



تأثیر رژیم‌های غذایی طبیعی و مصنوعی بر ویژگی‌های زیستی و تولیدمثلی کرم سبب *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae)

فاطمه فارسی¹ و مهرداد احمدی²

پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران

✉ ffarsi@aeoi.org.ir

¹ <https://orcid.org/0000-0002-3754-0487>

✉ mdaahmadi@aeoi.org.ir

² <https://orcid.org/0000-0002-1720-0856>

چکیده: استفاده از رژیم غذایی مصنوعی امکان پرورش بی‌وقفه حشرات را به منظور انجام تحقیقات گسترده مدیریت کنترلی در تمام طول سال مهیا می‌سازد. در پژوهش حاضر فرانسجه‌های جدول زیستی کرم سبب *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) با تغذیه از شش رژیم غذایی مختلف در شرایط آزمایشگاه (1 ± 25 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 60 درصد و دوره نوری ۸:۱۶ ساعت (روشنایی: تاریکی)) مورد بررسی قرار گرفت. رژیم‌های غذایی شامل (۱) نسخه تغییر یافته از رژیم Brinton *et al.* (1969) (۲ و ۳) نسخه‌های تغییر یافته از رژیم Bathon (1981) (۴) رژیم Fukova *et al.* (2005) (۵) سبب و (۶) برگ سبب بود. نتایج آزمایشات نشان داد دوره رشد و نمو *C. pomonella* به طور میانگین ۵۱/۱۷ روز با تغذیه از رژیم یک و ۴۸/۰۱ روز با تغذیه از رژیم شش به عنوان طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین دوره رشدی بودند. طول دوره لاروی، طول دوره شفیرگی جنس نر، طول عمر حشرات کامل با تغذیه از رژیم‌های غذایی مختلف، اختلاف معنی‌داری را نشان داد. طولانی‌ترین دوره پیش از تخم‌ریزی (۲/۰۱ روز) و دوره تخم‌ریزی (۷/۲۱ روز) به ترتیب با تغذیه از رژیم‌های شش و پنج، حاصل شد. بیشترین کمترین میانگین تعداد تخم گذاشته شده بالغین ماده، زمان تغذیه لاروها از رژیم چهار (۱۴۱/۲ تخم/ماده) و شش (۹۱/۳ تخم/ماده) بود. بالاترین شاخص رشدی کلیه مراحل زیستی با تغذیه از رژیم چهار بدست آمد. پارامترهای جمعیتی نشان داد که همه رژیم‌های غذایی تحت شرایط مورد مطالعه، رشد مثبتی را نشان می‌دهند ولی میانگین طول نسل (T) با تغذیه از رژیم چهار (۴۶/۱۴ روز) به طور معنی‌داری کوتاه‌تر از سایر رژیم‌ها بود. نتایج آزمون‌های رشدی پیش از بلوغ و پس از آن، اشاره به این دارد که رژیم چهار، رژیم کارآمدتری است و نیز نتایج زادآوری نشان می‌دهد این رژیم می‌تواند در آینده نزدیک بهبود یابد و به عنوان جایگزینی برای رژیم غذایی اصلی لاروهای کرم سبب مورد استفاده قرار گیرد.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۴

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰

دبیر تخصصی: یعقوب فتحی‌پور

واژه‌های کلیدی: رژیم غذایی مصنوعی، *Cydia pomonella*، طول دوره رشد، دوره‌های تخم‌ریزی، زادآوری

Citation: Farsi, F. & Ahmadi, M. (2023) Effect of natural and artificial diets on the biological and reproductive characteristics of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Entomol. Soc. Iran* 43 (1), 63-72.

مقدمه

کرم سبب *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) یکی از آفات کلیدی روی درختان میوه گلسرخیان (Rosaceae) محسوب می‌شود. این آفت در دامنه وسیعی از مناطق، شامل شرایطی با آب و هوای سرد تا مناطقی با اقلیم مدیترانه‌ای گزارش شده است (Jiang *et al.*, 2018). لارو آفت می‌تواند علاوه بر سیب، روی گلابی، گیلاس، گردو، شلیل و آلو هم تغذیه داشته باشد (Pszczolkowski *et al.*, 2002). سیب به عنوان یکی از چهار میوه مهم دنیا (Shi *et al.*, 2019) میزبان اصلی این آفت از ۱۰ درصد کربوهیدرات، ۴ درصد ویتامین بعلاوه مواد معدنی و ۸۰ درصد آب تشکیل شده است، ضمن اینکه در پوست و مغز سیب، فیبر وجود دارد و تمام اسیدهای آمینه ضروری، چربی‌های غیراشباع و نیز میزان زیادی اسید آسکوربیک از آن گزارش شده است (Stenekamp, 2011).

