

تخمین آستانه پایین دما و نیاز گرمایی رشد و نمو کرم ساقه‌خوار ذرت (*Sesamia cretica* (Lep., Noctuidae) با

استفاده از مدل‌های خطی "روز-درجه" و "ایکومتو و تاکایی"

فاطمه سلطانی اورنگ^۱، حسین رنجبراقدم^{۲*}، حبیب عباسی پور^۳ و علیرضا عسکریان زاده^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد

^۲ استادیار، موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک، تهران

^۳ استاد، گروه گیاه پزشکی، دانشگاه شاهد

^۴ استادیار، گروه گیاه پزشکی، دانشگاه شاهد

* مسئول مکاتبه: Hossein_ghdam2003@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

آستانه پایین دمای رشدونمو و نیاز گرمایی مراحل مختلف فنولوژیک آفات، از جمله اطلاعاتی است که برای تهیه مدل پیش‌آگاهی آفات به منظور پیش‌بینی زمان ظهور هر یک از مراحل فنولوژیک آن در طبیعت مورد نیاز است. در همین راستا، در پژوهش حاضر آستانه پایین دمای رشدونمو (صفر رشدی) و نیاز گرمایی مراحل مختلف فنولوژیک کرم ساقه‌خوار ذرت، *Sesamia cretica* Lederer با استفاده از دو مدل خطی "روز-درجه" و "ایکومتو و تاکایی" برآورد شد. طول دوره رشدونمو مراحل نابالغ کرم ساقه‌خوار ذرت در پنج دمای (± 18) ، $20/5$ ، 24 ، 27 و 30 درجه سانتی‌گراد، دوره روشنایی: تاریکی، $16:8$ ساعت و رطوبت نسبی 10 ± 50 درصد تعیین شد. برای تغذیه مراحل لاروی آفت از ساقه‌های بریده شده ذرت استفاده شد. بر اساس شاخص‌های آماری، از بین دو مدل مورد بررسی، مدل ایکومتو و تاکایی نیاز گرمایی و آستانه پایین دمای رشدونمو کرم ساقه‌خوار ذرت را با دقت بالاتری نسبت به مدل خطی روز-درجه برآورد نمود. بر اساس تخمین مدل یاد شده، آستانه پایین دمای رشدونمو مراحل رشدی تخم، لارو، شفیره و کل دوره نابالغ کرم ساقه‌خوار ذرت به ترتیب $13/97$ ، $13/45$ ، $12/57$ و $13/27$ درجه سانتی‌گراد و نیاز گرمایی مراحل یاد شده به ترتیب $68/44$ ، $328/73$ ، $140/16$ و $537/43$ روز-درجه سانتی‌گراد بود.

واژه‌های کلیدی: دمای صفر رشدی، زمان فیزیولوژیک رشد و نمو، مدل خطی، *Sesamia cretica*.

مقدمه

کشاورزی سال ۱۳۸۷ وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در ایران در سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۶، مقدار 242740 هکتار بوده است که $3/43$ درصد از سهم غلات کشت شده را شامل شده و رتبه چهارم غلات را بعد از گندم، جو و برنج دارا می‌باشد. همچنین میزان تولید آن طی همین دوره برابر 1777494 تن بوده است که رتبه سوم تولید بعد از گندم و برنج را دارا می‌باشد (بی‌نام ۱۳۸۸).

محصول دانه ذرت پس از گندم و جو از مهم‌ترین مواد غذایی بشر محسوب می‌شود. خاستگاه ذرت قاره آمریکا (جنوب مکزیک) و پیشینه کشت آن به هشت تا ۱۰ هزار سال پیش می‌رسد (تولنر و دایر ۱۹۹۹). ذرت با نام علمی *Zea mays* L. از تیره Gramineae و متعلق به زیرتیره Panicoideae بوده و یک گیاه دیپلوئید ($2n=20$) می‌باشد (تاجبخش ۱۳۷۵). بر اساس آمارنامه

زمان بندی مصرف آفت کش های شیمیایی با حداقل میزان مصرف پیوسته از اهمیت برخوردار است (اسرنو ۱۹۹۱).

به منظور تهیه مدل پیش آگاهی از رخداد دوره های زمانی حضور و فعالیت مراحل زیستی تخم، لارو و شفیره کرم ساقه خوار ذرت، تخمین شاخص های دمایی موثر بر رشد و نمو این کرم در شرایط آزمایشگاهی، روش مناسب در نظر گرفته می شود. برای برآورد مقادیر این شاخص های دمایی از مدل های ریاضی خطی و غیرخطی استفاده می شود (کنتودیماس و همکاران ۲۰۰۴). مدل های خطی به لحاظ سهولت محاسبه و سادگی شان و این که تخمین قابل قبولی از آستانه پایین دمای رشدونمو ارائه می دهند، در سطح گسترده ای برای محاسبه نیازهای دمایی حشرات و آستانه پایین دمای رشدونمو (صفر رشدی) به کار رفته اند (کنتودیماس و همکاران ۲۰۰۴). در هنگام استفاده از این مدل ها فرض می شود که بین نرخ رشد حشره و دما رابطه خطی وجود دارد. اگرچه این فرض باعث سادگی پیش بینی زمان حدوث رویدادهای زیستی حشره می شود، ولی دارای کاستی هایی می باشد. استفاده از رابطه خطی برای توصیف روند رشدونمو در دماهای بالاتر و پایین تر از دامنه تغییرات خطی نرخ رشدونمو، می تواند منجر به برآورد بیشتر و یا کمتر نرخ رشدونمو در دماهای یاد شده شود (دیوید سان ۱۹۴۴، اندریوآرتا و برچ ۱۹۵۴، لاکتین و همکاران ۱۹۹۵، ارباب و همکاران ۲۰۰۶ و رنجبراقدم و همکاران ۲۰۰۹). بنابراین در نواحی که حشره با دماهای خارج از دامنه خطی مواجه است، استفاده از مدل غیرخطی مشکلات مربوط به مدل های خطی را برطرف می کند (لاکتین و همکاران ۱۹۹۵ و رنجبراقدم و همکاران ۲۰۰۹). مدل های متعددی برای توصیف روند رشدونمو به عنوان تابعی از دما، وجود دارد، ولی مقیاس مشخصی برای تعیین اینکه کدام یک

