اثر دما روی واکنش تابعی کنه شکارگر *Macrocheles muscaedomesticae* (Acari: Macrochelidae) با تغذیه از تخم مگس خانگی، *Musca domestica* (Dip.: Muscidae)

راحله شیرعلی‌زاده[۱]، مهدی اسفندیاری*[۲]، پرویز شیشه بر[۳] و سارا فرحی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد حشره شناسی کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- * **نویسنده مسوول:** دانشیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (esfandiari@scu.ac.ir)
۳- استاد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴- دکترای حشره شناسی کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۲

چکیده

گونه *Macrocheles muscaedomesticae* (Scopoli) شناخته شده‌ترین گونه در کودهای گاوی و ماکیان در جهان است که روی مگس‌های مدفوع تغذیه کرده و به وسیله آن‌ها هم منتشر می‌شود. مطالعات در دنیا از جمله خوزستان نشان داده است که کنه شکارگر غالبِ مراحل نابالغ مگس خانگی، *Musca domestica* L.، در کودهای دامی همین گونه است. در این پژوهش واکنش تابعی کنه شکارگر ماده *M. muscaedomesticae* در انکوباتور و در دو دمای ۱ ± ۲۷ و ۱ ± ۳۳ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و دوره نوری ۱۰:۱۴ (روشنایی: تاریکی) روی تخم مگس خانگی مطالعه شد. برای این منظور تراکم‌های ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۵، ۳۰، ۴۰ و ۸۰ عددی از تخم مگس در اختیار کنه کامل ماده جفت‌گیری کرده ٤ روزه قرار داده شد. واکنش تابعی کنه *M. muscaedomesticae* روی تراکم‌های مختلف تخم مگس خانگی با استفاده از رگرسیون لجستیک در دمای ۲۷ درجه از نوع سوم و در دمای ۳۳ درجه از نوع دوم تعیین شد. پارامترهای واکنش تابعی با استفاده از معادله راجرز مشخص شد. نرخ حمله و زمان دست‌یابی به ترتیب در دمای ۲۷ درجه سلسیوس، ۰/۰۲۰٤ بر ساعت و ۰/٦٤٩٧ ساعت و در دمای ۳۳ درجه سلسیوس، ۰/٦٤٩۳ بر ساعت و ۰/٤٧٦٩ ساعت به دست آمد. بیشترین نرخ شکارگری (T/T_h) در دمای ۳۳ درجه و ۵۰/۳۲ تخم در روز بود و در دمای ۲۷ درجه به ۳٦/٩٤ تخم در روز کاهش یافت. بنابراین دما بر نوع واکنش تابعی، زمان دست‌یابی و نرخ شکارگری موثر بود. نتایج مطالعه حاضر می‌تواند درک بهتری از برهم‌کنش کنه *M. muscaedomesticae* و تخم‌های مگس خانگی ارائه داده و نقش موثر آن را به عنوان یک عامل کنترل بیولوژیک نشان دهد.

کلیدواژه‌ها: رفتار جستجوگری، شکارگری، دما، زمان دست‌یابی

دبیر تخصصی: دکتر فریبا سهرابی

مقدمه

با افزایش جمعیت و به دلیل نیاز به پروتئین دامی، پرورش حیوانات اهلی در بسیاری از کشورها افزایش یافته است. حیوانات اهلی نیز دائماً کود تولید می‌کنند (Rodriguez et al., 1970). این کودها بستر پرورش میلیون‌ها مگس خانواده Muscidae می‌باشند. به ویژه مگس خانگی به طور طبیعی بیش‌تر به این محیط‌ها که دارای پروتئین زیادی هستند، جلب می‌شود. برخی از این مگس‌ها اهمیت اقتصادی زیادی دارند زیرا باعث مزاحمت و شیوع بیماری برای دام و کارگران شاغل در دامپروری‌ها می‌شوند (Pereira and Castro, 1945).

گونه‌هایی مانند کنهٔ *Macrocheles muscaedomesticae* (Scopoli) (Mesostigmata: Macrochelidae) توانایی کنترل دوبالان[1] ساکن کودهای دامی را دارند (Farahi et al., 2018a). گونهٔ *M. muscaedomesticae* شناخته شده‌ترین و فراوان‌ترین گونه در کودهای گاوی و ماکیان در جهان می‌باشد که از مگس‌های مدفوع تغذیه کرده و به وسیله آن‌ها هم منتشر می‌شود (Axtell, 1963). این گونه از قاره اروپا، آسیا، استرالیا، آفریقا و آمریکا گزارش شده است (Hyatt and Emberson, 1988; Masan, 2003). در ایران نیز این گونه از استان‌های مختلفی در شمال و جنوب کشور گزارش شده است (Kazemi and Rajaei, 2013). مطالعات در آمریکا و خوزستان نشان داده است که کنه شکارگر غالب مگس خانگی در کودها، *M. muscaedomesticae* است (Farahi et al., 2018a; Geden and Axtell, 1988). این کنه از تخم و لارو سن اول مگس‌ها، کنه‌های آکارید[2] و نماتدها تغذیه می‌کند (Gerson et al., 2003).

این کنه در دمای ۱۵ تا ۳۶ درجه سلسیوس قادر به تخم‌گذاری است (Filipponi et al., 1971). دوره‌های رشدی و باروری تحت تأثیر دما قرار می‌گیرند. Filipponi et al. (1971) مشخص کردند که بهترین دما برای تولیدمثل کنه *M. Muscaedomesticae* بین ۲۸ تا ۳۲ درجه سلسیوس است. کنه‌های بالغ تخم مگس را ترجیح می‌دهند. لاروهای مگس به خاطر اینکه حرکات سریع‌تری دارند و سوراخ کردن پوست آن‌ها برای کنه‌ها سخت‌تر است کم‌تر ترجیح داده می‌شوند (Ho, 1985).

تولید مثل این کنه به صورت نرزایی می‌باشد. تخم‌هایی که بارور شده‌اند به ماده دیپلوئید و تخم‌هایی که بارور نشده‌اند به نر هاپلوئید تبدیل می‌شوند (Wade and Rodriguez, 1961; Filipponi, 1964). همچنین دارای تولیدمثل ادیپال[3] است. به این معنی که ابتدا نر تولید می‌کند و وقتی نرها بالغ شدند با ماده‌ها (مادرشان) جفت‌گیری می‌کنند و شروع به تولید نر و ماده می‌نمایند (Farahi et al., 2018a).

اخیراً Farahi et al. (2018a) جدول زندگی این کنه شکارگر را در دو شرایط دوجنسی و ادیپال مقایسه کردند و نشان دادند که ماده‌های باکره قادر به تولیدمثل و جفت‌گیری با نوزادان نر خود (جفت‌گیری ادیپال) هستند و این به ماده‌ها اجازه می‌دهد که نهایتاً هر دو جنس را تولید کنند. چنین سیستم تولیدمثلی این دشمن طبیعی ارزشمند را قادر می‌سازد تا به میزان قابل ملاحظه‌ای پتانسیل پراکنش خود را گسترش دهد و یک ماده تنها و جدا افتاده از جمعیت اصلی بتواند در غیاب جنس نر جمعیت جدیدی تشکیل دهد.

