

تخمین آستانه پایین دمای رشدونمو و نیاز گرمایی کفشدوزک،
Cryptolaemus montrouzieri Mulsant (Coleoptera; Coccinellidae)
با بکارگیری مدل‌های خطی روز-درجه و ایکموتو و تاکای

حسین رنجبر اقدم* و سیده عاطفه مرتضوی ملک‌شاه

موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hrap1388@gmail.com

چکیده

کفشدوزک شکارگر کریپتولموس، *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant مهم‌ترین دشمن طبیعی شپشک‌های آرد آلود می‌باشد. شناخت سازگاری‌های بوم‌شناختی عوامل مورد استفاده در برنامه‌های مهار زیستی آفات، موجب افزایش کارایی آنها در مهار آفات هدف خواهد شد. در این پژوهش، تاثیر دما به عنوان مهم‌ترین عامل محیطی موثر بر رشدونمو کفشدوزک یاد شده، مورد مطالعه قرار گرفت. طول دوره‌ی رشدونمو دوره جنینی (تخم)، سنین مختلف لاروی، شفیرگی و کل دوره‌ی نابالغ کفشدوزک کریپتولموس در دامنه‌ی دمایی ۳۵-۱۵ درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰-۵۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی ثبت شد. بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها، دما طول دوره‌ی رشدونمو مراحل رشدی کفشدوزک کریپتولموس را در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر قرار داد و افزایش دما کاهش طول دوره رشد و نمو را بدنبال داشت. مدل‌های خطی روز-درجه و ایکموتو-تاکای به منظور توصیف رشدونمو تابع دمایی کفشدوزک کریپتولموس مورد استفاده قرار گرفت. هر چند هر دو مدل برازش مناسبی روی داده‌ها داشتند، ولی با توجه به معیارهای آماری، مقادیر برآورد شده توسط مدل ایکموتو-تاکای به عنوان شاخص‌های دمایی کفشدوزک کریپتولموس در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج به دست آمده، نیاز گرمایی مراحل رشدی جنینی، لارو سنین اول، دوم، سوم، چهارم لاروی، کل دوره لاروی، شفیرگی و کل دوره نابالغ کفشدوزک کریپتولموس به ترتیب ۸۰/۸۸، ۴۵/۳۸، ۴۳/۶۷، ۵۳/۰۴، ۱۱۳/۲۷، ۲۵۶/۸۹، ۱۴۳/۲۹ و ۴۸۳/۵۹ روز-درجه بود. علاوه بر این مقادیر دمایی آستانه پایین دمای رشدونمو برای مراحل یاد شده با به کارگیری مدل ایکموتو-تاکای به ترتیب ۹/۷۹، ۱۰/۷۴، ۱۰/۲۸، ۹/۶۷، ۱۰/۰۶، ۱۰/۰۷، ۹/۱۸ و ۹/۶۴ درجه سلسیوس برآورد شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش، علاوه بر مشخص کردن جنبه‌هایی از ویژگی‌های دمایی کفشدوزک کریپتولموس، اطلاعات ما را در راستای توسعه‌ی برنامه مهار زیستی شپشک‌های آردآلود افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: صفر رشدی، نیاز گرمایی، مدل خطی، کفشدوزک کریپتولموس

Estimation of the lower temperature threshold and thermal requirement of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera; Coccinellidae) using Degree-Day and Ikemoto-Takai linear models

Hossein Ranjbar Aghdam* & Seyedeht Atefeh Mortazavi Malekshah

Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural, Research, Education and Extension Organization (ARREO), Tehran, Iran

* Corresponding author, E-mail: hrap1388@gmail.com

Abstract

The mealybug destroyer, *Cryptoleamus montrouzieri* Mulsant is the most important natural enemy of the mealybugs. Increasing knowledge regarding ecological compatibilities of the natural enemies lead to increase their efficacy for controlling the pests. In this study, the effect of temperature as the most effective environmental factor on development of the mealybug destroyer was studied. Developmental time of incubation period, all larval instars, pupal period, and overall immature stages of the mealybug destroyer were recorded in temperatures ranging 15-35°C, 50-60% RH, and a photoperiod of (L:D) 16:8h. According to the ANOVA, temperature affected significantly developmental time of the mealybug destroyer at 1% probability level and increasing temperature lead to decreasing developmental time. Degree-Day and Ikemoto-Takai linear models were used to describe temperature-dependent development of the mealybug destroyer. While, both of the linear models had shown an acceptable fit to data, because of better statistical criteria, estimation of the Ikemoto-Takai linear model was considered for thermal indices. Estimated values for thermal requirement of incubation period, 1st, 2nd, 3rd, and 4th larval instars, total larval period, pupal period and overall immature stages of the *C. montrouzieri* were 45.38, 43.67, 53.04, 113.27, 256.89, 143.29 and 483.59 degree-days, respectively. Moreover, the values of the lower temperature threshold for the mentioned developmental stages were 9.79, 10.74, 10.28, 9.67, 10.06, 10.07, 9.18 and 9.64°C, respectively, using Ikemoto and Takai linear model. According to the results, clarifying some aspects of thermal characteristics of the mealybug destroyer, would increase our knowledge to improve biological control program of the mealybugs.

Key words: Zero temperature, Thermal requirement, Linear model, *Cryptoleamus montrouzieri*

Received: 28 September 2019, Accepted: 7 December 2019.

مقدمه

شپشک آرد آلود مرکبات (*Planococcus citri* (Risso)) تقریباً در سرتاسر جهان و ایران انتشار دارد. جمعیت این حشره در باغ‌هایی که در برابر باد محفوظ می‌باشند، بالا بوده و حشره ترجیح می‌دهد، بخش‌های سایه انداز گیاه از جمله ساقه، میوه‌های جوان و جوانه‌های گل را برای زیست و استقرار انتخاب می‌نماید (Bodenheimer, 1951; Meyerdik *et al.*, 1979; Heidari & Copland, 1993). چای، مرکبات، انجیر، انگور، توت، انار، به، زیتون، خربزه، خرزهره، ارکید، چتریان، پیچک، داوودی، سرخس و کلم مهم‌ترین گیاهانی می‌باشند که مورد حمله این آفت قرار می‌گیرند (Gordon, 1985; Charles, 1993; Copland *et al.*, 1993).

کفشدوزک کریپتولموس با نام علمی، *Cryptoleamus montrouzieri* Mulsant که در منابع علمی به نام Mealybug destroyer و Mealybug ladybird نیز گفته می‌شود به عنوان موثرترین شکارگر شپشک‌های آردآلود می‌باشد (Cooper, S. 1985; Al-khateeb & Raie, 2001; Ghadimi-Moazeni, 2004). بررسی‌ها نشان می‌دهند، کفشدوزک *C. montrouzieri* قادر است، علاوه بر تغذیه از شپشک آردآلود مرکبات *P. citri* و شپشک آرد آلود چای *Pseudococcus viburni* Signoret، سایر آفات چای همچون شته‌ی سیاه چای *Toxoptera auranti* (Boyer de Fonscolombe)، کنه‌ی قرمز چای *Brevipalpus obovatus* Donnadieu و شپشک آردآلود جنوب *Nipaeococcus viridis* (newstead) را مورد حمله قرار دهد (Banerjee, 1993; Stoetzel, 1989; Murray, 1978). دامنه‌ی میزبانی کفشدوزک کریپتولموس، شپشک‌های آردآلود جنس *Pseudococcus* و نیز جنس‌های وابسته نظیر *Phenacoccus* و *Ferrisia* را شامل می‌شود، علاوه بر این به بالشتک‌های گیاهی جنس *Pulvinaria* نیز حمله می‌کند (Gordon, 1985).