به منظور کنترل کرم سبب روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها، استفاده از طیف گسترده‌ای از آفت‌کش‌های شیمیایی است که سبب بروز خطرات جدی برای موجودات غیرهدف و نیز بحث مقاومت در خود آفت، شده است (Pajač *et al.*, 2011; Sauphanor *et al.*, 2000; Sauphanor & Bouvier, 1995). از این رو، استفاده از تکنیک‌های جایگزین برای کنترل کرم سبب شامل اختلال در جفت‌گیری، عوامل کنترل بیولوژیک، تنظیم کننده‌های رشد مصنوعی و روش نرعیمی در حال افزایش هستند (Dyck, 2010). تکنیک نرعیمی (Sterile Insect Technique) از جمله روش‌های ایمن و دوستدار محیط‌زیست در بحث مدیریت آفات است که در حال حاضر در خصوص آفات مختلف اجرا می‌شود (Barnes *et al.*, 2007; Rull *et al.*, 2005). این روش با پرورش انبوه آفت هدف و سپس عقیم نمودن آن‌ها با استفاده از روش‌های عقیم کننده و رهاسازی حشرات در سطحی وسیع صورت می‌گیرد (Thistlewood & Judd, 2019). عملکردهای اصلی یک برنامه SIT در سه حوزه تقسیم بندی می‌شود: ۱- پرورش انبوه حشره و کنترل کیفیت تولید ۲- اثرات عقیم‌سازی روی

Corresponding author: Mehrdad Ahmadi (E-mail: mdaahmadi@aeoi.org.ir)



© 2023 by Author(s), Published by the Entomological Society of Iran

This Work is Licensed under Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International Public License.

زنده‌مانی و عملکرد حشره ۳- کاربرد حشره در جمعیت هدف و نظارت بر نتایج. پرورش انبوه و کارآمد حشره به عنوان اولین گام در این تکنیک، با پیچیدگی‌های بسیاری در راسته بالیولکداران همراه بوده است (Dyck, 2010).

پرورش انبوه به عنوان پرورش در مقیاس بزرگ تعریف می‌شود ولی مقیاس بزرگ اصطلاحی نسبی است و لزوماً هر پرورشی را در مقیاس بزرگ، نباید پرورش انبوه دانست (Dyck, 2010). پرورش کرم سیب روی میزبان اصلی مشکلات متعددی را به همراه دارد زیرا تعداد کمی از لاروها که تازه تفریح شدند، توانایی مناسبی برای نفوذ در پوست و تغذیه را دارند. ضمن اینکه، در دمای اتاق‌های پرورش، میوه سیب به سرعت دچار پوسیدگی می‌شود. Kuyulu & Genc (2019) پیشنهاد استفاده از سیب‌های نارس (سبز) را به علت نازک‌تر بودن پوسته آن مطرح کردند. در سیستم‌های پرورش انبوه بر پایه استفاده از میزبان اصلی، همواره تهاجم گرانولوویروس‌ها (Granulovirus)، مگس سرکه و حشراتی که از قارچ و انگل‌ها تغذیه دارند، غیر قابل اجتناب است (Dyck, 2010). از همین رو پرورش روی رژیم‌های غذایی مصنوعی همواره نظر پژوهشگران و تولیدکنندگان را به خود معطوف ساخته است. یک رژیم غذایی مصنوعی برای حشره نه تنها باید مغذی، پایدار و سرشار از نیازهای ضروری تغذیه‌ای آن گونه باشد بلکه از نظر اقتصادی نیز باید مقرون به صرفه تلقی گردد (Cohen, 2004).