چندین علت وجود دارد که این کنه عامل کنترل بیولوژیک خوبی برای مگس خانگی می‌باشد. از جمله آن‌ها نرخ حمله بالا، توانایی تولیدمثل روی طعمه‌های جایگزین، رشد زیاد در زمان کم و تمایل برای پراکندگی در نواحی جدید از طریق همسفری می‌باشد (Filipponi and Di Delupis, 1963; Filipponi and Petrelli, 1967; Axtell, 1969; Farish and Axtell, 1971; Ito, 1973).

1- Diptera
2- Acaridae
3- Oedipal

واکنش تابعی[1] از عوامل چهارگانه در بررسی رفتار جستجوگری است که باید در فرایند ارزیابی عوامل کنترل بیولوژیک مطالعه شود (Fathipour and Maleknia, 2016). کاربرد شکارگرها در برنامه‌های کنترل تلفیقی مگس خانگی از طریق حفاظت یا روش افزایشی[2]، نیازمند درک دینامیسم جمعیت شکارگر و عوامل محیطی و زیستی موثر بر آن است (Geden et al., 1988). بنابراین بررسی تأثیر تغییرات تراکم طعمه بر میزان شکارگری در قالب واکنش تابعی برای ارزیابی توانایی شکارگرها در تنظیم و کنترل جمعیت آفات و مقایسه کارایی آن‌ها در کنترل جمعیت شکار اهمیت بسیاری دارد (Farhadi et al., 2015).

نوع واکنش تابعی و پارامترهای آن بر اثر عوامل مختلفی مانند نوع و رقم گیاهی (Messina and Hanks, 1998; Koveos and Broufas, 2000)، دما (De Clercq et al., 2000; Mohaghegh et al., 2001)، سن شکارگر (Ding- Xu et al., 2007; Fathipour et al., 2017) گونه و اندازه شکار (Hassell, 1978; Stream, 1994)، مرحله سنی شکارگر (Fathipour et al., 2017)، آفت‌کش‌ها (Poletti et al., 2007)، شرایط محیطی و واحد آزمایشی (Geden and Axtell, 1988) در آزمایش می‌تواند تغییر کند. محصور کردن شکارگر به ویژه در تراکم پایین طعمه می‌تواند باعث بروز واکنش تابعی نوع سوم شود. از این رو تحقیقات بیشتری روی تأثیر منطقه جستجو بر نوع واکنش تابعی نیز باید انجام شود (Geden and Axtell, 1988). بنابراین شناخت نوع واکنش تابعی می‌تواند در برنامه‌های کنترل بیولوژیک اثرگذار باشد.

اطلاعات بسیار کمی در مورد واکنش تابعی در کنه‌های خانواده Macrochelidae تاکنون منتشر شده است. در یکی از معدود گزارش‌ها، Geden and Axtell (1988) در ایالات متحده آمریکا واکنش‌تابعی و میزان شکارگری کنهٔ *M. muscaedomesticae* را نسبت به تراکم‌های مختلف تخم مگس خانگی در دمای ۲۷ درجه سلسیوس مطالعه و آن را از نوع دوم تشخیص دادند. میزان شکارگری کنه مذکور در روز از ۵ تا ۳۷ تخم مگس‌خانگی در دمای ۱۵ تا ۳۳ درجه سلسیوس متغیر بود. هدف از این تحقیق مطالعه اثر دما بر واکنش تابعی کنه شکارگر *M. muscaedomesticae* با تغذیه ازتخم مگس‌خانگی است.

مواد و روش‌ها

پرورش کلنی مگس‌خانگی *M. domestica*

برای پرورش و مطالعه کنهٔ شکارگر نیاز به تخم مگس‌خانگی به عنوان منبع‌غذایی و مرحله‌ی زیستی ترجیحی برای کنه بود. برای این منظور کلنی مگس خانگی به روش Farahi et al. (2018a) در آزمایشگاه تشکیل و از تخم‌های کشیده و شیری‌رنگ مگس برای تغذیه‌ی روزانه کنه‌ها و انجام آزمایش‌های واکنش‌تابعی استفاده شد.

به منظور جلوگیری از تفریخ تخم‌ها به روش Wade and Rodriguez (1961) به مدت ۴۰ دقیقه درون فریزر در دمای منفی ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده و سپس در یخچال نگه‌داری شدند با این روش تخم‌ها با همان کیفیت اولیه برای استفاده باقی می‌ماندند.

پرورش کنهٔ شکارگر *M. muscaedomesticae*

برای تشکیل کلنی کنهٔ شکارگر *M. muscaedomesticae*، از کود گاوی در مناطق گزارش شده توسط Farahi et al. (2018b) در اهواز نمونه‌برداری و کنه‌ها با استفاده از قیف برلز جداسازی و در ظروف پلاستیکی به قطر ۶ و ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متر که حاوی کود گاوی سترون بود، انتقال داده شد. برای جلوگیری از خروج کنه‌ها اطراف تمام ظروف آزمایش

1- Functional response
2- Augmentation

تنگل فوت[1] زده شد و کود گاوی به ارتفاع پنج میلی‌متر کاملاً فشرده و به وسیله چند قطره آب مقطر مرطوب گردید.

کلیهٔ آزمایش‌ها در انکوباتور و در دو دمای ۱ ± ۲۷ و ۱ ± ۳۳ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام شد. کنه‌ها روزانه با تخم مگس خانگی تغذیه شدند و بعد از گذشت سه نسل، از آن‌ها برای آزمایش‌ها استفاده شد. برای تقویت کلنی، هر چند وقت یک بار کنه‌های جدیدی از محیط اولیه (کودهای دامی) جمع‌آوری و در کلنی آزمایشگاهی رهاسازی گردید.

واکنش تابعی کنه ماده *M. muscaedomesticae*

آزمایش در ظروف مدور پلاستیکی به قطر ۴ و ارتفاع ۱ سانتی‌متر که حاوی کود گاوی سترون بود انجام شد. تراکم‌های ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۵، ۳۰، ۴۰ و ۸۰ عدد تخم مگس خانگی (مرحله ترجیحی کنه) بر اساس پیش آزمایش تعیین و به‌عنوان طعمه در اختیار کنه کامل ماده جفت‌گیری کرده چهار روزه (به منظور همسن‌سازی) در ۱۰ تکرار قرار داده شد. کنه‌ها قبل از آزمایش ابتدا به مدت ۴۸ ساعت جفت‌گیری و تغذیه کردند. سپس ۲۴ ساعت تغذیه نشده و گرسنه ماندند. بعد از ۲۴ ساعت عدم دسترسی به طعمه، تراکم‌های تخم مگس به مدت ۲۴ ساعت در اختیار کنه‌های کامل ماده قرار گرفت و سپس در پایان آزمایش تعداد طعمه خورده شده توسط کنه شکارگر ماده ثبت شد.

