بررسی رشد و نمو وابسته به دما در زنبور *Telenomus busseolae*، انگل‌وارهٔ تخم *Sesamia cretica*

ارسلان جمشیدنیا*

* **نویسنده مسوول:** دانشیار گروه حشره‌شناسی و بیماری‌های گیاهی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران (jamshidnia@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۲

چکیده

ساقه‌خواران نیشکر *Sesamia cretica* Lederer و *S. nonagrioides* Lefevere از مهم‌ترین آفات مزارع نیشکر در ایران محسوب می‌شوند. مهم‌ترین دشمن طبیعی این آفات در خوزستان، زنبور انگل‌وارهٔ تخم *Telenomus busseolae* Gahan می‌باشد که نقش قابل توجهی را در تنظیم جمعیت آفت ایفاء می‌نماید. دما مهم‌ترین عامل محیطی است که رشد و نمو حشرات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به منظور بررسی ارتباط تغییرات دما و روند رشد و نمو زنبور *T. busseolae* تأثیر ۷ دمای ثابت ۱۵، ۱۸، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۳۷ درجهٔ سلسیوس بر طول دوره رشدی مراحل نابالغ زنبور هنگام فعالیت روی تخم *S. cretica* مورد مطالعه قرار گرفت. جهت تو صیف اثر دما روی سرعت ر شد و نمو مراحل نابالغ زنبور و تعیین آ ستانهٔ دمایی از دو مدل خطی معمولی و ایکموتو و تاکای ا ستفاده شد. نتایج حا صل از تجزیه رگر سیون بین دما و طول دوره نابالغ زنبور روی تخم میزبان نشان داد که دما به‌طور معنی‌داری در هر دو جنس نر و ماده بر طول دورهٔ رشدی قبل از بلوغ زنبور تأثیر دارد. اگرچه هر دو مدل خطی قادر به توصیف داده بودند ولی مدل ایکموتو و تاکای برازش بهتری را روی داده‌ها ارائه نمود. با ا ستفاده از مدل خطی ایکموتو و تاکای، آ ستانهٔ دمایی در دو جنس نر و ماده زنبور روی تخم *S. cretica* به ترتیب ۱۲/٤٤ و ۱۲/۵۰ درجهٔ سلسیوس و نیاز گرمایی ۲۵۰ و ۲۵۵ روز- درجه تعیین شد.

کلید واژه‌ها: مدل خطی، نیاز گرمایی، آستانه دمایی

دبیر تخصصی: دکتر آرش راسخ

مقدمه

از عوامل مهم محدود کننده کشت نیشکر در استان خوزستان حضور و فعالیت دو گونه ساقه‌خوار به نام‌های *Sesamia cretica* Lederer و *S. nonagrioides* Lefevere (Lep.: Noctuidae) می باشد. این آفات باعث خسارت کمی و کیفی روی محصول نیشکر می شوند، در ضمن سوراخ‌های حاصل از تغذیهٔ لاروهای ساقه‌خواران نیشکر محیط مناسبی برای فعالیت قارچ‌ها و میکروارگانیسم‌های ساپروفیت ایجاد کرده و این موضوع منجر به تشدید خسارت آفت می‌شود (Daniali, 1985; Askarianzadeh et al., 2008). این ساقه‌خواران در مناطق جنوب و جنوب غرب ایران به‌صورت هم‌جا وجود دارند (Mehravar et al., 2017).

زنبور انگل‌وارهٔ تخم، *Telenomus busseolae* Gahan (Hym.: Platygastridae) مهم‌ترین دشمن طبیعی ساقه‌خواران نیشکر در مزارع نیشکر استان خوزستان محسوب می‌شود که نقش مهمی را در تنظیم جمعیت میزبان ایفاء می‌نماید (Daniali, 1985). بیشتر گزارش‌ها حاکی از کارآیی بالای این زنبور در کنترل ساقه‌خواران غلات نظیر *Busseola fusca* Fuller، *S. calamistis* Hampson، *S. cretica* و *S. nonagrioides* در مناطق مختلف جهان می‌باشد (Alexandri and Tsitsipis, 1990; Moyal, 1998; Schulthess et al., 2001; Ndemah et al., 2003). در ایران زنبور *T. busseolae* علاوه بر استان خوزستان از مزارع ذرت ورامین، اصفهان و استان مازندران نیز گزارش شده است. این زنبور در مزارع ذرت و نیشکر خوزستان قادر است تا ۹۰ درصد تخم های ساقه‌خواران *Sesamia* spp. را انگلی نماید (Abbasipour, 2004). با توجه به نقش موثر زنبور *T. busseolae* در کنترل ساقه‌خواران جنس *Sesamia* در مطالعات متعددی زیست شناسی این زنبور در مزارع ذرت و نیشکر (Abbasipour, 2004)، امکان پرورش آن در شرایط آزمایشگاهی (Ranjbar Aghdam, 1999)، بررسی نوسانات جمعیت (Sayadmansour, 2007) و تأثیر سن میزبان (Cheraghi et al., 2018a) مورد مطالعه قرار گرفته است.

