

واکنش تابعی وابسته به دما در کفشدوزک

Cryptolaemus montrouzieri (Col.: Coccinellidae) نسبت به شپشک آردآلود مرکبات،

Planococcus citri (Hem.: Pseudococcidae)

مهدی حسن پور^{۱*} - محبوبه مرادی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

چکیده

کفشدوزک شکارگر *Cryptolaemus montrouzieri* یکی از شکارگرهای مهم شپشک آردآلود مرکبات، *Planococcus citri* می‌باشد. در این تحقیق، تأثیر دماهای مختلف روی واکنش تابعی لارو سن چهارم و حشره‌ی ماده‌ی کامل کفشدوزک کریپتولموس نسبت به تغییرات تراکم افراد ماده‌ی کامل شپشک آردآلود مرکبات مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در تراکم‌های ۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ عددی از طعمه در داخل ظروف پتری حاوی برگ نارنج در دماهای ثابت ۱۸، ۲۳، ۲۷، ۳۲ و 37 ± 1 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در ۱۰ تکرار انجام شد. تعداد طعمه‌های زنده مانده پس از ۲۴ ساعت شمارش و ثبت شد. تعیین نوع واکنش تابعی با استفاده از رگرسیون لجستیک و تخمین پارامترها با استفاده از رگرسیون غیرخطی انجام شد. واکنش تابعی هر دو مرحله‌ی زیستی شکارگر در تمام دماها از نوع دوم بود. بیشترین مقدار عددی نرخ حمله برای لارو و حشره‌ی ماده‌ی کامل شکارگر در دمای ۳۷ درجه‌ی سلسیوس و کمترین مقدار عددی زمان دستیابی این دو مرحله‌ی زیستی شکارگر به ترتیب در دماهای ۲۷ و ۳۲ درجه‌ی سلسیوس تخمین زده شد. در تمام دماهای مورد آزمایش، بیشترین مقدار نرخ حمله در مقایسه‌ی بین دو مرحله‌ی زیستی مورد بررسی شکارگر، مربوط به حشرات ماده‌ی کامل بود. این تحقیق نشان داد که کفشدوزک شکارگر *C. montrouzieri* در دماهای بالاتر مورد مطالعه از کارایی بیشتری در کنترل شپشک آردآلود مرکبات، *P. citri* برخوردار می‌باشد. با این حال، لازم است مطالعات تکمیلی در مورد اثر دما روی رفتار جستجوگری این شکارگر روی این آفت در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای نیز مورد بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: دما، واکنش تابعی، *Planococcus citri*، *Cryptolaemus montrouzieri*

مقدمه

گیاهان میزبان را مورد حمله قرار می‌دهند. شپشک آردآلود مرکبات، *Planococcus citri* (Risso)، در غرب مازندران از اهمیت زیادی برخوردار است (۴۰). فعالیت این شپشک روی مرکبات با تولید مقادیر زیادی عسلک همراه است و در تراکم‌های بالای آفت، میوه‌ها می‌ریزند (۱۲). این آفت با دارا بودن بیش از ۱۸۳ میزبان گیاهی از مهمترین آفات اقتصادی به شمار می‌آید. به دلیل پوشش مومی، آردی و سفید رنگ روی بدن شپشک آردآلود، مقاومت آن‌ها در مقابل حشره‌کش‌های شیمیایی فوق‌العاده زیاد است و به همین دلیل تاکنون روش‌های مختلف کنترل شیمیایی این آفت موفقیت‌آمیز نبوده است (۱۶). با توجه به مضرات استفاده از سموم به-دلیل مسائل زیست‌محیطی و موفق نبودن این روش برای کنترل این آفت، استفاده از روش‌های دیگر مانند کنترل بیولوژیک که بتواند نتایج قابل قبول‌تری را در جهت کاهش جمعیت آفت داشته باشد ضروری است (۹).

امروزه تولید انواع مرکبات اهمیت بسزایی داشته و علاوه بر ارزش غذایی بالا، اهمیت اقتصادی آن‌ها از دیگر دلایل عمده‌ی تولید این محصولات در کشورهای مرکبات‌خیز می‌باشد (۴). مرکبات در مناطقی کشت می‌شوند که رطوبت و دمای نسبی بالایی دارند و معمولاً در معرض آفات و بیماری‌های مختلفی قرار می‌گیرند. از میان آفات مرکبات، شپشک‌های گیاهی به خصوص در نوار ساحلی شمال و مناطق گرم جنوب ایران، که دما و رطوبت برای رشد حداکثری آنها فراهم است، اهمیت فراوانی دارند. این آفات تقریباً تمام قسمت‌های

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری حشره‌شناسی کشاورزی، گروه گیاه پزشکی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
* نویسنده‌ی مسئول: (Email: hassanpour@uma.ac.ir)
DOI: 10.22067/jpp.v33i3.79292

تلفیقی این آفت مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و پرورش حشرات

جمعیت اولیه‌ی شپشک آردآلود از روی درختان نارنج در منطقه‌ی مهمانسرا واقع در شهرستان قائم‌شهر تهیه شد. کلنی شپشک روی کدو حلواپی، *Cucurbita maxima* Duchesne در اتاقک رشد در دمای ثابت 27 ± 2 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی برای ۳ نسل پرورش داده شد.

جمعیت اولیه‌ی کفشدوزک کریپتولموس از انسکتاریوم بهاران دشت ساحل شهرستان ساری تهیه شد. قبل از شروع آزمایش‌ها، کلنی کفشدوزک روی شپشک آردآلود پرورش یافته روی کدو حلواپی در داخل ظروف پلاستیکی (به ابعاد $20 \times 25 \times 35$ سانتی‌متر) تهیه‌دار مشابه شرایط فوق برای ۲ نسل پرورش داده شد.

روش انجام آزمایش

بعد از انجام آزمایش‌های مقدماتی، تراکم‌های ۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ عددی از طعمه به صورت جداگانه در اختیار لارو سن چهارم و افراد ماده‌ی کامل (حداکثر ۴۸ ساعته) شکارگر قرار داده شد. شکارگرها ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش گرسنه نگهداشته شده بودند. آزمایش در دماهای ثابت ۱۸، ۲۳، ۲۷، ۳۲ و 37 ± 1 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در ظروف پتری (با قطر ۱۰ سانتی‌متر) در داخل اتاقک رشد انجام شد. در هر دما تراکم‌های مورد نظر طعمه روی برگ نارنج (به مساحت تقریبی ۳ سانتی‌متر مربع)، در داخل ظروف پتری قرار داده شد. برای تهیه روی سرپوش ظروف پتری سوراخی تعبیه و با پارچه‌ی توری پوشانده شده بود. بیست و چهار ساعت پس از شروع آزمایش، شکارگرها از ظروف پتری حذف و پس از شمارش تعداد افراد زنده مانده، تعداد طعمه‌های خورده شده محاسبه و ثبت شد. آزمایش برای هر تراکم در هر دما و هر مرحله‌ی زیستی مورد بررسی شکارگر در ۱۰ تکرار انجام شد.

تجزیه‌ی داده‌ها

تجزیه‌ی داده‌ها براساس روش دو مرحله‌ای جولیانو (۲۹) در نرم-افزار SAS انجام شد (۵۷). در مرحله‌ی اول، نوع واکنش تابعی از طریق مدل چندجمله‌ای لجستیک براساس نسبت طعمه‌های خورده شده به تراکم اولیه‌ی طعمه تعیین شد، بدین صورت که داده‌ها به یک تابع چند جمله‌ای به شرح زیر برازش داده شدند:

کفشدوزک‌ها نقش بسیار مهمی در کنترل بیولوژیک آفات مختلف دارند و به دلیل این که هر دو مرحله‌ی زیستی لارو و حشره‌ی کامل دارای فعالیت شکارگری هستند، نسبت به سایر دشمنان طبیعی از اهمیت بیشتری برخوردارند (۴۸). مطالعات نشان داده است که لاروهای سن سوم، چهارم و حشرات کامل کفشدوزک‌ها از قدرت تغذیه‌ای بالایی برخوردار بوده و مهم‌ترین مراحل زیستی این شکارگر در کنترل بیولوژیک آفات محسوب می‌شوند (۲۲). کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant از جمله شکارگرهای مهم و موفق شپشک آردآلود در باغات مرکبات شمال (۳۷) و جنوب ایران (۴۴) به شمار می‌رود. مراحل لاروی و حشره‌ی کامل این کفشدوزک به صورت موفقیت‌آمیزی به شپشک آردآلود حمله کرده و از آن تغذیه می‌کنند (۱۵). همچنین این کفشدوزک به عنوان مهم‌ترین شکارگر گونه‌های مختلف شته‌ها از روی محصولات مختلف مانند فلفل (بلغارستان)، ذرت (اکراین)، توت‌فرنگی (ایتالیا)، غلات (هند) و پنبه (ترکمنستان) گزارش شده است (۳۴). فعالیت شکارگری این گونه از اکثر نقاط ایران و از روی آفات مختلف گزارش شده است (۵۵).