برای تحلیل داده‌ها و تعیین نوع واکنش‌تابعی و پارامترهای آن، از روش دو مرحله‌ای ارائه شده توسط Juliano (2001) در برنامهٔ آماری SAS 9.2 استفاده شد.

در مرحلهٔ اول برای تعیین نوع واکنش تابعی کنه‌های ماده، رگرسیون لجستیک نسبت طعمهٔ (تخم) خورده شده به تعداد طعمهٔ (تخم) اولیه $\frac{N_a}{N_0}$ با استفاده از تابع لجستیک چندجمله‌ای زیر محاسبه شد:

$$\frac{N_a}{N_0} = \frac{\exp\ (P_0 + P_1N_0 + P_2N_0^2 + P_3N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1N_0 + P_2N_0^2 + P_3N_0^3)}$$

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 هستند. در این معادله، اگر $P_1<0$ باشد نسبت طعمه مصرف شده با افزایش طعمه در دسترس به تدریج کاهش پیدا می‌کند و نشان دهنده واکنش تابعی نوع دو و علامت مثبت P_1 و منفی P_2 نشان دهندهٔ واکنش تابعی نوع سه است. این مقادیر با استفاده از رویه‌ی CATMODدر برنامه‌ی آماری SAS محاسبه گردید.

در مرحله‌ی دوم زمان دستیابی (T_h) و نرخ حمله (قدرت جستجوگری)[6] (a) (برای واکنش‌تابعی نوع دوم) یا ضرایب ثابت[7] (ثابت حمله) b، c و d (برای واکنش تابعی نوع سوم) به عنوان پارامترهای اصلی واکنش تابعی با استفاده از رگرسیون غیرخطی حداقل مربعات با رویه‌ی NLIN در برنامه‌ی آماری SAS محاسبه شدند (Juliano, 2001). به این منظور از معادله Rogers (1972) به شرح زیر استفاده شد:

برای واکنش نوع دوم:

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

برای واکنش نوع سوم:

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

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):

1- Tangel foot
2- Constant
3- Linear
4- Quadratic
5- Cubic
6- Attack rate = Search rate
7- Constant rate

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

از نسبت بین زمان قرار گرفتن در معرض طعمه و زمان دستیابی به طعمه (T/T_h) به‌عنوان یک شاخص مناسب برای تعیین بیش‌ترین نرخ شکارگری کنه‌های ماده‌ی شکارگر استفاده شد (Hassell, 2000). همچنین مقدار ضریب تبیین[1] (r^2) با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد (Allahyari et al., 2004):

r^2 = 1- (residual sum of squares/corrected total sum of squares).

برای تجزیه و تحلیل آماری تعداد طعمه خورده شده شکارگر در هر دما از تحلیل واریانس یک‌طرفه و بین دو دما از آزمون t نمونه‌های مستقل در نرم افزار SPSS 19 استفاده شد. آزمون نرمالیته به روش Shapiro-Wilkinson و در سطح یک درصد انجام و در صورت لزوم داده ها از طریق محاسبه ریشه دوم نرمال سازی شدند.

نتایج و بحث

برازش رگرسیون لجستیک کنه شکارگر ماده با تغذیه از طعمه ترجیحی کنه یعنی تخم مگس خانگی در دمای ۲۷ درجه سلسیوس نشان داد که شیب قسمت خطی منحنی مثبت بوده که خود نمایان‌گر وجود واکنش تابعی نوع سوم می‌باشد (P_1>۰) (جدول ۱). در مقابل، برازش رگرسیون لجستیک کنه شکارگر ماده با تغذیه از تخم مگس خانگی در دمای ۳۳ درجه سلسیوس نشان داد که شیب قسمت خطی منحنی منفی است که این امر نمایان‌گر وجود واکنش تابعی نوع دوم بود (P_1<۰) (جدول ۲). از آنجاکه در دمای ۳۳ درجه مقادیر تخمین زده شده برای ضرایب معادله خطی و درجه دو در معادله اولیه درجه سه معنی‌دار نبود (جدول ۲)، ابتدا این معادله به درجه دو و سپس به معادله خطی کاهش داده شد تا سرانجام ضرایب باقی مانده معنی‌دار شود (Jalali et al., 2010). با توجه به ضریب بدست آمده برای معادله خطی (P <۰/۰۰۰۱، N0 = -۰/۰۷۲۵)، نوع دومِ واکنش تابعی در این دما تأیید شد.

بررسی واکنش تابعی کنه شکارگر ماده *M. muscaedomesticae* با تغذیه از تخم مگس خانگی *M. domestica* نشان داد که در دمای ۳۳ درجه سلسیوس با افزایش جمعیت شکار، درصد طعمه‌های شکار شده به تدریج کاهش یافت. در دمای ۲۷ درجه، درصد طعمه‌های شکار شده ابتدا افزایش و سپس به تدریج کاهش یافت. منحنی واکنش تابعی در هر دو دما به تدریج به خط مجانب نزدیک شده و در یک سطح از تراکم‌های بالاتر متوقف می‌شود (شکل‌های ۱ و ۲). در دمای ۲۷ درجه که واکنش تابعی از نوع سوم تبعیت کرد، درصد شکار مورد حمله ابتدا به صورت وابسته به تراکم شکار افزایش و سپس کاهش یافت. در این نوع واکنش تابعی، دشمن طبیعی قادر به تشخیص تراکم شکار است و جستجوگری خود را بر اساس تراکم جمعیت شکار تغییر داده و در محدوده مشخصی از تراکم اولیه شکار وابستگی به تراکم مشاهده می‌شود. در دمای ۳۳ درجه که واکنش تابعی از نوع دوم تبعیت کرد، شکارگر در برابر تراکم‌های مختلف تخم مگس به‌صورت وابسته به تراکم معکوس عمل کرد. نقاط سیاه رنگ در نمودارها داده‌های حاصل از مشاهدات است و خطوط با استفاده از معادله تصادفی راجرز پیش بینی شده است.

با استفاده از معادله راجرز قدرت جستجوگری (a) یا نرخ حمله (برای واکنش تابعی نوع دوم در دمای ۳۳ درجه)، ثابت حمله (b) (برای واکنش تابعی نوع سوم در دمای ۲۷ درجه) و زمان دستیابی (T_h) کنه شکارگر ماده نسبت به تخم مگس‌خانگی *M. domestica* محاسبه و در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، زمان دستیابی با افزایش دما کاهش یافت به‌طوری‌که در دمای ۳۳ درجه ۰/۴۷۶۹ ساعت و در دمای ۲۷ درجه ۰/۶۴۹۷ ساعت بود.