دما اصلی‌ترین عامل محیطی است که در کنترل رشد و نمو حشرات دخالت دارد (Wigglesworth, 1972). همچنین دما یکی از عوامل محیطی مهمی است که پویایی جمعیت حشرات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این عامل محیطی بر فعالیت‌های زیستی بندپایان مؤثر بوده به‌طوری‌که دمای آستانه بالا، پائین و دمای بهینه رشد را در تمامی مراحل زندگی آنها می‌توان تعیین نمود. ویژگی‌های دمایی بین گونه ها، جمعیت‌ها، مراحل رشدی و تحت تأثیر سایر عوامل محیطی نظیر غذا ممکن است تغییر کند (Gilbert and Raworth, 1996; Roy et al., 2002). رشد و نمو در حیوانات خونسرد از جمله بندپایان ارتباط تنگاتنگی با دما داشته و این جانداران در یک دامنه دمایی، تنوع رفتاری، اکولوژیکی، فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی از خود نشان می‌دهند (Hance et al., 2007). در حشرات و سایر حیوانات خونسرد افزایش نرخ رشد و کاهش دوره رشدی و اندازه بدن با افزایش دما، به‌عنوان یک اصل کلی پذیرفته شده است (Nylin and Gotthard, 1998). نقش و اهمیت دما در میزان پارازیتیسم و کارآیی انگل‌واره‌ها به اثبات رسیده است (Baffoe et al., 2012; Akbari et al., 2013).

در زمینه تأثیر دما بر فعالیت زنبور *T. busseolae* مطالعاتی از قبیل چگونگی تأثیر آن بر زیست شناسی و طول دوره رشدی زنبور هنگام فعالیت روی *S. calamistis* و *B. fusca* (Chabi-Olaye et al., 1997; Okoth et al., 2006)، تأثیر دما بر ویژگی‌های زیستی، پارامترهای جدول زندگی و واکنش تابعی زنبور روی دو میزبان *S. cretica* و *S. nonagrioides* (Jamshidnia et al., 2010; Jamshidnia and Sadeghi, 2014a,b; Cheraghi et al., 2018b) انجام شده است.

شناخت سازگاری‌های عوامل کنترل زیستی با شرایط محیطی از اهمیت خاصی برخوردار است. در این راستا و به منظور شناخت ارتباط دما و رشد و نمو زنبور انگل‌وارهٔ *T. busseolae* دو مدل خطی جهت توصیف سرعت

ر شد و نمو در دماهای مختلف و تعیین دمای آ ستانه پایین و نیاز حرارتی در این مطالعه مورد ارز یابی قرار گر فت. نتایج این تحقیق می‌توا ند اطلا عات مفیدی را به منظور اســتفاده بهینه از این عا مل کنترل زیســتی در مدیر یت ساقه‌خواران نیشکر در اختیار ما قرار دهد.

مواد و روش‌ها

کلنی اولیه زنبور انگل‌واره *T. busseolae* از دسته‌های تخم پارازیته ساقه‌خواران نیشکر از مزارع نیشکر کشت و صنعت امیرکبیر تهیه شد. پرورش زنبور با استفاده از تخم‌های *S. cretica* تولید شده در شرایط آزمایشگاهی طبق روش Ranjbar Aghdam (1999) انجام شد. کلنی زنبور در داخل اتاقک رشد و در دمای ۱ ± ۲۷ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگه‌داری شدند. زنبورها بعد از دو نسل پرورش در شرایط آزمایشگاهی در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

طول دوره رشدی مراحل نابالغ زنبور پارازیتوئید

بررسی طول دوره رشدی مراحل نابالغ زنبور روی *S. cretica* در دماهای ۱۵، ۱۸، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۳۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد. برای هر دما، تعداد ۵ زنبور ماده بارور یک روزه انتخاب و جداگانه در لوله‌های آزمایش به طول ۱۷ سانتی‌متر و قطر ۲/۵ سانتی‌متر قرار داده شد و ۵۰ عدد تخم تازه گذاشته شده میزبان ، در اختیار هر زنبور قرار گرفت. تخم‌ها روی قطعات بریده شده فیلم رادیولوژی با ابعاد تقریبی ۵×۲ سانتی‌متر با آب قند ۱۰ درصد چسبانده شده بودند و در داخل ژرمیناتور در دمای ۱ ±۲۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد به‌مدت شش ساعت نگه‌داری شدند. پس از آن زنبورها خارج و تخم‌های پارازیته شده در همان لوله‌های آزمایش در دماهای مورد نظر قرار گرفتند. در هر دمای آزمایشی در مجموع ۲۵۰ تخم مورد بررسی قرار گرفت. دسته‌های تخم در طول دوره رشدی روزانه، دو بار (ساعت ۷/۳۰ و ساعت ۱۶/۳۰) مورد بررسی قرار گرفتند و پس از تکمیل دوره رشدی، تاریخ و زمان ظهور حشرات ثبت شد و جنسیت آن‌ها نیز تعیین شد.