معیارهای مختلفی برای ارزیابی و انتخاب عوامل کنترل بیولوژیک وجود دارد که یکی از آن‌ها مطالعه‌ی واکنش تابعی آن‌ها می‌باشد. اصطلاح واکنش تابعی اولین بار توسط سولومون (۶۱) جهت توصیف واکنش رفتاری یک دشمن طبیعی نسبت به تغییرات تراکم طعمه مورد استفاده قرار گرفت و سپس توسط هولینگ (۲۳) توسعه داده شد. عوامل مختلف زیستی (مانند ویژگی‌های گیاه میزبان، گونه-ی طعمه، جنسیت دشمن طبیعی، سن و مراحل مختلف زیستی شکار و شکارگر و نیز میزان گرسنگی شکارگر) (۱۰، ۱۹، ۲۰، ۳۵ و ۵۱) و غیر زیستی (مانند دما و رطوبت نسبی) (۳۱ و ۶۷) می‌توانند نوع واکنش تابعی و پارامترهای آن را تحت تاثیر قرار دهند. تاثیر دما روی واکنش تابعی دشمنان طبیعی مختلف توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته است (۱۴، ۲۶، ۳۹، ۵۰، ۵۹، ۶۲ و ۶۷). همچنین تاثیر دماهای مختلف روی واکنش تابعی کفشدوزک کریپتولموس نسبت به طعمه‌های مختلف توسط برخی محققین بررسی شده است (۶، ۴۲ و ۵۶). در اکثر این مطالعات، واکنش تابعی مراحل مختلف زیستی کفشدوزک از نوع دوم گزارش شده است.

با توجه به اهمیت دما روی رفتارهای دشمنان طبیعی نسبت به طعمه‌های آن‌ها و نیز اهمیت کفشدوزک شکارگر *C. montrouzieri* در کنترل شپشک آرد آلود مرکبات، *P. citri*، در این تحقیق تاثیر دماهای مختلف روی واکنش تابعی لاروهای سن چهارم و افراد ماده-ی کامل این کفشدوزک نسبت به افراد ماده‌ی کامل شپشک آردآلود مرکبات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق می‌تواند بخشی از برهمکنش‌های بین این شکارگر- شکار را برای ما روشن بکند. این نتایج در کنار سایر مطالعات می‌تواند در تدوین برنامه‌های مدیریت

از نوع دوم تعیین شد. به عبارت دیگر، مشخص شد که در تمام دماهای مورد بررسی این دو مرحله‌ی زیستی شکارگر نسبت به تراکم‌های مختلف طعمه به صورت وابسته به تراکم معکوس عمل کرده‌اند (شکل ۱).

پارامترهای نرخ حمله (a) و زمان دستیابی (T_h) لارو سن چهارم و افراد ماده‌ی شکارگر در هر یک از دماهای مورد بررسی در جداول ۲ و ۴ نشان داده شده‌اند. پارامتر نرخ حمله نشان می‌دهد که با افزایش تراکم شکار، شیب منحنی نرخ شکارگری چگونه تغییر می‌کند. این پارامتر به ویژه در تراکم‌های پایین طعمه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با استفاده از زمان دستیابی نیز می‌توان آستانه‌ی سیری شکارگر را تخمین زد (۵۲). نرخ حمله‌ی لاروهای سن چهارم شکارگر بین برخی از دماهای مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۵) و بیشترین مقدار نرخ حمله‌ی لاروهای سن چهارم شکارگر در دمای ۳۷ درجه‌ی سلسیوس به دست آمد (جدول ۲). در پارامتر زمان دستیابی نیز بین اغلب دماها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵). کمترین مقدار زمان دستیابی شکارگر در دمای ۲۷ درجه‌ی سلسیوس به دست آمد (جدول ۲). اختلاف در پارامتر نرخ حمله‌ی حشرات کامل شکارگر بین دماهای ۱۸، ۳۲، ۳۷ و ۳۷ و نیز ۲۷ و ۳۷ درجه‌ی سلسیوس معنی‌دار و در سایر موارد غیر معنی‌دار بود. در پارامتر زمان دستیابی نیز اختلاف بین برخی از دماها معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین مقدار نرخ حمله و کمترین مقدار زمان دستیابی حشرات ماده‌ی کامل شکارگر به ترتیب در دماهای ۳۷ و ۳۲ درجه‌ی سلسیوس به دست آمد (جدول ۴). منحنی واکنش تابعی در شرایط آزمایشگاهی می‌تواند تحت تاثیر عوامل مختلف مانند شدت نور، گیاه میزبان و دما تغییر کند (۱۰ و ۳۶). در تحقیق حاضر، دما پارامترهای واکنش تابعی کفشدوزک *C. montrouzieri* را نسبت به تراکم شپشک آرد آلود *P. citri* تحت تاثیر قرار داد که می‌تواند به دلیل تغییرات وابسته به دما در متابولیسم و نیز فعالیت شکارگر و شکار باشد (۳۸).

واکنش تابعی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های رفتاری دشمنان طبیعی می‌باشد که اثرات متقابل شکارگر-شکار و پارازیتوئید-میزبان را نشان می‌دهد (۲۸). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که واکنش تابعی لارو سن چهارم و حشرات ماده‌ی کامل کفشدوزک کریپتولموس در دماهای مختلف مورد مطالعه از نوع دوم است. عبداللهی آهی و همکاران (۱) واکنش تابعی لارو سن چهارم و افراد ماده‌ی کامل این کفشدوزک را نسبت به تراکم‌های مختلف حشرات ماده‌ی شپشک آردآلود مرکبات در دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی $5 \pm 80\%$ درصد از نوع دوم گزارش کردند. همچنین واکنش تابعی تعداد زیادی از کفشدوزک‌ها مانند *Scymnus syriacus* (Marseul) (۱۱)، *Stethorus Exochomus nigromaculatus* (Goeze) (۴۷)، *Hippodamia variegata* (Mulsant) (۲۵ و ۶۰).

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

در این رابطه، N_e تعداد طعمه‌های خورده شده؛ N_0 تعداد اولیه‌ی طعمه و P_0, P_1, P_2, P_3 پارامترهایی هستند که توسط مدل تخمین زده می‌شوند. این رگرسیون میزان شیب و منفی یا مثبت بودن شیب سه قسمت اصلی منحنی یعنی قسمت‌های خطی، درجه‌ی دو و درجه‌ی سه را نشان می‌دهد. علامت منفی بخش خطی نشان دهنده-ی واکنش تابعی نوع دوم و علامت مثبت بیانگر واکنش تابعی نوع سوم است. در مرحله‌ی دوم، به وسیله‌ی برازش داده‌ها با مدل راجرز و با استفاده از رگرسیون غیرخطی، پارامترهای نرخ حمله (a) و زمان دستیابی (T_h) برآورد شدند. به دلیل عدم جایگزینی طعمه‌های خورده شده در طول آزمایش، از مدل ارائه شده توسط راجرز (۵۴) برای واکنش تابعی نوع دوم به شرح زیر استفاده شد:

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

در این رابطه، N_e تعداد طعمه‌های خورده شده؛ N_0 تعداد اولیه‌ی طعمه، a نرخ حمله، T_h زمان دستیابی و T کل مدت زمان آزمایش می‌باشد.