1- Coefficient of determination

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. بیشترین نرخ شکارگری در دمای ۳۳ درجه سلسیوس ۵۰/۳۲ تخم در روز و کمترین آن در دمای ۲۷ درجه ۳۶/۹۴ تخم در روز بود. بنابراین با افزایش دما زمان دستیابی کاهش و نرخ شکارگری افزایش یافت به‌طوریکه کمترین زمان دستیابی و بیشترین نرخ شکارگری در دمای ۳۳ درجه به دست آمد. بنابرین دما بر نوع واکنش تابعی، زمان دستیابی و نرخ شکارگری موثر بود. نرخ شکارگری بالای کنه *M. muscaedomesticae* در دمای ۳۳ درجه آن‌را به‌عنوان گزینهٔ امیدوارکننده برای کنترل مگس خانگی در دماهای حدود ۳۳ درجه تبدیل کرده که با محدود کردن نرخ زاد و ولد مگس، جمعیت این آفت را سرکوب می‌کند.

نتایج برازش رگرسیون در مورد میزان همبستگی بین تراکم‌های مختلف تخم مگس و تعداد تخم مورد تغذیه در ۲۴ ساعت، نشان داد که دمای ۳۳ درجه سلسیوس بالاترین ضریب تبیین (r^2=۰/۹۹۶) و دمای ۲۷ درجه سلسیوس نیز کمترین ضریب تبیین (r^2=۰/۹۳۵) را نشان دادند.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش واکنش تابعی نشان داد که در دو دمای مطالعه شده، بین تعداد طعمه مصرف شده توسط شکارگر فقط در تراکم‌های ۴۰ و ۸۰ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. همچنین در دمای ۳۳ درجه بین تمام تراکم‌ها و در دمای ۲۷ درجه بین اکثر تراکم‌ها در تعداد طعمه مصرف شده توسط شکارگر اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۵).

جدول ۱- نتایج برازش رگرسیون لجستیک نسبت تخم خورده شده مگس خانگی، *Musca domestica*، توسط کنه شکارگر ماده *Macrocheles muscaedomesticae* در مقابل تراکم اولیه تخم ارائه شده در دمای ۲۷ درجه سلسیوس

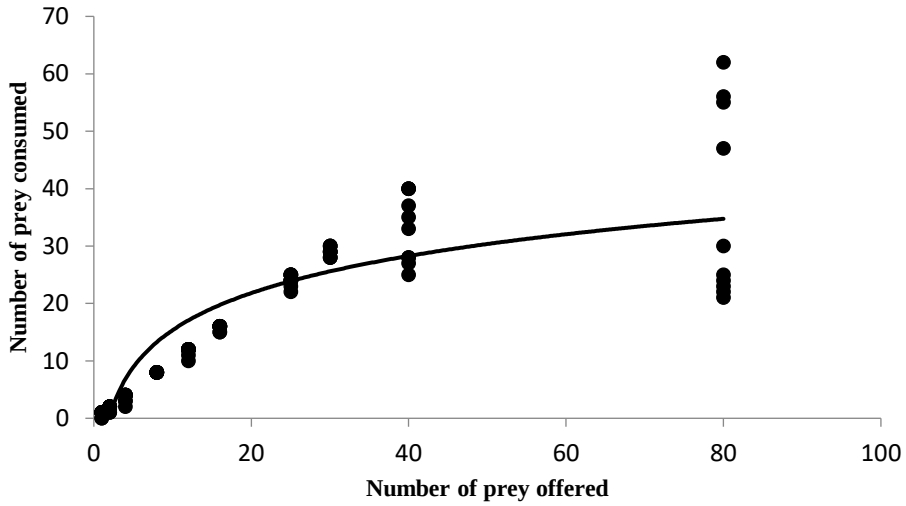
Table 1. Results on logistic regression of proportion of the house fly, *Musca domestica*, eggs consumed by the female adult predators of *Macrocheles muscaedomesticae* against initial number of offered eggs at 27°C.

Coefficient	Estimate	SE	$\chi 2$	*P*
Intercept	1.2960	0.4742	7.47	0.0063
Linear	0.3375	0.0620	29.67	<0.0001
Quadratic	-0.0120	0.00196	37.60	<0.0001
Cubic	0.000095	0.000016	36.33	<0.0001

جدول ۲- نتایج برازش رگرسیون لجستیک نسبت تخم خورده شده مگس خانگی، *Musca domestica*، توسط کنه شکارگر ماده *Macrocheles muscaedomesticae* در مقابل تراکم اولیه تخم ارائه شده در دمای ۳۳ درجه سلسیوس

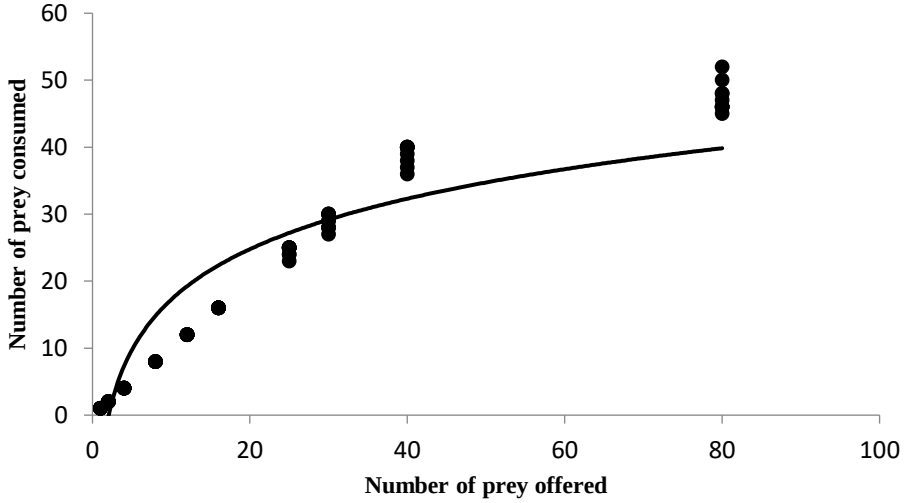
Table 2. Results on logistic regression of proportion of the house fly, *Musca domestica*, eggs consumed by the female adult predators of *Macrocheles muscaedomesticae* against initial number of offered eggs at 33 °C.