در اغلب نقاط جهان در مزارع ذرت گونه های مختلفی از حشرات روی این گیاه فعالیت دارند. کرم های ساقه خوار از آفات مهم ذرت در کلیه مناطق ذرت کاری جهان به شمار می آیند. مهم ترین گونه های این آفت متعلق به خانواده های Noctuidae و Pyralidae می باشند. در این میان، کرم ساقه خوار ذرت *Sesamia cretica* Led. با اهمیت تلقی می شود (عباسی پور شوشتری ۱۳۶۹). با آگاهی از زمان شیوع آفت در منطقه می توان زمان کشت ذرت را طوری برنامه ریزی نمود که مراحل حساس رشد گیاه در محدوده زمانی کمتری با مراحل خسارت زای آفت مواجه شود و در نتیجه کمترین خسارت به محصول وارد گردد. در مورد سمپاشی کرم های ساقه خوار مانند کرم ساقه خوار ذرت ابتدا بایستی به وسیله تله های فرومونی و یا نوری، زمان تخم ریزی آفت مشخص شود و پس از خروج لاروهای سن یک از پوسته تخم و قبل از اینکه وارد ساقه شوند، سمپاشی صورت گیرد، زیرا در صورت ورود آفت به داخل ساقه، سمپاشی، کنترل مورد انتظار را در پی نخواهد داشت (بهداد، ۱۳۷۱). همچنین زنبورهای پارازیتوئید مرحله تخم و لارو این آفت که تاثیر زیادی در کاهش جمعیت آن دارند، در صورتی بهترین نتیجه را خواهند داد که اطلاعات کافی از زمان تخم گذاری و مرحله لاروی این آفت وجود داشته باشد تا بر اساس این اطلاعات، رهاسازی زنبورهای پارازیتوئید در زمان مناسب انجام شود. بنابراین آگاهی از زمان ظهور مراحل زیستی کرم ساقه خوار ذرت تاثیر زیادی در کنترل شیمیایی و زیستی این آفت دارد. با توجه به مطالب ذکر شده ارائه یک راهبرد مناسب برای کنترل تلفیقی کرم ساقه خوار ذرت نیازمند داشتن آگاهی جامع از زمان رشدونمو این آفت در شرایط آب و هوایی مناطق مختلف می باشد. یک مدل فنولوژیک مناسب که بتواند زمان دقیق وجود هر یک از مراحل زیستی آفت، طول دوره زندگی و میزان رشد جمعیت کرم ساقه خوار ذرت را در شرایط طبیعی پیش بینی کند، نیازمند مطالعات وسیعی در این زمینه می باشد.

آستانه پایین دمای رشدونمو^۲ یا صفر رشدی، پایین‌ترین دمایی است که در آن نرخ رشدونمو صفر بوده و یا رشدونمو قابل اندازه‌گیری نیست (کمپل و همکاران ۱۹۷۴، کنتودیماس و همکاران ۲۰۰۴).

نیاز گرمایی یا زمان فیزیولوژیک رشدونمو^۳ برای رشدونمو وابسته به دمای حشرات بیان می‌شود (تیلور ۱۹۸۱). مقدار عددی زمان فیزیولوژیک رشدونمو برابر با کل گرمای موثر مورد نیاز بین آستانه‌های پایین و بالای دمای رشدونمو، برای کامل شدن رشد یک مرحله زیستی موجود خونسرد و رسیدن به مرحله زیستی بعدی آن می‌باشد. این شاخص بر اساس واحدی به نام روز-درجه^۴ و یا ساعت-درجه بیان می‌شود (ساوسوود و هندرسون ۲۰۰۰ و دنت ۲۰۰۰). در مواردی به واحدهای یادشده، واحد گرمایی^۵ نیز گفته می‌شود (ویلسون و بارنت ۱۹۸۳). روز-درجه‌های رشدونمو از حاصل ضرب زمان در دمای بین آستانه پایین و آستانه بالای دمای رشدونمو به دست می‌آید (ساوسوود و هندرسون ۲۰۰۰). در تحقیق حاضر تاثیر دما بر روند رشدونمو کرم ساقه‌خوار ذرت، *S. cretica*، در یک دامنه دمایی محدود بررسی شد. در ادامه از مدل‌های خطی یاد شده، برای بررسی ارتباط خطی بین متغیرهای مورد بررسی و برآزش مشاهدات روی مدل‌های یاد شده استفاده شد. در نهایت شاخص‌های اصلی دمایی رشدونمو ساقه‌خواران مورد بررسی برآورد شدند.