برای مقایسه‌ی پارامترهای واکنش تابعی مراحل زیستی لارو و حشره‌ی کامل شکارگر از معادله‌ی زیر استفاده شد:

$$N_e = N_0 \{1 - \exp[-(a + D_a(J))(T - (T_h + D_{T_h}(J))N_e)]\} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

در این معادله، J متغیری است که برای داده‌های تیمار اول عدد صفر و برای داده‌های تیمار دوم عدد یک برای آن در نظر گرفته می‌شود. از محدوده‌ی اطمینان پارامترهای D_a و D_{T_h} برای تشخیص وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار در مقادیر a و T_h بین دو تیمار مورد بررسی استفاده شد. به عبارت دیگر، نرخ حمله برای یک تیمار a و برای تیمار دیگر $a + D_a$ در نظر گرفته شد. تفاوت معنی‌دار D_a با صفر نشان دهنده‌ی وجود تفاوت معنی‌دار بین a و $a + D_a$ بوده و بنابراین اختلاف در نرخ حمله‌ی شکارگر بین دو تیمار معنی‌دار خواهد بود. زمان دستیابی بین تیمارها نیز مشابه نرخ حمله مقایسه شد (۲۹). نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از برازش داده‌ها در مدل لجستیک و مقادیر برآورد شده برای سه قسمت منحنی (خطی، درجه‌ی ۲ و درجه‌ی ۳) نسبت طعمه‌ی (افراد ماده‌ی شپشک آردآلود مرکبات) خورده شده توسط لارو سن چهارم و افراد ماده‌ی کامل کفشدوزک شکارگر در دماهای مختلف در جداول ۱ و ۳ ارائه شده است. با توجه به این که اعداد برآورد شده برای قسمت خطی منحنی در تمام دماها منفی بود، واکنش تابعی لارو سن چهارم و افراد ماده‌ی کفشدوزک کریپتولموس

به عنوان مثال، شرایط آزمایش از جمله اندازه‌ی کوچک فضای ظروف پتری می‌تواند باعث افزایش نرخ برخورد شکارگر- شکار (به ویژه در تراکم‌های پایین شکار) و وقوع واکنش تابعی نوع دوم شود (۶۴).
Coelophora inaequalis (Fabricius) (۵، ۱۳ و ۴۱)،
Coccinella transversalis (Fabricius) (۵۲) و
Harmonia axyridis (Pallas) (۵۸) از نوع دوم گزارش شده است. دلایل مختلفی ممکن است باعث وقوع واکنش تابعی نوع دوم شود.

جدول ۱- رگرسیون لجستیک نسبت شپشک آردآلود مرکبات، *Planococcus citri* خورده شده توسط لارو سن چهارم کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* در تراکم‌های متفاوت طعمه در دماهای مختلف

Table 1- Logistic regression of the proportion of *Planococcus citri* eaten by fourth instar larvae of *Cryptolaemus montrouzieri* as a function of initial prey density at different temperatures

دما (°C) Temperature	پارامتر Coefficient	مقدار برآورد شده Estimate	خطای معیار SE	χ^2	P-value
18	عرض از مبدا Constant	-0.0644	0.3673	0.03	0.8608
	قسمت خطی Linear	-0.0971	0.0526	0.0526	0.0648
	درجه‌ی ۲ Quadratic	0.00158	0.0014	0.0014	0.2630
23	عرض از مبدا Constant	1.8063	0.8140	4.92	0.0265
	قسمت خطی Linear	-0.5686	0.2258	6.34	0.0118
	درجه‌ی ۲ Quadratic	0.0390	0.0171	5.21	0.0225
	درجه‌ی ۳ Cubic	-0.00076	0.00035	4.76	0.0291
27	عرض از مبدا Constant	1.8063	0.8140	4.92	0.0265
	قسمت خطی Linear	-0.5686	0.2258	6.34	0.0118
	درجه‌ی ۲ Quadratic	0.0390	0.0171	5.21	0.0225
	درجه‌ی ۳ Cubic	-0.00076	0.0003	4.76	0.0291
32	عرض از مبدا Constant	0.7446	0.3521	4.47	0.0345
	قسمت خطی Linear	-0.1073	0.0488	4.83	0.0279
	درجه‌ی ۲ Quadratic	0.0020	0.0012	2.41	0.1204
37	عرض از مبدا Constant	3.5335	1.0281	11.81	0.0006
	قسمت خطی Linear	-0.6457	0.2672	5.84	0.0157
	درجه‌ی ۲ Quadratic	0.0409	0.0195	4.39	0.0362
	درجه‌ی ۳ Cubic	0.0426	0.0003	4.11	0.0426

جدول ۲- پارامترهای واکنش تابعی لارو سن چهارم کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* نسبت به شپشک آردآلود مرکبات، *Planococcus citri* در دماهای مختلف

Table 2- Functional response parameters of fourth instar larvae of *Cryptolaemus montrouzieri* to *Planococcus citri* at different temperatures

دما (°C) Temperature	نرخ حمله (h) (a±SE)	محدوده‌ی اطمینان (CI) %۹۵	زمان دستیابی (h ⁻¹) (Th±SE)	محدوده‌ی اطمینان (CI) %۹۵	بیشترین نرخ شکارگری نظری (T/Th)	ضریب تبیین (r ²)
18	0.0229±0.0027	0.0175-0.0283	2.9273±0.3290	2.2686-3.5959	8.20	0.80
23	0.0228±0.0024	0.0179-0.0276	0.8331±0.2430	0.3520-1.3141	28.81	0.86
27	0.0206±0.0022	0.0161-0.0251	0.5480±0.2616	0.0244-1.0716	43.80	0.86
32	0.0343±0.0037	0.0268-0.0418	1.2106±0.1843	0.8417-1.5794	19.82	0.85
37	0.0779±0.0108	0.0563-0.0996	1.6625±0.1351	1.3921-1.9330	14.44	0.82

جدول ۳- رگرسیون لجستیک نسبت شپشک آردآلود مرکبات، *Planococcus citri* خورده شده توسط حشرات ماده‌ی کامل کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* در تراکم‌های متفاوت طعمه در دماهای مختلف

Table 3- Logistic regression of the proportion of *Planococcus citri* eaten by adult female of *Cryptolaemus montrouzieri* as a function of initial prey density at different temperatures

دما (°C) Temperature	پارامتر Coefficient	مقدار برآورد شده Estimate	خطای معیار SE	χ ²	P-value
18	عرض از مبدا Constant	0.1163	0.3526	0.11	0.7416
	قسمت خطی Linear	-0.0642	0.0459	1.68	0.1953
	درجه‌ی ۲ Quadratic	0.00060	0.0013	0.21	0.6467
23	عرض از مبدا Constant	3.3083	0.9731	11.56	0.0007
	قسمت خطی Linear	-0.6210	0.2553	5.91	0.0150
	درجه‌ی ۲ Quadratic	0.0340	0.0188	3.28	0.0700
27	درجه‌ی ۳ Cubic	-0.00061	0.0003	2.54	0.1109
	عرض از مبدا Constant	3.1018	0.9292	11.14	0.0008
	قسمت خطی Linear	-0.2633	0.2475	6.55	0.0105
32	درجه‌ی ۲ Quadratic	0.0346	0.0184	3.55	0.0596
	درجه‌ی ۳ Cubic	-0.00061	0.0003	2.63	0.1050
	عرض از مبدا Constant	0.2078	0.4204	27.58	0.0001
37	قسمت خطی Linear	-0.1833	0.0551	11.06	0.0009
	درجه‌ی ۲ Quadratic	0.0034	0.0014	5.85	0.0156
	عرض از مبدا Constant	3.3737	0.518	42.23	0.0001
37	قسمت خطی Linear	-0.2778	0.0646	18.48	0.0001
	درجه‌ی ۲ Quadratic	0.00529	0.0016	10.56	0.0012

می‌باشد. نوع واکنش تابعی و پارامترهای آن می‌تواند توسط عوامل مختلفی از قبیل گیاه میزبان، گونه‌ی شکار، دما، رطوبت نسبی، سن و جثه‌ی دشمن طبیعی تغییر کند (۲، ۳، ۳۰ و ۶۵). دما مهم‌ترین عامل محیطی می‌باشد که نشوونما (۸)، پویایی و نوسانات جمعیتی فصلی حشرات، کنه‌ها و دشمنان طبیعی آن‌ها (۲۴) را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دما همچنین علاوه بر تأثیر مستقیم روی فعالیت جستجوگری دشمنان طبیعی، با تأثیر روی فعالیت‌های مختلف آفات می‌تواند به صورت غیرمستقیم نرخ شکارگری دشمنان طبیعی را تحت تأثیر قرار دهد.