Coefficient	Estimate	SE	$\chi 2$	*P*
Intercept	29.2902	13.7886	4.51	0.0337
Linear	-1.9281	1.0247	3.54	0.0599
Quadratic	0.0448	0.0235	3.63	0.0566
Cubic	-0.00032	0.000161	3.85	0.0499



شکل ۱- واکنش تابعی کنه شکارگر ماده *Macrocheles muscaedomesticae* با تغذیه از تراکم‌های مختلف تخم مگس خانگی، *Musca domestica*، در دمای ۲۷ درجه سلسیوس

Figure 1. Functional response of female mite predator *Macrocheles muscaedomesticae* by feeding on varying densities of the house fly, *Musca domestica*, eggs at 27 °C



شکل ۲- واکنش تابعی کنه شکارگر ماده *Macrocheles muscaedomesticae* با تغذیه از تراکم‌های مختلف تخم مگس خانگی، *Musca domestica*، در دمای ۳۳ درجه سلسیوس

Figure 2. Functional response of female mite predator *Macrocheles muscaedomesticae* by feeding on varying densities of the house fly, *Musca domestica*, eggs at 33 °C

جدول ۳- پارامترهای واکنش تابعی برآورد شده توسط مدل راجرز برای کنه شکارگر ماده *Macrocheles muscaedomesticae* نسبت به تراکم‌های تخم مگس خانگی، *Musca domestica*، در دمای ۲۷ درجه سلسیوس

Table 3. Estimated functional response parameters by the Rogers' equation for female mite predator *Macrocheles muscaedomesticae* to densities of the house fly, *Musca domestica*, eggs at 27 °C

Parameters	Estimate	Asymptotic SE	Asymptotic 95% CI		(T/T_h)	r^2
			Lower	Upper		
					36.94	0.935
(b)	0.0204	0.00933	0.00193	0.0390		
(T_h)	0.6497	0.0299	0.5903	0.7092		

جدول ٤- پارامترهای واکنش تابعی برآورد شده توسط مدل راجرز برای کنه شکارگر ماده *Macrocheles muscaedomesticae* نسبت به تراکم‌های تخم مگس خانگی، *Musca domestica*، در دمای ۳۳ درجه سلسیوس

Table 4. Estimated functional response parameters by the Rogers' equation for female mite predator *Macrocheles muscaedomesticae* to densities of the house fly, *Musca domestica*, eggs at 33 °C

Parameters	Estimate	Asymptotic SE	Asymptotic 95% CI		(T/T_h)	r^2
			Lower	Upper		
					50.32	0.996
(a)	0.6493	0.0842	0.4821	0.8165		
(T_h)	0.4769	0.00561	0.4658	0.4880		

جدول ٥- میانگین (±SE) تعداد طعمه خورده شده روزانه توسط کنه‌های شکارگر ماده *Macrocheles muscaedomesticae* از تراکم‌های مختلف تخم مگس خانگی، *Musca domestica*، در دو دمای ثابت

Table 5. Daily prey consumption (mean ± SE) by female mite predator *Macrocheles muscaedomesticae* on varying densities of the house fly, *Musca domestica*, eggs at two constant temperatures

Prey density	Temperature (°C)	
	27	33
1	0.8±0.13 Fa	1.0±0.00 Ja
2	1.8±0.13 EFa	2.0±0.00 Ia
4	3.6±0.22 Ea	4.0±0.00 Ha
8	8.0±0.00 Da	8.0±0.00 Ga
12	11.7±0.21 CDa	12.0±0.00 Fa
16	15.8±0.13 Ca	16.0±0.00 Ea
25	24.1±0.31 Ba	24.6±0.22 Da
30	29.0±0.26 Aba	28.9±0.35 Ca
40	33.3±1.87 Ab	39.0±0.47 Ba
80	36.5±5.21 Ab	47.4±0.69 Aa

Means followed by different small letters within each row are significantly different (P<0.05, T test).
Means followed by different capital letters within each column are significantly different (P<0.01, Tukey's test).

میانگین تعداد طعمه خورده شده روزانه می‌تواند در تعیین نیاز روزانه شکارگر استفاده شود. با افزایش تراکم طعمه به ویژه در دمای ۳۳ درجه سلسیوس مصرف طعمه به طور معنی‌داری افزایشی بوده که می‌تواند نشان‌گر این باشد که شکارگر در تراکم‌های بالاتر طعمه موثرتر بوده است. این نتایج مشابه نتایج Fathipour et al. (2017) در بررسی واکنش تابعی کنه شکارگر *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot با تغذیه از کنه دولکه‌ای است. نتایج جدول ۵ نشان داد میزان تغذیه کنه (به ویژه در تراکم‌های ۱۲ طعمه به بالا) بیش‌تر از مقادیر گزارش شده در آزمایش Geden and Axtell (1988) بوده است.

زمان دست‌یابی نشان می‌دهد کنه شکارگر خصوصاً در دمای ۲۷ درجه سلسیوس زمان قابل ملاحظه‌ای برای فعالیت‌های غیرجستجوگری مانند استراحت و نظافت صرف می‌کند. زمان دستیابی نقش مهمی در کارایی کنه شکارگر دارد. به این معنی که با کاهش زمان دست‌یابی، ظرفیت شکارگری در مدت ۲۴ ساعت افزایش خواهد داشت. بزرگی واکنش تابعیِ دشمن طبیعی توسط ضرایب قدرت جستجو و زمان دستیابی تعیین می‌شود (Pervez and Omkar, 2005). در این آزمایش زمان دست‌یابی کنه شکارگر در دمای بالاتر (۰/۴۷۶۹) ساعت کم‌تر از دمای پایین‌تر (۰/۶۴۹۷) ساعت بود. هر چند نوع واکنش تابعی کنه در این دو دما متفاوت بود.

واکنش تابعی نوع دوم رایج‌تر از واکنش تابعی نوع سوم در بین شکارگرهاست. از طرفی اکولوژیست‌ها اعتقاد دارند شکارگرهایی با واکنش تابعی نوع سوم به دلیل ایجاد پایداری در پویایی جمعیت شکارگر- شکار سهم بیش‌تری در تنظیم جمعیت شکار نسبت به گونه‌هایی با واکنش تابعی نوع دوم دارند (Murdouh and Oaten, 1975). با این حال باید به این نکته توجه کرد که برتری واکنش تابعی نوع سوم تنها در تراکم‌های پایین می‌باشد، چون فقط در این تراکم‌ها است که شکارگر توانایی کنترل بهتر طعمه خود را دارد و می‌تواند جمعیت آن را کنترل نماید. از این نظر، کنه‌های شکارگر ماده در دماهای پائین‌تر (۲۷ درجه) با واکنش تابعی نوع سوم نقش موثری در کنترل تخم مگس‌خانگی در تراکم‌های پائین آفت دارند.

در گذشته گمان بر این بود که واکنش تابعی نوع سوم مختص مهره‌داران شکارگر است. اما بسیاری از شکارگرها و پارازیتوئیدها نیز اگر در برابر شکار یا میزبان مرجح خود قرار گیرند قادرند واکنش تابعی نوع سوم نشان دهند. این مساله به دلیل کاهش جستجوگری شکارگر در اثر کاهش تراکم شکار از یک حد آستانه است (Hassell, 1978).