از نظر تاریخی، اولین تلاش‌ها برای ارائه یک رژیم غذایی مصنوعی مناسب برای پرورش کرم سیب در سال ۱۹۴۷ توسط Theron ارائه شد. پس از او این مسیر فراز و نشیب‌های بسیاری را پشت سر گذاشت. پژوهشگران از رژیم‌های غذایی متعددی که یا به طور مستقیم برای لارو کرم سیب بود و یا از تغییر رژیم غذایی مصنوعی که برای حشره دیگری استفاده شده بود، برای پرورش لاروهای کرم سیب استفاده کردند. Howell (1970) از تغییرات رژیمی که (1962) Ignoffo برای گونه‌های Noctuid بود و Rock (1967) با تغییر رژیم *Helicoverpa zea* (Boddie) به رژیمی برای کرم سیب رسیدند. همینطور تغییرات روی رژیم‌های غذایی مصنوعی که برای *Anthonomus grandis grandis* (Hathaway, 1966)، *Argyrotaenia velutinana* (Rock et al., 1964) و *Grapholita molesta* (Cossentine et al., 2005) بود، گزارش شده است. رژیم‌های غذایی مصنوعی به دلیل در دسترس بودن همیشگی آن‌ها در تمام فصول، در مقایسه با رژیم اصلی حشره و نیز مقرون به صرفه بودن آن‌ها (Singh, 1984) همواره در هر برنامه پرورش انبوه، نقطه کلیدی هستند. یک رژیم غذایی مصنوعی باید امکان ذخیره‌سازی طولانی داشته باشد و به طور میانگین ۷۵ درصد افراد از مرحله تخم به بلوغ برسند (Dyck, 2010) ضمن اینکه رژیم غذایی مصنوعی باید نرخ رشد تقریباً مشابهی با غذای اصلی حشره را نشان دهد و بالغینی که روی آن رشد داشتند، بتوانند بدون از دست دادن باروری، تولید تخم نمایند (Singh, 1984).

در این پژوهش به منظور بهینه‌سازی پرورش کرم سیب برای استفاده در برنامه‌های مدیریت آفت بر پایه تکنیک نرعمیمی، برخی پارامترهای زیستی و تولیدمثلی *C. pomonella* در شرایط آزمایشگاهی روی رژیم‌های غذایی مختلف مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفت. زیرا همان‌طور که اشاره شد، دست‌یابی به یک رژیم غذایی مصنوعی مطلوب، گام اول در موفقیت یک پروژه SIT است.

مواد و روش‌ها

شرایط محیط پرورش و نگهداری کلنی کرم سیب *C. pomonella*. جمع‌آوری نمونه‌ها به منظور تشکیل کلنی آزمایشگاهی از باغ سیب آلوده به آفت واقع در منطقه آبیگ قزوین (36.0404° N, 50.5446° E) در تیرماه ۱۴۰۰ انجام شد و گونه براساس ویژگی‌های ظاهری (ریخت شناسی) که در منابع معتبر ذکر شده بود، شناسایی شد. لاروهای جمع‌آوری شده به آزمایشگاه حشره‌شناسی پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای (استان البرز - کرج) منتقل شدند و تا ظهور شب‌پره‌ها، درون ظروف پلاستیکی نگهداری شدند. شب‌پره‌های ظاهر شده از جمعیت جمع‌آوری شده از باغ به عنوان والدین نتاج آزمایشگاهی در نظر گرفته شدند. پرورش همواره در اتاقک رشد با دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۸ ساعت تاریکی و ۱۶ ساعت روشنایی برای کلیه مراحل زیستی بود.

تهیه رژیم‌های غذایی مصنوعی. به جهت انجام بررسی‌های لازم روی پارامترهای رشد و نمو فردی، پس از تفریح تخم شب‌پره‌های والد، لاروهای سن اول (نئونات با عمر ۳-۰ ساعت) با احتیاط توسط قلم‌موی بسیار ظریف (شماره ۰۰۰) به صورت انفرادی درون ظروف آزمایش دایره‌ای شکل (به قطر ۵ سانتی‌متر) از جنس پلاستیک شفاف منتقل شدند. هر ظرف آزمایش، حاوی یکی از رژیم‌های غذایی تهیه شده به حجم تقریبی ۲۰ سانتی‌متر مکعب بود. در طول دوره آزمایش، رشد و نمو و مرگ و میر هر فرد شب‌پره به طور روزانه بررسی و ثبت شد.