واکنش تابعی نوع سوم در تعداد کمی از کفشدوزک‌ها گزارش شده است. محصصیان و همکاران (۴۲) واکنش تابعی لارو سن سوم *C. montrouzieri* را نسبت به شپشک آردآلود مرکبات در دمای ۴۰ درجه‌ی سلسیوس از نوع سوم گزارش کردند. همچنین عبداللهی آهی و همکاران (۱) واکنش تابعی لارو سن چهارم کفشدوزک *C. montrouzieri* را روی پوره‌های سنین دوم و سوم شپشک آردآلود مرکبات از نوع سوم به دست آوردند. در کنترل بیولوژیک مطالعه‌ی واکنش تابعی قبل از رهاسازی دشمن طبیعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (۷). واکنش تابعی یکی از اجزای مهم پویایی شکارگری حشرات بوده و نوع آن یکی از عوامل مهم در انتخاب دشمن طبیعی مناسب برای استفاده در برنامه‌های کنترل بیولوژیک

جدول ۴- پارامترهای واکنش تابعی حشرات ماده‌ی کامل کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* نسبت به شپشک آردآلود مرکبات، *Planococcus citri* در دماهای مختلف

Table 4- Functional response parameters of adult female of *Cryptolaemus montrouzieri* to *Planococcus citri* at different temperatures

دما (°C) Temperature	نرخ حمله (h) (a±SE)	محدوده‌ی اطمینان ۹۵٪ (CI)	زمان دستیابی (h ⁻¹) (T _h ±SE)	محدوده‌ی اطمینان ۹۵٪ (CI)	بیشترین نرخ شکارگری نظری (T/T _h)	ضریب تبیین (r ²)
18	0.0332±0.0050	0.0232-0.0433	2.4747±0.3100	1.8542-3.0952	9.70	0.80
23	0.0701±0.0114	0.0473-0.0929	2.6196±0.2048	2.2096-3.0296	9.17	0.78
27	0.0518±0.0099	0.0319-0.0717	2.6371±0.2974	2.0419-3.2324	9.10	0.76
32	0.0716±0.0102	0.0511-0.0921	1.2996±0.1380	1.0233-1.5758	18.47	0.92
37	0.0948±0.0082	0.0782-0.1114	1.3394±0.0677	1.2040-1.4749	17.92	0.94

خواهد بود (۲۱ و ۶۳). در تحقیق حاضر نیز بیشترین مقدار نرخ حمله برای هر دو مرحله‌ی زیستی شکارگر در دمای بالا (۳۷ درجه‌ی سلسیوس) به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که افراد بالغ شکارگر در دماهای بالاتر (۳۲ و ۳۷ درجه‌ی سلسیوس) با داشتن نرخ حمله‌ی بیشتر و زمان دستیابی کوتاه‌تر، که از جنبه‌های مثبت شکارگری کفشدوزک در این دماها محسوب می‌شود، می‌تواند به خوبی فعالیت کرده و تراکم جمعیت آفت را کاهش دهد، همچنان که بیشترین نرخ شکارگری نظری این مرحله‌ی زیستی شکارگر نیز در این دماها محاسبه شد. در مقابل، بیشترین نرخ شکارگری نظری لارو سن چهارم شکارگر در دماهای ۲۳ و به ویژه ۲۷ درجه‌ی سلسیوس به دست آمد که به ترتیب ۳/۱۴ و ۴/۸۱ برابر مقادیر متناظر به دست آمده برای افراد بالغ شکارگر بود. این نتایج نشان دهنده‌ی تأثیر متفاوت دما روی واکنش رفتاری مراحل مختلف زیستی شکارگر نسبت به تغییر تراکم طعمه است.

بررسی‌های انجام شده در رابطه با تأثیر دما روی واکنش تابعی کفشدوزک‌ها شامل واکنش تابعی کفشدوزک *Adalia bipunctata* (L.) در سه دمای ۱۹، ۲۳ و ۲۷ درجه‌ی سلسیوس روی شته‌ی سبز هلو، *Myzus persicae* (Sulzer) (۲۷)، واکنش تابعی کفشدوزک *Agonoscena pistaciae* variegata روی پسیل پسته، Burckhardt and Lauterer در دو دمای ۲۵ و ۳۰ درجه‌ی سلسیوس (۵) و واکنش تابعی کفشدوزک *Coccinula elegantula* Weise روی شته‌ی جالیز، *Aphis gossypii* Glover در سه دمای ۱۸، ۲۵ و ۳۲ درجه‌ی سلسیوس (۵۳) نشان داده‌اند که تغییر دما تأثیری روی نوع واکنش تابعی این کفشدوزک‌ها نداشت و واکنش تابعی این‌ها در دماهای مورد آزمایش از نوع دوم بود. در این بررسی‌ها با افزایش دما نرخ حمله افزایش و زمان دستیابی کاهش یافت. هر چه نرخ حمله‌ی (a) دشمن طبیعی بیشتر و زمان دستیابی (T_h) آن کوتاه‌تر باشد اثرات جمعیتی آن روی آفت بیشتر بوده و در کنترل آفت موثرتر

جدول ۵- پارامترهای تخمین زده شده با معادله ترکیبی برای مقایسه نرخ حمله و زمان دستیابی لارو سن چهارم کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* نسبت به شیشک آردآلود مرکبات *Planococcus citri* در دماهای مختلف

Table 5- The estimated parameters using combined equation for comparison of attack rate and handling time of fourth instar larvae of *Cryptolaemus montrouzieri* to *Planococcus citri* at different temperatures

دما (°C) Temperature	پارامتر Parameter	برآورد Estimate	خطای معیار (SE)	محدوده اطمینان ۹۵ درصد Approximate 95% CI*	
				حد پایین Lower	حد بالا Upper
18-23	D_a	-0.00183	0.00439	-0.0105	0.00687
	D_{Th}	-2.4719	0.4962	-3.4547	-1.4892
18-27	D_a	-0.00225	0.00469	-0.0115	0.00705
	D_{Th}	-2.3331	0.5347	-3.3920	-1.2741
18-32	D_a	0.0104	0.00497	0.000534	0.0202
	D_{Th}	-1.9544	0.4684	-2.8823	-1.0266
18-37	D_a	0.0540	0.00976	0.0346	0.0733
	D_{Th}	-1.5025	0.5044	-2.5016	-0.5034
23-27	D_a	-0.00042	0.00376	-0.00786	0.00702
	D_{Th}	0.1389	0.3974	-0.6483	0.9261
23-32	D_a	0.0122	0.00452	0.00324	0.0212
	D_{Th}	0.5175	0.3181	-0.1127	1.1476
23-37	D_a	0.0558	0.0105	0.0350	0.0766
	D_{Th}	0.9694	0.3073	0.3607	1.5781
27-32	D_a	0.0126	0.00476	0.00319	0.0220
	D_{Th}	0.3786	0.3476	-0.3098	1.0670
27-37	D_a	0.0562	0.0109	0.0346	0.0778
	D_{Th}	0.8306	0.3372	0.1627	1.4984
32-37	D_a	0.0436	0.0109	0.0221	0.0651
	D_{Th}	0.4520	0.2362	-0.0158	0.9197

*Confidence Interval

P. citri به این نتیجه رسیدند که دماهای بالای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس برای نشوونما و تولیدمثل این شکارگر مناسب نیست. گلدسته و همکاران (۱۷) در بررسی اثر دماهای مختلف روی پارامترهای رشد جمعیت *P. citri* روی گیاه حسن یوسف گزارش کردند که کوتاهترین طول دوره‌ی قبل از بلوغ آفت در دماهای ۲۵ تا ۳۲ درجه‌ی سلسیوس (بدون اختلاف معنی‌دار) به دست آمد، ولی بیشترین مقدار r_m آفت در دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس به دست آمد. از سوی دیگر، بیشترین میزان فعالیت این آفت در نواحی مرکزی استان مازندران به طور معمول در اواخر خرداد و تیرماه است که میانگین دما بالای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس بوده و در این بازه‌ی زمانی کفشدوزک *C. montrouzieri* برای کنترل این آفت رهاسازی می‌شود (مشاهدات شخصی). بنابراین، به نظر می‌رسد بررسی جنبه‌های مختلف زیستی آفت و ویژگی‌های زیستی و شکارگری دشمن طبیعی با انجام آزمایش‌های همزمان و با یک جمعیت مشخص از شکار و شکارگر به ویژه در شرایط مزرعه‌ای بتواند نتایج جالب توجهی در این زمینه ارائه نماید.