مدل‌های رشد و نمو

با اســتفاده از داده های طول دوره رشــد و نمو در د ما های مختلف، مقادیر نرخ رشــد و نمو که رابطه معکوســی با طول دوره رشــد و نمو دارند، تعیین شــد. با استفاده از داده‌های حاصل، برازش دو مدل خطی در این زمینه، مورد بررسی قرار گرفت.

مدل خطی معمولی (روز-درجه) از رایج‌ترین مدل‌ها برای تعیین ثابت دمایی و آستانه پایین رشد و نمو یا صفر رشــدی اســت (Campbell et al., 1974). این مدل خطی بصورت رابطه زیر بیان می‌شود:

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

D: دوره رشــدی بر حســب روز؛ K: ثابت دمایی؛ t: آ ستانه دمایی و T دمایی ا ست که حشره در آن پرورش داده شده است.

مدل خطی دیگر که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت مدل ایکموتو و تاکای می‌باشد (Ikemoto and Takai, 2000) که با معادله زیر بیان می‌شود:

$$DT = K + tD$$

به‌منظور بررسی تأثیر دما بر طول دوره نابالغ زنبور و درصد خروج افراد بالغ از تجزیه رگرسیون استفاده شد. جهت تجزیه آماری داده‌ها و برآورد فراسنجه‌های مدل‌ها از نرم افزار آماری SAS استفاده شد (SAS Institute, 2003).

نتایج

طول دوره نابالغ و درصد خروج زنبور فعال روی *S. cretica* در دماهای مختلف

این بررسی در ۷ دمای ۱۵، ۱۸، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۳۷ درجه سلسیوس انجام شد. در دمای ۱۵ درجه سلسیوس، علی‌رغم پارازیته شدن تخم میزبان هیچ خروجی مشاهده نشد و در دمای ۳۷ درجه سلسیوس نیز تخم میزبان چروکیده و غیر قابل رشد برای جنین زنبور شد بنابراین مقایسه‌ها در پنج دمای دیگر انجام گرفت.

نتایج تجزیه واریانس رابطه بین دما و طول دوره رشد نابالغ زنبور نشان داد که دما تأثیر معنی‌داری بر طول دوره رشدی قبل از بلوغ در حشرات نر ($F=۱۷۷۸/۲$, $df=۲۵۵،۱$, $P<۰/۰۰۰۱$) و ماده ($F=۲۸۱۷/۱$, $df=۳۸۲،۱$, $P<۰/۰۰۰۱$) زنبور دارد. خط رگرسیونی بین دما و طول دوره رشد در حشره نر ($y=۷۰/۱-۵۸/۸۱x$ $R^2=۰/۸۸$) و در حشره ماده ($y=۶۶/۱-۳۲/۶۶x$ $R^2=۰/۹۱$) تعیین شد و در هر دو جنس، فراسنجه شیب خط کاملاً معنی‌دار بود ($P<۰/۰۰۰۱$). با توجه به نتایج حاصل با افزایش دما طول دوره رشدی نابالغ زنبور کاهش یافت (جدول ۱).

بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون درصد خروج حشرات کامل زنبور از دسته‌های تخم پارازیته شده *S. cretica* تحت تأثیر دمای آزمایشی قرار نگرفت ($F=۰/۹۸$, $df=۵۲۷،۱$, $P=۰/۳۳۳$)). اگرچه ارتباط معنی‌داری بین دما و درصد خروج حشرات کامل دیده نمی شود ولی میزان آن در دماهای ۱۸ و ۳۵ درجه سلسیوس در مقایسه با سایر دماهای آزمایشی کمتر بود (جدول ۲).

آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون بین دما و سرعت رشد با استفاده از مدل خطی معمولی در هر دو جنس نر ($F=۹۰/۳$, $df=۳،۱$, $P=۰/۰۰۲۵$) و ماده ($F=۸۲/۱$, $df=۳،۱$, $P=۰/۰۰۲۸$) ارتباط خطی معنی‌داری را نشان داد. فراسنجه عرض از مبدأ در هر دو جنس (نر: $P=۰/۰۲۲$ و ماده: $P=۰/۰۲۵$) در سطح ۵ درصد، ولی فراسنجه شیب در هر دو جنس (نر: $P=۰/۰۰۲۵$ و ماده: $P=۰/۰۰۲۸$) در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. خط رگرسیون برازش داده شده بر داده‌ها (شکل ۱) ارتباط خطی بین دما و سرعت رشد را در هر دو جنس نر و ماده زنبور تأیید می‌نماید.