در مورد تاثیر عوامل غیر زنده روی جمعیت کفشدوزک کریپتولموس، بیش از هر عامل دیگری باید به شرایط آب و هوایی اشاره کرد (Coppel & Mertins, 1977; Bodenheimer, 1951). در پژوهش (Bodenheimer 1951) عدم تطابق با شرایط آب و هوایی جدید یکی از عوامل محدود کننده‌ی جمعیت دشمنان طبیعی وارداتی و مهم‌ترین عامل عدم موفقیت در برنامه‌های مهار زیستی بیان شده است. در مناطقی که به علت شرایط نامساعد جوی این حشرات از بین می‌روند، باید اقدام به نگهداری و پرورش آن‌ها در انسکتاریوم‌ها نمود (Bodenheimer, 1951).

(DeBach, 1973). بر اساس بررسی‌های Izhevsky & Orlinsky (1988) مشخص شد، رهاسازی کفشدوزک *C. montrouzieri* به منظور کنترل شپشک‌های آرد آلود از قبیل شپشک آرد آلود مرکبات سبب استقرار این دشمن طبیعی نمی‌شود، زیرا شرایط محیطی و آب و هوای معتدل ساحلی مناسب برای این کفشدوزک نبوده و این حشره قادر به تحمل سرما نمی‌باشد. از طرف دیگر مشخص شده است، رشدونمو گیاهان و جانوران خونسرد تابع دمای محیط است. گفته می‌شود، هر چه دمای محیط اطراف آن‌ها بالا برود، سریع‌تر رشد می‌کنند. البته باید توجه داشت هنگامی که دما از یک حد مشخصی بالاتر برود، منجر به کاهش و حتی توقف رشد آن‌ها خواهد شد (Yang et al., 1996).

دما از عوامل غیرزنده موثر بر تحرک کنه‌ها، حشرات و دشمنان طبیعی آن‌ها است (Huffaker et al., 1999). آفات و دشمنان طبیعی آن‌ها ممکن است در محدوده‌های دمایی متفاوت قادر به فعالیت باشند که شناخت آن‌ها قبل از هر اقدامی ضروری می‌باشد (Roy et al., 2002). ویژگی‌های دمایی متفاوتی بین گونه‌ها (Honek, 1996; Frazer & McGregor, 1992) جمعیت‌ها (Lee & Elliot, 1998)، مراحل رشد و نموی (Honek & Kocourek, 1988) و دیگر عوامل اکولوژیکی مثل منابع غذایی وجود دارد. مطالعه اثر دماهای مختلف روی زیست‌شناسی، رفتار و کارایی دشمنان طبیعی در استفاده موفقیت آمیز از آن‌ها نقش اساسی دارد (Zamani et al., 2006). مطالعات انجام شده در مورد اثر دما روی رشد و نمو حشرات نشان داده است، دوره‌ی رشدونمو حشرات با افزایش دما کاهش می‌یابد (Golizadeh et al., 2007; Gilbert & Raworth, 1996). به طور کلی فرایندهای حیاتی تابع دما در حشرات زمانی آغاز می‌شود که دما از یک آستانه خاصی که دمای آستانه پایین رشد و نمو نامیده می‌شود، بالاتر برود. آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو بین گونه‌های مختلف حشرات متفاوت است. حتی جمعیت‌های مختلف یک گونه نیز به دلیل اینکه به شرایط آب و هوایی متفاوتی سازگار شده‌اند، دارای آستانه‌های دمایی مختلفی برای رشد و نمو می‌باشد (Casey, 1992). بعد از این آستانه، با بالا رفتن دما، نرخ رشدونمو حشرات به صورت خطی افزایش یافته تا اینکه در دمای خاصی که دمای بهینه نامیده می‌شود، به بالاترین مقدار خود می‌رسد، با تجاوز دما از دمای بهینه نرخ رشدونمو به سرعت کاهش می‌یابد تا اینکه در دمای آستانه‌ی بالایی رشدونمو به صفر رسیده و متوقف می‌شود. در دماهای بالاتر از آستانه‌ی رشد و نمو میزان مرگ و میر حشره صد در صد است و در واقع در دمای آستانه بالایی رشد و نمو، ساختارهای پروتئینی حشرات تخریب می‌شود (Huffaker & Gutierrez, 1999; Sinclair et al., 2003; Golizadeh, 2007). فعالیت دشمنان طبیعی نیز تحت تاثیر دما تغییر می‌یابد. البته در دماهای بالا طول عمر حشرات کامل کاهش یافته و از این طریق ممکن است از کارایی آن‌ها کاسته شود. نگهداری حشرات در دماهای پایین نیز مزایای خاص خود را دارد. مهم‌ترین فایده این است که در دماهای پایین متابولیسم حشرات با مقدار کمی انرژی انجام می‌شود و بنابراین در زمان‌هایی که منابع غذایی محدود باشند، حشرات می‌توانند مدت زمان بیشتری را در حالت گرسنگی سپری نمایند (Huffaker & Gutierrez, 1999). البته گاهی در دماهای پایین بقای حشرات با خطر بیشتری مواجه می‌شود، زیرا در دماهای پایین طول دوره مراحل پیش از بلوغ افزایش می‌یابد و خطر مرگ و میر ناشی از دشمنان طبیعی و عوامل بیماری‌زا افزایش می‌یابد و در این صورت افرادی که سریع‌تر دوره زندگی خود را تکمیل می‌کنند، موفق‌تر خواهند بود (Casey, 1992).

نرخ رشد، به صورت عکس زمان بکار رفته، برای تغییر از یک مرحله‌ی رشدی به مرحله‌ی بعدی رشد بیان می‌شود (Cossins & Bowler, 1987) که در دمای آستانه پایین برابر صفر است و با دما افزایش یافته و دمای بهینه به اوج خود می‌رسد و سپس به سرعت تا آستانه دمای بالا، کاهش می‌یابد. این رابطه تا حدی غیرخطی است اما در دماهای میانی تقریباً خطی است (Wagner et al., 1984). برای توصیف رابطه بین دما و رشد و نمو بند پایان

توابع یا مدل‌های غیر خطی متعددی پیشنهاد و در پژوهش‌هایی نیز مورد استفاده قرار گرفته است (برای مثال: Logan *et al.*, 1976; Sharpe & DeMichile, 1977; Harcourt & Yee, 1982; Wagner *et al.*, 1984; Lamb, 1992; Lactin *et al.*, 1995; Briere *et al.*, 1999; Golizadeh *et al.*, 2007; Forouzan *et al.*, 2008) ولی در این میان کاربرد مدل‌های خطی به منظور برآورد شاخص‌های مهم دمایی رشد و نمو حشرات و کنه‌ها به دلیل سادگی مدل، سهولت کاربرد و کسب نتایج قابل قبول توسط پژوهشگران زیادی از قبیل (Campbell *et al.* (1974); Howell & Neven (2000); Roy *et al.* (2002); Golizadeh (2007); Ranjbar Aghdam *et al.* (2009); Nemati *et al.* (2014) مورد استقبال قرار گرفته و بکار رفته است.