مواد و روش‌ها

۱- کشت گیاه و پرورش کرم ساقه‌خوار ذرت در آزمایشگاه برای تهیه نمونه‌های ساقه‌خوار ذرت، *S. cretica*، بذر ذرت رقم سینگل کراس (SC-704) در اواسط اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۸ در زمینی به مساحت ۳۰۰ متر مربع از زمین‌های مزارع تحقیقاتی دانشکده علوم

برای مدیریت تلفیقی آفات^۱ (IPM) مناسب‌تر می‌باشد، وجود ندارد (ارباب و همکاران ۲۰۰۶). برخی از متخصصین عقیده دارند مدل خطی روز-درجه برای پیشگویی رشدونمو حشرات در مزرعه کافی است و استفاده از مدل‌های غیرخطی غیر ضروری می‌باشد (کمپل و همکاران ۱۹۷۴ و گیلبرت ۱۹۸۸). این استدلال برای بسیاری از حشرات که رشدونمو و تولیدمثل آنها در داخل محدوده تغییرات خطی منحنی رشدونمو نسبت به دما حادث می‌شود، کاربرد بسیار خوبی دارد به ویژه برای آن دسته از حشراتی که وارد دیاپوز می‌شوند و یا در شرایط نامساعد مهاجرت می‌کنند (گیلبرت و اورف ۱۹۹۶). مدل روز-درجه، ساده‌ترین مدل ریاضی مورد استفاده برای توصیف ارتباط بین نرخ رشدونمو و دما می‌باشد (کمپل و همکاران ۱۹۷۴، هاول و نوین ۲۰۰۰، ری و همکاران ۲۰۰۲، کنتودیماس و همکاران ۲۰۰۴). ولی با مشاهده خطاهایی در برآورد مقادیر شاخص‌های دمایی، با استفاده از مدل خطی روز-درجه، ایکموتو و تاکایی (۲۰۰۰) با تغییراتی در مدل یاد شده، رابطه جدیدی برای برآورد دقیق‌تر مقدار آستانه پایین دمای رشدونمو و نیاز گرمایی و توصیف رشدونمو وابسته به دمای بندپایان ارایه کردند، که بعدها در منابع مختلف منتشر شده از آن به عنوان مدل ایکموتو و تاکایی یاد شده است (برای مثال، هارتلی و لستر ۲۰۰۳، رنجبر اقدم و همکاران ۲۰۰۹ و شی و همکاران ۲۰۱۲). با وجود شباهت ظاهری این دو مدل، دقت بیشتر این مدل نسبت به مدل خطی روز-درجه در برآورد دقیق‌تر شاخص‌های دمایی آستانه پایین دمایی و نیاز گرمایی بندپایان با استدلال‌های ایکموتو و تاکایی (۲۰۰۰) و در پژوهش‌های متعدد دیگری، برای مثال، رنجبر اقدم و همکاران (۲۰۰۹)، قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) و نعمتی و همکاران (۱۳۹۲) تایید شد.

^۱Lower temperature threshold

^۲Physiological development time

^۴Degree-days

^۵Heat unit

^۱ Integrated Pest Management

ساقه‌ها روزانه بررسی شده و تخم‌های گذاشته شده به صورت دسته‌ای به وسیله قلم موی ظریف (شماره ۳ صفر) با دقت از غلاف ساقه‌های ذرت جدا و در لوله‌های آزمایش به قطر ۱/۵ و طول ۱۰ سانتی‌متر برای تکمیل دوره جنینی قرار داده شد. پس از چند روز که تخم‌ها تغییر رنگ داده و تیره‌تر شدند، تکه بسیار کوچکی از ساقه تازه و جوان گیاه ذرت همراه با کمی برگ داخل لوله‌ها قرار داده شد تا در صورت تفریح تخم‌ها، لاروها از آن‌ها تغذیه کنند.

۲- مطالعه مراحل مختلف رشد حشره در دماهای ثابت

طول دوره‌های رشدونمو مراحل مختلف رشدی کرم ساقه‌خوار ذرت شامل تخم، لارو، شفیره و کل دوره نابالغ در پنج دما شامل، ۱۸، ۲۰/۵، ۲۴، ۲۷ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد با نوسان دمایی ۰/۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی 10 ± 50 درصد و دوره‌ی روشنایی ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی داخل اتاقک رشد ثبت شد. برای اجرای این آزمایش در هر دما، ۲۰۰ تخم تازه گذاشته شده کرم ساقه‌خوار ذرت (با عمر کمتر از ۲۴ ساعت) داخل لوله آزمایش، درون هر یک از اتاقک‌های رشد قرار داده شد. تخم‌های یاد شده به صورت دسته‌جمعی، داخل یک لوله آزمایش شیشه‌ای استریل شده به طول ۱۰ و قطر ۱/۵ سانتی‌متر قرار داده شدند. تخم‌ها روزانه بازدید و تعداد تخم‌های تفریح شده در هر دما ثبت شد. رشدونمو لارو و شفیره نیز در دماهای ذکر شده تا زمان ظهور حشرات کامل مورد بررسی قرار گرفت. در هر دما، روند رشدونمو ۱۰۰ لاروتازه خارج شده به طور روزانه مورد بررسی قرار گرفت. لاروها به صورت انفرادی داخل ظروف پلاستیکی استوانه‌ای به قطر ۶/۵ و ارتفاع سه سانتی‌متر قرار داده شدند. در ادامه ضمن ثبت تاریخ شفیره شدن هر یک از لاروها و تاریخ خروج شب‌پرک‌ها از شفیره‌های مورد بررسی، طول دوره شفیرگی افراد نیز در دماهای مورد بررسی ثبت شد.