جدول ۱- میانگین (±SE) طول دوره نابالغ زنبور انگل‌وارهٔ *T. busseolae* روی *S. cretica* در دماهای مختلف

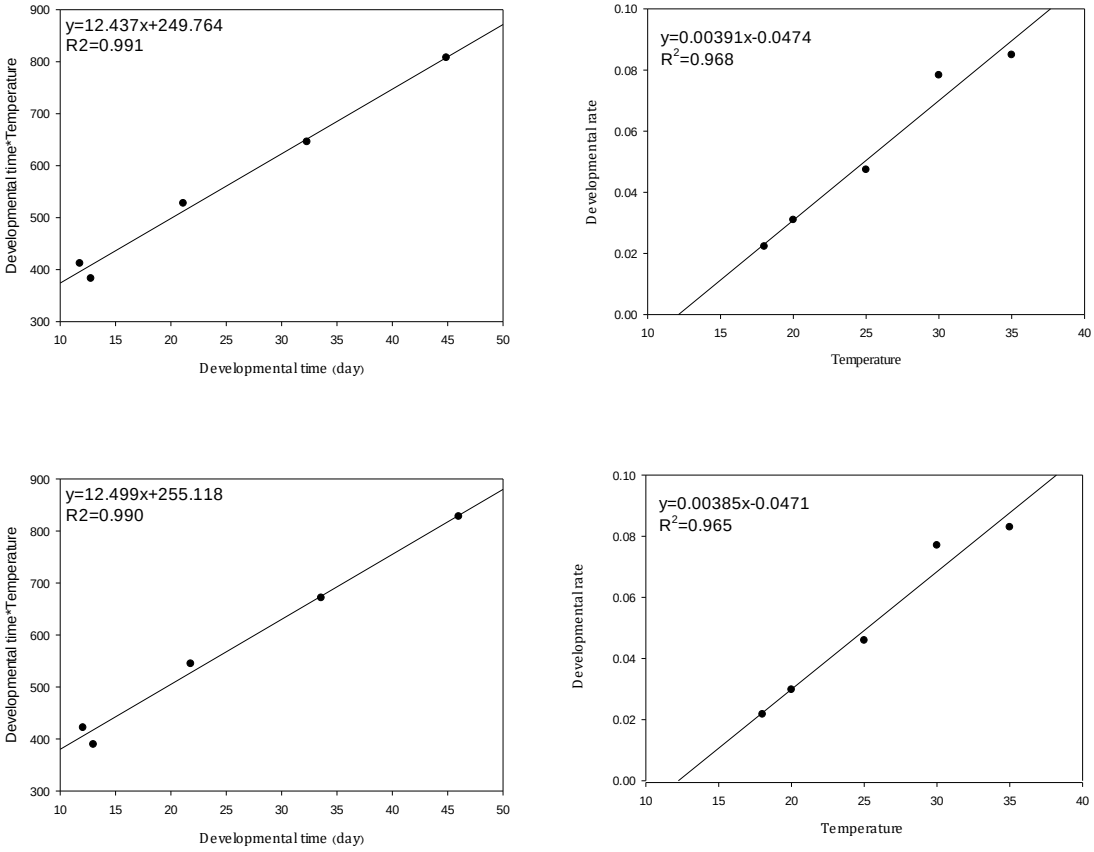
Table 1. Mean of developmental time (±SE) of the immature stages of parasitoid wasp, *T. busseolae* on *S. cretica* at different temperatures

Temperature (°C)	Developmental time (days)			
	Male	n	Female	N
18	44.89±0.129	41	46.01±0.216	39
20	32.33±0.143	61	33.61±0.097	99
25	21.14±0.136	45	21.82±0.124	56
30	12.78±0.053	59	13±0.047	99
35	11.078±0.046	51	12.08±0.063	93

جدول ۲- میانگین (±SE) درصد خروج زنبور انگل‌وارهٔ بالغ *T. busseolae* روی *S. cretica* در دماهای مختلف

Table 2. Mean of adult emergence percent (±SE) of parasitoid wasp, *T. busseolae* on *S. cretica* at different temperatures

Temperature (°C)	Adult emergence (%)
18	84.6±0.87
20	98.9±0.63
25	96.2±1.7
30	93.1±3.27
35	82.6±2.3



شکل ۱- برازش مدل‌های خطی (سمت راست مدل خطی معمولی و سمت چپ مدل ایکموتو و تاکای) روی مقادیر مشاهده شده رشد و نمو مراحل نابالغ زنبور *T. busseolae* روی تخم *S.cretica* (حشره نر بالا و حشره ماده پایین)

Figure 1. Fitting the linear models (left: Ikemoto and Takai model; right: common linear model) to observed values of developmental rate of *T. busseolae* immature stages on *S. cretica* [(male (up) and female (down)

در برازش داده‌ها با مدل خطی ایکموتو و تاکای نیز هر دو جنس نر (P=۰/۰۰۰۴ , df=۳،۱ , F=۳۱۲/۲) و ماده (P=۰/۰۰۰۴ , df=۳،۱ , F=۲۹۱/۶) زنبور انگل‌واره ارتباط خطی معنی‌داری را نشان دادند. فراسنجه‌های عرض از مبدأ (نر: P=۰/۰۰۱۰ و ماده: P=۰/۰۰۱۲) و شیب (نر: P=۰/۰۰۰۴ و ماده: P=۰/۰۰۰۴) در هر دو جنس زنبور در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. به‌طور کلی ضریب تبیین و سطح معنی‌داری مدل و فراسنجه‌های آن در مدل ایکموتو و تاکای بالاتر از مدل معمولی می‌باشد.

آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی با استفاده از دو مدل خطی مذکور به تفکیک برای مراحل نابالغ زنبور نر و ماده تعیین شد. در مدل خطی معمولی آستانه پایین دمای رشد و نمو برای زنبور نر و ماده به ترتیب ۱۲/۱۲ و ۱۲/۲۳ درجه سلسیوس و نیاز گرمایی به ترتیب ۲۵۵/۷۶ و ۲۵۹/۷۴ روز-درجه تعیین گردید. در مدل ایکموتو و تاکای آستانه دمایی برای زنبور نر و ماده به ترتیب ۱۲/۴۴ و ۱۲/۵۰ درجه سلسیوس و نیاز گرمایی به ترتیب ۲۴۹/۷۶ و ۲۵۵/۱۲ روز-درجه تعیین گردید.

بحث

در این مطالعه دوره رشد و نمو مراحل نابالغ زنبور انگل‌وارهٔ *T. busseolae* روی تخم *S. cretica* با افزایش دما از ۱۸ تا ۳۵ درجه سلسیوس کاهش یافت. مطالعات انجام شده روی زنبورهای *T. busseolae* و *T. isis* جمع‌آوری

شده از مزارع ذرت بنین در آفریقا نشان داد که در دماهای ۱۵ و ۳۴ درجه سلسیوس این زنبورها قادر به تکمیل دوره رشدی و خروج از دستجات تخم ساقه‌خوار ذرت *S. calamistis* نمی‌باشند. هم‌چنین در مطالعات دیگری، طول دوره رشدی برای زنبور *T. busseolae* در محدوده دمایی ۱۸ تا ۳۰ درجه سلسیوس از ۴۲/۷ تا ۱۲/۲ روز کاهش یافت (Chabi-Olaye et al., 1997, 2001) ، که نتایج طول دوره رشدی، با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت دارد ولی از نظر تحمل دمایی، زنبور مورد مطالعه تحمل دماهای بالاتر را از خود نشان داده و توانست تا دمای ۳۵ درجه سلسیوس نیز رشد خود را تکمیل نموده و قادر بود که از میزبان خارج شود. به نظر می‌رسد جمعیت مورد مطالعه که متعلق به مناطق گرمسیری خوزستان می‌باشد سازگاری بیشتری را در دمای بالا نشان می‌دهد. نتایج مشابهی توسط Fukuda et al. (2007) گزارش شده است. نامبردگان طی مطالعه در زمینه طول دوره رشدی زنبور *T. nawai* Ashmead روی تخم *Spodoptera litura* (Fabricius) نشان دادند که در دمای ۱۵ درجه سلسیوس، هیچ خروجی رخ نداد، در دمای ۲۰ درجه سلسیوس ۸۰ درصد و در هر سه دمای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس ، ۹۵ درصد از حشرات کامل زنبور از تخم‌های پارازیته خارج شدند. مطالعه انجام شده روی زنبور انگل‌وارهٔ *T. podisi* Ashmead نشان داد که افزایش دما از ۱۵ درجه سلسیوس به ۳۰ درجه سلسیوس باعث کاهش طول دوره نابالغ زنبور روی تخم *Dichelops melacanthus* (Dallas) تا ۴۸ روز و روی تخم *Podisus nigrispinus* (Dallas) تا ۵۶/۳ روز شده است (Taguti et al., 2019). مطالعه انجام شده روی زنبور انگل‌وارهٔ *T. remus* (Nixon) روی میزبان‌های مختلف از جنس *Spodoptera* نیز نتایج مشابهی را نشان داد (Pomari et al., 2013). این ارتباط معکوس بین افزایش دما و کاهش دوره رشد و نمو مراحل نابالغ که در این مطالعه و سایر مطالعات مشاهده شده به علت افزایش فعالیت‌های متابولیکی در انگل‌وارهها می‌باشد (Bueno et al., 2009). افزایش فعالیت‌های متابولیکی باعث افزایش نرخ رشد انگل‌وارهها می‌شود که از نظر کاربرد آن در کنترل بیولوژیک یک مزیت خواهد بود زیرا افراد بالغ زودتر ظاهر می‌شوند. اگرچه دمای بالا ممکن است روی میزان پارازیتیسم اثر منفی داشته باشد (Bueno et al., 2009).

به‌منظور تعیین آستانه دمایی پایین و نیاز گرمایی از دو مدل خطی معمولی وایکموتو و تاکای استفاده شد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد در تعیین آستانه دمایی و نیاز گرمایی مراحل نابالغ زنبور انگل‌وارهٔ *T. busseolae* بین دو مدل تفاوت چندانی دیده نمی‌شود. ولی با توجه به این‌که ضریب تبیین و سطح معنی‌داری مدل و فراسنجه‌های آن در مدل ایکموتو و تاکای بالاتر از مدل معمولی می‌باشد،پیشنهاد می‌گردد از آستانه دمایی و نیاز گرمایی روش ایکموتو و تاکای استفاده شود.