در بین عوامل محیطی دما نقش بسیار مهمی در دینامیسم شکار و شکارگری دارد. تحقیقات مختلف نشان داده است که دما روی نرخ شکارگری و واکنش تابعی اثرگذار است (Thompson, 1978; Perdikis et al., 1999; Mahdian et al., 2006; Zamani et al., 2006; Kouhjani Gorji et al., 2009; Yu et al., 2013). در نتیجه نوع واکنش تابعی نیز از دما متأثر می‌شود. این تأثیر می‌تواند به دلیل تغییر در رفتار جستجوگری شکارگر باشد (Mohagheg et al., 2001).

پژوهش حاضر اولین مطالعه روی اثر دما بر واکنش تابعی کنه شکارگر *M. muscaedomesticae* است. چنان‌که ذکر شد با افزایش دما نوع واکنش تابعی از سه به دو تغییر کرد. این نتایج تأثیر دما بر واکنش تابعی را تأیید می‌کند که قبلاً نیز توسط سایر محققین تعیین شده است.

Rafizadeh Afshar and Latifi (2017) واکنش تابعی و نرخ شکارگری کنه *A. swirskii* را با تغذیه از *Tetranychus urticae* در سه دمای آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج نشان داد که واکنش تابعی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس از نوع سوم ولی در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس از نوع دوم بود. همچنین با افزایش دما زمان

دست‌یابی کاهش و نرخ حمله و نرخ شکارگری افزایش یافت. نتایج ما با نتایج تحقیق مذکور مشابهت دارد یعنی با افزایش دما نوع واکنش تابعی از سوم به دوم تغییر کرد. به گفته Rafizadeh Afshar and Latifi (2017)، از آن‌جا که در جانوران خونسرد (مانند حشرات) فرایندهای بیوشیمیایی از دما متأثر می‌شود، نرخ حمله و زمان دستیابی مستقیماً با دمای محیطی مرتبط است.

تحقیقات بسیار محدودی روی واکنش تابعی کنه‌های خانواده ماکروکلیده منتشر شده است. Geden and Axtell (1988) واکنش تابعی کنه *M. muscaedomesticae* را در تراکم‌های ۱، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ تخم مگس برای کنه محاسبه کردند. آن‌ها این آزمایش را در دو تراکم ۵ و ۲۰ کنه در محیط آزمایش انجام دادند. واکنش تابعی این کنه در دمای ۲۷ درجه سلسیوس از نوع دوم تشخیص داده شد. قدرت جستجوگری ۱/۹۷۲۷ بر ساعت، زمان دست‌یابی ۰/۰۴ ساعت و ضریب تبیین ۰/۹۲۳ گزارش شده است. دلیل تفاوت نوع واکنش تابعی و زمان دست‌یابی کنه *M. muscaedomesticae* بدست آمده توسط Geden and Axtell (1988) در دمای ۲۷ درجه (نوع دوم) با یافته‌های پژوهش حاضر (واکنش نوع سوم) در همین دما را می‌توان به تفاوت نوع بستر، مساحت کمتر ظرف آزمایش و تراکم بیش‌تر شکارگر نسبت داد. همچنین علاوه بر موارد مذکور، تفاوت احتمالی در نژاد کنه نیز می‌تواند دلیل تفاوت زمان دستیابی گزارش شده توسط Geden and Axtell (1988) با پژوهش حاضر باشد.

مهم‌ترین تفاوت‌های تحقیق Geden and Axtell (1988) با تحقیق حاضر را می‌توان در دو مورد شرح داد. اول این‌که بستر آزمایش آن‌ها کود مرغ بوده، برخلاف تحقیق حاضر که در آن از کود گاو استفاده شده و علاوه بر آن به نسبت مساوی با محیط پرورش مخصوص لارو مگس مخلوط بوده است. دوم این‌که آزمایش را به جای اجرا توسط یک شکارگر با دو تراکم ۵ و ۲۰ از شکارگرها انجام و در هر تراکم پنج تکرار انجام داده‌اند. هدف آن‌ها بررسی همزمان تأثیر تداخل شکارگرها بوده است. در حالی‌که در آزمایش حاضر از یک شکارگر در ده تکرار استفاده شده است.

بررسی اثر دما بر پارامترهای واکنش تابعی در حشرات نیز انجام شده است. به‌عنوان مثال Mohagheg et al. (2001) تأثیر سه دمای ۱۸، ۲۳ و ۲۷ درجه سلسیوس را بر واکنش تابعی سنهای شکارگر *Podisus maculiventris* (Say) و *P. nigrispinus* (Dallas) روی لارو شب‌پره *Spodoptera exigua* (Hübner) مطالعه کردند. در هر دو گونه شکارگر با افزایش دما و تراکم طعمه، میزان شکار نیز افزایش یافت. زمان دستیابی با افزایش دما کاهش یافت که این مساله با تحقیق حاضر منطبق بود.

Ziaei Madbouni et al. (2017) در پژوهشی تأثیر سه دمای ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سلسیوس را روی واکنش تابعی سن ماده *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Miridae) با تغذیه از تراکم‌های مختلف شفیره سفیدبالک *Bemisia tabaci* (Gennadius) بررسی کردند. این سن در دمای ۱۵ و ۲۵ درجه واکنش تابعی نوع دوم و در دمای ۳۵ درجه واکنش تابعی نوع سوم را نشان داد. با افزایش تراکم طعمه میزان تغذیه هر شکارگر نیز افزایش یافت. بالاترین نرخ حمله و پایین‌ترین زمان دست‌یابی در دمای ۳۵ درجه ثبت شد. چگونگی تأثیر دما بر نرخ حمله و زمان دست‌یابی مطابق با نتایج پژوهش حاضر بود.

Skirvin and Fenlon (2003) نیز تأثیر دما بر واکنش تابعی کنه شکارگر ماده *P. persimilis* با تغذیه از تخم کنه تارتن دو لکه‌ای را مطالعه نمودند. میزان تغذیه کنه از دمای ۱۵ تا ۲۵ درجه سلسیوس افزایش یافت که با تحقیق حاضر منطبق بود.

همچنین Gotoh et al. (2004) مصرف طعمه و واکنش تابعی سه گونه کنه شکارگر را روی تخم کنه تارتن دو لکه‌ای در سه دمای ۱۸–۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس بررسی کردند.

در تمام دماها واکنش تابعی از نوع دوم بود. نتایج ما با یافته‌های Gotoh et al. (2004) مشابهت دارد. یعنی زمان دست‌یابی با افزایش دما کاهش یافت.

از طرفی Kouhjani Gorji et al. (2009) تأثیر دما روی واکنش تابعی و طعمه مصرفی *P. plumifer* را با تغذیه از کنه دو لکه‌ای در شش دمای ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۳۷ درجه سلسیوس بررسی کردند. نتایج نشان داد واکنش تابعی در تمام دماها از نوع دوم بود. تغییرات نرخ جستجو و زمان دست‌یابی ابتدا با دما وابسته و سپس متفاوت شد. این نتایج با تحقیق حاضر مطابقت نداشت.