به منظور تهیه رژیم‌های غذایی مصنوعی مطلوب برای رشد و نمو *C. pomonella* در ابتدا رژیم‌های غذایی مختلف گزارش شده در منابع بررسی شدند و در نهایت در پژوهش کنونی، رژیم‌های غذایی ارائه شده توسط Brinton et al. (1969)، Bathon et al. (1981) و Fukova et al. (2005) به عنوان رژیم‌هایی غذایی مورد مطالعه در اختیار حشره قرار گرفت. از میزبان اصلی این حشره (سیب) و نیز برگ سیب هم به عنوان دو رژیم دیگر برای ارزیابی و مقایسه استفاده شد. رژیم غذایی شماره یک که با ایجاد تغییراتی در رژیم غذایی Brinton et al. (1969) ساخته شد و هر واحد از آن شامل ۵۱ میلی‌گرم جوانه گندم، ۴۰۲ میلی‌گرم آرد ذرت، ۷۸۰ میلی‌گرم آرد سویا، ۶۲۴ میلی‌گرم خاک اره، ۱۵۶ میلی‌گرم ساکارز، ۱۰۵ میلی‌گرم آگار، ۲/۷ میلی‌گرم اسید سوربیک، ۳ میلی‌گرم متیلن هیدروکسی بنزوات، ۳۳ میلی‌گرم مولتی ویتامین و ۶۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر بود. رژیم غذایی شماره دو و سه با ایجاد تغییراتی که Ranjbar Aghdam (2009) در رژیم اصلی Bathon et al. (1981) اعمال کرده بود، فراهم شد. این رژیم شامل ۲۰ گرم پودر آگار، ۵۰ گرم آرد ذرت، ۵۰ گرم جوانه گندم، ۵۰ گرم مخمر آبجو، ۴/۵ گرم اسید آسکوربیک، ۱/۸ گرم اسید بنزوفیک، ۱/۸ گرم نیپازین (متیل ۴-هیدروکسی بنزوات سدیم)، ۷۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر بود. تفاوت این دو رژیم در افزودن دانه سیب (رژیم شماره ۲) و برگ سیب (رژیم شماره ۳) بود. رژیم غذایی شماره چهار مطابق با دستورالعمل Fukova et al. (2005) تهیه شد. در این رژیم ۸۰۰ میلی‌گرم جوانه گندم، ۱۲۵ میلی‌گرم جوانه جو، ۱۲۵ میلی‌گرم مخمر، ۲۵ میلی‌گرم اسید آسکوربیک، ۲۵ میلی‌گرم اسید سیتریک، ۸/۵ میلی‌گرم متیلن پرابن، ۷ میلی‌گرم اسید سوربیک، ۰/۳۵ میلی‌گرم ویتامین ب-کمپلکس، ۱۰۰ میلی‌گرم آگار و ۵۶۰۰ میلی‌لیتر آب با هم مخلوط میشوند. به منظور تهیه رژیم‌های غذایی اول تا چهارم، ترکیبات هر یک از رژیم‌ها با کمک ترازوی دیجیتال توزین و برای همگن‌سازی ترکیبات از مخلوط‌کن برقی استفاده شد. رژیم غذایی

شماره پنج که به صورت تغذیه حشره از میوه سیب بود. لاروهای سن اول کرم سیب مطابق با روش (Kuyulu & Genc, 2019) به سیب‌های نارس با پوسته نازک و سبز ("Gala" *Malus domestica* cv.) منتقل شدند. در ناحیه انتهایی میوه به جهت تسهیل ورود لارو، با استفاده از سوزن ظریف حشره‌شناسی استریل شده، سوراخ‌های ریزی تعبیه شد. این سیب‌ها در ظروف پلاستیکی که در کف آن دستمال کاغذی برای جذب رطوبت بیش از حد حین تغذیه لارو و عدم آلودگی میوه بود، قرار گرفت. رژیم غذایی شماره شش که برگ سیب، در اختیار لاروها قرار گرفت. برای تغذیه لاروهای کرم سیب در این رژیم از روش (Pszczolkowski *et al.*, 2002) با اعمال تغییراتی استفاده شد. بدین ترتیب که لاروهای سن اول به درون میکروتیوب (۵ میلی‌لیتر) حاوی برگ سیب (*Malus domestica* cv. "Gala") منتقل شدند. این برگ‌ها هر ۲۴ ساعت یکبار به جهت جلوگیری از فساد برگ و مرطوب شدن ظروف تعویض می‌شد.