Chabi-Olaye et al. (1997) آستانه دمایی و روز-درجه جمعیت آفریقایی این زنبور را روی تخم ساقه‌خوار *S. calamistis* با استفاده از مدل خطی به ترتیب ۱۳/۷ درجه سلسیوس و ۲۰۴ برآورد نمودند و در دمای ۳۴ درجه سلسیوس هیچ خروجی از زنبور مشاهده نشد. در تحقیق حاضر آستانه دمایی ۱/۲ درجه سلسیوس کاهش و روز-درجه تقریباً ۵۰ واحد افزایش را نشان می‌دهد و از طرفی دیگر در دمای ۳۵ درجه سلسیوس نیز رشد ادامه داشت. معمولا گونه‌های مختلف و همچنین جمعیت‌های مختلف یک گونه با منشاء جغرافیایی مختلف نیاز گرمایی متفاوتی دارند (Honek, 1996). به نظر می‌رسد جمعیت زنبور مورد مطالعه در این پژوهش در مقایسه با جمعیت آفریقایی قادر به تحمل دامنه و سیع‌تری از دما باشد. بنابراین واکنش جمعیت‌های مختلف در برابر دما متفاوت می‌باشد.

آستانه دمایی و ثابت دمایی به دلیل این‌که می‌توانند در پیش‌گویی وضعیت حشره در شرایط مزرعه مورد استفاده قرار گیرند، بیشترین توجه پژوهش‌گران را به خود جلب کرده است. فرض بر این است که با داشتن آستانه دمایی می‌توان مجموع دمای کسب شده توسط حشره در شرایط مزرعه را محاسبه نمود و با مقایسه آن با ثابت دمایی، در مورد وضعیت نمو حشره در مزرعه اظهار نظر نمود. وقتی دامنه تغییرات دما

زیاد باشد ارتباط بین دما و سرعت رشد از حالت خطی خارج می‌شود و این وضعیت ظاهراً کاربرد مدل‌های خطی را فاقد توجیه می‌کند، ولی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که این شیوه در بسیاری از موارد می‌تواند اهداف کاربرد آن را برآورده نماید. دلیل این امر این است که حشره در واقع در مزرعه بیشتر با دامنه‌ای از دما روبرو می‌شود که در این دامنه رابطه دما و سرعت رشد خطی است. به عبارتی دیگر بسیار نادر است که حشره با دماهای بسیار پایین و بسیار بالا که در آنجا رابطه غیرخطی وجود دارد مواجه گردد. بنابراین استفاده از روش‌های خطی می‌تواند در شرایط مزرعه از کارآیی لازم برخوردار باشد (Campbell et al., 1974).

اطلاعات کسب شده در مورد نیاز گرمایی انگل‌واره‌ها در برنامه‌های تولید انبوه این عوامل تاثیرگذار خواهد بود (Chia et al., 2018) و هم‌چنین این اطلاعات و آستانه پایین دمای رشد می‌تواند در تعیین دمای مناسب جهت ذخیره سازی انگل‌واره‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Chen et al., 2021). براساس مطالعات انجام شده توسط Bayram et al. (2005) دمای ایده‌آل برای ذخیره سازی طولانی مدت زنبور انگل‌وارهٔ *T. busseolae*، ۱۲ درجه سلسیوس پیشنهاد شده است که با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش با دمای آستانه رشدی تطابق کامل دارد. آستانه پایین دمایی و نیاز گرمایی برای رشد و نمو مراحل نابالغ ساقه‌خوار *S. cretica* در تغذیه از نیشکر به ترتیب ۱۲/۳۴ درجه سلسیوس و ۶۵۴/۳۵ روز-درجه برآورد شده است (Cheraghi, 2018). با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه آستانه پایین دمایی زنبور انگل‌وارهٔ *T. busseolae* مشابه میزبان آن می‌باشد ولی نیاز گرمایی آن کم‌تر از نصف میزبان می‌باشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد زمان شروع فعالیت دشمن طبیعی و میزبان تقریبا هم‌زمان بوده ولی سرعت رشد و نمو دشمن طبیعی بیش از دو برابر میزبان می‌باشد به عبارتی دیگر در طی یک نسل آفت ساقه‌خوار نیشکر بیش از دو نسل زنبور انگل‌واره را خواهیم داشت.