کشاورزی دانشگاه شاهد واقع در جنوب تهران (شهرری)، به صورت ردیفی کشت شد. کشت بذر به صورت تک ردیفه و دستی با فاصله ردیفی ۶۰ سانتی-متر، عمق کاشت سه سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها از یکدیگر روی هر ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. سایر عملیات زراعی در طول دوره‌های کاشت و داشت شامل تهیه و آماده‌سازی زمین، آبیاری، وجین، کوددهی بدون مصرف حشره‌کش‌ها طبق عرف منطقه اجرا شد. برای تامین کلنی آزمایشگاهی حشره مورد بررسی و انجام آزمایش‌ها، لاروهای کرم ساقه‌خوار ذرت از اوایل تابستان به محض مشاهده خسارت لاروها روی ساقه‌های ذرت کاشته شده، داخل ساقه‌های آلوده ذرت جمع-آوری و به اتاقک رشدی در دمای 1 ± 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 10 ± 50 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی منتقل شدند.

لاروهای جمع‌آوری شده از مزرعه ذرت، به صورت چندتایی (حدود ۲۰ عدد لارو در هر ظرف) داخل ظروف استوانه‌ای به قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر قرار داده شد. برای تغذیه لاروها، ساقه‌های تازه ذرت به قطعات ۲۰ سانتی‌متری بریده شدند و داخل ظروف پلاستیکی یادشده قرار داده شدند. دهانه ظروف به وسیله پارچه توری با منافذ ریز به نحوی که فقط امکان تهویه فراهم شود، پوشانده شد تا احتمال فرار لاروها وجود نداشته باشد. در بازدیدهای روزانه از ظروف پرورش، لاروهایی که تبدیل به شفیره شده بودند جدا و به صورت چند تایی داخل ظروف پتری و داخل قفس پروانه‌گیری، برای گذراندن مرحله شفیرگی قرار داده شد. قفس‌ها ظروف شفاف پلاستیکی به شکل مکعب مستطیلی به ترتیب با طول، عرض و ارتفاع ۶۱، ۴۱ و ۵۰ سانتی‌متر بودند. به منظور تغذیه افراد بالغ از محلول ۱۰ درصد آب عسل استفاده شد که داخل قوطی‌های پلاستیکی فیلم عکاسی درون ظروف شب‌پرک‌ها قرار داده می‌شد. از چهار عدد ساقه ذرت تر در چهار گوشه هر قفس به عنوان بستر تخم‌ریزی استفاده شد. این

پایین دمای رشدونمو و K نیاز گرمایی است. در مدل خطی ایکموتو و تاکایی، مقدار آستانه پایین دمای رشدونمو به عنوان یکی از اجزای مدل و نیاز گرمایی، با تخمین عرض از مبدا خط رگرسیون به دست آمد (ایکموتو و تاکایی ۲۰۰۰).

۳-۲- تجزیه و تحلیل مدل‌ها

تجزیه رگرسیون خطی برای هر یک از مدل‌های مورد بررسی با استفاده از نرم افزار آماری SPSS ver. 16 انجام شد. به منظور مقایسه مدل‌های مورد بررسی از شاخص آماری ضریب تبیین^۱ رگرسیون خطی که با r^2 نشان داده می‌شود، استفاده شد. مقدار این شاخص با استفاده از نرم افزار آماری یاد شده محاسبه شد. از بین مدل‌های مورد بررسی، مدلی که مقدار ضریب تبیین آن بالاتر بود به عنوان مدل برتر انتخاب شد.

نتایج

دوره‌های رشدونمو مراحل مختلف زیستی

میانگین طول دوره رشدونمو مراحل مختلف رشدی کرم ساقه‌خوار *S. cretica* شامل تخم، لارو، شفیره و کل دوره نابالغ، کمینه و بیشینه طول دوره رشدونمو مراحل مختلف رشدی ساقه‌خوار سزامیا در دماهای مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

ارزیابی مدل‌ها

تجزیه رگرسیون خطی در سطح اطمینان ۹۹ درصد ($P < 0.01$) وجود ارتباط معنی‌دار خطی بین متغیرها را در دامنه دمایی مورد بررسی برای هر دو مدل تایید کرد. نتایج حاصل از برازش داده‌های حاصل از طول دوره‌های رشدی مراحل زیستی تخم، لارو، شفیره و کل دوره نابالغ کرم ساقه‌خوار ذرت با مدل‌های خطی "روز-درجه" و "ایکموتو و تاکایی" در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس مقادیر به دست آمده برای ضریب تبیین رگرسیون خطی، مشخص شد هر دو مدل ارزیابی شده، از نظر آماری برازش مطلوبی روی مقادیر متغیرهای

۳- بررسی ویژگی‌های دمایی رشدونمو کرم ساقه‌خوار ذرت با استفاده از مدل‌های خطی

پس از ثبت داده‌های طول دوره‌های رشدونمو کرم ساقه‌خوار ذرت در دماهای مورد بررسی، از مدل‌های خطی برای توصیف رشدونمو وابسته به دما و برآورد شاخص‌های دمایی هر یک از مراحل رشدی تخم، لارو، شفیره و کل دوره نابالغ کرم ساقه‌خوار ذرت در دامنه دمایی مورد بررسی استفاده شد.

۳-۱- مدل‌های مورد بررسی

۳-۱-۱- مدل خطی روز-درجه

در این مدل، دما به عنوان متغیر مستقل و نرخ رشدونمو به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر، نرخ رشدونمو با معکوس نمودن طول دوره رشدونمو هر مرحله رشدی در دماهای مورد بررسی بدست آمد. مدل خطی روز-درجه به صورت $D = K / (T - T_{min})$ ارائه شده است، که در آن، D طول دوره رشدونمو، T دمای محیط، T_{min} آستانه پایین دمای رشدونمو و K نیاز گرمایی است (کمپل و همکاران ۱۹۷۴). آستانه پایین دمای رشدونمو در این مدل با امتداد دادن خط رگرسیون به سمت محور Xها (دما)، با استفاده از رابطه $T_{min} = \frac{-a}{b}$ برآورد شد.