تعیین فاکتورهای زیستی حشره در سیستم پرورش آزمایشگاهی. پس از ظهور لارو سن یک (لارو نئونات)، لاروها به طور جداگانه به ظروف پرورش پلاستیکی (قطر ۵ سانتی‌متر) که در ناحیه درب ظروف، از توری نازک برای تبادل هوا و تهویه استفاده شده بود، منتقل شدند. پارامترهای زیستی ارزیابی شده طی دوره آزمایش شامل میانگین هر سن لاروی بر حسب روز، تعداد سنین لاروی (Instar)، میانگین دوره شفیرگی (برحسب روز) برای جنس نر و ماده، طول عمر حشرات کامل نر و ماده (برحسب روز) بود. سپس، شاخص‌های رشدی مراحل پیش از بلوغ (لاروی و شفیرگی) و مرحله بالغ کرم سیب بر اساس فرمول‌های آورده شده (Itoyama *et al.*, 1999; Amer & El- Sayed, 2014) برای دستیابی به تحلیل دقیق‌تر اثرات رژیم‌های غذایی بر فاکتورهای رشدی شب‌پره محاسبه شد.

$$\text{شاخص رشد لارو} = \frac{(\% \text{ شفیره شدن})}{\text{دوره لاروی (روز)}}$$

$$\text{شاخص رشد شفیره} = \frac{(\% \text{ خروج شفیره})}{\text{دوره شفیرگی (روز)}}$$

$$\text{شاخص رشد بالغ} = \frac{(\% \text{ ظهور بالغین})}{\text{دوره پیش از بلوغ (روز)}}$$

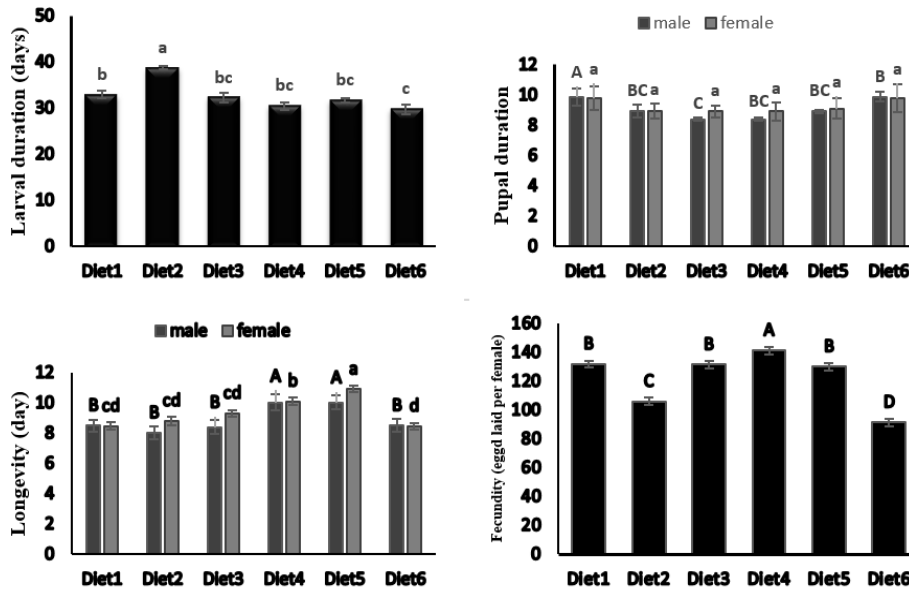
طول دوره رشد و نمو در این آزمایشات معادل با تعداد روزهای سپری شده از زمان ظاهر شدن لارو نئونات تا ظهور حشره کامل بود. طول دوره شفیرگی به صورت زمان تشکیل شفیره تا خروج حشره کامل تعریف شد.