در تمام دماهای مورد آزمایش، بیشترین مقدار نرخ حمله در مقایسه‌ی بین دو مرحله‌ی زیستی مورد بررسی شکارگر، مربوط به حشرات ماده‌ی کامل بود. با توجه به طول عمر حشره در هر یک از این دو مرحله و این که هر چه نرخ حمله‌ی یک شکارگر نسبت به شکارگر دیگر بیشتر باشد، آن شکارگر از کارایی بیشتری روی آن طعمه برخوردار خواهد بود، می‌توان این طور نتیجه گرفت که با وجود موثر بودن هر دو مرحله‌ی زیستی مورد مطالعه‌ی این شکارگر، حشرات ماده‌ی کامل کفشدوزک در مقایسه با لارو سن چهارم آن از توان شکارگری بالاتری به ویژه در دماهای بالاتر برخوردار است. نتایج مشابهی نیز توسط کائور و ورک (۳۳) و سلجوقی و همکاران (۵۶) به دست آمد. با توجه به زمان اوج فعالیت شیشک‌های آردآلود می‌توان انتظار داشت که استفاده از این کفشدوزک برای کنترل شیشک آردآلود مرکبات در فصول و مناطق گرم‌تر موفقیت بیشتری در پی داشته باشد. با این حال، توجه به سایر پارامترها و ویژگی‌های زیستی شکار و شکارگر در دماهای مختلف نیز بسیار مهم است. به عنوان مثال، مرتضوی ملکشا و همکاران (۴۳) در بررسی اثر دما روی پارامترهای زیستی کفشدوزک *C. montrouzieri* در تغذیه از

جدول ۶- پارامترهای تخمین زده شده با معادله‌ی ترکیبی برای مقایسه‌ی نرخ حمله و زمان دستیابی حشرات کامل کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* نسبت به شپشک آردآلود مرکبات *Planococcus citri* در دماهای مختلف

Table 6- The estimated parameters using combined equation for comparison of attack rate and handling time of adult female of *Cryptolaemus montrouzieri* to *Planococcus citri* at different temperatures

دما (°C) Temperature (°C)	پارامتر Parameter	برآورد Estimate	خطای معیار (SE)	محدوده‌ی اطمینان ۹۵ درصد Approximate 95% CI*	
				حد پایین Lower	حد بالا Upper
18-23	D_a	0.0233	0.0144	-0.00532	0.0518
	D_{Th}	0.0399	0.1480	-0.2531	0.3330
18-27	D_a	0.0186	0.0107	-0.00251	0.0397
	D_{Th}	0.1624	0.4417	-0.7124	1.0372
18-32	D_a	0.0383	0.0108	0.0169	0.0597
	D_{Th}	-1.1752	0.3912	-1.9500	-0.4004
18-37	D_a	0.0616	0.0105	0.0408	0.0824
	D_{Th}	-1.1352	0.2896	-1.7088	-0.5617
23-27	D_a	-0.0183	0.0156	-0.0491	0.0126
	D_{Th}	0.0175	0.3551	-0.6858	0.7209
23-32	D_a	0.00146	0.0162	-0.0306	0.0335
	D_{Th}	-1.3201	0.2705	-1.8558	-0.7843
23-37	D_a	0.0247	0.0140	-0.00299	0.0524
	D_{Th}	-1.2802	0.1987	-1.6737	-0.8866
27-32	D_a	0.0197	0.0143	-0.00865	0.0481
	D_{Th}	-1.3376	0.3398	-2.0105	-0.6646
27-37	D_a	0.0430	0.0137	0.0158	0.0702
	D_{Th}	-1.2977	0.2645	-1.8216	-0.7737
32-37	D_a	0.0233	0.0144	-0.00532	0.0518
	D_{Th}	0.0399	0.1480	-0.2531	0.3330

*Confidence Interval

جدول ۷- پارامترهای تخمین زده شده با معادله‌ی ترکیبی برای مقایسه‌ی نرخ حمله و زمان دستیابی لارو سن چهارم و حشرات ماده‌ی کامل کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* نسبت به شپشک آردآلود مرکبات *Planococcus citri* در دماهای مختلف

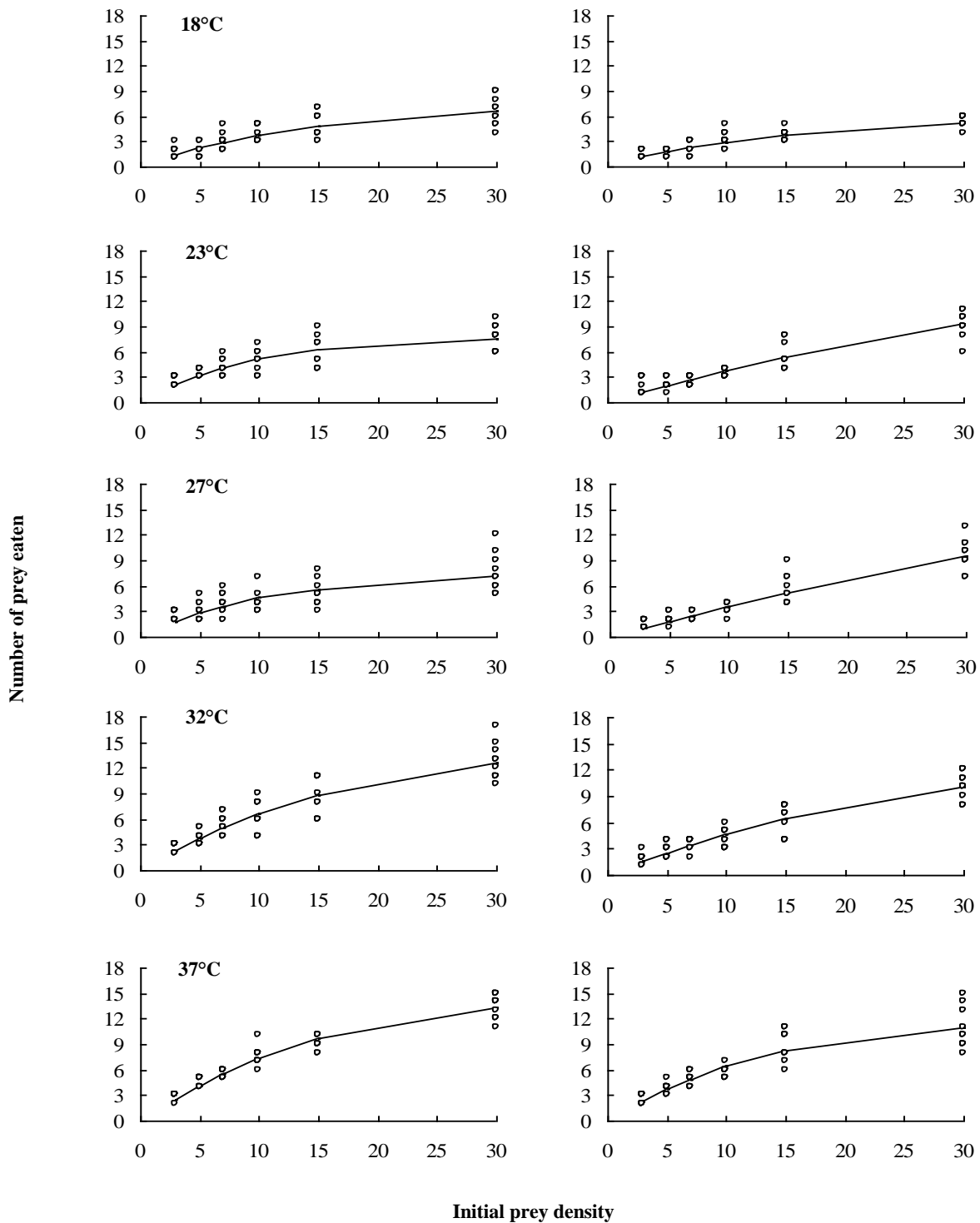
Table 7- The estimated parameters using combined equation for comparison of attack rate and handling time between fourth instar larvae and adult females of *Cryptolaemus montrouzieri* to *Planococcus citri* at different temperatures