در واقع، در محل برخورد خط رگرسیون با محور دمایی، نرخ رشدونمو برابر صفر خواهد بود. در ادامه نیاز گرمایی (روز-درجه)، رشدونمو هر یک از مراحل رشدی کرم ساقه‌خوار ذرت، با استفاده از رابطه خطی بدست آمده بین دما و نرخ رشدونمو با معکوس نمودن شیب خط (b) محاسبه شد (کمپل و همکاران ۱۹۷۴، کنتودیماس و همکاران ۲۰۰۴).

۳-۱-۲- مدل خطی ایکموتو و تاکایی

در این مدل پارامترهای خط رگرسیون، شیب خط و عرض از مبدا، شاخص‌های دمایی هدف هستند. این مدل به صورت $DT = K + DT_{min}$ ارائه شده است، که در آن D طول دوره رشدونمو، T دما، T_{min} آستانه-

^۱ Coefficient of determination

مدل خطی روز-درجه به ترتیب ۱۰/۵۷، ۸/۸۹ و ۱۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد برآورد کرده بودند.

آلن و همکاران (۲۰۱۰)، روند رشدونمو کرم ساقه-خوار ذرت، *S. cretica* را در دامنه دمایی ۳۵-۱۵ درجه سانتی‌گراد بررسی کرده و از مدل خطی روز-درجه برای بررسی ارتباط بین نرخ رشدونمو مراحل مختلف رشدی گونه یاد شده و دما، استفاده کرده‌اند. در پژوهش یاد شده آستانه پایین دمای رشدونمو تخم، لارو، شفیره و کل دوره نابالغ کرم ساقه‌خوار ذرت به ترتیب، ۱۲/۲۷، ۱۳/۸۹، ۷/۶۹ و ۱۵/۰۹ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. مقایسه مقادیر بدست آمده برای آستانه پایین دمایی در پژوهش حاضر با یافته‌های آلن و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد، در مراحل رشدی تخم و شفیره کرم ساقه‌خوار ذرت نتایج به‌دست آمده به وسیله آلن و همکاران کمتر از مقادیر به‌دست آمده در این تحقیق بود. از سوی دیگر مقدار برآورد شده برای شاخص دمایی یاد شده در دوره لاروی و کل مراحل نابالغ کرم ساقه-خوار ذرت، توسط آلن و همکاران بیشتر از مقادیری است که در این پژوهش برآورد شده بود. این تفاوت همان‌طور که در گذشته توسط گیلبرت و راورس (۱۹۹۶)، ری و همکاران (۲۰۰۲ و ۲۰۰۳) و رنجبر اقدم و همکاران (۲۰۰۹) نیز بیان شده بود، می‌تواند به دلیل تفاوت در ویژگی‌های دمایی جمعیت‌های مختلف مستقر در مناطق مختلف و تفاوت در منابع غذایی مورد استفاده حادث شده باشد. به نحوی که در پژوهش حاضر، ضمن اینکه جمعیت مورد بررسی از منطقه متفاوتی جمع‌آوری شده بود، از بریده‌های ساقه ذرت برای پرورش کرم ساقه-خوار ذرت استفاده شد، در حالیکه آلن و همکاران (۲۰۱۰) از بریده‌های ساقه سورگوم برای پرورش لاروهای ساقه‌خوار ذرت استفاده کرده بودند.

نیاز گرمایی، مهمترین عامل محیطی متاثر کننده سرعت رشدونمو بندپایان می‌باشد (دنت ۲۰۰۰، ساوث وود و هندرسون ۲۰۰۰). به دلیل اهمیت زیاد شاخص دمایی یاد شده در تهیه مدل‌های پیش‌آگاهی وابسته به

مورد بررسی داشتند ($r^2 > ۰.۹۵$). با این حال، به منظور انتخاب مدل برتر از بین دو مدل مورد بررسی، از مقدار عددی ضریب تبیین به عنوان معیار اصلی و شاخص آماری انتخاب مدل خطی، استفاده شد. بر این اساس، با توجه به ضریب تبیین رگرسیون خطی، مدل ایکموتو و تاکائی همواره در تمام مراحل رشدی کرم ساقه خوار سزامیا، مطلوب‌تر از مدل خطی روز-درجه بود. بر این اساس، مقادیر برآورد شده برای شاخص‌های دمایی هدف، با استفاده از مدل خطی ایکموتو و تاکائی نسبت به مدل روز-درجه قابل اعتمادتر خواهند بود.

بحث

با توجه به نتایج به‌دست آمده، مدل ایکموتو و تاکائی آستانه پایین دمای رشدونمو مراحل مختلف نابالغ کرم ساقه‌خوار ذرت را بالاتر از مدل خطی معمولی برآورد کرده است و نیاز گرمایی مراحل مختلف نابالغی کرم ساقه‌خوار ذرت را کمتر از مدل خطی معمولی برآورد کرد. از سوی دیگر مدل ایکموتو و تاکائی دارای ضریب تبیین بالاتری نسبت به مدل خطی روز-درجه بود (جدول ۲). در گذشته نیز برتری مدل ایکموتو و تاکائی در مقایسه با مدل خطی روز-درجه برای توصیف روند رشدونمو و برآورد شاخص‌های اصلی دمایی گونه‌های دیگری از حشرات تایید شده بود (رنجبر اقدم و همکاران ۲۰۰۹، قاسمی و همکاران ۱۳۹۲ و نعمتی و همکاران ۱۳۹۲). در این بررسی نیز معیارهای آماری ارزیابی مدل این موضوع را تایید کرد.

