مقاله تحقیقی

مطالعه واکنش تابعی کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* (Col.: Coccinellidae) روی شپشک آردآلود مو *Planococcus ficus* (Hem.: Pseudococcidae)

طیبه اکبری[۱]، حسنعلی واحدی[۱]، محمد حیدری[۲]

۱-گروه گیاه‌پزشکی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲-گروه علوم بیولوژی، وای کالج، دانشگاه لندن، انگلستان

مسئول مکاتبات: طیبه اکبری، پست الکترونیک: akbari.tayebeh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۱۶ ۷(۲) ۱۲۷ -۱۳۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۶

چکیده

یکی از معیارهای مهم ارزیابی دشمن طبیعی در مهار زیستی، تعیین واکنش تابعی آن نسبت به تغییرات تراکم میزبان می‌باشد. شپشک آردآلود مو، *Planococcus ficus* (Signoret)، یکی از آفات مهم تاکستان‌ها در جهان است. کفشدوزک شکارگر *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant شناخته شده‌ترین دشمن طبیعی شپشک‌های آردآلود است. پژوهش حاضر برای تعیین نوع واکنش تابعی و قدرت جستجوی کفشدوزک یاد شده نسبت به شپشک آردآلود مو انجام شد. در این پژوهش واکنش تابعی لاروهای سن سوم و حشرات بالغ نر و ماده کفشدوزک یاد شده نسبت به تراکم‌های ۳، ۵، ۷، ۹ عددی حشرات کامل ماده شپشک به‌عنوان طعمه، در ۱۰ تکرار و در دمای ۱±۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ±۷۰ درصد و دوره نوری ۱۲:۱۲ (روشنایی: تاریکی) داخل ظروف پتری پلاستیکی به قطر۷/۵ و عمق یک سانتی‌متر و با درپوش منفذدار بررسی شد. تعداد شپشک‌های تغذیه شده در هر ظرف ثبت گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های واکنش تابعی با استفاده از نرم‌افزار SAS و به روش دو مرحله‌ای جولیانو انجام شد. در این بررسی منفی بودن شیب قسمت خطی منحنی درجه دو رگرسیون لجستیک در حشرات بالغ نر و ماده و در لارو سن سوم کفشدوزک، نشان دهنده واکنش تابعی از نوع دوم است. میزان قدرت جستجو (a) و زمان دستیابی (T_h) برای لاروهای سن سوم و حشرات بالغ نر و ماده کفشدوزک به‌ترتیب (۰/۶۹۲۲ بر ساعت و ۰/۹۵۴۹ساعت)، (۰/۴۹۰۱ بر ساعت و ۱/۳۵۴۲ ساعت) و (۰/۵۹۷۷ بر ساعت و ۱/۰۹۹۶ ساعت) بود. لارو سن سوم دارای قدرت جستجوی بیشتر و زمان دستیابی کمتری نسبت به حشرات بالغ نر و ماده بود.

واژه‌های کلیدی: زمان دستیابی، شپشک آردآلود مو، قدرت جستجو، مهار زیستی، واکنش تابعی

مقدمه

شپشک آردآلود مو، *Planococcus ficus* (Signoret)، آفتی پلی فاژ است که به گونه‌های مختلف انگور *Vitis vinifera* حمله می‌کند هم‌چنین دامنه وسیعی از گیاهان محصولات نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری و علف‌های هرز را آلوده می‌کند (Gutierrez *et al.*, 2008). این شپشک یکی از آفاتی است که در اکثر مناطق کشت مو ایران انتشار دارد و اولین بار توسط افشار در ارومیه گزارش شد (Kosari, 1324). اخیراً در استان کرمانشاه اولین بار توسط شیرازی ۱۳۹۰ روی چنار گزارش شد (Shirazi, 2011). این آفت به قسمت‌های مختلف گیاه از جمله برگ، میوه، ریشه، شاخه حمله کرده و از طریق مکیدن شیره گیاهی خسارت مستقیم ایجاد می‌کند. تراکم بالای جمعیت شپشک موجب ریزش برگ‌ها و آلودگی خوشه‌ها، ضعیف شدن درختچه‌ها و در نتیجه کاهش کمی و کیفی محصول می‌گردد و حتی در تراکم‌های پایین نیز به دلیل توانایی

انتقال بیماری‌های ویروسی می‌تواند عواقب اقتصادی زیان‌باری برای تولیدکنندگان داشته باشد (Skinkis *et al*., 2009). گزارش‌های زیادی مبنی بر توانایی شپشک آردآلود مو در انتقال بیماری ویروسی پیچیدگی برگ مو (Vine leaf roll virus) وجود دارد (Cabaleiro & Segura, 1997; Borgo & Michielini, 2000; Borbón *et al*., 2004). کفشدوزک Mulsant *Cryptolaemus montrouzieri* که در منابع علمی به نام Mealybug destroyer و Mealybug ladybird معرفی شده است به‌عنوان یکی از عوامل مهار زیستی دردنیا به صورت انبوه پرورش و در باغات آلوده به شپشک مرکبات رهاسازی می‌شود (Al–khateeb & Raine, 2001; Gkounti *et al*., 2015). نتایج مطالعات نشان می‌دهد کفشدوزک یادشده بهترین عامل مهارزیستی برای شپشک‌های (Green) *Maconellicoccus hirsutes* و Tinsley *Phenacoccus Solenopsis* و *planococcus* است (Risso) *citri* (Gautam *et al*., 1998; Kairo *et al*., 2000; Hodek & Honek, 1996; Saljoqi *et al*., 2015). کفشدوزک مذکور اولین بار در سال ۱۳۴۵ برای کنترل شپشک آردآلود مرکبات از کشور اسپانیا وارد ایران شد (Esmaeili, 2007).