تیمار (دما °C) Treatment (°C)	پارامتر Parameter	برآورد Estimate	خطای معیار (SE)	محدوده‌ی اطمینان ۹۵ درصد Approximate 95% CI*	
				حد پایین Lower	حد بالا Upper
لارو سن چهارم - حشره‌ی ماده‌ی کامل (۱۸) Fourth instar larvae-adult female (18)	D_a	0.00927	0.00571	-0.00205	0.0206
	D_{Th}	-0.6903	0.5118	-1.7040	0.3233
لارو سن چهارم - حشره‌ی ماده‌ی کامل (۲۳) Fourth instar larvae-adult female (23)	D_a	0.0480	0.0116	0.0249	0.0710
	D_{Th}	1.9265	0.3313	1.2702	2.5827
لارو سن چهارم - حشره‌ی ماده‌ی کامل (۲۷) Fourth instar larvae-adult female (27)	D_a	0.0301	0.00989	0.0105	0.0497
	D_{Th}	1.8051	0.4269	0.9597	2.6506
لارو سن چهارم - حشره‌ی ماده‌ی کامل (۳۲) Fourth instar larvae-adult female (32)	D_a	0.0372	0.0100	0.0173	0.0571
	D_{Th}	0.0890	0.2510	-0.4082	0.5861
لارو سن چهارم - حشره‌ی ماده‌ی کامل (۳۷) Fourth instar larvae-adult female (37)	D_a	0.0169	0.0140	-0.0108	0.0445
	D_{Th}	-0.3231	0.1436	-0.6074	-0.0387

*Confidence Interval

عوامل متعددی در شرایط مزرعه‌ای رفتار جستجوگری دشمنان طبیعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند که از آن جمله می‌توان به گیاهان میزبان مختلف، محدوده‌ی جستجوی وسیع، حضور طعمه‌های دیگر و رقابت با سایر دشمنان طبیعی اشاره کرد (۳۱ و ۴۶).

همچنین ذکر این نکته ضروری است که نتایج آزمایش‌های واکنش تابعی انجام شده در محیط‌های محدود آزمایشگاهی مانند ظروف پتری به تنهایی نمی‌تواند برای نشان دادن کارایی دشمنان طبیعی در شرایط مزرعه‌ای مورد استناد قرار گیرد (۳۲ و ۴۹)، چرا که



شکل ۱- منحنی‌های واکنش تابعی لاروهای سن چهارم (راست) و حشرات ماده‌ی کامل (چپ) کفشدوزک شکارگر *Cryptolaemus montrouzieri* نسبت به شپشک آردآلود مرکبات، *Planococcus citri* در دماهای مختلف نقاط و خطوط به ترتیب نشانگر مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده با مدل می‌باشند.

Figure 1. Functional response curves of fourth instar larvae (right) and adult females (left) of *Cryptolaemus montrouzieri* to the citrus mealybug, *Planococcus citri* at different temperatures
The points and solid lines represent the observed response and the model prediction, respectively.

آفات ضروری است. با این حال، مطالعات آزمایشگاهی می‌تواند برای نشان دادن برخی از برهم‌کنش‌های شکارگر-شکار که ممکن است در شرایط طبیعی به وقوع بپیوندد، مؤثر واقع شود.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد که بدین‌وسیله قدردانی می‌شود.

در شرایط ساده‌ی آزمایشگاهی، نرخ حمله‌ی شکارگر عمدتاً توسط رفتار تغذیه‌ای و در شرایط مزرعه‌ای توسط رفتار جستجوگری آن محدود می‌شود (۶۶). هم‌چنین، دشمنان طبیعی در اکوسیستم‌های کشاورزی با نوسانات دمایی متعددی مواجه هستند که به نوبه‌ی خود می‌تواند رفتار جستجوگری و فعالیت شکارگری آن‌ها را در ساعات مختلف روز تحت تأثیر قرار دهد (۴۵). بنابراین، انجام تحقیقات در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای و بررسی رفتار و توانایی کنترل آفت توسط یک شکارگر برای استفاده از آن در برنامه‌های کنترل بیولوژیک

منابع

- 1- Abdollahi Ahi G., Afshari A., Baniameri V., Dadpour Moghanloo H., Assadeh Gh., and Yazdani 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: 1-14. (In Persian)
- 2- 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: 39-43.
- 3- Amiri-Jami A.R., and Sadeghi-Namaghi H. 2014. Responses of *Episyrphus balteatus* DeGeer (Diptera: Syrphidae) in relation to prey density and predator size. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 17: 207-211.
- 4- Ardestani M., Toossi M., and Khaledi K. 2010. Surveying orange domestic marketing in North of Iran. *Agricultural Economics and Development* 18: 47-68. (In Persian)
- 5- Asghari F., Samih M.A., Mahdian K., Basirat M., and Izadi H. 2010. Functional response of *Hippodamia variegata* (Goeze), predator of common pistachio psylla, under laboratory conditions. P. 36. In Sh. Manzari (ed.) *Proceeding of 19th Iranian Plant Protection Congress, 1-3 Aug. 2010. Tehran, Iran.* (In Persian)
- 6- Atif J.Y.M., Naser K.S.A., Elsherif M.E., and Al-Humiari A.A. 2011. Functional response of the Adult predator of *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant), reared on the third nymphal instar of *Planococcus citri* (Risso). *Egyptian Journal of Pest Control* 21: 267-270.
- 7- Bernal J.S., Bellows T.S., and Gonzalez D. 1994. Functional response of *Diaeretiella rapae* (M'Intosh) (Hym.: Aphididae) to *Diuraphis noxia* (Mordvilko) (Hom.: Aphididae) hosts. *Journal of Applied Entomology* 118: 300-309.
- 8- Campbell A., Frazer B.D., Gilbert N., Gutierrez A.P., and Makauer M. 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology* 11: 431-438.
- 9- Delfosse E.S. 2005. Risk and ethics in biological control. *Biological Control* 35: 319-329.
- 10- Ding-Xu L., Juan T., and Zuo-Rui S. 2007. Functional response of the predator *Scolothrips takahashi* to howthorn spider mite, *Tetranychus viennensis*: Effect of age and temperature. *Biocontrol* 52: 47-67.
- 11- Emami M. S., Sahragard A., and Hajizade J. 1999. Effect of different temperatures on development of *Scymnus syriacus* (Col.: Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology and Phytopathology* 17:35-40.
- 12- Esmaeili, M. 2007. The most important pests of fruit trees. Publishing Center Sepehr. (In Persian)
- 13- Farhadi R., Allahyari H., and Juliano S.A. 2010. Functional response of larval and adult stages of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) to different densities of *Aphis fabae* (Hem.: Aphididae). *Environmental Entomology* 39(5): 1586-1592.
- 14- Flinn P.W., and Hagstrum D.W. 2002. Temperature-mediated functional response of *Theocolax elegans* (Hymenoptera: Pteromalidae) parasitizing *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat. *Journal of Stored Products Research* 38: 185-190.
- 15- Ghafoor A., Saba I., Khan S., and Farooq H. 2011. Predatory potential of *Cryptolaemus montrouzieri* for cotton mealybug under laboratory conditions. *Journal of Animal and Plant Sciences* 21: 90-93.
- 16- Gill H.K., Goyal G., and Gillett-Kaufman J. 2012. Citrus mealybug, *Planococcus citri* (Risso) (Insecta: Hemiptera: Pseudococcidae). EENY-537. Entomology and Nematology, Florida Cooperative Extension Service. University of Florida IFAS .
- 17- Goldasteh S., Talebi A.A., Fathipour Y., Ostovan H., Zamani A., and Vafaei Shoushtari R. 2009. Effect of temperature on life history and population growth parameters of *Planococcus citri* (Homoptera, Pseudococcidae) on coleus [*Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd.]. *Archives of Biological Science Belgrade* 61(2): 329-336.
- 18- Gotoh T., Nozawa M., and Yamaguchi K. 2004. Prey consumption and functional response of three acarophagous species to egg of the two-spotted spider mite in the laboratory. *Applied Entomology and Zoology* 39: 97-105.