آستانه پایین دمای رشدونمو گونه خویشاوند کرم ساقه‌خوار ذرت یعنی کرم ساقه‌خوار نیشکر *S. nonagrioides* توسط لوپز و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از مدل خطی روز-درجه، ۱۲ درجه سانتی‌گراد شده بود که به نتایج پژوهش حاضر نزدیک است. در پژوهش دیگری آرگیرو و همکاران (۲۰۰۳) آستانه پایین دمای رشدونمو مراحل رشدی تخم، لارو و شفیره کرم ساقه‌خوار نیشکر، *S. nonagrioides* را با به‌کارگیری

راورس (۱۹۹۶)، ری و همکاران (۲۰۰۲)، رنجبراقدم و همکاران (۲۰۰۹) و قاسمی (۱۳۹۱) نیز ذکر شده بود. تفاوت‌های فاحش مشاهده شده بین ویژگی‌های دمایی جمعیت مورد بررسی در این پژوهش و جمعیت بررسی شده توسط الن و همکاران (۲۰۱۰) موید آن است که به دلیل تفاوت در سازگاری‌های آب‌وهوایی، جمعیت‌های مختلف گونه *S. cretica* که در مناطق متفاوتی جغرافیایی مستقر شده‌اند، ویژگی‌های دمایی متفاوتی دارند. از سوی دیگر کلنی مورد بررسی الن و همکاران (۲۰۱۰) روی ساقه سورگوم پرورش یافته بود. در حالیکه در این تحقیق، از بریده‌های ساقه ذرت به عنوان غذا برای پرورش لاروهای سزامیا استفاده شد. البته تصور نمی‌شود که تفاوت در میزبان گیاهی دلیل چنین اختلاف فاحشی بین ویژگی‌های دمایی جمعیت‌های مورد بحث باشد. هر چند نوع غذا روی طول دوره رشدونمو و به تبع آن روی مدل رشد وابسته به دمای حشرات طبق نظر گیلبرت و راورس (۱۹۹۶) می‌تواند موثر باشد. یافته‌های این پژوهش در مورد برآورد برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های دمایی کرم ساقه‌خوار ذرت در تهیه مدل پیش آگاهی آفت یاد شده بر پایه فنولوژی وابسته به دما قابل استفاده خواهد بود.

دما برای حشرات آفت، محاسبه دقیق مقدار عددی این شاخص اهمیت زیادی دارد (رنجبر اقدم ۱۳۸۸). از سوی دیگر در بین مدل‌های خطی و غیرخطی توصیف کننده رشدونمو وابسته به دمای بندپایان، مدل‌های خطی به سادگی توان برآورد مقدار عددی این شاخص دمایی را دارند و این موضوع مهم‌ترین برتری مدل‌های خطی نسبت به مدل‌های غیرخطی است (کنتودیماس و همکاران ۲۰۰۴، رنجبر اقدم و همکاران ۲۰۰۹). بر این اساس، در پژوهش حاضر از دو مدل خطی روز-درجه و ایکموتو و تاکائی استفاده شد. از سوی دیگر همانطور که ذکر شد با توجه به معیارهای آماری، مدل ایکموتو و تاکائی به عنوان مدل برتر معرفی شد. بر اساس برآورد مدل ایکموتو و تاکائی، نیاز گرمایی مراحل رشدی تخم، لارو، شفیره و کل مراحل نابالغ کرم ساقه‌خوار ذرت ۶۸/۴۴، ۳۲۸/۷۳، ۱۴۰/۱۶ و ۵۳۷/۴۳ روز-درجه بود. مقدار همین شاخص در بررسی الن و همکاران (۲۰۱۰) به ترتیب برای مراحل رشدی یاد شده، ۱۴۸/۶۵، ۴۱۳/۳۸، ۲۸۷/۸۰ و ۷۰۴/۶۵ روز-درجه برآورد شده بود. با مقایسه این دو پژوهش روی یک گونه، وجود تفاوت در ویژگی‌های دمایی جمعیت‌های مختلف یک گونه به وضوح مشاهده می‌شود. در گذشته این امر در پژوهش‌های گیلبرت و

جدول ۱- دوره رشدونمو ($SE \pm$ روز) مراحل زیستی نابالغ کرم ساقه‌خوار ذرت در ۵ دمای ثابت.

مرحله زیستی	دما (سانتیگراد)	تعداد افراد	کمینه طول دوره رشدونمو	بیشینه طول دوره رشدونمو	میانگین طول دوره رشدونمو ($SE \pm$ روز)
تخم	۱۸	۶۸	۱۴	۱۷	$۱۵/۴۴ \pm ۰/۰۹$
	۲۰/۵	۱۴۷	۱۱	۱۳	$۱۲/۰۳ \pm ۰/۰۲$
	۲۴	۱۷۸	۶	۸	$۶/۵۵ \pm ۰/۰۵$
	۲۷	۱۳۸	۵	۶	$۵/۰۵ \pm ۰/۰۲$
	۳۰	۱۵۸	۴	۶	$۴/۳۷ \pm ۰/۰۴$
لارو	۱۸	۴۵	۶۵	۸۸	$۷۵/۳۵ \pm ۰/۹۷$
	۲۰/۵	۶۱	۳۲	۵۰	$۳۸/۱۸ \pm ۰/۵۴$
	۲۴	۷۷	۲۸	۳۹	$۳۲/۶۸ \pm ۰/۲۹$
	۲۷	۸۳	۲۰	۴۲	$۲۵/۵۸ \pm ۰/۴۴$
	۳۰	۹۲	۱۵	۳۴	$۲۰/۵۸ \pm ۰/۳۴$
شفیره	۱۸	۴۱	۲۴	۳۱	$۲۶/۷۰ \pm ۰/۲۲$
	۲۰/۵	۵۰	۱۲	۲۲	$۱۵/۴۸ \pm ۰/۲۸$
	۲۴	۷۰	۷	۱۵	$۱۲/۷۱ \pm ۰/۱۲$
	۲۷	۶۹	۹	۱۲	$۱۰/۱۴ \pm ۰/۰۷$
	۳۰	۷۶	۴	۱۰	$۸/۱۰ \pm ۰/۱۱$
کل دوره نابالغ	۱۸	۴۱	۱۰۷	۱۲۹	$۱۱۷/۵۸ \pm ۱/۰۹$
	۲۰/۵	۵۰	۵۵	۸۳	$۶۵/۳۴ \pm ۰/۸۲$
	۲۴	۷۰	۴۸	۵۸	$۵۱/۵۷ \pm ۰/۲۹$
	۲۷	۶۹	۳۵	۵۷	$۴۰/۹۰ \pm ۰/۵۰$
	۳۰	۷۶	۲۸	۳۹	$۳۲/۴۵ \pm ۰/۳۰$