در همین راستا پژوهش‌های زیادی در مورد تاثیر دما روی رشدونمو دشمنان طبیعی مثل کفشدوزک *Scymnus syriacus* Marseul توسط Emami *et al.* (1999)، و یا تعیین نیاز گرمایی و روند زیستی بالتوری سبز معمولی توسط Figueira (2000) به دلیل اهمیت آن انجام شده است. چون دما مهم‌ترین عامل محیطی موثر روی روند رشدونمو (Campbell *et al.*, 1974; Logan *et al.*, 1976; Gilbert & Raworth, 1996)، دینامیسم جمعیت و تغییر فعالیت‌های فصلی حشرات، کنه‌ها و دشمنان طبیعی آن‌ها (Huffaker *et al.*, 1999) می‌باشد. بر همین اساس، در پژوهش حاضر نیز تاثیر تغییرات دما روی روند رشدونمو کفشدوزک شکارگر کریپتولموس مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت و بر اساس نتایج به دست آمده با بکارگیری دو مدل خطی روز-درجه و ایکموتو- تاکای نسبت به برآورد آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی مراحل مختلف رشدی کفشدوزک مورد نظر به عنوان مهم‌ترین عامل مهار زیستی مورد استفاده در کنترل شپشک‌های آرد آلود در باغ‌های چای و مرکبات شمال کشور اقدام شد.

مواد و روش‌ها

کلنی اولیه‌ی شپشک آردآلود *P. citri* و کفشدوزک *C. montrouzieri* از آزمایشگاه کنترل بیولوژیک آمل تهیه شد. نمونه‌های اولیه برای تشکیل کلنی یاد شده نیز از باغ‌های چای استان مازندران جمع‌آوری شده بود.

پرورش شپشک آردآلود *P. citri*

پرورش شپشک آردآلود *P. citri* روی کدو تنبل انجام شد. بدین منظور دو عدد کیسه تخم شپشک آردآلود به ازای هر کدوی دو کیلویی روی هر یک از آنها قرار داده شد. پرورش شپشک‌های آردآلود در اتاقک رشد حشرات با دمای ثابت در دمای 27 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره‌ی نوری $16:8$ (L:D) ساعت انجام شد.

پرورش کفشدوزک کریپتولموس *C. montrouzieri*

بعد از تثبیت و افزایش جمعیت شپشک‌های آردآلود روی کدوها، حشرات کامل کفشدوزک *C. montrouzieri* روی آن‌ها رهاسازی شد. پرورش کفشدوزک داخل قفسه‌های آلومینیومی با جداره‌های توری به ابعاد تقریبی $70 \times 80 \times 100$ سانتیمتر در اتاق پرورش حشرات در دمای 27 ± 1 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره نوری $16:8$ (L:D) ساعت انجام شد. پرورش کفشدوزک‌ها تا ۲ نسل به منظور تثبیت کلنی آزمایشگاهی ادامه یافت و برای انجام آزمایش‌ها از تخم‌های گذاشته شده توسط کفشدوزک‌های نسل دوم آزمایشگاهی استفاده شد. بدین منظور هر جفت از حشرات کامل کفشدوزک بعد از ظهور به منظور جفت‌گیری و تخم‌ریزی در ظروف پتری‌دیش به قطر ۹ سانتی متر که کف آن‌ها با یک لایه یک پارچه نازک با تار و پود ظریف و نرم پوشیده شده بود، منتقل شدند. علت استفاده از این لایه این بود که کفشدوزک‌های ماده در حاشیه‌های

پارچه و در بین تار و پود آن تخم گذاشته و تخم‌ها هم محفوظ بودند، از سوی دیگر با این روش تخم‌های کفشدوزک به سهولت از تخم‌های شپشک قابل تشخیص و شمارش بودند. برای تغذیه‌ی کفشدوزک‌ها از تخم و پوره‌های سنبلین مختلف شپشک استفاده شد. تخم‌های گذاشته شده توسط کفشدوزک‌های ماده از ظروف یاد شده روزانه تفکیک و شمارش شد و کفشدوزک‌ها به پتری‌دیش‌های مشابه جدید انتقال داده شدند تا در هر ظرف پتری، تخم‌های یک روزه با عمر کمتر از ۲۴ ساعت قابل استحصال باشد.

بررسی تاثیر دما روی رشدونمو کفشدوزک *C. montrouzieri*

در پژوهش حاضر، روند رشدونمو کفشدوزک *C. montrouzieri* در ۶ دمای (۱±) ۲۰، ۲۵، ۲۷، ۳۰ و ۳۳ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی : روشنایی) در اتاقک رشد بررسی شد. به همین منظور ۳۰۰-۱۰۰ عدد تخم یک روزه (که کمتر از ۲۴ ساعت عمر داشتند) از نتاج نسل دوم آزمایشگاهی کلنی انتخاب و به صورت دسته‌ای داخل پتری‌دیش‌های حاوی تخم یعنی بدون جداسازی تخم‌ها از پتری به دلیل کاهش خطای ناشی از آسیب وارده به تخم‌ها در اثر جداسازی از پتری، داخل اتاق‌های رشد در هر یک از دماهای یاد شده منتقل شدند. روند رشدونمو هر فرد به طور روزانه تا ظهور کفشدوزک‌های بالغ در هر یک از دماهای مورد بررسی ثبت شد. به این ترتیب که ظروف پتری هر روز زیر بینوکولار بررسی و زمان تفریح تخم‌ها به عبارت بهتر طول دوره‌ی جنینی هر فرد ثبت شد. سپس هر یک از لاروهای سن یک نو ظهور به یک پتری‌دیش مجزا انتقال داده شدند. هر روز مراحل مختلف سنی شپشک آردآلود به عنوان غذا در اختیار لاروهای کفشدوزک قرار داده شدند و ضمن تجدید غذا تغییرات رشدی هر فرد مانند تغییر سنبلین لاروی یا شفیره شدن آن‌ها به طور روزانه ثبت شد. در ادامه بعد از رسیدن افراد به دوره شفیرگی، ضمن بازدید روزانه به محض ظهور افراد بالغ، طول دوره‌ی شفیرگی افراد نیز ثبت شد. بر اساس داده‌های ثبت شده، در هر یک از دماهای مورد بررسی، طول دوره‌ی رشدی مراحل جنینی (تخم)، سنبلین لاروی ۱، ۲، ۳ و ۴، شفیرگی و کل دوره‌ی رشدونمو نابالغ کفشدوزک کریپتولموس تعیین شد.

برای اینکه تاثیر دماهای مختلف بر طول دوره‌ی رشدی هر یک از مراحل یاد شده مشخص شود، با تجزیه واریانس یک-سویه (One-way ANOVA) معنی‌دار بودن تفاوت بین طول دوره‌ی رشد و نمو هر یک از مراحل رشدی کفشدوزک کریپتولموس در دماهای مورد بررسی مشخص شد. به منظور مقایسه‌ی میانگین طول دوره‌ی رشدونمو کفشدوزک در دماهای مورد بررسی از آزمون توکی استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

تاثیر دما بر نرخ رشدونمو کفشدوزک *C. montrouzieri* و استفاده از مدل‌های ریاضی برای توصیف آن

به منظور توصیف رشدونمو کفشدوزک مذکور در دماهای مختلف و تعیین شاخص‌های دمایی هدف از دو مدل ریاضی خطی استفاده شد. بدین منظور ابتدا نرخ رشدونمو مراحل رشدی کفشدوزک کریپتولموس در دماهای مورد بررسی بر اساس داده‌های طول دوره رشد و نمو طبق Jervis & Copland (1996) محاسبه شد و در مرحله‌ی بعد توان مدل‌های ریاضی برای توصیف روند تغییرات نرخ رشد و نمو تابع دمای کفشدوزک کریپتولموس و برآورد شاخص‌های دمایی مربوطه مورد ارزیابی قرار گرفت.

مدل‌های ریاضی مورد ارزیابی

در این پژوهش مدل‌های خطی بر اساس این واقعیت که نرخ رشد و نمو حشرات با افزایش دما، در محدوده خاصی از دما که احتمال رخداد آن در طبیعت در طول فصل رشد بیشتر است، به صورت خطی افزایش می‌یابد،

مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس در پژوهش حاضر برای توصیف رشد و نمو کفشدوزک *C. montrouzieri* در دماهای مختلف دو مدل خطی "روز-درجه" و "ایکموتو و تاکای" مورد استفاده قرار گرفت.

الف-مدل خطی روز-درجه

ساده‌ترین مدل ریاضی برای توصیف ارتباط بین نرخ رشدونمو و دما، این مدل می‌باشد (Campbell *et al.*, 1974). در این مدل، دما به عنوان متغیر مستقل و نرخ رشد و نمو به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود. این مدل به صورت زیر است:

$$D = \frac{K}{(T - t_{min})}$$

که در این رابطه D طول دوره رشدونمو، T دمای محیط، K نیاز گرمایی و t_{min} آستانه پایین دمای رشدونمو است. شکل تغییر یافته‌ی این مدل برای سهولت بیشتر جهت محاسبه‌ی آستانه‌ی پایین دمای رشدونمو و نیاز گرمایی به صورت زیر می‌باشد (Briere *et al.*, 1999):

$$\frac{1}{D} = -\frac{t_{min}}{K} + \frac{1}{K}T$$

این مدل در واقع رابطه‌ی رگرسیون خطی نرخ رشدونمو و دمای محیط می‌باشد (Campbell *et al.*, 1974; Honek & Kocourek, 1988). بعد از مشخص شدن مدل خطی روز-درجه‌ی هر یک از مراحل رشدی کفشدوزک کریپتولموس روابط، $K=1/b$ و $t_{min}=-a/b$ به ترتیب به منظور برآورد نیاز گرمایی و آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو کفشدوزک مورد استفاده قرار گرفت.

ب- مدل خطی ایکموتو و تاکای

به منظور تخمین دقیق‌تر شاخص‌های دمایی رشد و نمو موجودات خونسرد، که امکان تخمین آن با بکارگیری مدل‌های خطی وجود دارد، شکل جدیدی از رابطه خطی بین طول دوره رشدونمو \times دما (DT) و طول دوره رشدونمو (D) توسط Ikemoto & Takai (2000) به صورت زیر ارائه شده است.

$$DT = k + t_{min} D$$

در این پژوهش به منظور به دست آوردن بهترین مدل خطی ایکموتو و تاکای و شاخص‌های دمایی مورد نیاز برای هر یک از مراحل رشدی کفشدوزک کریپتولموس از روش RMA=Reduced Major Axis (Smith, 2009; Friedman *et al.*, 2013) استفاده شد. با توجه به اینکه در مدل ایکموتو و تاکای، شاخص‌های دمایی هدف شامل آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی پراسنجه‌های اصلی مدل هستند، به منظور محاسبه آنها به شرح زیر اقدام شد:

اگر مدل خطی ایکموتو و تاکای به صورت $y = c + mx$ نوشته شود، در این حالت $c = t_{min}$ و $m = k$ و $x = D$ خواهد بود. در این حالت طبق روش RMA مقدار عددی m (یا آستانه پایین دمای در مدل ایکموتو و تاکای) با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Bohonak, 2004).

$$m = \frac{s_y}{s_x} = \sqrt{\frac{\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}}$$

در این رابطه، s_x و s_y به ترتیب انحراف معیار متغیرهای y و x است.

در ادامه برای محاسبه مقدار عددی پراسنجه c (که معادل پراسنجه نیاز گرمایی در مدل ایکموتو و تاکای می-باشد) از رابطه زیر استفاده شد (Bohonak, 2004).

$$c = \bar{y} - m\bar{x}$$

در این رابطه m شیب خط (یا آستانه پایین دمایی در مدل ایکموتو و تاکای) بوده و پراسنجه‌های \bar{y} و \bar{x} به ترتیب میانگین متغیرهای y و x می‌باشد.

شاخص‌های دمایی هدف

الف- آستانه‌ی پایین دمای رشدونمو (t_{min})

آستانه پایین دمای رشدونمو، حداقل دمایی است که در دماهای پایین‌تر از آن رشد و نمو خیلی کند شده و یا متوقف می‌شود (Kontodimas et al., 2004).

ب- نیاز گرمایی (K)

نیاز گرمایی، مقدار گرمای مورد نیاز برای کامل شدن رشد و نمو هر یک از مراحل رشدی یک موجود خونسرد می‌باشد. نیاز گرمایی، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های دمایی موثر روی رشد و نمو موجودات خونسرد می‌باشد. مقدار گرمای موثر مورد نیاز برای رشد و نمو موجودات خونسرد با یکی از واحدهای روز-درجه یا ساعت-درجه بیان می‌شود (Campbell et al., 1974; Kontodimas et al., 2004; Golizadeh, 2007).

تجزیه و تحلیل آماری نتایج

به منظور تعیین بهترین خط با بیشترین میزان برازش روی داده‌های مشاهده‌ای و برآورد پراسنجه‌های مدل برای مدل روز-درجه بر اساس روش تجزیه رگرسیون معمولی - نوع اول (OLS=Ordinary Least Squares) و برای مدل ایکموتو و تاکای از روش مدل رگرسیون نوع دوم (RMA=Reduced Major Axis) استفاده شد. چون در این مدل هیچیک از دو متغیر مورد استفاده در رابطه خطی (طول دوره رشدونمو، D به عنوان متغیر اول و حاصل ضرب طول دوره رشد در دما، DT به عنوان متغیر دوم) به عنوان متغیر مستقل نیستند. بر این اساس با استناد به Bohonak (2004)، Smith (2009) و Friedman et al. (2013) از روش RMA در این مورد استفاده شد. در این پژوهش، تجزیه تحلیل آماری داده‌ها و ترسیم شکل‌ها، با بکارگیری نرم افزارهای SPSS ver. 25.0 و Excel 2019 انجام شد.

نتایج

رشدونمو تابع دمای کفشدوزک کریپتولموس

طول دوره‌ی رشدونمو مراحل زیستی جنینی (تخم)، لاروی، شفیرگی و کل دوره‌ی رشدونمو نابالغ کفشدوزک کریپتولموس در ۷ دمای ثابت مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به دست آمده در جدول ۱ ارائه شده است. به دلیل اینکه در دمای ۳۵ درجه‌ی سلسیوس تمام تخم‌های مورد مطالعه از بین رفتند، نتایج مربوط به این دما در جدول ارائه نشده است. در دمای ۳۳ درجه سلسیوس نیز فقط دو فرد تا مرحله لارو سن ۴ پیش رفتند و بقیه‌ی افراد بررسی شده از بین رفتند. تجزیه‌ی واریانس داده‌های طول دوره‌ی رشدونمو مراحل زیستی کفشدوزک کریپتولموس در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی نامتعادل، وجود اختلاف معنی دار بین طول دوره‌ی رشدونمو در طول دوره‌های رشدونمو جنینی ($F_{5, 427}=1442.40, P<0.001$)، لاروی ($F_{4, 316}=4899.90, P<0.001$)، شفیرگی ($F_{4, 316}=707.66, P<0.001$) و کل دوره‌ی نابالغ ($F_{4, 316}=2269.79, P<0.001$)، شفیرگی ($F_{4, 316}=707.66, P<0.001$) و کل دوره‌ی نابالغ ($F_{4, 316}=4899.90, P<0.001$)

کفشدوزک در دماهای مختلف را در سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان داد. بر این اساس، مقایسه‌ی میانگین طول دوره‌ی رشد و نمو مراحل مختلف رشدی کفشدوزک مورد بررسی در دماهای مختلف با آزمون توکی انجام و گروه‌بندی تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد (جدول ۱). بر اساس نتایج حاصله مشخص شد با افزایش دما از ۱۵ تا ۳۰ درجه‌ی سلسیوس طول دوره رشدونمو مراحل مختلف رشدی کفشدوزک کریپتولموس کاهش می‌یابد. بر این اساس طولانی‌ترین دوره‌ی رشدونمو در دمای ۱۵ درجه‌ی سلسیوس و کوتاهترین طول دوره‌ی رشدونمو کفشدوزک در دمای ۳۰ درجه سلسیوس مشاهده شد.

جدول ۱- طول دوره رشدونمو مراحل نابالغ کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* در دماهای مورد بررسی

Table 1. Developmental times of *Cryptolaemus montrouzieri* immature stages in studied temperatures.

Developmental Stage	Temperature (°C)	No. of Individual	Developmental Time		
			Min.	Max.	Mean ± SE
Incubation Period	15	81	11	16	13.76 ± 0.17 d
	20	98	8	11	9.23 ± 0.09 c
	25	70	5	6	5.41 ± 0.05 b
	27	102	4	5	4.15 ± 0.07 a
	30	67	4	6	4.19 ± 0.05 a
1 st Instar Larva	33	16	4	5	4.37 ± 0.12 a
	15	70	7	15	10.70 ± 0.26 d
	20	94	4	6	4.74 ± 0.05 c
	25	67	2	4	3 ± 0.05 ab
	27	98	2	4	2.65 ± 0.07 a
2 nd Instar Larva	30	95	2	3	2.67 ± 0.05 a
	33	7	3	4	3.28 ± 0.18 b
	15	67	4	13	8.86 ± 0.21 c
	20	93	3	7	4.72 ± 0.09 b
	25	63	2	4	2.44 ± 0.07 a
3 rd Instar Larva	27	93	2	4	2.91 ± 0.07 a
	30	65	1	4	2.33 ± 0.06 a
	33	3	2	3	2.33 ± 0.33 a
	15	64	6	12	9.68 ± 0.16 d
	20	87	4	7	5.49 ± 0.10 c
4 th Instar Larva	25	63	2	5	3.36 ± 0.08 ab
	27	90	2	5	2.93 ± 0.07 a
	30	63	2	4	2.68 ± 0.09 a
	33	2	4	4	4.0 ± 0.00 b
	15	56	17	27	22.33 ± 0.32 d
Larval Period	20	79	9	17	11.92 ± 0.22 c
	25	62	6	8	7.08 ± 0.06 b
	27	79	5	8	6.11 ± 0.09 a
	30	57	5	8	6.43 ± 0.12 a
	33	0	-	-	-
Pupal Period	15	56	41	58	51.37 ± 0.68 d
	20	78	23	33	26.76 ± 0.25 c
	25	62	14	18	15.88 ± 0.10 b
	27	79	13	18	14.63 ± 0.14 a
	30	57	11	17	14.05 ± 0.18 a
Total Immature Stages	33	-	-	-	-
	15	53	17	30	22.52 ± 0.43 e
	20	72	11	20	14.80 ± 0.27 d
	25	61	7	11	9.65 ± 0.10 c
	27	78	6	10	7.49 ± 0.09 b
Total Immature Stages	30	57	5	9	6.75 ± 0.17 a
	33	-	-	-	-
	15	53	76	97	87.07 ± 0.76 e
	20	72	46	55	50.48 ± 0.33 d
	25	61	28	34	31.13 ± 0.15 c
Total Immature Stages	27	78	24	28	26.28 ± 0.11 b
	30	57	22	30	24.96 ± 0.21 a
	33	-	-	-	-

* میانگین‌های طول دوره‌ی رشدونمو هر یک از مراحل رشدی که دارای حروف متفاوت هستند، دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (آزمون توکی، $P < 0.05$).

* Means with different letters are significant different in each developmental stage. (Tukey, $P < 0.05$).

ارزیابی مدل‌های خطی در توصیف روند رشد و نمو تابع دمای کفشدوزک کریپتولموس

در ارزیابی مدل‌های خطی مورد بررسی بر اساس نتایج حاصل مشخص شد که داده‌های مربوط به دمای ۳۳ درجه سلسیوس نسبت به داده‌های سایر دماها فاصله زیادی با خط مستقیم معادله رگرسیون خطی داشتند. بر این اساس به منظور تخمین دقیق آستانه‌ی پایین دمای و نیاز گرمایی مراحل مختلف رشدی کریپتولموس، داده‌های این دما با توجه به (Declerq & Degheele (1992) و (Ranjbar Aghdam et al. (2009) از تجزیه رگرسیون خطی حذف شدند تا موجب ایجاد خطا در برآورد درست آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی نشود. بر این اساس، مدل رگرسیون خطی به دست آمده، آستانه‌ی پایین دما و نیاز گرمایی هر یک از مراحل رشدی کفشدوزک کریپتولموس در جدول ۲ ارائه شده است. هر چند بر اساس نتایج به دست آمده تفاوت فاحشی بین دو مدل مورد بررسی از نظر میزان دقت در پیش بینی روند رشدونمو در دماهای مخلف مشاهده نمی‌شود، ولی متخصصین امر پیش بینی‌های مدل خطی ایکموتو و تاکای را به مدل خطی معمولی (روز-درجه) به دلیل دقت بالاتر در بیشتر موارد ترجیح می‌دهند.

جدول ۲- ارزیابی مدل‌های خطی روز-درجه و ایکموتو و تاکای به منظور برآورد آستانه‌ی پایین دمای رشدونمو

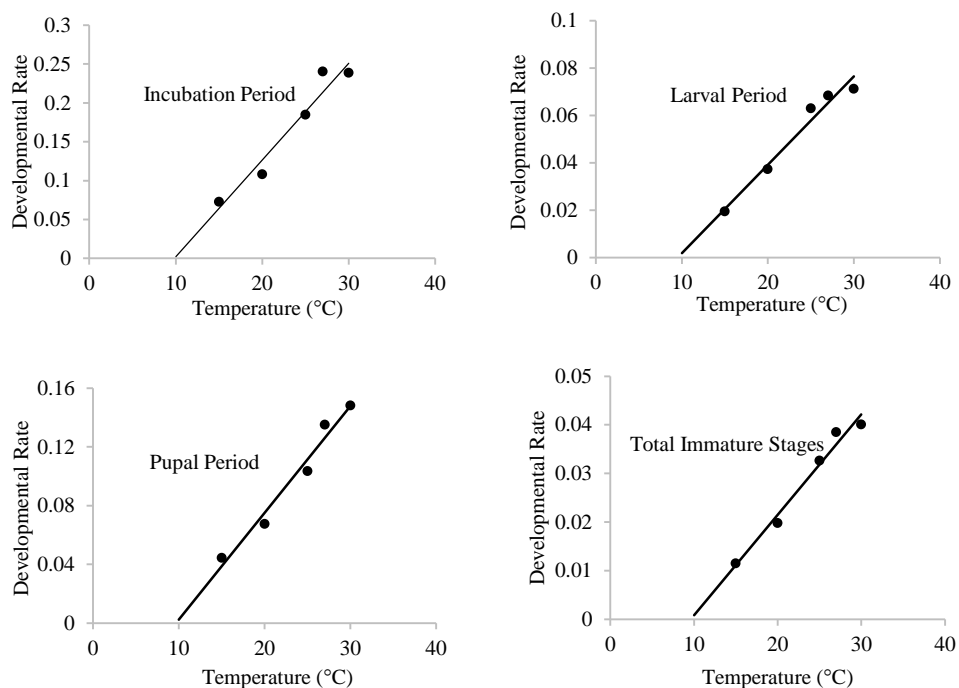
و نیاز گرمایی مراحل نابالغ کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri*

Table 2. Evaluation of Degee-Day and Ikemoto-Takai Linear models to estimate lower thermal threshold and thermal requirement of *Cryptolaemus montrouzieri* immature stages

Model	Developmental Stage	Linear model	t_{min} (°C)	K (DD)	r^2 ($\times 10^{-2}$)	P-value
Degree - Day	Incubation Period	DR = -0.122 + 0.012 T	9.83	80.30	94.40	0.006
	1 st Instar Larva	DR = -0.195 + 0.020 T	9.65	49.51	95.17	0.004
	2 nd Instar Larva	DR = -0.204 + 0.021 T	9.44	46.35	90.00	0.014
	3 rd Instar Larva	DR = -0.184 + 0.019 T	9.73	52.69	98.95	0.000
	4 th Instar Larva	DR = -0.077 + 0.008 T	9.29	119.78	93.34	0.007
	Larva	DR = -0.045 + 0.004 T	9.48	268.43	96.64	0.003
	Pupa	DR = -0.070 + 0.007 T	9.69	137.42	96.94	0.002
	Total Immature Stages	DR = -0.024 + 0.002 T	9.59	484.39	97.46	0.001
Ikemoto-Takai	Incubation Period	DT = 80.88+9.79 D	9.79	80.88	94.50	0.005
	1 st Instar Larva	DT = 45.38+10.74 D	10.74	45.38	99.02	0.000
	2 nd Instar Larva	DT = 43.67+10.28 D	10.28	43.67	96.92	0.002
	3 rd Instar Larva	DT = 53.04+9.67 D	9.67	53.04	99.23	0.000
	4 th Instar Larva	DT = 113.27+10.06 D	10.06	113.27	97.83	0.001
	Larva	DT = 256.89+10.07 D	10.07	256.89	98.92	0.000
	Pupa	DT = 143.29+9.18 D	9.18	143.29	95.49	0.004
	Total Immature Stages	DT = 483.59+9.64 D	9.64	483.59	98.56	0.000

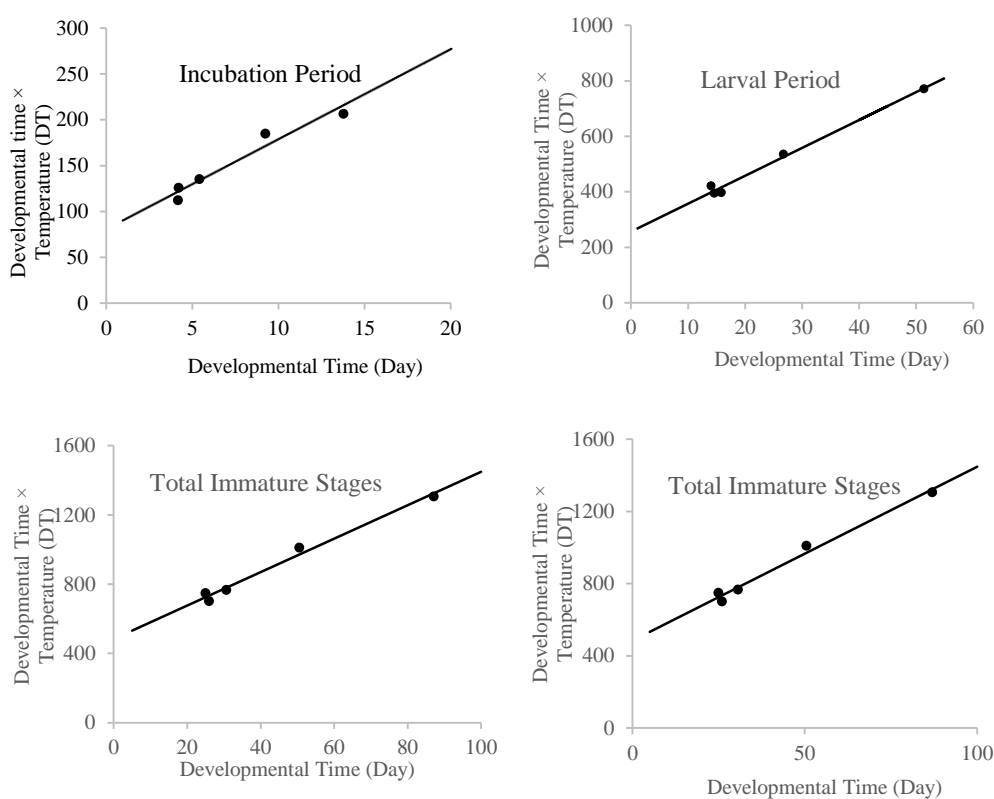
DR = Developmental rate; D = Developmental time; T = Temperature

شکل‌های ۱ و ۲ برازش داده‌های به دست آمده از مشاهدات ثبت شده برای طول دوره‌ی رشدونمو مراحل مختلف رشدی کفشدوزک کریپتولموس را در ۵ دمای ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۷ و ۳۰ درجه‌ی سلسیوس به ترتیب روی مدل‌های خطی روز-درجه و ایکموتو و تاکای نشان می‌دهد.



شکل ۱- برازش مدل خطی روز-درجه روی داده‌های حاصل از مشاهدات ثبت شده برای نرخ رشد و نمو مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri*. دایره‌های توپر مقادیر مشاهده شده را نشان می‌دهد.

Fig. 1. Fitting Degree-Day linear model to observed values of developmental rates (1/d) of *Cryptolaemus montrouzieri* immature stages. Black circles represent observed values.



شکل ۲- برازش مدل خطی ایکموتو-تاکای روی داده‌های حاصل از مشاهدات ثبت شده برای طول دوره رشد و نمو مراحل مختلفی رشدی کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri*. دایره‌های توپر مقادیر مشاهده شده را نشان می‌دهد.

Fig. 2. Fitting Ikemoto-Takai linear model to observed values of developmental times of *Cryptolaemus montrouzieri* immature stages. Black circles represent observed values.

تخمین شاخص‌های مهم دمایی رشد و نمو تابع دمایی کفشدوزک کریپتولموس

مقادیر برآورد شده برای شاخص آستانه‌ی پایین دمایی رشدونمو با بکارگیری مدل ایکموتو-تاکای در دامنه‌ی دمایی ۹/۱۸ تا ۱۰/۷۴ قرار داشت که کمترین مقدار آن مربوط به دوره‌ی شفیرگی و بیشترین مقدار آن مربوط به سن اول لاروی کفشدوزک کریپتولموس بود. این موضوع می‌تواند نشانگر تحمل بیشتر مرحله‌ی شفیرگی نسبت به دماهای پایین‌تر در مقایسه با سایر مراحل رشدی کفشدوزک باشد.

همینطور بر اساس نتایج به دست آمده نیاز گرمایی کل دوره رشدی کفشدوزک شکارگر کریپتولموس ۴۸۳/۵۹ روز-درجه‌ی سلسیوس برآورد شد. از نظر نیاز گرمایی نیز کمترین مقدار مربوط به دوره‌ی جنینی کفشدوزک با مقدار ۸۰/۸۸ روز-درجه‌ی سلسیوس و بیشترین مقدار آن مربوط به کل دوره‌ی لاروی کفشدوزک مورد بررسی با مقدار ۲۵۶/۸۹ روز-درجه‌ی سلسیوس بود. البته باید توجه داشت که نیاز گرمایی با طول دوره‌ی رشد و نمو موجودات خونسرد در دماهای بالاتر از آستانه‌ی پایین رشد و نمو ارتباط مستقیم داشته با طولانی شدن طول دوره رشد هر یک از مراحل نابالغ، گرمای موثر بیشتری از محیط جذب می‌کند که این موضوع با سوخت و ساز مواد غذایی و تولید انرژی لازم برای رشد تا رسیدن به مرحله رشدی بعدی ارتباط پیدا می‌کند.

بحث

دما، مهم‌ترین عامل محیطی برای بروز تغییرات در ویژگی‌های زیستی بندپایان است. نوسان اندکی در مقدار دما ممکن است تغییرات عمده‌ای در نرخ فرآیند‌های زیستی بندپایان ایجاد نماید (Wagner *et al.*, 1984). بر این اساس، تخمین هر چه دقیق‌تر شاخص‌های دمایی موثر بر روند رشد و نمو تولید مثل حشرات و کنه‌ها اهمیت پیدا می‌کند.

در گذشته مدل‌های خطی در مقایسه با مدل‌های غیرخطی توسط محققین بیشتری به منظور توصیف روند رشد و نمو تابع دمای حشرات و کنه‌ها و تخمین شاخص‌های دمایی آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی آنها مورد استفاده قرار گرفته است (Campbell *et al.*, 1974; Honek & Kocourek, 1988; Howell & Neven, 2000; Roy *et al.*, 2002; Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009). دلیل این استقبال، اول سادگی مدل‌های خطی در مقایسه با مدل‌های غیرخطی و تعداد اندک پارامترهای آنها می‌باشد. دوم، محاسبه نیاز گرمایی با بکارگیری مدل‌های خطی به سهولت انجام می‌شود. از طرف دیگر برای برآورد تقریبی آستانه‌ی پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی گونه‌های مورد مطالعه نیازی به انجام بررسی و ثبت مشاهدات در دامنه‌ی وسیع دمایی نیست و در نهایت اینکه این مدل‌ها ارتباط خطی بین روند رشد و نمو موجودات خونسرد را در یک دامنه‌ی دمایی که احتمال رخداد آن در طول دوره فصلی رشد و نمو حشرات و کنه‌های بیشتر است، می‌توانند به راحتی نشان دهند. بر این اساس کاربرد این مدل‌ها همچنان مورد تایید مراجع علمی مختلف حتی در کنار مدل‌های غیرخطی می‌باشد (برای مثال: Kontodimas *et al.*, 2004; Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009). در این پژوهش نیز با توجه به محدودیت‌های موجود امکان بررسی روند رشد و نمو کفشدوزک کریپتولموس در دامنه‌ی دمایی بیشتر میسر نبود. بر این اساس از مدل‌های خطی به منظور تخمین شاخص‌های دمایی رشد و نمو کفشدوزک استفاده شد.

در راستای تخمین دماهای بحرانی موثر بر رشد و نمو و سایر فعالیت‌های زیستی کفشدوزک کریپتولموس، Bodenheimer (1951) گزارش کرده است، رشد و نمو کفشدوزک *C. montrouzieri* در دمای ۱۰/۳ درجه‌ی سلسیوس متوقف می‌شود. همچنین Gautam (1996) اعلام کرده است که جمعیت‌های گرمسیری کفشدوزک *C. montrouzieri* در دمای ۲۰-۱۵ درجه سلسیوس غیر فعال می‌باشند و کمترین دما برای تغذیه و تخم‌ریزی آنها ۲۱ درجه سلسیوس است. در پژوهش حاضر نیز دمای آستانه‌ی پایین رشد و نمو جمعیت کفشدوزک مورد مطالعه که از باغ‌های چای استان مازندران جمع‌آوری شده بود، با استفاده از مدل ایکموتو-تاکای بین ۹/۱۸ تا ۱۰/۷۴ درجه‌ی سلسیوس برآورد شد. بر همین اساس آستانه‌ی دمایی پایین رشد و نمو برای کل دوره نابالغ کفشدوزک یاد شده نیز ۹/۶۴ درجه‌ی سلسیوس تخمین زده شد که به نتایج Bodenheimer (1951) نزدیک است و با توجه به منشاء گرمسیری جمعیت مورد مطالعه توسط Gautam (1996) نیز با نتایج بدست آمده توسط این پژوهشگر تفاوت‌های معقول و منطقی دارد. در ارتباط با برآورد نیاز گرمایی این شکارگر نیز اطلاعات دیگری در منابع یافت نشد و به نظر می‌رسد پژوهش حاضر اولین تلاش برای برآورد نیاز گرمایی هر یک از مراحل رشدی کفشدوزک کریپتولموس باشد.

References

- 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.
- Banerjee, B. (1993) *Tea production and processing*. 336 pp. Oxford and IBH publishing.

- Bodenheimer, F. S.** (1951) *Citrus entomology, In the Middle East with special reference to Egypt, Iran, Iraq, Palestine, Syria, Turkey.* 663 pp. Springer.
- Bohonak, A. J.** (2004) *Software for Reduced Major Axis Regression.* V.1.17. 5 pp. San Diego State University.
- Briere, J. F., Pracros, P., Roux, A. Y. le. & Pierre, J. S.** (1999) A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environmental Entomology* 28, 22-29.
- Campbell, A., Frazer, B. D., Gilbert, N., Gutierrez, A. P. & Makauer. M.** (1974) Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology* 11, 431-438.
- Casey, T. M.** (1992) Biophysical ecology and heat exchange in insect. *American Zoologist* 32, 225-237.
- Charles, J. G.** (1993) A survey of mealybugs and their natural enemies in horticultural crops in North Island, New Zealand, with implications for biological control. *Biocontrol Science and Technology* 3 (4), 405-418.
- Cooper, S.** (1985) *Cryptolaemus montrouzieri*: a predator for mealybug. *British Cactus and Succulent Journal* 3, 38-39.
- Copland, M. J. W., Perera, H. A. S. & Heidari, M.** (1993) Influence of host plant on the biocontrol of glasshouse mealybug. *Bulletin OILB SROP* 16 (8), 44-47.
- Coppel, H. C. & Mertins, J. W.** (1977) *Biological insect pest suppression.* 314 pp. Germany, Springer-Verlag.
- Cossins, A. R. & Bowler, K.** (1987) *Temperature biology of animals.* Chapman and Hall, London.
- DeBach, P.** (1973) *Biological control of insect pest and weed.* 434 pp. Chapman and Hall, New York.
- DeClerq, P. & Degheele, D.** (1992) Development and survival of *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus sagitta* (Fab.) (Het.: Pentatomidae) at various constant temperatures. *Canadian Entomologists* 124, 125-133.
- Emami, M. S., Sahragard, A. & Hajizade, J.** (1999) Effect of different temperatures on development of *Scymnus syriacus* (Col: Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology and Phytopathology* 17, 35-40.
- Figueira, L.K., Carvalho, C.F. & Souza, B.** (2000) Biology and thermal requirements of *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) fed on *Alabama argillacea* (Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae) eggs. *Ciência e Agrotecnologia* 24 (2), 319-326.
- Forouzan, M., Sahragard, A. & Amir-maafi, M.** (2008) Comparison of non-linear models for predicting developmental rate of different life stages of *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae). *Applied Entomology and Phytopathology* 76, 45-58.