نتایج حاصل از آستانه دمایی و نیاز گرمایی زنبور انگل‌وارهٔ *T. busseolae* در پرورش انبوه و کاربرد بهینه این عامل کنترل بیولوژیک در مزارع نیشکر اطلاعات مفیدی را ارئه می‌دهد. هم‌چنین یافته‌های این پژوهش در پیش‌بینی تعداد نسل زنبور انگل‌واره و زمان مناسب رهاسازی آن در مزارع می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

لازم به ذکر است که در این بررسی تخم میزبان به‌صورت آزاد در اختیار زنبور قرار گرفت در صورتی که در شرایط طبیعی تخم‌ریزی میزبان در زیر غلاف انجام می‌شود و رشد و نمو زنبور داخل تخم میزبان تابع دمای گیاه میزبان آفت می‌باشد. پس انتظار می‌رود که افزایش دمای محیط به صورت مستقیم منجر به افزایش دمای داخل غلاف گیاه نشود و این موضوعی است که می‌تواند روی نتایج تأثیر بگذارد. به عبارتی قابل حدس خواهد بود که نتایج این تحقیق به نوعی از نظر دمایی پرتخمینی بوده و در شرایط طبیعی تخم‌ها در دمای ۳۷ درجه سلسیوس محیط دمای متفاوتی را در مقایسه با درون ژرمیناتور تجربه می‌کنند. بنابراین انجام تحقیق مشابه با اندازه گیری دمای داخل غلاف پیشنهاد می‌گردد. ضمن این که بعید است برخلاف نتایج این مقاله، در شرایط طبیعی دمای ۳۷ درجه سلسیوس برای رشد زنبور محدود کننده باشد و علت آن می‌تواند تفاوت دمای محیط با دمای زیر غلاف باشد.

سپاس‌گزاری

از حمایت‌های مالی و امکانات فراهم شده توسط پردیس ابوریحان دانشگاه تهران و موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان قدردانی می‌شود

REFERENCES

Telenomus busseolae Gahan (Hym.: Platygastridae). PhD Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Cheraghi, A., Shishehbor, P., Kocheili, F., Rasekh, A., and Jamshidnia, A. 2018a. Effects of egg age in *Sesamia cretica* (Lepidoptera: Noctuidae) on parasitism, development and reproduction of *Telenomus busseolae* (Hymenoptera: Platygastridae). Journal of Crop Protection, 7(2): 125-133.

Cheraghi, A., Shishehbor, P., Kocheili, F., Rasekh, A., and Jamshidnia, A. 2018b. Effect of temperature on life table parameters of the egg parasitoid *Telenomus busseolae* (Hym.:Platygastridae) on the sugarcane stem borer, *Sesamia cretica* (Lep.: Noctuidae). Journal of Entomological Society of Iran, 38(3): 261-274 (In Farsi with English Abstract).

Chia, S.Y., Tanga, C.M., Khamis, F.M. Mohamed, S.A., Salifu, D., Sevgan, S., Fiaboe, K.K.M., Niassy, S., van Loon, J.J., Dicke, M., and Ekesi, S. 2018. Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. PLoS ONE, 13, e206097

Daniali, M. 1985. Effects of biological, cultural and chemical control measures against sugarcane stem borers *Sesamia* spp. (Lep.: Noctuidae) in Haft Tappeh. MSc Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Fukuda, T., Wakamura, S., Arakaki, N., and Yamagishi, K. 2007. Parasitism, development and adult longevity of the egg parasitoid *Telenomus nawai* (Hymenoptera: Scelionidae) on the eggs of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). Bulletin of Entomological Research, 97(2): 185-190.

Gilbert, N., and Raworth, D. 1996. Insects and temperature a general theory. Canadian Entomologist, 128(1): 1-13.

Hance, T, Van Baareen, J., Vernon, P., and Boivin, G. 2007. Impact of extreme temperature on parasitoids in a climate change perspective. Annual Review of Entomology, 52: 107-126.

Ikemoto, T., and Takai, K. 2000. A new linearized formula for the law of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. Environmental Entomology, 29(4): 671-682.

Jamshidnia, A., Kharazi-Pakdel, A., Allahyari, H., and Soleymannejadian, E. 2010. Functional response of *Telenomus busseolae* (Hym.: Scelionidae) an egg parasitoid of the sugarcane stem borer, *Sesamia nonagrioides* (Lep.: Noctuidae) at different temperatures. Biocontrol Science and Technology, 20: 631-640.

Jamshidnia, A., and Sadeghi, A. 2014a. Effect of host species on some biological parameters of the egg parasitoid, *Telenomus busseolae* Gahan (Hym.: Scelionidae). Plant Pest Research, 4(2): 1-9 (In Farsi with English Abstract).

Jamshidnia, A., and Sadeghi, A. 2014b. Effect of temperature on the functional response of the egg parasitoid *Telenomus busseolae* (Hymenoptera: Scelionidae) to sugarcane pink borer *Sesamia cretica* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs. International Journal of Tropical Insect Science, 34(1): 2-8.

Mehravar, N., Esfandiari, M., and Soheilifar, P. 2017. Identification of two stem borers, *Sesamia nonagrioides* (Lep.: Noctuidae) and *S. cretica* by DNA barcoding. Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture). 40 (2): 63-74 (In Farsi with English Abstract).

Moyal, P. 1998. Infestation and parasitism of the stalk borer *Busseola fusca* (Fuller) (Lep.: Noctuidae) in the Ivory Coast. African Entomology, 6: 289-298.

Ndemah, R., Schulthess, F., Korie, S., Borgemeister, C., Poehling, H.M., and Cardwell, K. 2003. Factors affecting infestations of the stalk borer Busseola *fusca* (Lepitoptera : Noctuidae) on maize in the forest zone of Cameroon with special reference to scelionid egg parasitoids. Environmental Entomology, 32(1): 51-60.