جدول ۲- مدل خطی روز-درجه و ایکموتو-تاکیبی، آماره‌های تجزیه رگرسیون خطی و شاخص‌های مهم دمایی توصیف کننده رشدونمو وابسته به دمای مراحل مختلف رشدونمو کرم ساقه خوار ذرت، *Sesamia cretica*.

مدل خطی	مرحله رشدی	رابطه خطی	آستانه پایین دما ($^{\circ}C \pm SE$)	نیاز گرمایی ($DD \pm SE$)	r^2 ($* 10^{-2}$)	p
روز-درجه	تخم	$DR = -۰/۲۰ + ۰/۰۱۵ T$	$۱۳/۹۳ \pm ۰/۷۸$	$۶۸/۵۲ \pm ۴/۹۴$	۹۸/۵	۰/۰۰۰۸
	لارو	$DR = -۰/۰۳ + ۰/۰۰۳ T$	$۱۲/۲۹ \pm ۱/۳۰$	$۳۶۷/۹۲ \pm ۳۸/۴۸$	۹۶/۸	۰/۰۰۲۴
	شفیره	$DR = -۰/۰۸ + ۰/۰۰۷ T$	$۱۱/۹۱ \pm ۱/۰۰$	$۱۴۸/۸۹ \pm ۱۱/۶۸$	۹۸/۲	۰/۰۰۱۰
ایکموتو و تاکیبی	کل مراحل نابالغ	$DR = -۰/۰۲ + ۰/۰۰۲ T$	$۱۲/۶۷ \pm ۰/۸۳$	$۵۷۰/۰۱ \pm ۳۹/۱۳$	۹۸/۶	۰/۰۰۱۰
	تخم	$DT = ۶۸/۴۴ + ۱۳/۹۷ D$	$۱۳/۹۷ \pm ۰/۷۵$	$۶۸/۴۴ \pm ۷/۲۹$	۹۹/۱	۰/۰۰۰۳
	لارو	$DT = ۳۲۸/۷۳ + ۱۳/۴۵ D$	$۱۳/۴۵ \pm ۰/۸۹$	$۳۲۸/۷۳ \pm ۳۸/۳۳$	۹۸/۷	۰/۰۰۰۶
	شفیره	$DT = ۱۴۰/۱۶ + ۱۲/۵۷ D$	$۱۲/۵۷ \pm ۰/۷۸$	$۱۴۰/۱۶ \pm ۱۲/۵۶$	۹۹/۸	۰/۰۰۰۵
	کل دوره نابالغ	$DT = ۵۳۷/۴۳ + ۱۳/۲۷ D$	$۱۳/۲۷ \pm ۰/۶۳$	$۵۳۷/۴۳ \pm ۴۳/۳۸$	۹۹/۳	۰/۰۰۰۲

منابع

- بهداد الف، ۱۳۷۱. آفات گیاهان زراعی ایران. چاپ نشاط اصفهان، مرکز نشر یادبود. ۶۱۸ صفحه.
- بی نام، ۱۳۸۸. آمار نامه کشاورزی. جلد اول: محصولات زراعی سال ۸۷-۸۶. معاونت امور برنامه‌ریزی، اقتصادی و بین المللی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۶ صفحه.
- تاجبخش م، ۱۳۷۵. ذرت (زراعت- اصلاح آفات و بیماریهای آن). انتشارات احرار تبریز. ۱۳۴ صفحه.
- رنجبر اقدم ح، ۱۳۸۸. استفاده از فنولوژی وابسته به دما در تهیه مدل پیش‌آگاهی کرم سیب. رساله دکتری حشره‌شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- عباسی‌پور شوشتری ح، ۱۳۶۹. بررسی بیواکولوژی کرم ساقه‌خوار ذرت (*Sesamia nonagrioides* Lef. (Lep., Noctuidae) و عوامل کنترل طبیعی آن در مزارع خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد حشره‌شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- قاسمی م، ۱۳۹۱. برآورد شاخص‌های دمایی جمعیت‌های مختلف کرم سیب (*Cydia pomonella* L.). پایان نامه کارشناسی ارشد حشره‌شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.
- قاسمی م، رنجبر اقدم ح، کریم‌پوری و مرزبان ر، ۱۳۹۲. مقایسه صفر رشدی و نیاز گرمایی کرم سیب مستقر در استان-های آذربایجان غربی و تهران. خلاصه مقالات سومین همایش ملی مدیریت کنترل آفات (IPMC)، دانشگاه شهید باهنر کرمان. صفحه ۴۴۸.
- نعمتی ز، رنجبر اقدم ح، عسکریان زاده ع و عباسی‌پور ح، ۱۳۹۲. بررسی رشدونمو وابسته به دما و برآورد شاخص‌های مهم دمایی رشدونمو مراحل نابالغ بالتوری سبز معمولی، *Chrysoperla carnea* با استفاده از مدل‌های خطی مهار زیستی در گیاه‌پزشکی، جلد دوم، شماره ۱. صفحه‌های ۷۵-۸۹.
- Allan MAI, Mahmalji MZ and Rouz HAI, 2010. Development rate and thermal constant laboratory study for corn stem borer *Sesamia cretica* Lederer (Lepidoptera: Noctuidae). Damascus University, Journal for Agricultural Sciences 26: 353-365.
- Andrewartha HG and Birch LC, 1954. The distribution and abundance of animals. Chicago University Press.
- Arbab A, Kontodimas DC and Sahragard A, 2006. Estimating development of *Aphis pomi* (DeGeer) (Homoptera: Aphididae) using linear and nonlinear models. Environmental Entomology 35(5): 1208-1215.
- Argyro AF, Dionyssios ChP and Costas SCh, 2003. Development of immature stages of *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae) under alternating and constant temperatures. Environmental Entomology 32(6): 1337-1342.
- Ascerno ME, 1991. Insect phenology and integrated pest management. Journal of Arboriculture 17: 13-15.
- Campbell A, Frazer BD, Gilbert N, Gutierrez AP and Mackauer M, 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. Journal of Applied Ecology 11: 431-38.
- Davidson J, 1944. On the relationship between temperature and rate of development of insects at constant temperatures. Journal of Animal Ecology 13: 26-38.
- Dent, D. 2000. Insect Pest Management. 2nd Edition, University Press, Cambridge.
- Gilbert N and Raworth DA, 1996. Insects and temperature, A general theory. Canadian Entomologist 128: 1-13.

