functional response of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Col.; Coccinellidae) to citrus mealybug, *Planococcus citri* (Risso) (Hom., Pseudococcidae) under laboratory conditions. **Plant Protection** 35 (1): 1-14.

Alizadeh, M. S., Mossadegh, M. S., 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.

Asadeh, Gh. A. 1991. The fauna of Khuzestan's *Pseudococcus* spp. and their parasitoids and predators. M.Sc. thesis. Shahid Chamran University.

Asadeh, Gh. A., Mossadegh, M. S. 1993. Important natural enemies of mealybugs (*Pseudococcus* spp.) in the Khuzestan province, Iran. **Scientific Journal of Agriculture** 16 (1, 2): 46–52 (In Farsi with English abstract).

Farhadi, Z. 2017. Study of biological characteristics and life table parameters of the coccinellid *Hyperaspis polita* Weise in feeding on the spherical mealybug *Nipaecoccus viridis* (Newstead). M.Sc. thesis. Shahid Chamran University.

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. (Retrieved December 1).

Hassell, M. P. 1978. The Dynamics of arthropod predator-prey systems. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 237 pp.

Hodek, I. and Honek, A. 1996. Ecology of Coccinellidae: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherland, 464 pp.

Holling, C. S. 1966. Functional response of invertebrate predators to prey density. Memoirs of the Entomological Society of Canada, 48: 5-86.

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.

Jalali, M. A. and Ziaaddini, M. 2016. Effects of host plant morphological features on the functional response of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **International Journal of Pest Management** 63 (4): 309-315.

Archive of SID

www.SID.ir

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.

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.

Milonas, P. G., Kontodimas, D. C. and Martinou, A. F. 2011. A predator's functional response: influence of prey species and size. **Biological Control** 59 (2): 141-146.

Moghaddam, M. 2006. The mealybugs of Southern Iran (Hem: Coccoidea: Pseudococcidae). **Journal of Entomological Society of Iran** 26 (1): 1-11.

Mossadegh, M. S., Esfandiari, M. and Heidarynia, Z. 2008a. The relationship effects of symbiotic ants on biological control of *Nipaecoccus viridis* (New.) by *Cryptolaemous montrouzieri* Mul. in citrus orchards of north Khuzestan. Proceedings of 18th Iranian Plant Protection Congress, 24-27 August, Iran, p. 36.

Mossadegh, M. S., Eslamizadeh, R. and Esfandiari, M. 2008b. Biological study of mealybug *Nipaecoccus viridis* (New.) and possibility of its biological control by *Cryptolaemous montrouzieri* Mul. in citrus orchards of north Khuzestan. Proceedings of 18th Iranian Plant Protection Congress, 24-27 August, Iran, p. 35.

Mossadegh, M. S., Vafaei, Sh., Farsi, A., Zarghami, S., Esfandiari, M., Dehkordi, F. S., Fazelinejad A., and Seyfollahi, F. 2015. *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Sternorrhyncha: Pseudococcidae), its natural enemies and host plants in Iran. 1st Iranian International Congress of Entomology, 29-31 August, Iran, pp.159-167.

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 20th Iranian Plant Protection Congress, 26-29 August, Iran, p. 216.

Mustu, M. and Klincer, N. 2013. Life table and some feeding features of *Nephus kreissli* fed on *Planococcus ficus*. **Phytoparasitica** 41: 203–211.

Nakhaei Madih, S., Ramezani, L., Zarghami, S., Zandi Sohani, N. 2016. 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.

Nechols, J. R. 1995. Biological control in the Western United States: accomplishments and benefits of regional research project W-84, 1964-1989 (Vol. 3361). UCANR Publications.

Novin, M. 2000. The biology and population fluctuations of *Nipaecoccus viridis* (Newstead). M.Sc. Thesis. Shahid Chamran University.

Omkar and Pervez, A. 2005. Ecology of two-spotted ladybird, *Adalia bipunctata*: a review. **Journal of Applied Entomology** 129: 465-474.

Pervez, A. and Omkar. 2005. Functional responses of coccinellid predators: an illustration of a logistic approach. **Journal of Insect Science** vol. 5, pp. 1–6.

Rogers, D. 1972. Random search and insect population models. **Journal of Animal Ecology** 41: 369-383.

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

Seyfollahi, F. 2015. Biology of cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley and some biological characteristics of its predator *Hyperaspis polita* Weise in Ahvaz. M.Sc. Thesis. Shahid Chamran University.

Archive of SID

www.SID.ir

Seyfollahi, F., Esfandiari, M., Mossadegh, M. S., and Rasekh, A. 2016. Life table parameters of the coccinellid *Hyperaspis polita*, a native predator in Iran, feeding on the invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis*. **Journal of Asia-Pacific Entomology** 19(3), 835-840.

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

van Alphen, J. J. M., and Jervis, M. A. 1996. Foraging behaviour. In: Jervis, M. A., and Kidd, N. (Eds.). Insect natural enemies, practical approaches to their study and evaluation. Chapman and Hall, London: pp. 1- 62.

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

Zarghami, S., Mossadegh, M. S., Kocheili, F., Allahyari H., and Rasekh, A. 2014. Prey stage preference and functional response of the Coccinellid, *Nephus arcuatus* Kapur in response to *Nipaecoccus viridis* (News.). **Plant Pests Research** 4(3): 73-86 (In Farsi with English abstract).

Zarghami, S., Mossadegh, M. S., Kocheili, F., Allahyari H., and Rasekh, A. 2016. Functional responses of *Nephus arcuatus* Kapur (Coleoptera: Coccinellidae), the most important predator of spherical mealybug *Nipaecoccus viridis* (Newstead). **Psyche** Article ID 9417496, 9 pages. doi:10.1155/2016/9417496.

Archive of SID

www.SID.ir

Plant Pest Research
2017- 7(4): 63-78

Prey stage preference and functional response of the coccinellid *Hyperaspis polita*, feeding on the mealybug *Nipaecoccus viridis*

Z. Farhadi[1], M. Esfandiari[1*], M. S. Mossadegh[1] and P. Shishehbor[1]
1. Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(Received: December 12, 2017- Accepted: March 11, 2018)

Abstract

The spherical mealybug, *Nipaecoccus viridis* (Newstead) is one of the major citrus pests with economic importance in the world which also occurs in southern Iran, including Khuzestan province. In this research, prey stage preference and functional response of the coccinellid *Hyperaspis polita* Weise feeding on *N. viridis* were studied at 30 ± 1°C, 65 ± 5% RH and a photoperiod of 14:10 (L:D) h. Results indicated that the eggs of mealybug were preferred more than any other stages by most stages of *H. polita*, whereas adult females were less preferred. Results of logistic regression for 4th larval stage, adult female and adult male of ladybeetles by feeding on mealybug eggs, the preferred stage, revealed functional response type II, II and III, respectively. The searching efficiency (*a*) for 4th instar larvae and adult females were 0.2553 and 0.1983 h^{-1}, respectively, using Rogers equations. Constant coefficient (*b*) for adult males was estimated to be 0.00405. The minimum handling time (T_h) was estimated to be 0.0881 for 4th instar larvae and maximum was 0.3101 for adult males of ladybeetles. The maximum theoretical predation rate (T/T_h) was calculated as 298.51 eggs/day by 4th instar larvae and minimum was 77.39 eggs/day by adult males. According to our results, it seems that *H. polita* has the potential for biological control of *N. viridis*. Nevertheless, additional field investigations of *H. polita* and comparison to other available predators would be necessary.

Key words: Biological control, predator – prey interaction, logistic regression, spherical mealybug

*Corresponding author: apameini@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir