

تخمین آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی جمعیت‌های کرم سیب مستقر در استان‌های تهران، آذربایجان غربی و اصفهان

حسین رنجبر اقدم^{۱*}، میثم قاسمی^۲ و یونس کریمپور^۲

۱. دانشیار موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲. دانشجوی سابق و دانشیار گروه گیاه پزشکی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۶)

چکیده

کرم سیب، *Cydia pomonella* (Linnaeus)، مهم‌ترین آفت باغات سیب ایران است. به‌کارگیری روش‌های نوین پیش‌آگاهی به‌منظور کنترل موفقیت‌آمیز این آفت ضروری است. مدل‌های پیش‌آگاهی فنولوژیک، اساساً بر مبنای فنولوژی تابع دمای آفات تهیه می‌شوند. به‌منظور ارایه و به‌کارگیری یک مدل پیش‌آگاهی با کارایی و دقت بالا، برآورد مهم‌ترین شاخص‌های اکوفیزیولوژیک آفات ضروری است. بر این اساس، در پژوهش حاضر روند رشد و نمو تابع دمای جمعیت‌های کرم سیب مستقر در استان‌های تهران، آذربایجان غربی و اصفهان بررسی و مهم‌ترین شاخص‌های دمایی رشد و نمو آنها با استفاده از مدل خطی روز-درجه برآورد شد. نتایج به‌دست‌آمده، تفاوت بین مقادیر برآورد شده برای هر یک از شاخص‌های دمایی موردبررسی در جمعیت‌های مورد مطالعه را نشان دادند. آستانه پایین دمای رشد و نمو کل دوره نابالغ جمعیت‌های کرم سیب در استان‌های تهران، آذربایجان غربی و اصفهان به ترتیب ۸/۳۲، ۸/۱۹ و ۹/۸۵ درجه سلسیوس تخمین زده شد. همین‌طور نیاز گرمایی کل دوره رشد و نمو جمعیت‌های کرم سیب مورد بررسی به ترتیب ۶۲۲/۷۴، ۶۳۳/۲۰ و ۶۹۵/۸۴ روز-درجه سلسیوس بود. نتایج این پژوهش وجود تفاوت در سازگاری‌های دمایی جمعیت‌های مختلف کرم سیب مستقر در مناطق مختلف کشور را نشان داد. دستیابی به این اطلاعات به‌منظور تهیه مدل پیش‌آگاهی دقیق بر مبنای نیاز گرمایی (روز-درجه یا ساعت-درجه) آفات کلیدی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: کرم سیب، پیش‌آگاهی، شاخص‌های دمایی، مدل خطی، جمعیت.

Estimation of the low temperature threshold and thermal requirement of the established codling moth populations in West Azerbaijan, Tehran, and Isfahan provinces

Hossein Ranjbar Aghdam^{1,*}, Meysam Ghasemi² and Younes Karimpour²

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

2. Former M.Sc. student and Associate Professor, Department of Plant Protection, Urmia University, Urmia, Iran.

(Received: October 5, 2019 - Accepted: September 16, 2020)

ABSTRACT

The codling moth, *Cydia pomonella* (Linnaeus), is the most important pest in apple orchards. To successfully control the pest, using phenological forecasting models is necessary. Phenological forecasting models are basically provided using temperature-dependent phenology of the pests. Estimation of the most important eco-physiological indices of pests is essential for the preparation and use of a high-performance, accurate forecasting model. Therefore, the current study was conducted to determine the temperature-dependent development trend and to estimate the most important thermal indices of three established populations of the codling moth in Tehran, West Azerbaijan, and Esfahan provinces. Results showed differences among the values of the estimated thermal index in studied populations. Estimated values of the low-temperature threshold were 8.32, 8.19, and 9.85°C for total immature stages of Tehran, West Azerbaijan, and Esfahan provinces, respectively. Additionally, the estimated values of the thermal requirement were 622.74, 633.20, and 695.84 Degree-Days for the total immature stages of the mentioned populations, respectively. The results of this study showed differences in thermal adaptations of different populations of codling moth located in different regions of Iran. This information is necessary to develop a precise forecasting model based on the heat requirement (GDD or GDH) of key pests in each geographical location.

Key words: codling moth, forecasting, linear model, thermal indices, population.

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

مقدمه

از میان آفات سیب، کرم سیب (*Cydia pomonella* (L.)) مخرب‌ترین و کلیدی‌ترین آفت باغ‌های سیب در سراسر جهان است (Al Bitar *et al.*, 2010). این آفت سازگاری زیادی به دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی دارد. کرم سیب قادر است دوره فعالیت خود را با دوره میوه‌دهی میزبان تنظیم کند، از این رو گفته می‌شود کرم سیب و میزبان اصلی آن (درخت سیب) دارای نیازهای بوم‌شناختی مشابهی هستند (Radjabi, 1986). سیمای بوم‌شناختی کرم سیب بازتابی از سازگاری‌های آن به دما، عرض جغرافیایی و اقلیم منطقه‌ای است که در آن، دوره‌های گرما و سرمای طبیعت را تجربه می‌کند (Ranjbar Aghdam, 2009). کرم سیب یک آفت چند نسلی با دیپوز اختیاری است (Riedl, 1983). بسته به عرض جغرافیایی و ارتفاع محل از یک نسل (در روسیه، انگلستان و کانادا) تا ۵ نسل (در فلسطین اشغالی) در سال می‌تواند داشته باشد (Setyobudi, 1989). تعداد نسل این آفت با نزدیک شدن به مناطق مستقر در عرض‌های جغرافیایی جنوبی در نیمکره شمالی و برعکس با نزدیک شدن به مناطق شمالی در نیمکره جنوبی افزایش می‌یابد. بنابر عقیده (Radjabi, 1986)، نکته‌ای که باید در بررسی‌های مربوط به تعداد نسل و سایر ویژگی‌های زیستی کرم سیب مدنظر باشد، وجود نژادهای محلی است. به عبارت دیگر باید به این نکته اندیشید که آیا کرم سیب مربوط به ارتفاعات بیش از ۲۰۰۰ متر با نژادهای مربوط به مناطق جلگه‌ای دارای ویژگی‌های بیواکولوژیک یکسانی است؟ دوره زندگی کرم سیب تحت تأثیر سازگاری‌های دمایی مراحل زیستی فعال و در حال دیپوز آن و واکنش به دوره نوری آن تنظیم می‌شود (Ranjbar Aghdam, 2009). رشد و نمو حشرات مانند گیاهان و موجودات زنده خونسرد، به شدت تابع دما است. به بیان دیگر این عامل محیطی تأثیر بسیار عمیقی روی رشد و نمو بسیاری از حشرات دارد (Lamb, 1992; Juszczak *et al.*, 2012). دما حیاتی‌ترین و مهم‌ترین عامل محیطی است که پویایی جمعیت حشرات، کنه‌های آفت و دشمنان طبیعی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Huffaker *et al.*, 1999). به همین ترتیب نرخ رشد کرم سیب نیز به‌طور عمده متأثر از دمای محیط است (Rock & Shaffer, 1983) و مقدار این نرخ برای هر یک از مراحل نابالغ کرم سیب به‌صورت تابعی از دما است (Riedl, 1983). میزان رشد هر یک از مراحل

زیستی کرم سیب با زمان فیزیولوژیک (روز-درجه و یا ساعت-درجه) نسبت به زمان تقویمی (بر اساس روز) با دقت بیشتری بیان می‌شود (Taylor, 1981; Tauber *et al.*, 1986). بر اساس بررسی‌های (Radjabi, 1986) تعداد نسل کرم سیب به‌شدت به دو عامل عمده دما و طول دوره روشنایی بستگی دارد. مشخص شده است، آستانه‌های دمایی و نیاز گرمایی مراحل مختلف زیستی کرم سیب متفاوت است (Ranjbar Aghdam *et al.*, 2008). با وجود این، تاکنون دمای ۱۰ درجه سلسیوس به‌عنوان یک دمای پایه (صفر رشدی) برای پیش‌بینی فنولوژی کرم سیب بر اساس مجموع دماهای مؤثر توسط پژوهشگران مختلف به کار رفته است (Riedl & Croft, 1978). بر این اساس، مدل‌های فنولوژیک با استفاده از نتایج حاصل از زمان فیزیولوژیک برای پیش‌آگاهی از زمان ظهور شب‌پره‌های بالغ از جمعیت زمستان‌گذران، تفریح تخم‌ها، دوره رشد لاروی و شفیرگی و طول مدت نسل برای کرم سیب ارائه شده است (Falcon & Pickel, 1976; Falcon *et al.*, 1976; Geier & Briese, 1978; Riedl & Croft, 1978; Setyobudi, 1989; Rock & Shaffer, 1983; Pitcairn *et al.*, 1992; Howell & Neven, 2000). با اینکه تمامی این مدل‌ها به‌منظور تعیین بهترین زمان سم‌پاشی برای کنترل کرم سیب به کار گرفته شده‌اند ولی به‌منظور کنترل مطلوب کرم سیب و کاهش اثرات زیست‌محیطی سموم شیمیایی، به‌کارگیری روش مدیریت تلفیقی (Ranjbar Aghdam, 2008) و حتی کنترل زیستی موفق کرم سیب (Ranjbar Aghdam & Attaran, 2014) نیز با به‌کارگیری مدل‌های پیش‌آگاهی توصیه شده است.

با این حال، حتی زمانی که سم‌پاشی به‌عنوان اولین و رایج‌ترین راهکار در کنترل آفت مطرح می‌شود، مسایلی از قبیل پیش‌آگاهی و تعیین سطح زیان اقتصادی به‌عنوان پایه‌های اساسی در میزان موفقیت این روش کنترل خواهند بود. به عبارت دیگر در این موارد اولین وظیفه ما کم کردن منطقی دفعات سم‌پاشی علیه آفت است و بر این اساس تعیین معیارهایی برای انجام هر چه درست‌تر پیش‌آگاهی در اولویت قرار می‌گیرد (Radjabi, 1986). در ایران در طول سال‌های گذشته پیش‌آگاهی این آفت بر مبنای تجربیات باغداران و یا به‌کارگیری روش‌هایی انجام شده است که تمامی این روش‌ها به‌نوعی با پیشرفت دانش پیش‌آگاهی و

روش جمع‌آوری نمونه‌های کرم سیب

برای جمع‌آوری لاروهای بالغ و شفیره‌های کرم سیب به تعداد کافی، از کارتن‌های شیاردار یک‌رویه استفاده شد. کارتن‌های شیاردار به عرض ۱۵-۲۰ سانتی‌متر به دور تنه درختان سیب با استفاده از طناب پلاستیکی بسته شدند. این کارتن‌ها قبل از خروج شب‌پره‌ها از شفیره‌های تشکیل شده در زیر کارتن‌ها، از تنه درختان باز و برای تشکیل کلنی به آزمایشگاه منتقل شدند.

تشکیل کلنی و پرورش آزمایشگاهی

در آزمایشگاه نوارهای کارتن پس از بررسی به‌منظور وجود یا عدم وجود لارو یا شفیره به قطعات کوچک‌تری بریده شد. بریده‌های کارتن در ظروف پلاستیکی به قطر و ارتفاع حدود ۱۵ سانتی‌متر که دهانه آن‌ها با توری بسته مسدود شده بود تا زمان ظهور شب‌پره‌ها نگهداری شدند. برای تأمین شرایط محیطی مناسب، ظروف ذکرشده، در اتاق پرورش حشرات در دمای 27 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 50 ± 10 درصد و دوره نوری ۸:۶ ساعت (تاریکی: روشنایی) نگهداری شدند. شب‌پره‌های حاصل از جمعیت لاروها و شفیره‌های جمع‌آوری شده از باغ به‌عنوان والدین نتاج آزمایشگاهی در نظر گرفته شدند. برای پرورش کرم سیب از جیره غذای مصنوعی (Ranjbar Aghdam, 2009) استفاده شد.

بررسی روند رشد و نمو وابسته به دما

روند رشد و نمو مراحل مختلف رشدی هر یک از جمعیت‌های کرم سیب بسته به امکانات موجود در ۴-۵ دمای ثابت آزمایشگاهی بین ۱۵-۳۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 50 ± 10 و دوره نوری ۸:۱۶ ساعت (تاریکی: روشنایی) در اتاقک رشد یا اتاق پرورش حشرات بررسی شد. در هر یک از دماهای موردبررسی، طول دوره هر یک از مراحل رشدی کرم سیب روزانه یادداشت شد. تجزیه واریانس طول دوره رشد و نمو هر یک از مراحل رشدی کرم سیب در دماهای موردبررسی انجام و برای مقایسه میانگین طول دوره رشد و نمو هر یک از مراحل زیستی کرم سیب در دماهای موردبررسی از آزمون دانکن استفاده شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver. 16 انجام شد.

شناخت نقاط ضعف و قوت آن‌ها، ارتقاء یافته و اکنون روش‌های نوین پیش‌آگاهی درحال توسعه و جایگزینی هستند. به‌منظور تهیه یک مدل پیش‌آگاهی با کارایی و دقت مناسب و خطای کم، ضروری است مهم‌ترین شاخص‌های دمایی مورداستفاده در تهیه و استفاده از این مدل‌ها، برای هر یک از جمعیت‌های آفت که در اقلیم‌های مختلف مستقر شده‌اند، برآورد شود و بر اساس این یافته‌ها نسبت به تهیه مدل پیش‌آگاهی مناسب برای هر یک از جمعیت‌های آفت اقدام نمود (Ranjbar Aghdam, 2008).

در کشور ما شاخص‌های دمایی موردنظر برای جمعیت‌های مختلف کرم سیب تعیین نشده بود. یافته‌های این پژوهش ما را قادر خواهد کرد، ضمن بررسی جنبه‌هایی از تفاوت‌های اکوفیزیولوژیک جمعیت‌های مختلف کرم سیبی که در مناطق اصلی تولید سیب کشور مستقر شده‌اند، بتوانیم مدل‌های پیش‌آگاهی مناسبی برای هر یک از این جمعیت‌ها در مراحل بعد طراحی و ارائه نماییم. در این پژوهش سعی شده است، مقادیر مهم‌ترین شاخص‌های دمایی رشد و نمو (آستانه پایین دمایی و نیاز گرمایی) جمعیت‌های مختلف کرم سیب مستقر در استان‌های تهران، آذربایجان غربی و اصفهان تخمین زده شود تا اطلاعات به‌دست‌آمده به‌منظور ارائه مدل پیش‌آگاهی مناسب برای پیش‌بینی زمان حدوث هر یک از مراحل فنولوژیک کرم سیب استفاده شود.

مواد و روش‌ها

محل جمع‌آوری نمونه‌های کرم سیب

جمع‌آوری نمونه‌های کرم سیب به‌منظور تشکیل کلنی و بررسی‌های لازم در این پژوهش از باغ‌های سیب مستقر در مناطق اصلی تولید سیب در استان‌های آذربایجان غربی، اصفهان و تهران بودند. بر این اساس برای تشکیل کلنی آزمایشگاهی، از جمعیت‌های مختلف کرم سیب مستقر در استان آذربایجان غربی نمونه‌ها از شهرستان ارومیه، روستای نازلو، (موقعیت جغرافیایی: طول $44/97$ ، عرض $37/65$ و ارتفاع 1362 متر)، در استان اصفهان از شهرستان سمیرم (موقعیت جغرافیایی: طول $51/55$ ، عرض $31/40$ و ارتفاع 2355 متر) و در استان تهران از شهرستان دماوند، روستای جابان (موقعیت جغرافیایی: طول $52/23$ ، عرض $35/63$ و ارتفاع 2162 متر) جمع‌آوری شدند.

روند رشد و نمو موجودات خونسرد، قابلیت آن در ارزیابی تخمینی از نیاز گرمایی رشد و نمو این موجودات است. تجزیه رگرسیون خطی و برآورد پراسنجه‌های مربوطه و شاخص‌های دمایی جمعیت‌های مختلف کرم سیب با استفاده از نرم‌افزار Minitab ver. 14 انجام شد.

یافته‌ها

جمعیت کرم سیب دماوند (استان تهران)

نتایج بررسی طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ جمعیت کرم سیب مستقر در شهرستان دماوند-روستای جابان در شش دمای ثابت (±۱) ۱۵، ۲۱، ۲۴، ۲۷، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰±۵۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در جدول ۱ ارائه شده است. دما از نظر آماری تأثیر معنی‌داری روی طول دوره رشد و نمو مراحل جنینی (F = 17307, df = 4, P < 0.001)، لاروی (F = 3310, df = 4, P < 0.001)، شفیرگی (F = 2913, df = 4, P < 0.001) و کل دوره نابالغ (F = 5572, df = 4, P < 0.001) جمعیت مورد بررسی داشت. بر این اساس گروه‌بندی تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد (جدول ۱).

تخمین شاخص‌های استاندارد دمایی رشد و نمو با

استفاده از مدل ریاضی خطی (مدل روز-درجه)

مدل روز-درجه، ساده‌ترین مدل برای توصیف ارتباط بین نرخ رشد و نمو حشرات و دما است. مدل یادشده به دلیل سادگی و نداشتن پراسنجه‌های زیاد توسط بیشتر پژوهشگران به منظور به دست آوردن برآوردی از آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی حشرات و کنه‌ها به‌دفعات استفاده شده است (Campbell *et al.*, 1974; Howell & Neven, 2000; Roy *et al.*, 2002; Ranjbar Aghdam *et al.*, 2008). در این بررسی داده‌های دماهایی که موجب کاهش معنی‌داری رگرسیون خطی می‌شدند، طبق نظر (DeClerq & Degheele, 1992) از تجزیه رگرسیون خطی حذف شدند تا دقت و کارایی رگرسیون در برآورد شاخص‌های دمایی کاهش نیابد. مدل خطی روز-درجه به شکل زیر است:

$$D = k / (T - t_{min})$$

که در این معادله D طول دوره رشد و نمو، T دمای محیط، k نیاز گرمایی و t_{min} آستانه پایین دمای رشد و نمو است. مهم‌ترین برتری مدل خطی معمولی (روز-درجه) نسبت به سایر مدل‌های ریاضی (غیرخطی) مورداستفاده به منظور توصیف ارتباط بین تغییرات دما و

جدول ۱. مقایسه تغییرات طول دوره رشد و نمو (روز ± SE) مراحل زیستی نابالغ کرم سیب استان تهران (جمعیت دماوند) در دماهای مورد بررسی.

Table 1. Comparison of the codling moth developmental times (Day ± SE) collected from Tehran province (Damavand population) at the studied temperatures

Developmental stage	Temperature (°C)	Number	Developmental Time (Day)		
			Mean* ± SE	Min.	Max.
Incubation Period	15	328	12.91 ± 0.03 e	12	15
	21	193	7.04 ± 0.01 d	7	8
	24	135	5.41 ± 0.04 c	5	6
	27	102	4.62 ± 0.04 b	4	5
	30	200	4.01 ± 0.02 a	4	5
	**35	500	-	-	-
Larval Period	15	34	42.05 ± 0.36 e	39	46
	21	66	22.59 ± 0.14 d	19	26
	24	46	17.23 ± 0.13 c	15	19
	27	45	14.80 ± 0.08 b	14	16
	30	72	13.48 ± 0.15 a	11	16
Pupal Period	15	34	39.58 ± 0.32 e	37	43
	21	66	21.51 ± 0.16 d	18	25
	24	46	16.21 ± 0.12 c	14	18
	27	45	13.66 ± 0.16 b	12	16
	30	72	11.92 ± 0.15 a	10	15
Total Immature Stages	15	34	93.46 ± 0.67 e	88	101
	21	66	51.10 ± 0.26 d	44	56
	24	46	38.45 ± 0.22 c	34	42
	27	45	32.62 ± 0.21 b	30	36
	30	72	29.34 ± 0.22 a	26	34

* Means with different letters in each column had significant difference in the same developmental stage, according to Duncan's Multiple Range Test, P < 0.05.

** None of the eggs hatched at this temperature.

* میانگین‌های مربوط به هر یک از مراحل رشدی که دارای حروف متفاوت در هر ستون هستند، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

** در این دما هیچ‌یک از تخم‌ها تفریح نشدند.

جمعیت کرم سیب نازلو - استان آذربایجان غربی

نتایج بررسی طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ جمعیت کرم سیب مستقر در منطقه نازلوی استان آذربایجان غربی در ۶ دمای ثابت (±۱)، ۱۵، ۲۰، ۲۴، ۲۷، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس در جدول ۲۱ ارائه شده است. در دمای ۳۵ درجه سلسیوس هیچ‌یک از تخم‌های موردبررسی (۵۰۰ عدد) تفریح نشدند. بر این اساس امکان ادامه بررسی در این دما میسر نشد ولی در ۵ دمای دیگر طول دوره‌های رشد و نمو مراحل زیستی نابالغ کرم سیب به‌طور روزانه ثبت شد. نتایج به‌دست‌آمده در اینجا نیز مثل جمعیت کرم سیب دماوند نشانگر کاهش طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ با افزایش دما بود. بر این اساس طولانی‌ترین طول دوره رشد و نمو

مراحل نابالغ کرم سیب به‌طور میانگین ۹۵/۴۱ روز در دمای ۱۵ درجه سلسیوس و کوتاه‌ترین آن ۲۸/۸۶ روز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس ثبت شد. با این حال تجزیه واریانس نتایج به‌دست‌آمده تأثیر معنی‌دار تغییرات دما روی طول دوره رشد و نمو مراحل زیستی جنینی (F = 9808, df = 4, P < 0.001)، لاروی (P < 0.001, F = 2542, df = 4, P < 0.001)، شفیرگی (F = 3038, df = 4, P < 0.001) و کل دوره نابالغ (F = 4417, df = 4, P < 0.001) کرم سیب را تأیید کرد. بر این اساس گروه‌بندی طول دوره‌های رشد و نمو مراحل مختلف رشدی کرم سیب در دماهای موردبررسی با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد (جدول ۲).

جدول ۲. طول دوره رشد و نمو (روز ± SE) مراحل زیستی نابالغ کرم سیب استان آذربایجان غربی (جمعیت نازلو) در دماهای موردبررسی.

Table 2. Developmental times (Day ± SE) of the codling moth immature stages, collected from West Azerbaijan province (Nazlou population) at the studied temperatures

Developmental stage	Temperature (°C)	Number	Developmental Time (Day)		
			Mean* ± SE	Min.	Max.
Incubation Period	15	247	12.89 ± 0.03e	12	15
	20	240	7.11 ± 0.04 d	6	8
	24	138	5.31 ± 0.03 c	5	6
	27	103	4.73 ± 0.04 b	4	5
	30	181	4.01 ± 0.02 a	4	5
	**35	500	-	-	-
Larval Period	15	31	42.93 ± 0.48 e	39	48
	20	64	24.29 ± 0.14 d	23	26
	24	45	19.42 ± 0.17 c	18	21
	27	52	15.84 ± 0.08 b	14	18
	30	51	13.27 ± 0.10 a	12	15
Pupal Period	15	31	40.48 ± 0.43 e	37	46
	20	64	20.23 ± 0.16 d	18	23
	24	45	16.46 ± 0.12 c	15	18
	27	52	13.57 ± 0.10 b	12	15
	30	51	11.58 ± 0.10 a	10	13
Total Immature Stage	15	31	95.41 ± 0.89 e	89	105
	20	64	51.50 ± 0.26 d	48	56
	24	45	40.88 ± 0.25 c	38	44
	27	52	33.90 ± 0.23 b	31	38
	30	51	28.86 ± 0.22 a	27	31

* Means with different letters in each column had significant difference in the same developmental stage, according to Duncan's Multiple Range Test, P < 0.05.

** None of the eggs was hatched at this temperature.

* میانگین‌های مربوط به هر یک از مراحل رشدی که دارای حروف متفاوت در هر ستون هستند، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

** در این دما هیچ‌یک از تخم‌ها تفریح نشدند.

جمعیت کرم سیب سمیرم-استان اصفهان

در بررسی تأثیر دما روی روند رشد و نمو کرم سیب منطقه سمیرم اصفهان نیز، هیچ‌یک از تخم‌های مورد بررسی (۵۰۰ فرد) در دمای ۳۵ درجه سلسیوس قادر به رشد و نمو نبودند و همگی افراد از بین رفتند ولی در سایر دماهای مورد بررسی روند رشد و نمو افراد ثبت شد.

طول دوره رشد و نمو کرم سیب مستقر در شهرستان سمیرم نیز با افزایش دما روند کاهشی داشت. تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده نیز تأثیر دما روی طول دوره رشد و نمو مرحله جنینی ($F=4732.58, df=3, P < 0.001$)، لاروی ($F=82.88, df=3, P < 0.001$)، شفیرگی ($F=108.29, df=3, P < 0.001$) و کل دوره رشد و نمو نابالغ ($F=401.927, df=3, P < 0.001$) کرم سیب سمیرم را نشان داد. بر همین اساس گروه بندی طول دوره رشد و نمو کرم سیب سمیرم نیز در دماهای مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد که نتایج آن در جدول ۳ ارایه شده است.

برآورد شاخص‌های دمایی رشد و نمو کرم سیب با به‌کارگیری مدل خطی روز-درجه

نرخ رشد و نمو کرم سیب جمعیت‌های مورد مطالعه در دامنه دمایی ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس برآزش مطلوبی روی مدل خطی روز-درجه داشتند (جدول ۴). رگرسیون خطی نرخ رشد و نمو کل دوره‌های نابالغ جمعیت‌های کرم سیب استان‌های تهران، آذربایجان غربی و اصفهان به ترتیب در سطح احتمال ۰/۰۰۹، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۱۲۳ معنی‌دار بود. همین‌طور مقادیر ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح‌شده رگرسیون نیز حاکی از توان مطلوب مدل خطی روز-درجه در پیش‌بینی رشد و نمو تابع دمای جمعیت‌های مورد مطالعه بود (جدول ۴).

جدول ۴ مقادیر برآورد شده آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی هر یک از مراحل رشدی کرم سیب را به تفکیک مناطق مورد بررسی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده آستانه پایین دمای رشد و نمو مراحل رشدی تخم، لارو، شفیره و کل دوره نابالغ کرم سیب جمعیت‌های دماوند استان تهران) و آذربایجان غربی (نازلو) پایین‌تر از استان اصفهان بود. به همین ترتیب نیاز گرمایی جمعیت کرم سیب مستقر در استان اصفهان بالاتر از دو استان دیگر بود.

جدول ۳. طول دوره رشد و نمو (روز \pm SE) مراحل زیستی نابالغ کرم سیب استان اصفهان (جمعیت سمیرم) در دماهای مورد بررسی.

Table 3. Developmental times (Day \pm SE) of the codling moth immature stages, collected from Isfahan province (Semirom population) at the studied temperatures

Developmental stage	Temperature (°C)	Number	Developmental Time (Day)		
			Mean* \pm SE	Min.	Max.
Incubation Period	20	729	8.67 \pm 0.03 d	7	10
	25	507	5.23 \pm 0.03 c	4	7
	27	547	4.88 \pm 0.03 b	4	6
	30	500	4.39 \pm 0.02 a	4	5
	**35	500	-	-	-
Larval Period	20	48	29.92 \pm 0.65 c	23	34
	25	52	23.50 \pm 0.75 b	16	30
	27	38	22.20 \pm 1.01 b	17	32
	30	52	16.00 \pm 0.23 a	14	18
Pupal Period	20	32	30.00 \pm 0.95 d	25	34
	25	34	17.31 \pm 0.67 c	15	22
	27	35	16.91 \pm 0.23 b	12	18
	30	46	14.05 \pm 0.44 a	10	18
Total Immature Stage	20	32	70.31 \pm 0.98 c	64	74
	25	34	43.37 \pm 0.77 b	39	48
	27	35	42.26 \pm 0.96 b	37	48
	30	46	34.50 \pm 0.44 a	31	39

* Means with different letters in each column had significant difference in the same developmental stage, according to Duncan's Multiple Range Test, $P < 0.05$. ** None of the eggs was hatched at this temperature.

* میانگین‌های مربوط به هر یک از مراحل رشدی که دارای حروف متفاوت در هر ستون هستند، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

** در این دما هیچ‌یک از تخم‌ها تفریح نشدند.

جدول ۴. مدل خطی نیاز گرمایی، آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی سه جمعیت کرم سیب مورد بررسی
Table 4. Degree-days linear model, lower thermal threshold, and thermal requirement of three studied population of the codling moth.

Population Origin	Developmental Stage	Degree Day Model	t_{min} (°C ± SE)	K (DD ± SE)	R^2 (× 10 ⁻²)	R^2_{adj} (× 10 ⁻²)	P-value
Tehran (Damavand)	Egg	DR = -0.089 + 0.011 T	7.98 ± 0.01	89.08 ± 2.77	98.9	98.3	0.005
	Larvae	DR = -0.024 + 0.003 T	7.16 ± 0.03	300.28 ± 16.61	97.6	96.45	0.011
	Pupae	DR = -0.039 + 0.004 T	9.46 ± 0.01	241.74 ± 10.50	99.3	99.0	0.003
	Total Immature Stages	DR = -0.013 + 0.002 T	8.32 ± 0.02	622.74 ± 33.90	98.1	97.1	0.009
West Azerbaijan (Nazlou)	Egg	DR = -0.091 + 0.011 T	7.93 ± 0.01	86.71 ± 2.77	98.9	98.6	0.0004
	Larvae	DR = -0.027 + 0.003 T	8.19 ± 0.03	294.83 ± 16.61	99.4	99.3	0.0001
	Pupae	DR = -0.034 + 0.004 T	8.45 ± 0.01	250.04 ± 10.50	99.3	99.1	0.0002
	Total Immature Stages	DR = -0.013 + 0.001 T	8.19 ± 0.02	633.20 ± 33.90	99.7	99.6	<0.0001
Isfahan (Semirom)	Egg	DR = -0.105 + 0.011 T	9.23 ± 0.02	88.12 ± 4.07	96.1	94.2	0.0194
	Larvae	DR = -0.023 + 0.003 T	8.58 ± 0.01	368.83 ± 22.42	93.8	87.9	0.0622
	Pupae	DR = -0.039 + 0.004 T	10.58 ± 0.01	269.51 ± 12.38	96.7	95.1	0.0165
	Total Immature Stages	DR = -0.014 + 0.001 T	9.85 ± 0.03	695.84 ± 42.11	97.5	96.3	0.0123

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؛ ولی اگر دما تا حد معینی افزایش یابد، رشد حشره سریع‌تر خواهد شد (Wagner *et al.*, 1984). ویژگی‌های دمایی بین گونه‌های مختلف، جمعیت‌ها، مراحل رشد و نمو و پراسنجه‌های بوم‌شناختی مؤثر بر زندگی بندپایان متفاوت است (Gilbert & Roy *et al.*, 2002 & 2003; Raworth, 1996). بر همین اساس در پژوهش حاضر تأثیر دما بر روند رشد و نمو سه جمعیت مختلف کرم سیب مستقر در سه منطقه از مناطق اصلی تولید سیب کشور بررسی و بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده، شاخص‌های اصلی دمایی شامل آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی هر یک از مراحل رشدی این آفت برآورد شد. یافته‌های این پژوهش در آرایه مدل‌های پیش‌آگاهی فنولوژیک وابسته به دما برای هر یک از جمعیت‌های کرم سیب مستقر در مناطق مورد بررسی حیاتی و مؤثر خواهند بود.

آستانه پایین دمایی رشد و نمو کرم سیب

در بین شاخص‌های مختلف دمایی مرتبط با رشد و نمو بندپایان، آستانه پایین دمای رشد و نمو از بیشترین اهمیت برخوردار است. چون در تمامی روش‌های مورد استفاده به‌منظور محاسبه نیاز گرمایی رشد و نمو موجودات خونسرد، داشتن مقدار عددی این شاخص

دمایی ضروری است و بدون داشتن آن امکان محاسبه گرمای مؤثر دریافت شده از محیط برای تبدیل شدن از یک مرحله رشدی به مرحله بعدی میسر نیست (Damos & Savopoulou-Soultani, 2012; Herms, 2004). در این پژوهش آستانه پایین دمایی برای جمعیت استان تهران (دماوند) به‌وسیله مدل خطی معمولی از ۷/۱۶ درجه سلسیوس برای مرحله لاروی تا ۹/۴۶ درجه سلسیوس برای مرحله شفیرگی برآورد شد. همین‌طور مقدار این شاخص برای جمعیت جمع‌آوری‌شده از استان آذربایجان غربی از ۷/۹۳ تا ۸/۴۵ درجه سلسیوس به ترتیب برای مراحل زیستی جنینی و شفیرگی متغیر بود. این مقادیر تا حدودی نزدیک به مقادیر برآورد شده برای آستانه پایین دمای رشد و نمو جمعیت جمع‌آوری‌شده از استان تهران بود. درحالی‌که در مورد جمعیت متعلق به سمیرم استان اصفهان مقدار برآورد شده برای شاخص یادشده از ۸/۸۵ درجه سلسیوس در مرحله لاروی تا ۱۰/۵۸ درجه سلسیوس در مرحله شفیرگی بود که بیشتر از مقادیر برآورد شده برای جمعیت‌های کرم سیب استان‌های آذربایجان غربی و تهران بود. جالب‌توجه اینکه آستانه پایین دمای رشد و نمو برای مرحله زیستی لاروی در هر سه جمعیت مورد بررسی پایین‌تر از سایر مراحل بود که این موضوع می‌تواند مؤید سازگاری بیشتر این مرحله زیستی برای امکان زمستان‌گذرانی در فصول سرد و یخبندان باشد. در اغلب منابع علمی موجود آستانه پایین دمای رشد و نمو کرم سیب ۱۰ درجه سلسیوس ذکر شده است (Glenn, 1922; Riedl *et al.*, 1976; Rock & ...)

مورد استفاده را بسته به مرحله زیستی هدف به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد.

نیاز گرمایی رشد و نمو مراحل رشدی کرم سیب

در این پژوهش نیاز گرمایی برای سپری شدن مرحله جنینی کرم سیب استان‌های تهران، آذربایجان غربی و اصفهان با استفاده از مدل خطی معمولی به ترتیب ۸۹/۰۸، ۸۶/۷۱ و ۸۸/۱۲ روز-درجه برآورد شد. بر اساس بررسی‌های Howell & Neven (2000) نیاز گرمایی برای رشد و نمو مرحله جنینی کرم سیب ۸۷/۵ روز-درجه برآورد شده بود و این یافته، ۱۲/۵ روز-درجه کمتر از مقدار برآورد شده توسط Cranham (1980) بود. همچنین بر طبق بررسی‌های Ranjbar Aghdam (2009) برای جمعیت کرم سیب منطقه مراغه (استان آذربایجان شرقی)، نیاز گرمایی مرحله یادشده به وسیله مدل خطی معمولی ۷۶/۹۶ روز-درجه برآورد شده بود.