- Gilbert N, 1988. Control of fecundity in *Pieris rapae*. V. Comparisons between populations. *Journal of Animal Ecology* 57: 395-410.
- Hartley S and Lester PJ, 2003. Temperature-dependent development of the Argentine ant, *Linepithema humile* (Mayr) (Hymenoptera: Formicidae): a degree-days model with implications for range limits in New Zealand. *New Zealand Entomologist* 26: 91-100.
- Howell JF and Neven LG, 2000. Physiological development time and zero development temperature of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology* 29: 766-772.
- Ikemoto T and Takai K, 2000. A new linearized formula for the law of total effective temperature & the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. *Environmental Entomology* 29: 671-682.
- Kontodimas DC, Eliopoulos PA, Stathas GJ and Economou LP, 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 nonlinear models using specific criteria. *Environmental Entomology* 33: 1-11.
- Lactin DJ, Holliday NJ, Johnson DL and Craigen R, 1995. Improved rate model of temperature dependent development by arthropods. *Environmental Entomology* 24: 68-75.
- Lopez C, Sans A, Asin L and Guirre ME, 2001. Phenological model for *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology* 30(1): 23-30.
- Ranjbar Aghdam H, Fathipour Y, Radjabi G and 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 and 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.
- Roy M, Brodeur J and 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.
- Shi P, Wang B, Ayres MP, Ge F, Zhong L and Li BL, 2012. Influence of temperature on the northern distribution limits of *Scirpophaga incertulas* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) in China. *Journal of Thermal Biology* 37: 130-137.
- Southwood TRE and Henderson PA, 2000. *Ecological Methods*. 3rd edition, Blackwell Science, Oxford.
- Taylor F, 1981. Ecology and evolution of physiological time in insects. *The American Naturalist* 117 (1): 1-23.
- Tollenaar M and Dwyer LM, 1999. Physiology of maize. Pp. 169-204 In: Smith DL and Hamel C (eds.) *Crop Yield, Physiology and Processes*. Springer Verlag.
- Wilson LT and Barnett WW, 1983. Degree-days: an aid in crop and pest management. *California Agriculture* 37: 4-7.

Estimation of Lower Temperature Threshold and Thermal Requirements for Development of *Sesamia cretica* (Lep., Noctuidae) Using "Degree-days" and "Ikemoto and Takai" Linear Models

F Soltani Orang¹, H Ranjbar Aghdam*², H Abbasipour³ and A Askarianzadeh⁴

¹Graduated MSc Student, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahed University.

²Assistant Professor, Biological Control Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection.

³Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahed University.

⁴Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahed University.

*Corresponding author: hossein_aghdam2003@yahoo.com

Received: 04 Jan 2014

Accepted: 09 Oct 2014

Abstract

In order to provide a phenological forecasting model, estimation of lower temperature threshold and thermal requirements are necessary. Therefore, current study was carried out to estimate lower temperature threshold and thermal requirements of *Sesamia cretica* Led., using Degree-days and Ikemoto and Takai linear models. Developmental times of the corn stem borer immature stages were determined at five constant temperatures, 18, 20.5, 24, 27, and 30 (± 0.5)°C, a photoperiod of 16L : 8D h and 50 \pm 10% relative humidity. Cut corn stems were used for feeding of the larvae. Between examined linear models, Ikemoto and Takai model was estimated thermal constant and lower temperature threshold for development of *S. cretica* more precisely than Degree-days model. Based on the estimations of Ikemoto and Takai linear model, lower temperature threshold of egg, larva, pupa and overall immature stages of *S. cretica* were 13.97, 13.45, 12.57 and 13.27 °C respectively, and thermal requirements were 68.44, 328.73, 140.16 and 537.43 degree-days for above mentioned immature stages, respectively.

Key words: Linear model, Physiological development time, *Sesamia cretica*, Zero development Temperature.