واکنش تابعی پایه و اساس مطالعات شکارگری و پارازیتیسم در برنامه‌های کنترل بیولوژیک محسوب می‌شود و شامل مدت زمان در دسترس بودن طعمه برای شکارگر و زمان دست‌یابی به شکار توسط شکارگر می‌باشد (Holling, 1966). واکنش تابعی اولین بار توسط Solomon (1949) مطرح و به صورت رابطه بین تعداد طعمه مورد حمله قرار گرفته توسط یک شکارگر و تراکم طعمه تعریف شد. علت بکارگیری عنوان واکنش تابعی به دلیل این است که تعداد میزبان مورد حمله قرار گرفته توسط یک شکارگر تابعی از تراکم میزبان می‌باشد (Holling, 1959; Heidari and Copland, 1992). محاسبه واکنش تابعی یک شکارگر به عواملی مانند دما، نوع میزبان و کیفیت آن و دیگر عوامل داخلی و خارجی بستگی دارد (Waage & Greathead, 1988). انجام این گونه آزمایش‌ها را در یک زمان کوتاه و معمولا ۲۴ ساعت پیشنهاد کرده‌اند. با افزایش تراکم میزبان، هر گونه تغییری را روی درصد حمله شکارگران مطالعه کرده و نتیجه گرفته‌اند که هر قدر درصد حمله شکارگر و یا میزان پارازیتیسم بالاتر باشد آن شکارگر و یا پارازیتوئید موفق‌تر است و گزینه مناسبی برای انتخاب در یک پروژه مهار زیستی می‌باشد. به عقیده بسیاری از متخصصین که روی کارایی دشمنان طبیعی آفات مطالعه کرده‌اند توانایی واقعی عوامل کنترل بیولوژیک در کاهش جمعیت و خسارات آفات به زیر سطح زیان اقتصادی را نه تنها مربوط به واکنش تابعی و یا واکنش عددی (Numerical response) آن‌ها در تراکم‌های متفاوت میزبان می‌دانند بلکه توان بالای آنها در یافتن و تعقیب شکار به ویژه در جمعیت کم میزبان را نقش کلیدی دانسته‌اند زیرا در صورت فقدان چنین خاصیت مهمی، دشمن طبیعی قادر به پیدا کردن طعمه لازم برای افزایش جمعیت نبوده و عملکرد لازم را نخواهد داشت (Heidari & Copland, 1993).

واکنش تابعی کفشدوزک *C. montrouzieri* نسبت به تراکم‌های مختلف شپشک های مختلفی مانند شپشک آردآلود مرکبات *P. citri* (Atif *et al*., 2011, Abdolahi Ahi. 2010 ; Ghorbanian, 2009) و شپشک *P. Solenopsis* (Saljoqi *et al*., 2015) هم‌چنین شپشک *Planococcus minor* (Maskell)، (Lai & Chang, 2010). مورد مطالعه قرار گرفته است. در پژوهش‌های دیگری اثر دماهای مختلف بر روی واکنش تابعی *C. montrouzieri* نسبت به *P. citri* بررسی شده است (Mohasesian *et al*., 1393; Hassanpour & Moradi 2019). اما تاکنون در رابطه با واکنش تابعی این کفشدوزک روی شپشک آردآلود مو مطالعه‌ای صورت نگرفته است. از آن‌جا که رفتار شکارگری ممکن است در اثر عوامل مختلفی از قبیل گونه شکار، سن و جثه دشمن طبیعی و میزبان تغییر کند و هم‌چنین به منظور درک بیشتر فرآیند شکارگری این کفشدوزک با تغذیه از شپشک آردآلود مو و تعیین نوع واکنش تابعی و قدرت جستجوی آن، در این پژوهش واکنش تابعی حشرات بالغ نر و ماده و همچنین لارو سن سوم این کفشدوزک، به تراکم‌های مختلف حشرات کامل این شپشک بررسی شد، تا

زمینه‌های لازم برای مطالعات وسیع‌تر و کاربرد این شکارگر در برنامه های مهار زیستی شپشک آردآلود مو فراهم گردد.

مواد و روش ها

پرورش کفشدوزک کریپتولموس در آزمایشگاه

میزبان آزمایشگاهی کفشدوزک‌های *C. montrouzieri* در انسکتاریوم‌ها معمولاً شپشک آردآلود مرکبات است. طی بررسی‌های حیدری و همکاران (۲۰۰۰) در پرورش کفشدوزک کریپتولموس در انسکتاریوم‌ها، دو میزبان آزمایشگاهی کدو و سیب‌زمینی می‌توانند در تولید کفشدوزک مفید واقع شوند (Heidari *et al.*, 2000). سیب‌زمینی تنها پس از جوانه‌زدن، در طول سال قابل استفاده می‌باشد در صورتی که کدو مستقیماً قابل استفاده است ولی در فصل تابستان قابل تهیه نیست بنابراین باید از هر دو میزبان برای تداوم پرورش استفاده کرد. کلنی اولیه کفشدوزک‌ها و شپشک‌های آردآلود مرکبات از آزمایشگاه کنترل بیولوژیک شهرستان آمل وابسته به موسسهٔ تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور تهیه شدند. پس از انتقال به اتاق تکثیر، روی کدوها یا سیب‌زمینی‌های آلوده به شپشک آردآلود قرارگرفتند. به ازای هر یک عدد کدو یا چند عدد غدهٔ سیب‌زمینی یک تا دو جفت کفشدوزک کامل نر و ماده رهاسازی می‌شد و هر۵ تا ۶ روز یک بار یک یا دو عدد کدوی آلوده به شپشک (یا تعدادی غده‌ی سیب‌زمینی) به اتاق تکثیر منتقل و با کدوها یا سیب‌زمینی‌های قبلی جایگزین می‌شدند تا کفشدوزک‌ها به کمبود طعمه دچار نشوند.

پرورش شپشک آردآلود مو در آزمایشگاه

جمعیت اولیهٔ شپشک آردآلو مو از یکی از موستان‌های آلوده به این شپشک در کرمانشاه تهیه شد. سپس چند عدد گلدان مو تهیه شد و این شپشک ها روی آن‌ها رهاسازی گردید. گونه این شپشک با استفاده از کلید شناسایی (Danzig & Gavrilov, 2010; Williams & Moghaddam, 1999) به نام *P. ficus* تعیین شد. سپس برای پرورش آن‌ها از سیب‌زمینی‌های تازه جوانه‌زده و نیز کدو تنبل که عاری از هر گونه آلودگی بودند استفاده شد. ابتدا غده‌های سیب‌زمینی با اندازه‌های تقریباً مساوی انتخاب شدند. بدین ترتیب که سیب‌زمینی‌ها پس از شست و شو، برای جوانه زدن در محل تاریک و مرطوب قرار داده شدند. پس از اینکه جوانه‌های سفیدرنگ روی سیب‌زمینی‌ها ظاهر شدند، شپشک‌های *P. ficus* توسط یک قلم موی ظریف روی آن‌ها رهاسازی شده و در داخل ظروف پلاستیکی (به ابعاد ۳۵×۴۰×۲۵سانتیمتر) قرار داده شدند. شپشک‌ها در دمای ۱±۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۷۰ درصد و دوره روشنایی به تاریکی ۱۲:۱۲ ساعت نگه‌داری شدند. آن-ها از جوانه‌های تازه تغذیه کرده و پس از مدتی جمعیت آن‌ها افزایش یافت و کل جوانه‌ها را پوشاند. همچنین به دلیل راحتی کاربرد از کدو تنبل نیز بعنوان میزبان کمکی برای پرورش شپشک های مو استفاده شد. پس از مدتی شپشک‌های مو به خوبی روی آن‌ها مستقر شده و از آن‌ها برای تغذیه کفشدوزک‌ها و انجام آزمایش‌های مختلف استفاده شد. پرورش کفشدوزک‌ها بر روی شپشک مو تا سه نسل به‌منظور تثبیت کلنی ادامه یافت.

انجام آزمایش واکنش تابعی

ارزیابی واکنش تابعی توسط کفشدوزک‌هایی که سه نسل متوالی روی شپشک مو پرورش داده شده بودند، صورت گرفت. واکنش تابعی کفشدوزک شامل سه تیمار کفشدوزک‌های بالغ نر و ماده و لاروهای سن سوم بود. برای استاندارد نمودن شرایط آزمایش و اطمینان از تغذیه کفشدوزک‌ها از شپشک، قبل از انجام آزمایش کفشدوزک‌های بالغ نر و ماده برای مدت ۲۴ ساعت و همچنین لاروهای سن سوم برای مدت ۱۲ ساعت به طور انفرادی بدون دسترسی به شپشک، فقط با عسل ۱۰٪ تغذیه شدند. تراکم‌های مختلف شپشک که شامل تعداد ۳، ۵، ۷، ۹ شپشک ماده بالغ بودند، در اختیار هر یک از تیمارها قرار گرفتند. در هر یک از آزمایش‌ها کفشدوزک‌ها به طور انفرادی در داخل ظروف پتری پلاستیکی به قطر۷/۵ میلیمتر و عمق یک سانتی‌متر و با درپوش منفذدار حاوی یکی از تراکم‌های طعمه قرار گرفتند. برای تمام تیمارهای آزمایش

۱۰ تکرار در نظر گرفته شد. پس از ۲۴ ساعت تعداد شپشک مورد حمله قرار گرفته و خورده شده در هر ظرف زیر استرئومیکروسکوپ شمارش و داده‌های مربوط به هر تکرار به صورت جداگانه در جدول‌هایی ثبت شد. لازم به ذکر است که طی بررسی‌های پیش از آزمایش مشاهده شد که طی ۲۴ ساعت هر یک از مراحل کفشدوزک حداکثر حدود ۴ شپشک کامل ماده را مورد حمله قرار می‌دهند که این تعداد ممکن است به علت مواد مومی مترشحه از شپشک‌های ماده و همچنین جثه بزرگتر حشرات ماده شپشک نسبت به پوره‌ها باشد و طبیعتاً این موارد باعث می‌شود که کفشدوزک‌ها تعداد کمتری از آن‌ها را تغذیه کنند و به همین دلیل تراکم‌های بیشتری از شپشک‌های ماده مورد استفاده قرار نگرفتند. این آزمایش‌ها در داخل ژرمیناتور در دمای ۱±۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۷۵ درصد و دوره نوری ۱۲ساعت روشنایی و ۱۲ساعت تاریکی انجام گرفتند.

تجزیه داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های واکنش تابعی با استفاده از نرم افزار SAS, 1991 و به روش دو مرحله‌ای جولیانو (Juliano, 1993)در دو مرحله انتخاب مدل و تست فرضیه انجام شد.

تعیین نوع واکنش تابعی

انتخاب مدل عبارت است از شناسایی نوع واکنش تابعی به کمک رگرسیون لجستیک، که نسبت طعمه‌های شکارشده (Na) به تعداد طعمه‌های در دسترس (Nt) می‌باشد. داده‌های حاصل از آزمایش با یک معادله درجه ۳ رگرسیون لجستیک برازش یافتند. یک منحنی چندجمله‌ای شامل سه بخش خطی، درجه دو و سه به دست آمد. علامت مثبت یا منفی قسمت خطی Na/Nt بدون توجه به علامت دو قسمت دیگر نشانگر واکنش تابعی نوع دوم یا سوم می‌باشد (Juliano, 1993). مثبت بودن شیب به معنی نوع سوم واکنش تابعی و منفی بودن آن نشان‌دهنده واکنش تابعی نوع دوم بود.

برآورد پارامترهای واکنش تابعی

بعد از تعیین نوع واکنش تابعی، داده‌های به دست آمده با استفاده از روش CATMOD در رگرسیون غیرخطی در نرم‌افزار SAS برازش یافتند و پارامترهای قدرت جستجو (a) و زمان دستیابی (T_h) برآورد شدند. در همه آزمایشات حداکثر میزان شکارگری برآورد شده در وضعیت‌های مختلف آزمایش، از نسبت کل زمان آزمایش به زمان دستیابی طعمه (T/T_h) محاسبه شد و مورد مقایسه قرار گرفت. برای واکنش تابعی، چون طعمه‌ها جایگزین نشد داده‌های به دست آمده با مدل دوم پیشنهادی راجرز (Rogers,1972) برای واکنش تابعی نوع دوم برازش شدند.

$$N_a = N_t\{1- \exp[a(T_hN_a -T)]\}$$

که در این مدل N_a تعداد طعمه‌های مورد تغذیه قرار گرفته، Nt تراکم اولیه طعمه، a قدرت جستجوگری شکارگر، T کل زمان موجود برای جستجو، Th زمان دستیابی به طعمه می‌باشد. به طور کلی، پارامترهای a و T_h در تحقیقات جنبه مقایسه‌ای داشته و برای مقایسه میزان تأثیر تراکم شکار بر روی رفتار شکارگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. قدرت جستجو (a) عبارتست از نسبت میزبان‌های خورده شده (پارازیته شده در مورد پارازیتوئیدها) به تعداد میزبان‌های موجود در محیط در واحد زمان جستجو است. قدرت جستجو معیاری از کارایی دشمن طبیعی در پیدا کردن میزبان تلقی می‌شود. زمان دستیابی عبارتست از مدت زمانی که پارازیتوئید صرف پارازیته کردن میزبان (گرفتن، کشتن و خوردن در شکارگر)، تمیز کردن خود و استراحت می‌نماید. زمان دستیابی بر اساس عقیدهٔ هولینگ (Holling, 1966)، مدت زمانی است که یک شکارگر نیاز دارد تا طعمه را مورد تعقیب قرار دهد، آن‌را کشته و بخورد و هضم نماید، اما بر اساس عقیدهٔ Hassell (1978) زمان دستیابی فاصله زمانی برای تصمیم‌گیری برای شکار می‌باشد. تعیین تعداد میزبان‌های خورده شده در هر روز برای تعیین تراکم‌های بالای میزبان مفید است (Hassell, 1978; Holling, 1959). هر چه زمان دستیابی پایین‌تر

باشد یعنی شکارگر زمان کمتری را به تمیز کردن و استراحت و دیگر موارد اختصاص می‌دهد و این عامل می‌تواند ویژگی مطلوب یک شکارگر باشد.

نتایج

برای تعیین نوع واکنش تابعی، شیب قسمت خطی منحنی درجه سه رگرسیون لجستیک (*N0*) مورد توجه قرار گرفت. پارامترهای حاصل از برقراری رگرسیون لجستیک برای سه قسمت منحنی (خطی، درجه دو و درجه سه) در جدول شماره ۱ ارایه شده است. در این بررسی شیب قسمت خطی منحنی، هم در حشرات بالغ نر و ماده و هم در لارو سن سوم کفشدوزک منفی بود که نشان دهنده واکنش تابعی از نوع دوم است. یعنی کفشدوزک *C. montrouzieri* در تراکم‌های مختلف میزبان، وابسته به عکس تراکم عمل می‌کند و با افزایش تراکم میزبان، تعداد میزبان‌های مورد حمله قرار گرفته افزایش می‌یابد اما این افزایش به‌صورت خطی نبوده و به تدریج از شیب منحنی کاسته می‌شود تا به یک مقدار ثابت برسد. میانگین پارامترهای حاصل از برازش منحنی‌های واکنش تابعی لاروهای سن سوم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک با مدل راجرز در جدول ۲ آمده است. میزان قدرت جستجو و زمان دستیابی برای لاروهای سن سوم و حشرات بالغ نر و ماده کفشدوزک به ترتیب (۰/۶۹۹۲ بر ساعت و ۰/۹۵۴۹ ساعت)، (۰/۴۹۰۱ بر ساعت و ۱/۳۵۴۲ ساعت) و (۰/۵۹۷۷ بر ساعت و ۱/۰۹۹۶ ساعت) محاسبه شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که قدرت جستجوی لاروهای سن سوم کفشدوزک نسبت به حشرات بالغ نر و ماده بیشتر است و همچنین زمان دستیابی آن‌ها نسبت به حشرات بالغ نر و ماده کمتر است.

میزان ضریب تبیین (R^2) رگرسیون داده‌های بدست آمده از آزمایش واکنش تابعی، نشان می‌دهد که این مدل‌ها به خوبی توانسته داده‌های مربوط به واکنش تابعی را توصیف کرده و برآورد خوبی برای پارامترهای a و T_h ارائه دهد. در تمامی آزمایشات میزان R^2 بالای ۰/۹۵ بود که نشانگر برازش خوب داده‌ها با این مدل‌ها است. نسبت زمان آزمایش به زمان دستیابی نشان‌دهنده حداکثر میزان شکارگری برآورد شده است که این مقدار نیز در جدول ۲ آمده است. منحنی‌های تعداد و درصد طعمه‌های خورده شده توسط لاروهای سن سوم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک در تراکم‌های مختلف حشرات ماده شپشک آردآلود مو در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ آمده است.

جدول ۱– برآورد پارامترهای حاصل از رگرسیون لجستیک برای تعیین نوع واکنش تابعی کفشدوزک، *Cryptolaemus montrouzieri* نسبت به تراکم‌های شپشک آردآلود مو، *Planococcus ficus*

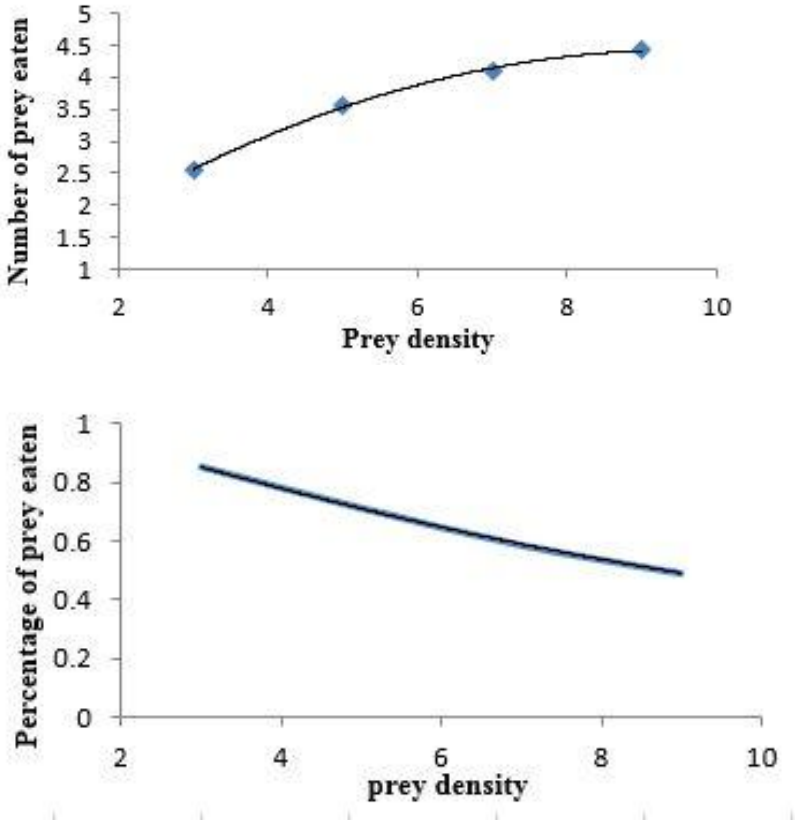
Table 1. Estimation of the parameters of the logistic regression, in order to determine the type of functional response of *Cryptolaemus montrouzieri* on adult female vine mealy bug *Planoccocus ficus*

Predator life stage	SE	Estimate	Coefficient
Adult female	1.4128	14.9141	Constant
	2.0048	–6.0014	Linear (NO)
	0.6459	0.8162	Quadratic (NO_2)
	0.0334	–0.0370	Cubic (NO_3)
Adult male	1.4128	5.8010	Constant
	0.3307	–1.5891	Linear (NO)
	0.00	0.1193	Quadratic (NO_2)
	0.0023	–0.0018	Cubic (NO_3)
3rd instar larvae	1.8213	5.8074	Constant
	0.5779	–1.8152	Linear (NO)
	0.0434	0.2037	Quadratic (NO_2)
	0.00	–0.0084	Cubic (NO_3)

جدول ۲– پارامترهای واکنش تابعی کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* به تراکم‌های مختلف حشرات ماده شپشک آردآلود مو با استفاده از مدل واکنش تابعی نوع دوم (راجرز)

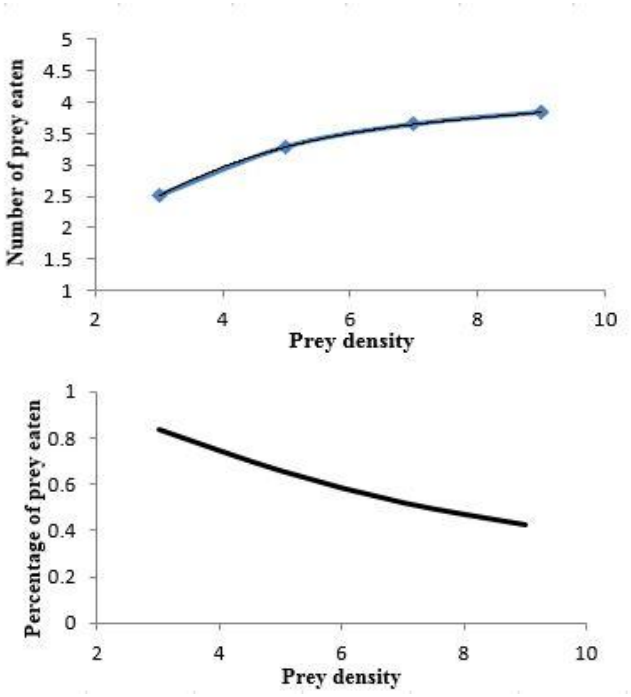
Table 2. Functional response parameters of *Cryptolaemus montrouzieri* to different densities of adult female vine mealy bug by using Rogers functional response model (type II)

Predator life stage	(R^2)	(T/T_h)	(T_h)	(a)
Female	0.9763	21.83	1.0996	0.5977
Male	0.9754	17.72	1.3542	0.4901
3rd instar larvae	0.9783	25.13	0.9549	0.6922



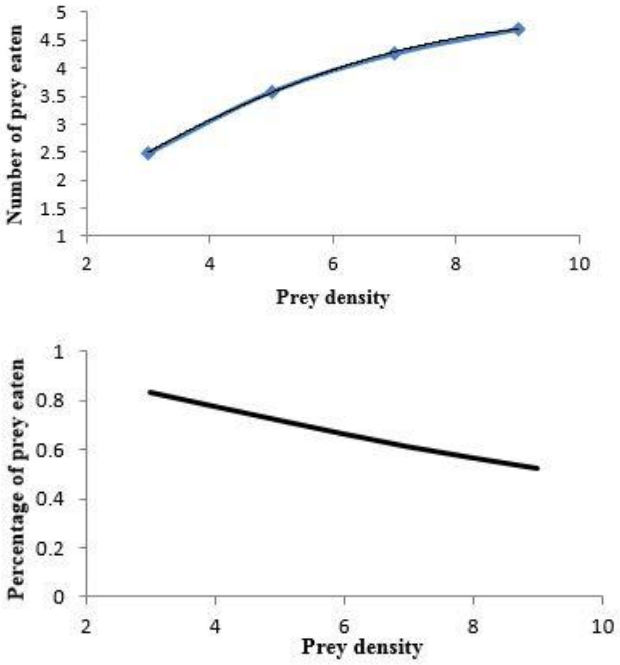
شکل ۱– منحنی‌های واکنش تابعی، تعداد طعمه خورده شده (بالا) و درصد شکار (پایین) حشرات ماده کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* روی شپشک آردآلود مو *Planococcus ficus*