نیاز گرمایی برآورد شده برای مرحله لاروی جمعیت‌های کرم سیب استان‌های تهران، آذربایجان غربی و اصفهان به ترتیب ۳۰۰/۲۸، ۲۹۴/۸۳ و ۳۴۳/۹۵ روز-درجه بود. در گذشته نیاز گرمایی مرحله لاروی کرم سیب توسط Setyobudi (1989)، به‌طور میانگین ۲۸۸/۹۶ روز-درجه سلسیوس برآورد شده بود. همچنین Pickel *et al.* (1986) مقدار گرمای مؤثر مورد نیاز برای تکمیل دوره رشد و نمو دوره یادشده را ۲۶۳/۹ روز-درجه برآورد کرده بودند. Ranjbar Aghdam (2009) نیاز گرمایی مرحله لاروی جمعیت کرم سیب منطقه مراغه را ۳۰۴/۹۱ روز-درجه برآورد کرده بود. در همین راستا نیاز گرمایی مرحله شفیرگی کرم سیب برای جمعیت‌های یادشده به ترتیب ۲۴۱/۷۴، ۲۵۰/۰۴ و ۲۶۹/۵۱ روز-درجه سلسیوس برآورد شد. نیاز گرمایی این مرحله زیستی کرم سیب توسط Pickel *et al.* (1986)، ۲۲۲/۲ روز-درجه برآورد شده بود. همین‌طور Ranjbar Aghdam (2009) نیاز گرمایی مرحله شفیرگی کرم سیب منطقه مراغه را با استفاده از مدل ریاضی مشابه ۲۲۵/۲۲ روز-درجه برآورد کرده بود.

همین‌طور در پژوهش حاضر نیاز گرمایی محاسبه‌شده برای کل دوره رشدی کرم سیب برای جمعیت‌های استان‌های تهران، آذربایجان غربی و اصفهان به ترتیب ۶۲۲/۷۴، ۶۳۳/۲۰ و ۶۹۵/۸۴ روز-درجه بود.

Shaffer, 1983; Setyobudi, 1989; Pitcairn *et al.*, 1992; Howell & Neven 2000). در مقابل در پژوهش انجام شده توسط Falcon & Pickel (1976) آستانه پایین دما برای رشد و نمو کرم سیب بین ۸ و ۱۱/۱ درجه سلسیوس گزارش شده است. همین‌طور بر اساس بررسی‌های Rock & Shaffer (1983) با استفاده از نتایج ۵ دمای ثابت، آستانه پایین دما برای رشد و نمو کرم سیب با استفاده از مدل خطی ۹/۹ درجه سلسیوس تخمین زده شد و این درحالی‌که بود که رابطه غیرخطی معنی‌داری بین داده‌های مشاهده‌شده در بررسی این پژوهشگران حاکم بود. همین‌طور طبق بررسی‌های Ranjbar Aghdam (2009) آستانه پایین دما برای جمعیت کرم سیب مراغه به وسیله مدل خطی معمولی بین ۹/۱۸ و ۱۰/۳۴ درجه سلسیوس برآورد شده بود. در همین راستا Blomefield and Giliomee (2014) استناد به پژوهش‌های قبلی خودشان Blomefield and Giliomee (2009) و تعدادی از پژوهشگران قبلی که با استفاده از مدل خطی روز-درجه برآورد کرده بودند، آستانه پایین دمای کرم سیب را در آفریقای جنوبی ۱۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته‌اند. از طرف دیگر در کشور یونان Damos *et al.* (2018) نیز بر اساس یافته‌های Ranjbar Aghdam *et al.* (2011) برای جمعیتی از کرم سیب که در استان آذربایجان شرقی مستقر شده بود، به‌منظور اعتبارسنجی مدلی برای پیش‌آگاهی جمعیتی از کرم سیب در یونان، آستانه پایین دمای رشد و نمو کرم سیب را ۱۰/۱ درجه سلسیوس در نظر گرفته بود. همه این مدل‌ها با درجات مختلفی از موفقیت در پیش‌بینی فنولوژی کرم سیب در مناطق مختلف دنیا استفاده شده‌اند. نتایج یافته‌های حاضر نیز تفاوت در مقدار عددی این شاخص مهم و کاربردی دمایی را در جمعیت‌های مختلف کرم سیب مستقر در مناطق مختلف ایران نشان داد. در نگاه اول شاید تصور شود که تفاوت عددی چشمگیری در مقدار عددی برآورد شده برای دمای آستانه پایین رشد و نمو کرم سیب در مناطق مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود، ولی همین تفاوت‌های اندک وقتی به‌منظور محاسبه مجموع نیاز گرمایی روزانه (GDD) استفاده می‌شوند، پیش‌بینی رخداد مراحل مختلف فنولوژیک آفت را در طبیعت با خطای زیادی همراه می‌کند و همین موضوع کارایی برنامه‌های کنترلی

نادرست بودن این موضوع بر اساس یافته‌های (Mills, 2005; Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009) و دستاوردهای این پژوهش به‌طور مجدد اثبات شد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی و پژوهشی موسسه تحقیقات گیاهپزشکی در قالب پروژه مصوب شماره ۸۹۱۳۸-۱۶-۱۶ اجرا شده است. بر این اساس نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب سپاس و امتنان خود را از موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور اعلام نمایند.

بر اساس بررسی‌های انجام شده در این پژوهش به‌طور مجدد یافته‌های (Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009) در خصوص تفاوت در ویژگی‌های دمایی جمعیت‌های مختلف کرم سیب تأیید شد. قبل از پژوهش یادشده تصور می‌شد طول دوره رشد و نمو مرحله جنینی کرم سیب در شرایط جغرافیایی مختلف ثابت است که این موضوع توسط (Howell & Neven, 2000) نیز مطرح شده بود ولی در گذشته پژوهش‌گران تصور می‌کردند که طول دوره رشد و نمو کرم سیب اساس ژنتیکی داشته و در نقاط مختلف دنیا ثابت باشد چون منشأ جمعیت‌های مختلف کرم سیب مستقر در دنیا به‌جز جمعیت موجود در آفریقای جنوبی (Pashley & Bush, 1979) را از اروپا می‌دانستند که