Nylin, S., and Gotthard, K. 1998. Plasticity in life-history traits. Annual Review of Entomology, 43: 63-83.

Okoth, E., Songa, J., Ngi-Song, A., Omwega, C., Ogol, C., and Schulthess, F. 2006. The bionomics of the egg parasitoid *Telenomus busseolae* (Gahan)(Hymenoptera: Scelionidae) on *Busseola fusca* Fuller and *Sesamia calamistis* Hampson (Lepidoptera: Noctuidae) in Kenya. African Entomology, 14(2): 219-224.

Pomari, A.F., Bueno, A.F., Bueno, R.C.O.F., and Menezes, A.O. 2013. *Telenomus remus* Nixon egg parasitization of three species of *Spodoptera* under different temperatures. Neotropical Entomology, 42: 399-406.

Ranjbar Aghdam, H. 1999. Possibility of in vivo rearing of *Platytelenomus hylas* Nixon in pink stem borers, *Sesamia* spp. biocontol. MSc Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Roy, M., Brodeur J., and Cloutier, C. 2002. Relationship between temperature and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acarina: Tetranychidae). Environmental Entomology, 31(1): 177-187.

Sayadmansour, A. 2007. Investigating population fluctuation of *Platytelenomus hylas* Nixon egg parasitoid of stem borer *Sesamia nonagrioides* in north of Khuzestan. MSc Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Schulthess, F., Chabi-Olaye, A., and Goergen, G. 2001. Seasonal fluctuations of noctuid stemborer egg parasitism in southern Benin with special reference to *Sesamia calamistis* Hampson (Lepidoptera : Noctuidae) and *Telenomus* spp. (Hymenoptera : Scelionidae) on maize. Biocontrol Science and Technology, 11(6): 745-757.

SAS Institute. 2003. SAS/STAT User's Guide, release version 9.1. SAS Institute, Cary, North Carolina.

Vucetich, J.A., Peterson, R.O., and Schaefer, C.L. 2002. The effect of prey and predator densities on wolf predation. Ecology, 83: 3003-3013.

Wigglesworth, V. 1972. The principles of insect physiology. Chapman and Hall. London.

© 2021 by the authors. Licensee SCU, 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/).

Temperature-dependent development of parasitoid wasp, *Telenomus busseolae* on *Sesamia cretica*

A. Jamshidnia*

***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Entomology and Plant Pathology, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran (jamshidnia@ut.ac.ir)

(DOI): 10.22055/ppr.2021.16953

Received: 24 May 2021 Accepted: 13 July 2021

Abstract

Background and Objectives

The sugarcane stem borers, *Sesamia cretica* Lederer and *S. nonagrioides* Lefever are the most important pests of sugarcane in Iran causing heavy losses in cane and considerable reduction in sugar yield. The egg parasitoid wasp, *Telenomus busseolae* Gahan is the most remarkable natural enemy of *Sesamia* spp. in Khuzestan province, Iran that plays an important role in regulating the populations of sugarcane stem borers. Temperature is an effective abiotic factor that influences the development of natural enemies. The present study aimed to investigate the temperature-dependent development of *T. busseolae* on *S. cretica*.

Material and Methods

The development rates and thermal constant of the immature stages of *T. busseolae* on *S. cretica* eggs were studied at seven constant temperatures (15, 18, 20, 25, 30, 35, and 37ºC), a photoperiod of 16L:8L, and 65%±5% RH. Fresh egg masses of *S. cretica* were exposed to the newly mated female of *T. busseolae* for 6 h. Afterwards, the parasitized eggs were kept at different temperatures. The parasitized eggs were checked daily until adult emergence. Development rate was modeled as a function of temperature using two mathematical models, including common and Ikemoto and Takai linear models. The linear models were analyzed using the SAS software.

Results

The results of regression analysis showed that the immature developmental period of *T. busseolae* decreased with elevating temperature from 18ºC to 35ºC. In 15ºC and 37ºC, no development rate was found for *T. busseolae*. Immature development time declined from 45 to 11 days and 46 to 12 days in male and female parasitoids, respectively. The percent of adult emergence was not affected by temperature. However, two linear models provided a satisfactory relationship between immature development rate and temperature. Based on statistical criteria, Ikemoto and Takai linear model estimated thermal constant and temperature threshold more precisely. For male and female parasitoids, the thermal constant was 250 and 255 degree-days and the low-temperature threshold was 12.44ºC and 12.5ºC on *S. cretica* eggs, respectively.

Conclusion

In the current study, the thermal requirement of *T. busseolae* on *S, cretica* was estimated for the first one. Information regarding the thermal requirement of *T. busseolae* can be useful for the rearing and application of this parasitoid in the biological control of sugarcane stem borers. This finding could be used to predict the number of *T. busseolae* generations and the best time for parasitoid release in sugarcane fields.

Keywords: linear model, thermal requirement, temperature threshold