چنان‌که ذکر شد، برتری واکنش تابعی نوع سوم تنها در تراکم‌های پایین می‌باشد، چون فقط در این تراکم‌ها است که کنه شکارگر *M. muscaedomesticae* توانایی کنترل بهتر طعمه خود را دارد و می‌تواند جمعیت آن را کنترل نماید. از این نظر، کنه‌های شکارگر ماده در دماهای پائین‌تر (۲۷ درجه) با واکنش تابعی نوع سوم نقش موثری در کنترل تخم مگس‌خانگی در تراکم‌های پائین آفت دارند. اما در دماهای بالاتر (فصول گرم سال) نیز به دلیل نرخ جستجوی بیش‌تر و زمان دست‌یابی کم‌تر می‌توانند در کنترل تخم مگس‌خانگی موثر باشند. مطالعه حاضر می‌تواند درک بهتری از برهم‌کنش کنه *M. muscaedomesticae* و تخم‌های مگس‌خانگی ارائه دهد. مطالعه سایر عوامل مؤثر روی واکنش تابعی کنه شکارگر *M. muscaedomesticae* در آینده توصیه می‌شود.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از حمایت مالی و امکانات معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز (گرنت شماره SCU.AP98.671) تشکر و قدردانی می گردد. همچنین از آقای دکتر محمد امین جلالی از دانشگاه ولی عصر رفسنجان به دلیل مشاوره در انجام تحلیل‌ها سپاس‌گزاری می‌شود.

REFERENCES

Allahyari, H., Azmayeshfard, P., 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.

Axtell, R.C. 1963. Effect of Macrochelidae (Acarina: Mesostigmata) on house fly prodaction from dairy cattle manure. Journal of Economic Entomology, 56: 317-321.

Axtell, R.C. 1969. Macrochelidae (Acarina: Mesostigmata) as biological control agents for synanthropic flies. In Evans, G.O. (Ed.). Proceedings of the Second International Congress of Acarology, Akademial Kiado, Budapest, pp: 401-416.

De Clercq, P., Mohaghegh, J., and Tirry, L. 2000. Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). Biological Control, 18: 65-70.

Ding- Xu, L., Juan, T., and Zuo- Rui, S. 2007. Functional response of the predator *Scolothrips takahashii* to howthorn spider mite, *Tetranychus viennensis*: effect of age and temperature. BioControl, 52: 41-61.

Farahi, S., Shishehbor, P., and Nemati, A. 2018a. Bisexual and oedipal reproduction of *Macrocheles muscaedomesticae* (Acari, Macrochelidae) feeding on *Musca domestica* (Diptera, Muscidae) eggs. Acarologia, 58(2): 430-441.

Farahi, S., Shishehbor, P., and Nemati, A. 2018b. Some mesostigmatic mites (Acari: Parasitiformes) of Khuzestan province, southwestern Iran. Persian Journal of Acarology, 7(4): 323-344.

Farhadi, R., Allahyari, H., and Chi, H. 2015. Functional response and mutual interference of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) on greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on cucumber. Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 38(2): 37-48 (In Farsi with English abstract).

Farish, D.J., and Axtell, R.C. 1971. Phoresy redefined and examined in *Macrocheles muscaedomesticae* (Acarina: Mesostigmata). Acarologia, 13: 16-29.

Fathipour, Y., and Maleknia, B. 2016. Mite Predators. In Omkar (Ed.). Ecofriendly pest management for food security. Elsevier Pub. pp. 329-366.

Fathipour, Y., Karimi, M., Farazmand, A., and Talebi, A.A. 2017. Age-specific functional response and predation rate of *Amblyseius swirskii* (Phytoseiidae) on two-spotted spider mite. Systematic and Applied Acarology, 22(2): 159-169.

Filipponi, A. 1964. The Feasibility of mass producing Macrochelid mites for field trials against housefly. Bulletin of World Health Organization, 31: 499-501.

Filipponi, A., and Di Delupis, G.D. 1963. On the food habits of some Macrochelids (Acari: Meso.) associated in the field whith synanthropicies. Rivista di Parassitologia, 24: 277-288.

Filipponi, A., and. Petrelli, M.G. 1967. Autoecology and capacity for increase in numbers of *Macrocheles muscaedomesticae* Scopoli (Acari: Mesostigmata). Rivista di Parassitologia, 28(2): 129-156.

Filipponi, A., Mosna, B., and Petrelli, M.G. 1971. The optimum temperature of *Macrocheles muscaedomesticae* as a population attribute. Rivista di Parassitologia, 32: 193-218.

Geden, C.J., and Axtell, R.C. 1988. Predation by *Carcinops pumilio* (Coleoptera: Histeridae) and *Macrocheles muscaedomesticae* (Acarina: Macrochelidae) on the house fly (Diptera: Muscidae): functional response, effects of temperature, and availability of alternative prey. Environmental Entomology, 17(4): 739-744.

Geden, C.J., Stinner, R.E., and Axtell, R.C. 1988. Predation by predators of the house fly in poultry manure: effects of predator density, feeding history, interspecific interference, and field conditions. Environmental Entomology, 17(2): 320-329.

Gerson U., Smiley, R.L., and Ochoa, R. 2003. Mite (Acari) for pest control. Oxford, Blackwell Science Ltd.

Gotoh, T., Nozawa, M., and Yamaguchi, K. 2004. Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of the two-spotted spider mite in the laboratory. Applied Entomology and Zoology, 39(1): 97-105.

Hassell, M.P. 1978. The dynamics of Arthropod predator-prey System. Princeton University Press, Princeton.

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

Ho, C.C. 1985. Mass production of the predaceous mite, *Macrocheles muscaedomesticae* (Scopoli) (Acarina: Macrochelidae), and its potential use as a biological control agent of house fly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). Ph.D. Thesis, University of Florida. USA.

Hyatt, K.H., and Emberson, R.M. 1988. A review of the Macrochelidae (Acari: Mesostigmata) of the British Isles. Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology, 54: 63-125.

Ito, Y. 1973. The effects of nematode feeding on the predatory efficiency for house fly eggs and reproduction rate of *Macrocheles muscaedomesticae* (Acarina: Mesostigmata). Medical Entomology and Zoology, 23: 209-213.

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.

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. pp. 178-216.

Kazemi, Sh., and Rajaei, A. 2013. An annotated checklist of Iranian Mesostigmata (Acari), excluding the family Phytoseiidae. Persian Journal of Acarology, 2(1): 63-158.