Fig. 1. Functional response curves (above) and hunting percentage (down) of female *C. montrouzieri* on vine mealybug *Planococcus ficus*



شکل ۲– منحنی‌های واکنش تابعی، تعداد طعمه خورده شده (بالا) و درصد شکار (پایین) لارو سن سوم کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* روی شپشک آردآلود مو *Planococcus ficus*

Fig. 2. Functional response curves (above) and percentage hunting (down) 3rd instar larvae of *C. montrouzieri* on vine mealybug *Planococcus ficus*



شکل ۳– منحنی‌های واکنش تابعی، تعداد طعمه خورده شده (بالا) و درصد شکار (پایین) حشرات نر کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* روی شپشک آردآلود مو *Planococcus ficus*

Fig. 3. Functional response curves (above) and percentage of hunting (down) male adult *C. montrouzieri* on vine mealybug *Planococcus ficus*

بحث

در موارد بسیاری واکنش تابعی بی‌مهرگان شکارگر در بیشتر مراحل زندگی آن‌ها، از نوع دوم گزارش شده است (Jervis & Kidd, 1996). گر چه حشرات شکارگر یا پارازیتوئید دارای واکنش تابعی نوع سوم از کارایی به مراتب بیشتری برخوردار هستند، واکنش تابعی نوع سوم در تعداد کمی از کفشدوزک‌ها گزارش شده است. براساس تحقیقاتی که روی واکنش تابعی *C. montrouzieri* با تغذیه از شپشک *P. citri* (Abdolahi Ahi, Ghorbanian, 2009; Hassanpour & Moradi, 1398; 2010) و روی شپشک *P. Solenopsis* (Saljoqi *et al*., 2015) و همچنین شپشک *P. minor* (Lai & Chang, 2010) صورت گرفته است، در بسیاری از مراحل نشو و نمو واکنش تابعی این کفشدوزک، از نوع دوم گزارش شده است اما در مواردی در برخی از مراحل نشو ونمای آن‌ها داشتن نوع سوم واکنش تابعی نیز گزارش شده است. به‌عنوان مثال، گرچه Lai & Chang (2010) واکنش تابعی مراحل مختلف رشدی کفشدوزک کریپتولموس را نسبت به تخم، پوره سن سوم و حشره کامل ماده شپشک آردآلود *M. hirsutus* از نوع دوم گزارش نمودند از طرف دیگر آن‌ها واکنش تابعی حشرات کامل نر و مادهٔ کفشدوزک کریپتولموس را نسبت به پوره سن سوم و شپشک‌های ماده کامل *P. minor* از نوع سوم گزارش نمودند. بر اساس تحقیقات دیگری عبداللهی‌آهی و همکاران اثر سن طعمه و شکارگر را بر روی نوع واکنش تابعی مثبت دانستند و ثابت کردند که اگرچه واکنش تابعی *C. montrouzieri* روی حشرات بالغ ماده شپشک از نوع دوم است اما واکنش تابعی لاروهای سن چهارم بر روی پوره های سن دو و سه را از نوع سوم گزارش کردند (Abdolahi Ahi, 2010). محصصیان و همکاران (۱۳۹۳) نیز اثر دما را روی نوع واکنش تابعی و قدرت جستجوگری *C. montrouzieri* با تغذیه از شپشک *p. citri* بررسی نمودند و ثابت کردند که در دمای ۴۰ درجه سلسیوس واکنش تابعی لاروهای سن سوم *C. montrouzieri* نسبت به پوره‌های شپشک آردآلود مرکبات از نوع سوم است (Mohasesian *et al*., 1393).

همچنین حسن پور و مرادی (۱۳۹۸) در پژوهشی، اثر دماهای مختلف (از دمای ۱۸تا ۳۷ درجهٔ سلسیوس) را بر روی واکنش تابعی و میزان کاوشگری حشرات کامل ماده و نر و لارو سن چهارم کفشدوزک *C. montrouzieri* را با تغذیه از حشرات مادهٔ شپشک آردآلود مرکبات بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند که واکنش تابعی کفشدوزک کریپتولموس در مراحل حشرات کامل نر و ماده و نیز لارو سن سوم در دماهای مختلف، از نوع دوم است (Hassanpour & Moradi, 1398). در همین راستا، نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که واکنش تابعی کفشدوزک کریپتولموس در مراحل حشرات کامل نر و ماده و نیز لارو سن سوم با تغذیه از ماده بالغ شپشک آردآلود مو، از نوع دوم است. با نتایج به دست آمده توسط پژوهشگران یاد شده مطابقت دارد.