تأثیر رژیم‌های غذایی مختلف بر پارامترهای تولیدمثل. جنسیت افراد در مرحله پیش از بلوغ (لارو سن آخر) تشخیص داده شد. در این مرحله سنی، وجود یا عدم وجود بیضه در بند پنجم شکمی، تعیین کننده جنسیت نر و ماده کرم سیب است (Beeke & de Jong., 1991). شب‌پره‌های ظهور یافته که در دوره پیش از بلوغ با رژیم‌های غذایی مختلف تغذیه شده بودند، به صورت روزانه برای جفت‌گیری و تخم‌گذاری به ظروف تعبیه شده برای این آزمون، انتقال داده شدند. آزمایش در ظروف پلاستیک (به حجم ۳۰۰ میلی‌لیتر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) اجرا شد. ورقه‌های کاغذ مومی (به حالت چروکیده) برای تامین بستر مناسب تخم‌ریزی شب‌پره ماده در سطح داخلی جداره ظروف قرار گرفت و برای تامین نیاز تغذیه‌ای و آبی حشره، تکه پنبه آغشته به محلول ساکارز ۵ درصد در قوطی فیلم عکاسی، در تمامی ظروف قرار داده شد. دهانه ظروف آزمایش با پارچه توری بسیار ظریف به منظور تبادل هوا، پوشانده شد. پنبه‌ها و بستر تخم‌ریزی به صورت روزانه، تعویض می‌شد. دوره‌های تولیدمثلی شامل دوره پیش از تخم‌ریزی (Preoviposition)، دوره تخم‌ریزی (Oviposition) و دوره پس از تخم‌ریزی (Postoviposition) و تعداد تخم گذاشته شده به ازای هر ماده (Fecundity) بر اساس روش‌های مطالعات پیشین (Aghdam *et al.*; Blomefield *et al.*, 2011) محاسبه شد.

جدول ۱- پارامترهای اصلی و فرمول‌های مورد استفاده در محاسبه آن‌ها

Table 1. Main parameters and formulas used to calculate them

Parameter	Abbreviations	Formula
Mean generation time	T	$T = \frac{\ln R_0}{r}$
Intrinsic rate of increase	r	$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$
Net reproductive rate	R_0	$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$
Finite rate of increase	λ	$\lambda = e^r$



شکل ۱- طول دوره لاروی (A)، شفیرگی (B)، طول عمر بالغین (C) و میانگین زادآوری جنس ماده *Cydia pomonella* (D) کرم سیب با تغذیه از رژیم‌های غذایی مختلف. ۱) نسخه تغییر یافته (Brinton et al. (1969), ۲ و ۳) نسخه‌های تغییر یافته (Bathon (1981), ۴) Fukova et al. (2005), ۵) سیب و ۶) برگ سیب. حروف بزرگ و کوچک متفاوت بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارها است.

Fig. 1. Duration of the Larval and pupal development (A- B) and male and female adults' longevity (C) of *Cydia pomonella* (\pm SE) reared on different diets. Effect of different diets on mean female *C. pomonella* fecundity (D). 1) Modified version of the diet of Brinton et al. (1969), 2 and 3) modified version of the diet of Bathon (1981), 4) Fukova et al. (2005), 5) apple, 6) apple leaf. Capital and lowercase letters were used to indicate statistically significant differences ($p < 0.05$).

تجزیه و تحلیل داده‌ها. جهت ارزیابی تاثیر رژیم‌های غذایی مختلف روی هر یک از پارامترهای زیستی و نیز دوره‌های مختلف تولیدمثلی و تعداد تخم گذاشته شده به ازای هر ماده (Fecundity) از تجزیه واریانس یکطرفه (one-way ANOVA) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی (Tukey) در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد. برای تجزیه همه داده‌ها از نرم‌افزار (SPSS version 23.0 (2015), <http://www.r-project.org/>) R 3.3.1 استفاده گردید. محاسبه پارامترها بر مبنای جدول زندگی دو جنسی ویژه سن - مرحله که توسط (Chi, 1988; Chi et al., 2020) توصیف شد، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از نرم‌افزار TWOSSEX- MSChart (Chi, 2020) برای سیستم عامل ویندوز طراحی شده است، بهره گرفته شد. برای اندازه‌گیری خطای استاندارد و ایجاد تکرارهای کاذب از روش بوت استرپ (Bootstrap) به تعداد ۱۰۰۰۰ مرتبه استفاده شد. فرمول‌های مورد استفاده توسط این نرم‌افزار به منظور محاسبه پارامترها در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج

نتایج مولفه‌های زیستی تحت رژیم‌های غذایی مختلف. مقایسه طول دوره‌ی لاروی بین رژیم‌های غذایی مختلف، تفاوت معنی‌داری را از نظر آماری نشان داد ($P < 0.001$) (جدول ۲ و شکل ۱A). به طور کلی، میانگین طول دوره لاروی با تغذیه از رژیم‌های غذایی چهار و شش کوتاه‌تر بود. مدت زمان هر سن لاروی (Instar) کرم سیب نیز با تغذیه از رژیم‌های غذایی مختلف، تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$). سرعت رشد در هر سن لاروی (سن ۱ تا ۵) در دو رژیم چهار و شش، سریع‌تر از بقیه رژیم‌های غذایی بود. به طور کلی، سن یک تا سوم لاروی، در نمونه‌هایی که از رژیم‌های چهار و شش تغذیه کرده بودند، سریع‌تر از سایرین سپری شد.