- 19- Hassanpour M., Bagheri M., Golizadeh A., and Farrokhi S. 2016. Functional response of *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) to *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae): Effect of different host plants. *Biocontrol Science and Technology* 26: 1489-1503.
- 20- Hassanpour M., Maghami R., Rafiee Dastjerdi H., and Golizadeh A. 2015. Predation activity of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) upon *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae): Effect of different hunger levels. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 18: 297-302.
- 21- Hassell M. 1982. Patterns of parasitism by insect parasitoids in patchy environments. *Ecological Entomology* 7:365-377.
- 22- Hodek I., and Honek A. 1996. Ecology of coccinellidae. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, 464.
- 23- Holling C.S. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Canadian Entomologist* 91: 385-398.
- 24- Huffaker C., Berryman A., and Turchin P. 1999. Dynamics and regulation of insect populations. p. 269-305. In C.B. Huffaker et al. (ed.) *Ecological Entomology*. 2nd ed. Wiley, New York.
- 25- Imani Z., Shishebor P., and Mosadegh M.S. 2010. Functional response of *Stethorus gilvifrons* Mulsant (Col.: Coccinellidae) to different developmental stages of *Eutetranychus orientalis* (Acari: Tetranychidae). *Plant Protection* 33:1-10. (In Persian)
- 26- Jafari S., Fathipour Y., and Faraji F. 2012. The influence of temperature on the functional response and prey consumption of *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Entomological Society of Iran* 31(2): 39-52.
- 27- Jalali M.A., Tirry L., and De Clercq P. 2010. Effect of temperature on the functional response of *Adalia bipunctata* to *Myzus persicae*. *BioControl* 55: 261-269.
- 28- Jeschke J.M., Kopp M., and Tollrian R. 2004. Consumer- food systems: why type I functional responses are exclusive to filter feeders. *Biology Review* 79: 337-349.
- 29- Juliano S.A. 2001. Non-linear curve-fitting: predation and functional response curves, p. 178-196. In S.M. Scheiner et al. (ed.) *Design and Analysis of Ecological Experiments*. 2nd ed. Chapman and Hall, New York.
- 30- Kalinkat G., Schneider F.D., Digel C., Guill C., Bjorn C., Rall B.C., and Brose U. 2013. Body masses, functional responses and predator-prey stability. *Ecology Letters* 9: 1126-1134.
- 31- Kalyebi A., Overholt W.A., Schulthess F., Mueke J.M., and Hassan S.A. and Sithanonthan, S. 2005. Functional response of six indigenous trichogrammatid egg parasitoids (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Kenya: influence of temperature and relative humidity. *Biological Control* 32: 164-171.
- 32- Kareiva P. 1990. The special dimension in pest-enemy interaction. p. 213-227. In M. Mackauer et al. (ed.) *Critical Issues in Biological Control*. Intercept, Anover, Hants.
- 33- Kaur H., and Virk J.S. 2012. Feeding potential of *Cryptolaemus montrouzieri* against the mealybug *Phenacoccus solenopsis*. *Phytoparasitica* 40: 131-136.
- 34- Kontodimas D.C., and Stathas G.J. 2005. Phenology, fecundity and life table parameters of the predator *Hippodamia variegata* reared on *Dysaphis crataegi*. *BioControl* 50: 223-233.
- 35- Madadi H., Enkegaard A., Brodsgaard H.F., Kharrazi-Pakdel A., Ashouri A., and Mohaghegh-Neishabouri J. 2007. Host plant effects on the functional response of *Neoseiulus cucumeris* to onion thrips larvae. *Journal of Applied Entomology* 131: 728-733.
- 36- Mahdian K., Vantornhout I., Tirry L., and De Clercq P. 2006. Effects of temperature on predation by the stinkbugs *Picromerus bidens* and *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) on noctuid caterpillar. *Bulletin of Entomological Research* 96: 489-496.
- 37- Malkeshi S.H. 2010. Mass rearing of *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) with the farmers participation for biological control of mealybug, *Pseudococcus viburni* at tea orchards in Guilan and Mazandaran provinces. Iranian Research Institute of Plant Protection, Final report of project, approved number: 04-16-16-87088, 77.
- 38- McCoull C.J., Swain R., and Barnes R.W. 1998. Effect of temperature on the functional response and components of attack rete in *Naucoris congrex* Stal (Hemiptera: Naucoridae). *Australian Journal of Entomology* 37: 323-327.
- 39- Moayeri H.R.S., Madadi H., Pouraskar H., and Enkegaard A. 2013. Temperature dependent functional response of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Aphidiidae) to the Cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *European Journal of Entomology* 110: 109-113.
- 40- Moghaddam M. 2017. The scale insects of citrus in Iran. (Identification, Biology, Natural Enemies and Distribution). Iranian Research Institute of Plant Protection 179. (In Persian)
- 41- Mohajeri Parizi A., Madadi H., Allahyari H., and Mehrnejad M.R. 2010. Functional response of different life stages of *Hippodamia variegata* to 4th instar nymphs of *Aphis gossypii* under microcosm condition. p. 37. In Sh. Manzari (ed) *Proceeding of 19th Iranian Plant Protection Congress*, 31 Jul - 3 Aug. 2010. Tehran, Iran.
- 42- Mohasesian E., Ranjbar Aghdam H. and Pakyari H. 2015. Temperature-dependent functional response of mealybug destroyer, *Cryptolaemus montrouzieri* on citrus mealybug, *Planococcus citri*. *BioControl in Plant Protection* 2(2): 1-11. (In Persian with English abstract)