بر اساس مطالعات سلجوقی و همکاران (۲۰۱۵)، قدرت شکارگری و نرخ جستجوگری حشرات مادهٔ کفشدوزک *C. montrouzieri* با تغذیه از شپشک *P. solenopsis* بیش‌تر از سایر مراحل زندگی کفشدوزک است (Saljoqi *et al*., 2015). در پژوهش حسن پور و مرادی (۱۳۹۸) در تمام دماهای مورد آزمایش، حشرات کامل ماده کفشدوزک در مقایسه با لارو سن چهارم از توان شکارگری بالاتری به ویژه در دماهای بالاتر برخوردار بودند (Hassanpour & Moradi, 1398). تحقیقات دیگری ثابت کرده است که مراحل بالغ این کفشدوزک نسبت به لاروهای آن تاثیر بیشتری در کنترل دارند. و دلیل منطقی آن را بزرگتر بودن جثه حشرات بالغ و در نتیجه ولع بیشتر آن‌ها دانسته‌اند (Kaur & Virk 2012). محصصیان و همکاران (۱۳۹۳) نیز مراحل بالغ این کفشدوزک و همچنین لاروهای سن سوم را موثر دانسته‌اند (Mohasesian *et al*., 1393). نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که قدرت جستجوی لاروهای سن سوم کفشدوزک نسبت به حشرات بالغ نر و ماده بیشتر است و همچنین زمان دستیابی آن‌ها نسبت به حشرات بالغ نر و ماده کمتر است و این ویژگی خوبی برای یک شکارگر است. با توجه به اینکه هر چه قدرت جستجوگری 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 سه مرحلهٔ زیستی مورد مطالعهٔ این شکارگر، لاروهای سن سوم کفشدوزک در مقایسه با حشرات کامل نر و ماده از توان شکارگری بالاتری برخوردار هستند. بنابراین، بر اساس نتایج پژوهش محققان مختلف، می‌توان اظهار نمود که نوع واکنش تابعی و مقادیر قدرت جستجوگری و زمان دستیابی به طعمه بر حسب مرحله رشدی و گونه طعمه، گیاه میزبان، گونه شکار، دما، رطوبت نسبی، سن و جثه دشمن طبیعی متفاوت می‌باشد. نتایج تحقیقات پژوهشگران ذکر شده، مبنی بر نوع سوم بودن واکنش تابعی این کفشدوزک برروی پوره‌های سنین مختلف، در موارد متعددی گویای این واقعیت است که میزان تغذیه مراحل مختلف کفشدوزک از پوره های شپشک ها بیشتر از حشرات کامل ماده آن‌هاست که احتمالا این اتفاق به دلیل مواد مومی مترشحه و بزرگی جثه شپشک‌های ماده می افتد. پس می‌توان نتیجه گرفت که این کفشدوزک‌ها، کنترل بیشتر و مؤثرتری روی پوره های شپشک‌ها دارند و این نکته بایستی در مورد زمان رهاسازی کفشدوزک *C. montrouzieri* مورد توجه قرار گیرد تا نتایج چشمگیرتری در مهار زیستی شپشک‌های آردآلود به دست آید.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول مقاله است و با مساعدت‌های آزمایشگاه کنترل بیولوژیک آمل وابسته به مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور انجام گرفته است که بدین وسیله از زحمات و همکاری مسئولین محترم این بخش، همچنین جناب آقای دکتر حسین رنجبراقدم به دلیل راهنمایی‌های بی‌دریغشان در پیشرفت این پژوهش تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

Abdolahi–Ahi, Gh. 2010. Functional Response of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Col.; Coccinellidae) to Citrus Mealybug, *Planococcus citri* (Risso) (Hom.; Pseudococcidae) Under Laboratory Conditions. M.Sc. thesis of agricultural entomology. Plant Protection Department, Gorgan University, 124 pp.

Al–Khateeb, N. & Raie, A. 2001. A study of some biological parameters of the predator *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant introduced to *Planococcus citri* (Risso) in Syria, and estimate of its predation rate in the laboratory. Plant Protection, 19(2): 131–134.

Atif, J.Y.M., Naser, K.S.A., Elsherif, M.E. & 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

Borbón, M. de Gracia, O. & Gómez Talquenca, G.S. 2004. Mealybugs and grapevine leafroll–associated virus 3 in vineyards of Mendoza, Argentina. American Journal of Enology and Viticulture, 55(3): 283–285.

Borgo, M. & Michielini, C. 2000. Natural spread of grapevine leafroll on varieties and biotypes of *Vitis vinifera.* Rivista di Viticoltura e di Enologia, 53(4): 3–13.

Cabaleiro, C. & Segura, A. 1997. Field transmission of grapevine leafroll associated Virus 3 (GLRa V–3) by the mealybug *Planococcus citri*. Plant Disease, 81: 283–287.

Danzig, E.M. & gavrilov, I.A. 2010. Mealybugs of the genera Planococcus and Crisicoccus (Sternorrhyncha: Pseudococcidae) of Russia and adjacent countries. Zoosystematica Rossica, 19(1): 39–49

Esmaeili, M. 2007. The most important pests of fruit trees. Publishing Center Sepehr, Pp 578. (In Persian with English summary)

Gautam, R.D., Chi, W.D. & Lessey, M. 1998. Preliminary studies on inoculative releases of Australian beetle *Crypto–laemus Montrouzieri* Mulsant and another Indian ladybird, *Scymnus coccivora* Aiyar against pink mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* Green at point Fortin. Proceedings of the First Symposium on the Hibiscus Mealybug (Centeno, Trinidad and Tobago), 25–29.

Ghorbanian, S. 2009. Study of biology and predator performance *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Col.Coccinellidae) on Citrus Mealybug control. MSc. Thesis, Tehran University Campus Aboureihan, 102 pages. (In Persian with English summary)

Gkounti, V.T., Savopoulou–Soultani, M. & Milonas, P.G. 2015. Intra–and interspecific interactions between *Nephus includes* and *Cryptolaemus montrouzieri*. Journal of Applied Entomology, 139: 647–653.

Gutierrez**,** A. P., Daane, K.M., Ponti, L., Walton, V. M. & Ellis. K. 2008. Prospective evaluation of the biological control of vine mealybug: refuge effects and climate. Journal of Applied Ecology, 45: 524–536

Hassanpour, M. & Moradi, M. 2019. Temperature–dependent functional response of *Cryptolaemus montrouzieri* (Col.: Coccinellidae) to the Citrus Mealybug, *Planococcus citri* (Hem.: Pseudococcidae). Journal of Plant Protection, 33(3): 267–280.

Hassell, M. P. 1978. The dynamics of arthropod predator–prey systems. Princeton, NJ: Princeton University Press, 237 pp.