جدول ۲- مدت زمان مراحل مختلف رشد و نمو *Cydia pomonella* تغذیه شده از رژیم‌های غذایی مختلف. ۱) نسخه تغییر یافته (Brinton et al. (1969), ۲ و ۳) نسخه‌های تغییر یافته (Bathon (1981), ۴) Fukova et al. (2005), ۵) سیب و ۶) برگ سیب

Table 2. Development time of *Cydia pomonella* life stages reared on different diet. 1) Modified version of the diet of Brinton et al. (1969), 2 and 3) modified version of the diet of Bathon (1981), 4) Fukova et al. (2005), 5) apple, 6) apple leaf

Diet	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	Larval duration (days)	Pupa male	Pupa female	Male longevity (days)	Female longevity (days)
1	3.05(±0.22)	5.2(±0.40)	8.52(±0.50)	10.87(±0.33)	5.25(±0.43)	32.89b	9.87a	9.78a	8.48(±0.0)b	8.45(±0.50)cd
2	2.81(±0.71)	5.02(±0.55)	8.02(±0.49)	12.02(±0.45)	5.13(±0.44)	38.69a	8.91(±0.73)b	8.94(±0.79)a	8b	8.8(±0.82)cd
3	2.19(±0.72)	4.83(±0.97)	7.96(±0.79)	11.94(±0.57)	5.29(±0.78)	32.21bc	8.39(±0.76)c	8.91(±0.68)a	8.4 (±0.62)b	9.3(±0.71)cd
4	2.86(±0.38)	4.55(±0.56)	7.31(±0.65)	9.75(±0.85)	4.85(±0.54)	30.36bc	8.39(±0.76)b	8.91(±0.68)a	10.3 (±0.18)a	10.1(±0.30)b
5						31.57bc	8.92bc	9.11a	10.3a	10.9a
6	2.73(±0.44)	4.51(±0.56)	7.41(±0.64)	10.03(±0.86)	5.05(±0.56)	29.73c	9.87b	9.78a	8.48(±0.0)b	8.45(±0.50)d

جدول ۳- شاخص رشدی *Cydia pomonella* تغذیه شده از رژیم‌های غذایی مختلف (۱) نسخه تغییر یافته (Brinton et al., 1969)، ۲ و ۳) نسخه‌های تغییر یافته (Bathon (1981)، ۴) Fukova et al. (2005)، ۵) سیب و ۶) برگ سیب

Table 3. Growth index of *Cydia pomonella* on different diets. 1) Modified version of the diet of Brinton et al. (1969), 2 and 3) modified version of the diet of Bathon (1981), 4) Fukova et al. (2005), 5) apple, 6) apple leaf.

Diet	Growth index		
	Larva	Pupa	Immature
1	1.73b	4.41b	1.38b
2	1.79b	4.21b	1.04b
3	1.56b	4.16b	1.25b
4	2.69a	5.09a	2.10a
5	1.68b	4.66b	1.22b
6	2.13a	5.92a	1.72b