- 43- Mortazavi Malekshah S.A., Rahjbar Aghdam H., Khalaghani J., and Rezapannah M. 2015. Effect of temperature on life table parameters of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant feeding on citrus mealybug, *Planococcus citri* (Risso). Journal of Applied Researches in Plant Protection 4(2): 145-160. (In Persian with English abstract)
- 44- Mossadegh M.S., Eslamizadeh R., and Esfandiari M. 2008. Biological study of mealybug *Nipaecoccus viridis* (New.) and possibility of its biological control by *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant in citrus orchards of North Khuzestan. p. 35. In Sh. Manzari (ed) Proceeding of 18th Iranian Plant Protection Congress, 24-27 Aug. 2008. Hamedan, Iran.
- 45- Munyaneza J., and Obrycki J.J. 1994. Functional response of *Coleomegilla maculata* (Col.: Coccinellidae) to Colorado potato beetle eggs (Col.: Chrysomelidae). Biological Control 8: 215-224.
- 46- Murdoch W.W. 1973. The functional response of predators. Journal of Applied Ecology 14: 335-347.
- 47- Nazari A., Hajizadeh J., and Sahragard A. 2004. Functional response of *Exochomus nigromaculatus* (Col.: Coccinellidae) to different densities of *Aphis nerii* and *Aphis craccivora*. Entomology and Phytopathology 72:85-94. (In Persian)
- 48- Omkar O., and Pervez A. 2016. Ladybird Beetles. p. 281–310. In Omkar (ed) Ecofriendly Pest Management for Food Security. Academic Press.
- 49- O'Neil P.J. 1989. Comparison between laboratory and field measurements of the functional response of *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae). Journal of the Kansas Entomological Society 62: 148-155.
- 50- Pakyari H., Fathipour Y., Rezapannah M., and Kamali K. 2009. Temperature-dependent functional response of *Scolothrips longicornis* (Thysanoptera: Thripidae) preying on *Tetranychus urticae*. Journal of Asia-Pacific Entomology 12: 23-26.
- 51- Parajulee M.N., Phillips T.W., and Hogg D.B. 1994. Functional response of *Lyctocoris campestris* (F.) adults: effects of predator sex, prey species, and experimental habitat. Biological Control 4: 80-87.
- 52- Pervez A. and Omkar O. 2005. Functional response of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. Journal of Insect Science 5: 1-6.
- 53- Rahimi R., Mahdian K., and Shahidi Nouqani S. 2017. Effect of temperature on functional response of coccinellid (*Coccinula elegantula*) on *Aphis gossypii*. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 7: 125-134. (In Persian with English abstract)
- 54- Rogers D.J. 1972. Random search and insect population models. Journal of Animal Ecology 41:369-383.
- 55- Sadeghi A. 1991. An investigation on the coccinellids fauna of alfalfa fields and determination of species at Karaj. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
- 56- Saljoqi A.U.R., Nasir M., Khan J., Ehsan-Ul-Haq M., Salim M., Nadeem Z., Huma H., Saeed G., Ahmad B., and Sadur-Rehman Z. 2015. Functional response study of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) fed on cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley under laboratory conditions. Journal of Entomology and Zoology Studies 3: 411-415.
- 57- SAS Institute Inc. 2004. SAS/ STAT User's guide, version 9.1, vols 1 and 2. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- 58- Seko T., and Miura K. 2008. Functional response of the lady beetle *Harmonia axyridis* Pallas (Col.: Coccinellidae) on the aphid *Myzus persicae* Sulzer (Hom.: Aphididae). Applied Entomology and Zoology 43: 341-345.
- 59- Skrivin D.J., and Fenlon J.S. 2003. The effect of temperature on the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). Experimental and Applied Acarology 31: 37-49.
- 60- Sohrabi F., and Shishebor P. 2007. Functional and numerical response of *Stethorus gilvifrons* Mulsant feeding on strawberry spider mite, *Tetranychus turkestanii* Ugarov and Nikolski. Pakistan Journal of Biological Sciences 10: 4563-4566.
- 61- Solomon M.E. 1949. The natural control of animal population. Journal of Animal Ecology 18: 1-35.
- 62- Tazerouni Z., Talebi A.A., and Rakhshani E. 2012. Temperature-dependent functional response of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Diuraphis noxia* (Hemiptera: Aphididae). Journal of the Entomological Research Society 14: 31-40.
- 63- Van Alphen J.J.M., and Jervis M.A. 1996. Foraging behavior. p. 1-62. In M. Jervis et al. (ed.) Insect Natural Enemies, Practical Approaches to Their Study and Evaluation. Chapman and Hall, London, U.K.
- 64- van Lenteren J.C., and Baker K. 1976. Functional response in invertebrates. Netherlands Journal of Zoology 26: 567–572.
- 65- Vucic-Pestic O., Rall B.C., Kalinkat G., and Brose U. 2010. Allometric functional response model: body masses constrain interaction strengths. Journal of Animal Ecology 79: 249-256.
- 66- Wiedenmann R.N., and O'Neil R.J. 1991. Laboratory measurement of the functional response of *Podisus maculiventris* (Say) (Heteroptera: Pentatomidae). Environmental Entomology 20: 610-614.
- 67- Zamani A.A., Talebi A.A., Fathipour Y., and Baniameri V. 2006. Temperature-dependent functional response of two aphid parasitoids, *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae), on the cotton aphid. Journal of Pest Science 79: 183-188.

Temperature-dependent Functional Response of *Cryptolaemus montrouzieri* (Col.: Coccinellidae) to the Citrus Mealybug, *Planococcus citri* (Hem.: Pseudococcidae)

M. Hassanpour^{1*}- M. Moradi²

Received: 10-03-2019

Accepted: 30-09-2019

Introduction: The citrus mealy bug, *Planococcus citri* (Risso) is one of the major pests of citrus and many other orchards crops, as well as ornamental plants in subtropical and tropical regions of the world, including Iran. Due to the harmful effects of chemical pesticides on biological control agents and non-target organisms, along with developing resistance to various pesticides by the pests, there has been an increasing interest in integrating biological control methods in the pest management programs. The predatory ladybird, *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant is one of the most widely used biological control agents. It is an important natural enemy of many species of mealybugs such as *P. citri*. Functional response of a predator that refers to the number of prey consumed per predator as a function of a prey density is the important characteristic of predator-prey interactions. Temperature can affect the consumption behaviour of the predators. The aim of the present study is to evaluate the effects of temperature on the functional response of *C. montrouzieri* to different densities of *P. citri*. Improving our understanding about predator-prey interactions between *C. montrouzieri* and *P. citri* may be helpful to optimize biological control of the mealy bug.

Materials and Methods: The colony of *P. citri* was collected from bitter orange in Mehmansara region, Ghaemshahr, Mazandaran province, and was reared on pumpkin, *Cucurbita maxima*. The laboratory colony of *C. montrouzieri* was obtained from Baharan Dasht Sahel insectarium in Sari, Mazandaran province, and was reared on *P. citri*. The functional response experiments were performed with fourth instar larvae and adult females of *C. montrouzieri* to the adult female of *P. citri*. The experiments were conducted at the temperatures of 18, 23, 27, 32 and 37±1 °C, 60±10% RH and L16:D8 h. Prey in densities of 3, 5, 7, 10, 15 and 30 was offered to the predators. The predators used for the experiments were < 48 h old and were starved for 24 h before starting the tests. A single bitter orange leaf disc (3 cm²) was centred upside down in each ventilated Petri dish (10 cm diameter). Ten replicates were conducted for each prey density. After 24 h, the predators were removed from the experimental arena and the number of consumed prey was recorded and they were not replaced during the functional response tests. The type of the functional response was determined by logistic regression analysis (SAS/STAT, CATMOD-procedure) of the proportion of prey killed in relation to prey offered. To determine the type of functional response, the sign of the linear coefficient was estimated by the logistic regression. The negative sign is evident to a functional response type II, whereas a positive sign reveals a type III functional response. Parameters of attack rate and handling time were estimated using the PROC NLIN procedure of SAS and compared through the indicator variable method.

Results and Discussion: The logistic regression for fourth instar larvae and adult females of *C. montrouzieri* to *P. citri* at all temperatures showed a negative linear parameter and the proportion of prey eaten by the predators declined with increasing prey density. This suggested that fourth instar larvae and females of *C. montrouzieri* exhibited a type II functional response to change in *P. citri* density at all tested temperatures. The highest attack rate and lowest handling time of fourth instar larvae were estimated at 37 and 27 °C, respectively. Whereas the highest attack rate and lowest handling time of adult females were estimated at 37 and 32 °C, respectively. At the same temperature, the attack rate estimated for the adult female was higher than that of the larval instar of the predator, showing higher predation potential of adult female in compared to the fourth larval instar of the predator. Theoretical maximum attack rates (T/T_h) for fourth larval instar of the predator at above-mentioned temperatures were respectively estimated 8.20, 28.81, 43.80, 19.82 and 14.44 and for adult female predator were 9.70, 9.17, 9.10, 18.47 and 17.92, respectively.

Conclusion: Temperature affected significantly functional response parameters of fourth instar larvae and

1 and 2- Associate Professor and Ph.D. Student of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: hassanpour@uma.ac.ir)

adult females of *C. montrouzieri* to *P. citri* densities. Although the last instar larvae and adult females of *C. montrouzieri* showed high predation potential at all temperatures, adult females of the predator was more voracious compared to the last instar larvae of the predator especially at higher temperatures.

Keywords: *Cryptolaemus montrouzieri*, Functional response, *Planococcus citri*, Temperature