REFERENCES

- Al Bitar, L., Voigt, D., Zebitz, C. P. W. & Gorb, S. N. (2010). Attachment ability of the codling moth *Cydia pomonella* L. thorough substrates. *Journal of Insect Physiology*, doi: 10. 1016.
- Blomefield, T. L. & Giliomee, J. H. (2009). Development rates of the embryonic and immature stages of the codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae), at constant and fluctuation temperatures. *African Entomology*, 17: 183-191.
- Blomefield, T. L. & Giliomee, J. H. (2014). Validation of the phenology model for the codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae), in South Africa pome fruit orchards, *African Entomology*, 22(1): 30-48.
- Campbell, A., Frazer, B. D., Gilbert, N., Gutierrez, A. P. & Mackauer, M. (1974). Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology*, 11: 431-38.
- Cranham, J. E. (1980). Timing the first spray against codling moth: The relation between trap catches and temperatures, and its partial application. In: Proceeding of *IOBC/WPRS*, Wye College, Ashford, UK.
- Damos, P. T., Kouloussis, N.A. & Koveos, D. S. (2018). A degree-day phonological model for *Cydia pomonella* and its validation in a Mediterranean climate, *Bulletin of Insectology*, 71 (1): 131-142.
- Damos, P. and Savopoulou-Soultani, M. (2012). Temperature-driven models for insect development and vital thermal requirements, *Psyche*, Article ID 123405, 13 pages, doi: 10, 1155/2012/123405.
- 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.
- Falcon, L. A. & Pickel, C. (1976). *Manual for 1976 field validation of bug off codling moth forecasting program*. University of California, Berkeley.
- Falcon, L. A., Pickel, C. & white, J. B. (1976). Computerizing codling moth. *Fruit Grower* 96: 8-14.
- Geier, P. W. a&nd D. T. Briese. (1978). The demographic performance of a laboratory strain of codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Applied Ecology*, 15: 679-696.
- Gilbert, N. & Raworth, D. A. (1996). Insects and temperature, a general theory. *Canadianadian Entomologists*, 128: 1-13.
- Glenn, P. A. (1922). Relation of temperature to development of the codling-moth. *Journal of Economic Entomology*, 15:193-198.
- Herms, D.A. (2004). Using Degree-Days and plant phenology to predict pest activity. In. V. Krischik and J. Davidson (Eds.) *IPM (Integrated Pest Management) of Midwest Landscapes*. (pp. 49-59). University of Minnesota Ag. Experiment Station.
- Howell, J. F. & L. G. Neven. (2000). Physiological development time and zero development temperature of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 29: 766-772.
- Huffaker, C., Berryman, A. & Turchin, P. (1999). Dynamics and regulation of insect populations, In: C.A. Huffaker (Ed.) *Ecological Entomology*. (pp. 269-305). Jhon Wiely & Sons Inc...
- Juszczak, R., Kuchar, L., Lesny, J. & Olejnik, j. (2012). Climate change impact on development rates of the codling moth (*Cydia pomonella* L.) in the Wielkopolska region, Poland. *International Journal of Biometeorology*, 3: 45-59.
- Knight, A. L. (2007). Adjusting the phenology model of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Washington state apple orchards, *Environmental Entomology*, 36 (6): 1485-1493.
- Lamb, R. J. (1992). Developmental rate of *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae) at low temperatures: implications for estimating rate parameters for insects. *Environmental Entomology*, 21: 10- 19.

20. Mills, N. (2005). Selecting effective parasitoids for biological control introductions: Codling moth as a case study, *Biological Control*, 34: 274-282.
21. Pashley, D. P. & Bush, G. L. (1979). The use of allozymes in studying insect movement with special references to the codling moth, *Laspeyresia pomonella* (L.) (Olethreutidae), In: R. L. Rabb and G. C. Kennedy (Eds.), *Movement of highly mobil insects: concepts and methodology in research*. (pp. 333-341) North Carolina State University, Raleigh.
22. Pickel, C. P.; R. S. Bethell. & W. W. Coates. (1986). *Codling moth management using degree days*. Publication 4, University of California Statewide IPM Project, Berkeley, California.
23. Ranjbar Aghdam, H (2009). *Using temperature-dependent phenology in providing forecasting model of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae)*. Ph. D. dissertation, Tarbiat Modares University.
24. Ranjbar Aghdam, H., Fathipour, Y. & Kontodimas, D. C. (2011). Evaluation of non-linear model to describe development and fertility of codling moth at constant temperatures, *Entomologia Hellenica*, 20: 3-16.
25. 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.
26. Riedl, H. (1983). Analysis of codling moth phenology in relation to latitude, climate and food availability. In: V. K. Brown and I. Hodek, (Eds.) *Diapause and life syclecycle strategies in insects*. (pp. 223-252) Dr. W. Junk Publication, Boston.
27. Riedl, H. & Croft, B. A. (1978) The effects of photoperiodic and effective temperatures on the seasonal phenology of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Canadian Entomologists*, 110: 455-470.
28. Riedl, H., Blomefield, T. L. & Giliomee, J. H. (1998). A century of codling moth control in South Africa: II. Current and future status of codling moth management. *Journal of the Southern African Society for Horticultural Sciences*. 8: 32-54.
29. Rock, G. C. & Shaffer, P. L. (1983). Development rates of codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) reared on apple at four constant temperatures. *Environmental Entomology*, 12: 831-834.
30. Roy, M., Brodeur, J. & Cloutier, C. (2002). Relationship between temperature and development rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acarina: Tetranychidae). *Environmental Entomology*, 31: 177-187.
31. Roy, M., Brodeur, J. & Cloutier, C. (2003). Effect of temperature on intrinsic rate of natural increase (rm) of a coccinellid and its spider mite prey. *Biological Control*, 48: 57-72.
32. Setyobudi, L. (1989). *Seasonality of codling moth, Cydia pomonella (Lepidoptera: Olethreutidae) in the Willamette valley of Oregon: role of photoperiod and temperature*. Ph.D. dissertation, Oregon State University.
33. Tauber, M. J., Tauber, C. A. & Masaki, S. (1986) *Seasonal adaptations of insects*. Oxford UniverstyUniversity Press, New York.
34. Taylor, F. (1981) Ecology and evolution of physiological time in insects. *American Naturalis*, 117: 1-23.
35. 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.