Kouhjani Gorji, M., Fathipour, Y., and Kamali, K. 2009. The effect of temperature on the functional response and prey consumption of *Phytoseius plumifer* (Acari: Phytoseiidae) on the two-spotted spider mite. Acarina, 17(2): 231-237.

Koveos, D.S., and Broufas, G.D. 2000. Functional response of *Euseius finlandicus* and *Amblyseius andersoni* to *Panonychus ulmi* on apple and peach leaves in the laboratory. Experimental and Applied Acarology, 24: 247-256.

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 caterpillars. Bulletin of Entomological Research, 96: 489–496.

Masan, P. 2003. Macrochelid of Slovakia (Acari, Mesostigmata, Macrochelidae). Slovak Academy of Science, Institute of Zoology, Bratislava.

Messina, F.J., and Hanks, J. B. 1998. Host plant alters the shape of the functional response of an aphid predator (Coleoptera: Coccinellidae). Environmental Entomology, 27: 1196-1202.

Mohaghegh, J., De Clercq, P., and Tirry, L. 2001. Functional response of the predators *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het: Pentatomidae) to the beet army worm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lep.: Noctuidae): effect of temperature. Applied Biological Sciences, 125: 131-134.

Murdouh, W.W., and Oaten, A. 1975. Predation and population stability. Advances in Ecological Research, 9: 2-131.

Perdikis, D.Ch., Lykouressis, D.P., and Economou, L.P. 1999. The influence of temperature, photoperiod and plant type on the predation rate of *Macrolophus pygmaeus* on *Myzus persicae*. Biocontrol, 44: 281–289.

Pereira, C., and Castro, M.P. 1945. Contribuição para o conhecimento da espécie tipo de "*Macrocheles* Latr". ("Acarina"): "*M. muscaedomesticae* (Scopoli, 1772)" emend. Arquivos do Instituto Biológico, 16: 153–186.

Pervez, A., and Omkar. 2005. Functional response of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. Journal of Insect Science, 5: 1-5.

Poletti, M., Maia, A. H.N., and Omoto, C. 2007. Toxicity of neonicotinoid insecticides to *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae) and their impact on functional response to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). Biological Control, 40: 30-36.

Rafizadeh Afshar, F., and Latifi, M. 2017. Functional response and predation rate of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) at tree constant temperatures. Persian Journal of Acarology, 6(4): 299-314.

Rodriguez, J.C., Singh, P., and Taylor, B. 1970. Manure mites and their role in fly control. Journal of Medical Entomology, 7: 335-341.

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

Skirvin, D.J., and Fenlon, J.S. 2003. The effect of temperature on the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). Acarology, 31: 37-49.

Stream, F.A. 1994. Effect of prey size on attack components of the functional responses by *Notonecta undulata*. Oecologia, 98: 57-63.

Thompson, D.J. 1978. Towards a realistic predator-prey model: the effect of temperature on the functional response and life history of larvae of the damselfly, *Ischnura elegans*. Journal of Animal Ecology, 47: 757-767.

Wade, C.F., and Rodriguez, J.G. 1961. Life history of *Macrocheles muscaedomesticae* (Acarina: Macrochelidae), a predator of the housefly. Annals of the Entomological Society of America, 54: 776-81.

Yu, J.Z., Chi, H., and Chen, B.H. 2013. Comparison of the life tables and predation rates of *Harmonia dimidiate* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) at different temperatures. Biological Control, 64: 1-9.

Zamani, A.A., Talebi, A.A., Fathipour, Y., and Baniameri, V. 2006. Temperature-dependent funectional response of two aphid parasitoids, *Aphidius colemani* and *Aphidius marricariae* (Hymenoptera: Aphididae), on the cotton aphid. Journal of Pest Science, 19: 183-188.

Ziaei Madbouni, M.A., Samih, M.A., Namvar, P., and Biondi, A. 2017. Temperature-dependent functional response of *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) to different densities of pupae of cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). European Journal of Entomology, 114: 325-331.

© 2021 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International. (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Effect of temperature on the functional response of the predatory mite *Macrocheles muscaedomesticae* (Acari: Macrochelidae) by feeding on eggs of the house fly, *Musca domestica* (Dip.: Muscidae)

R. Shiralizadeh[1], M. Esfandiari[*2], P. Shishehbor[3] and S. Farahi[4]

1. Gratuated M.Sc. student of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (esfandiari@scu.ac.ir)
3. Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. PhD of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(DOI): 10.22055/ppr.2021.16926

Received: 22 April 2021 Accepted: 3 July 2021

Abstract

Background and Objectives

Macrocheles muscaedomesticae (Scopoli) is the most common mite found in cow and poultry manure worldwide. It feeds on manure-dwelling flies and spreads via flies. According to studies conducted in Khuzestan, Iran, and other countries, this is the dominant predator mite of immature the house flies, *Musca domestica* L. in domestic animal manures.

Control strategies for dipterous pest species continue to rely heavily on insecticides, even though these species have developed resistance to most insecticides currently available due to their widespread use. Increased public and farmer awareness have prompted scientists to investigate alternative methods for managing these filth flies. The purpose of this study was to determine the effect of two temperatures on *M. muscaedomesticae*'s functional response to varying egg densities of *M. domestica*.

Materials and Methods

In this study, the functional response of female predator mite *M. muscaedomesticae* was examined on the house fly eggs in an incubator at two constant temperatures of 27 ± 1°C and 33 ± 1°C, 65 ± 5% RH, 14:10 h (L: D). Densities of 1, 2, 4, 8, 12, 16, 25, 30, 40, and 80 house fly eggs were offered to mated adult female mites. Before the experiments, female predators were fed and mated for 48 hours and then starved for 24 hours. Each treatment was replicated ten times. After 24 hours of exposure, the number of preys killed by each predator was recorded.

Results

By logistic regression, the functional response of *M. muscaedomesticae* to varying densities of the house fly eggs was classified as type III in 27°C and type II in 33°C. Rogers' equation was used to calculate the functional response parameters. At 27°C, the attack coefficient and handling time were 0.0204 h^{-1} and 0.6497 h, respectively, and 0.6493 h^{-1} and 0.4769 h at 33°C.

At 33°C, the maximum attack rate (T/Th) was 50.32 eggs/day and 36.94 eggs/day at 27°C. R^2 values for *M. muscaedomesticae* at two constant temperatures were estimated to be 0.935 and 0.996 at 27°C and 33°C, respectively. Only at 40 and 80 prey densities did the analysis of variance reveal a significant difference in adult females' daily prey consumption between two constant temperatures. Additionally, there were significant differences between all densities at 33°C and the majority of densities at 27°C.

Discussion

The temperature affected the type of functional response, the handling time, and the maximum attack rate. The findings of this study may contribute to a better understanding of the mite *M. muscaedomesticae*'s interaction with the house fly eggs and could confirm *M. muscaedomesticae*'s suitability as a biological control agent.

Keywords*: *foraging behavior, predation, temperature, handling time