Heidari, H., Aghajan–zadeh, S. & Ardeh, J. 2000. Additional studies on *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant and its breeding hosts. Final report of the Iranian Plant Protection Research Institute. 9 pages.

Heidari, M. & Copland, M.J.W. 1992. Host finding by *Cryptolaemus montrouzieri* (Col., Coccinellidae), a predator of mealybugs (Hom.: Pseudococcidae). Entomophaga, 37:621–625.

Heidari, M. & Copland, M.J.W. 1993. Honeydew: a food resource or arrestant for the mealybug predator *Cryptolaemus montrouzieri*. Entomophaga, 38(1), 63–68.

Hodek, I. & Honek, A. 1996. Ecology of Coccinellidae. Kluwer Academic Publishers, 464 pp.

Holling, C. S. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. Canadian Entomology, 91: 385–398.

Holling, C. S. 1966. The functional response of invertebrate predators to prey density. Canadian Entomology, 48: 1–86.

Jervis, M. & Kidd, N. 1996. Insect Natural Enemies: Practical Approaches to their Study and Evaluation. Chapman and Hall, London, 491pp.

Juliano, S.A. 1993. Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. In‘‘Design and Analysis of Ecological Experiments’’ (S. M. Scheiner and J. Gurevitch, Eds.), Chapman and Hall, New York, pp. 159–182.

Kairo, M.T.K, Pollard, G.V., Peterkin, D.D. & Lopez, V.F. 2000. Biological control of the hibiscus mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* Green (Hemiptera: Pseudococcidae) in the Caribbean. Integrated Pest Management Reviews, 5: 241–254.

Kaur, H., & Virk, J.S. 2012. Feeding potential of *Cryptolaemus montrouzieri* against the mealybug *Phenacoccus solenopsis*. Phytoparasitica, 40: 131–136.

Kosari, M. 1324. Scale insects in Iran. Ministry of Agriculture (from the General Directorate of Pest Management). Ministry of Agriculture Printing House, Tehran, 39p. (In Persian with English summary).

Lai, W.H., and Chang, N.T. 2010. Lady bugs (*Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant)) (Col.; Coccinellidae) Life history, population parameters, and predationof *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) (Col.; Coccinellidae). Available at:http://tve.npust. edu.te

Mohasesian, E., Ranjbar Aghdam, H. & Pakyari H. 2015. Temperature–dependent Functional Response of *Cryptolaemus montrouzieri* (Col.: Coccinellidae) on Citrus Mealybug, *Planococcus citri* (Hem.: Pseudococcidae). Journal of BioControl in Plant Protection, 2 (2): 1–11. (In Persian with English summary)

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

Saljoqi, A.U.R., Nasir, M., Khan, J., Ehsan–Ul–Haq, M., Salim, M., Nadeem, Z., Huma, H., Saeed, G., Ahmad, B. & Sadur–Rehman, Z. 2015. Functional response study of *Cryptolaemus Montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) fed on Cotton mealy bug, *Phenacoccus Solenopsis* Tinsley under Laboratory Conditions. Journal of Entomology and Zoology Studies, 3(3): 411–415.

Shirazi, M. 2011. Checkscales of shady treesin Kermanshah. MSc Thesis. Kermanshah Razi University, 132 pages. (In Persian with English summary)

Skinkis, P., Dreves, A., Walton, V.M. & Martin, R.R. 2009. Field monitoring for grapevine leafroll virus and mealybug in pacific northwest vineyards. furtherance of the acts of congress. http://extension.oregonstate.edu/ (Hemiptera: Pseudococcidae), a key pest in South African vineyards. A review. SouthAfrican Journal of Ecology and Viticulture, 25(2): 54–62.

Solomon, M.E. 1949. The natural control of animal populations. Journal of Animal Ecology, 18: 1 –35.

Waage, J. D. & Greathead, D. 1988. Biological control: Challenges opportunities. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, 318: 111–126.

Williams, D.J. & Moghaddam, M. 1999. Mealybugs species of the genus *Planococcus Ferris* in Iran (Hom.: Coccoidea; Pseudococcidae) with discussion of *P.vovae* Nasonov. Journal of Entomological Society of Iran, 18(1, 2): 32.

Functional response of mealybug ladybird, *Cryptolaemus montrouzieri* (Col.: Coccinellidae) on *Planococcus ficus* (Hem.: Pseudococcidae)

Tayebeh Akbari[1], Hassanali Vahedi[1], Mohammad Heidari[2]

1. Department of Plant Protection, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Department of Biological Science, Wye College, University of London, England

Corresponding author: Tayebeh Akbari, akbari.tayebeh@yahoo.com

Received: July, 06, 2020 7(2) 127-137 Accepted: Sept., 06, 2020

Abstract

One of the parameters used in natural enemies evaluation is functional response studies to predict the efficacy of the predator in biological control programs. The vine mealybug, *Planococcus ficus* (Signoret) is an important vineyard pests in all parts of the world. *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, is a well–known natural enemy of mealybugs. The experiment was conducted under laboratory condition with 26±1°C with 70±5 % RH and 12:12 D:L photoperiod with four densities of adult females of vine mealybug, *P. ficus*, as host insect. Adult female and male and 3rd instar larval stage of *C. montrouzieri* and four densities (3, 5, 7 and 9, each with 10 replicates). The number of host killed after 24 hours were recorded. Determination type of functional response model and estimation of related parameters were carried out based on two–stage analysis method by using SAS software. A type 2 functional response was concluded under this experimental condition for all stages of predator using logistic regression with parameters estimated through nonlinear regression. The results for searching efficiency and handling time for 3rd instar larval, adult male and adult female of the predator were (0.6922 and 0.9549 hours), (0.4901 and 1.3542 hours) and (0.5977 and 1.0996 hours), respectively. Results showed that 3rd instar larvae of predator showed a better searching efficiency and lowest handling time rather than adults which is a fine character for a predator.

Keywords: biological control, functional response, handling time, searching efficiency, vine mealybug