- Frazer, B. D. & McGregor, R. R.** (1992) Temperature-dependent survival and hatching rate of eggs of seven species of Coccinellidae. *Canadian Entomologist* 124, 305-312.
- Friedman, J., Bohonak, A. J. & Levine, A.** (2013) When are two pieces better than one: fitting and testing OLS and RMA regressions. *Environmetric* 24, 306-316.
- Gautam, R. D.** (1996) Reports on the use of coccinellid predators for the management of hibiscus (pink) mealybug in the Caribbean. Centeno (Trinidad and Tobago): Ministry of Agriculture, Land and Marine Resources Central Experiment Station. vp. (07774/H10.G3).
- Ghadimi-Moazeni, M.** (2004) Study on biology and probability of mass rearing of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, predatory coccinellid of citrus mealy bug, Msc., dissertation. Islamic Azad University, Tehran Researches and Science Branch, 67 pp. (In Farsi).
- Gilbert, N. & Raworth, D. A.** (1996) Insects and temperature, a general theory. *The Canadian Entomologist* 128, 1-13.
- Golizadeh, A.** (2007) Thermal requirement and population dynamism of Diamond Back Moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lep: Plutellidae) in Tehran region. PhD Dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. pp. 222. (In Persian).
- Golizadeh, A., Kamali, K., Fathipour, Y. & Abbasipour, H.** (2007) Temperature-dependent development of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on two brassicaceous host plants. *Insect Science* 14, 309-316.
- Gordon, R. D.** (1985) The Coccinellidae (Coleoptera) of America, North of Mexico. *Journal of New York Entomological Society* 93, 1-912.
- Harcourt, D. C. & J. M. Yee.** (1982) Polynomial algorithm for predicting the duration of insect life stages. *Environmental Entomology* 11,581-584.
- Heidari, M. & Copland, M. J. W.** (1993) Honeydew: a food resource or arrestant for the mealybug predator *Cryptolaemus montrouzieri*. *Entomophaga* 38 (1). 63- 68.
- Honek, A.** (1996) Life history and development, pp. 61-93 in Hodek, I. & Honek, A. (Eds.) *Ecology of Coccinellidae*. 464 pp. Kluwer, Dordrecht..
- Honek, A. & Kocourek, F.** (1988) Thermal requirements for development of aphidophagous Coccinellidae (Coleoptera), Chrysopidae, Hemerobiidae (Neuroptera), and Syrphidae (Diptera): some general trends. *Oecologia* 76, 445-460.
- Howell, J. F. & Neven, L. G.** (2000) Physiological development time and zero development temperature of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology* 29: 766-772.
- Huffaker, C. B. & Gutierrez, A. p.** (1999) *Ecological Entomology*. Jhon Wiley & Sons, Inc., USA.
-

- Huffaker, C. B., Berryman, A. & Turchin, P.** (1999) Dynamics and regulation of insect populations. pp. 269-305. in Huffaker, C. B. & Gutierrez, A. P. (Eds.) *Ecological Entomology*, 2nd ed. Wiley, New York.
- Ikemoto, T. & Takai, K.** (2000) A new linearized formula for the law of the total effective temperature and evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. *Environmental Entomology* 29 (4), 671-682.
- Izhevsky, S. S. & Orlinsky, A. D.** (1988) Life history of the imported *Scymnus (Nephus) reunioni* (Col.: Coccinellidae) predator of mealybugs. *Entomophaga* 33(1), 101-114.
- Jervis, M. A. & Copland, M. J. W.** (1996) The life cycle, pp. 63-161. in Jervis, M. & Kidd, N. (Eds.) *Insect natural enemies; practical approaches to their study and evaluation*. Chapman and Hall, London.
- Khodaman, A.** (1993) Biological study of mealybug *Nipaecoccus viridis* and possibility of its biological control, by crypt ladybird and other available coccinellids in Khuzestan province (southwest Iran). Msc., thesis. Shahid Chamran University.
- Kontodimas, D. C., P.A. Eliopoulos, G. J. Stathas & Economou, L. P.** (2004) Comparative temperature-dependent development of *Nephus includens* (Kirsch) and *Nephus bisignatus* (Boheman) (Coleoptera: Coccinellidae) preying on *Planococcus citri* (Risso) (Homoptera: Pseudococcidae): evaluation of a linear and various non-linear models using specific criteria. *Environmental Entomology* 33, 1-11.
- Lactin, D. J., Holliday, N. J., Johnson, D. L. & Craigen, R.** (1995) Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environmental Entomology* 24, 68-73.
- Lamb, R. J.** (1992) Developmental rate of *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae) at low temperature: implications for estimating rate parameters for insects. *Environmental Entomology* 21, 10-19.
- Lee, J.H. & Elliott, N.C.** (1998) Comparison of developmental response to temperature in *Aphelinus asychis* (Walker) from two different geographic regions. *Southwest Entomology* 23. 77-82.
- Logan, J. A., Wollkind, D. J., Hoyt, S.C. & Tanigoshi, L.K.** (1976) An analytical model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environmental Entomology* 5, 1133-1140.
- Meyerdik, D. E., French, G. V., Hart, W. G. & Chandler, L. D.** (1979) Citrus mealybug effect of pesticide residue on adults of the natural enemy complex. *Journal of Economic Entomology* 72, 893-895.
- Murray, D. A.** (1978) Effect of fruit fly sprays in the abundance of the abundance of the citrus mealybug *Planococcus citri* (Risso), and its predator, *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant on Passion fruit in southeastern Queensland. *Journal of Agriculture and Animal Science* 35 (2), 143-147.

- Nemati, Z., Ranjbar Aghdam, H., Askarianzadeh, A. & Abbasipour, H.** (2014) Temperature-dependent development and estimation of the main thermal indices for immature stages of the common green lacewing, *Chrysoperla carnea*, using linear models. *Bio-control in Plant Protection* 1 (2), 75-89.
- Ranjbar Aghdam, H.** (2009) Using temperature dependent phenology in providing forecasting model of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). PhD dissertation, Tarbiat Mo-dares University, Tehran, Iran. pp. 167.
- Ranjbar Aghdam, H., Fathipour, Y., Radjabi, Gh. & Rezapanah, M.** (2009) Temperature-dependent development and temperature thresholds of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Iran. *Environmental Entomology* 38(3), 885-895.
- Roy, M., Brodeur, J. & Cloutier, C.** (2002) Relationship between temperature and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acari: Tetranychidae). *Environmental Entomology* 31(1), 177-187.
- Sharpe, P. J. H. & DeMichele, D. W.** (1977) Reaction Kinetics of poikilotherm development. *Journal of Theoretical Biology* 64, 649-670.
- Sinclair, B. J., Vernon, P., Jacoklok, C. & Chown, S. L.** (2003) Insect at low temperatures: An ecological perspective. *Trend in Ecology and Evolution* 18, 250-257.
- Smith, R. J.** (2009) Use and misuse of the reduced major axis for line-fitting. *American Journal of Physical Anthropology* 140, 476-486.
- Stoetzel, M. B.** (1989) *Common names of insects and related organisms*. 195 pp. Entomological Society of America.
- Wagner, T. L., Wu, H. I., Sharpe, P. J. H., Schoolfield, R. M. & Coulson, R. N.** (1984) Modeling insect development rates: A literature review and application of a biophysical model. *Annals of the Entomological Society of America* 77, 208-225.
- Yang, X., Shen, M., Xiong, J. & Guo, Z.** (1996) Approaches to enhance the effectiveness of biocontrol of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) with *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) in citrus orchards in Guizhou. *Systematic and Applied Acarology* 1, 21-27.
- Zamani, A. A., Talebi, A. A., Fathipour, Y. & Baniameri, V.** (2006) Temperature dependent functional response of two aphid parasitoids, *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphididae), on the cotton aphid. *Journal of Pest Science* 79, 183-188.
-