در سن چهار لاروی، نمونه‌هایی که از رژیم چهار تغذیه شده بودند، سرعت رشد بالاتری را نشان دادند و در سن پنج لاروی، تقریباً سرعت رشد لارو در تمامی رژیم‌ها، یکسان بود (جدول ۲). در ارزیابی این پارامتر، داده‌های مربوط به رشد روی میزبان اصلی (سیب، رژیم پنج) وارد نشد، زیرا در عمل تفکیک سنین لاروی و محاسبه طول هر سن لاروی به جهت پنهان بودن لارو درون میوه امکان‌پذیر نبود. مقایسه طول دوره شفیریگی در جنس ماده حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار با تغذیه از رژیم‌های غذایی مختلف بود ($P > 0.05$) در حالی که این پارامتر زیستی در جنس نر، از نظر آماری معنی‌دار شد ($P < 0.05$) (جدول ۲ و شکل ۱B). نتایج نشان داد که طول دوره شفیریگی، در لاروهای که از رژیم‌های غذایی یک و شش تغذیه داشتند، طولانی‌تر بود (جدول ۲). مقایسه طول عمر حشره کامل تغذیه شده از رژیم‌های غذایی مختلف نشان داد که این پارامتر زیستی در هر دو جنس ماده ($P < 0.001$) و جنس نر ($P < 0.001$)، تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۱C). هر دو جنس نر و ماده *C. pomonella* در رژیم‌های غذایی چهار و پنج طول عمر طولانی‌تری داشتند در حالی که در سایر رژیم‌های غذایی، طول عمر بالغین کمتر ثبت شد (جدول ۲).

شاخص رشد. نتایج آزمایشات شاخص رشدی در جدول ۳ نشان داده شده است. بالاترین شاخص رشد لارو با تغذیه از رژیم چهار بدست آمد در حالی که کمترین آن زمان تغذیه لاروها از رژیم غذایی سه بود. شاخص رشدی شفیره برای دو رژیم چهار و شش بالاترین میزان و برای رژیم سه کمترین مقدار بود. بالاترین و کمترین شاخص رشد بالغ برای رژیم چهار و رژیم دو ثبت شد.

نتایج پارامترهای تولیدمثل با تغذیه از رژیم‌های غذایی مختلف. مقایسه دوره‌های تولیدمثلی حاکی از آن بود که دوره پیش از تخم‌ریزی و دوره تخم‌ریزی تفاوت معنی‌داری را زمان تغذیه لاروها از رژیم‌های غذایی مختلف داشت ($P < 0.05$) (جدول ۴). کوتاه‌ترین دوره پیش از تخم‌ریزی با تغذیه لاروها از رژیم غذایی پنج بدست آمد در حالی که لاروها با تغذیه از رژیم غذایی شش، طولانی‌ترین دوره پیش از تخم‌ریزی را داشتند. کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین دوره تخم‌ریزی کرم سیب به ترتیب با تغذیه لاروها از رژیم‌های غذایی دو و پنج بدست آمد. دوره پس از تخم‌ریزی، تفاوت معنی‌داری را با تغذیه لاروها از رژیم‌های غذایی مختلف، نشان نداد. میانگین کوتاه‌ترین دوره پس از تخم‌ریزی در رژیم شش (۰/۹۸ روز) حاصل شد در حالی که طولانی‌ترین دوره را لاروهای که از رژیم غذایی دو (۱/۸۳ روز) تغذیه داشتند، نشان دادند (جدول ۴). اثر رژیم‌های غذایی مختلف روی میانگین زادآوری *C. pomonella* تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$). بالاترین میزان تخم با تغذیه کرم سیب در دوره‌ی لاروی با رژیم چهار بدست آمد در حالی که کمترین آن، زمان تغذیه لاروها از رژیم شش حاصل شد (شکل ۱D). تغذیه از رژیم‌های یک، سه و پنج، نتیجه همسانی را نشان داد. نتایج پارامترهای رشد جمعیت پایدار *C. pomonella* با تغذیه لاروها از رژیم‌های غذایی مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. بین رژیم‌های غذایی مورد آزمایش در این پژوهش، از نظر فراسنجه‌های رشدی اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). بیشترین میزان نرخ ذاتی رشد (۰/۰۹۹۵ بر روز) با تغذیه لاروها از رژیم غذایی چهار دیده شد. بیشترین و کمترین نرخ متناهی افزایش جمعیت به ترتیب با تغذیه لاروها از رژیم‌های چهار و یک بدست آمد. با تغذیه از رژیم غذایی چهار طول دوره یک نسل کرم سیب (۴۶/۱۴ روز) خواهد بود.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات زیادی روی پارامترهای زیستی و تولیدمثلی *C. pomonella* تاکنون به انجام رسیده است (Howell, Botto, 2006; Kuyulu & Genc, 2019). با این حال، بیشتر این مطالعات تنها به بررسی پارامترهای زندگی آفت روی یک میزبان یا رژیم غذایی پرداخته‌اند. معیارهای تعیین کیفیت پرورش و یک رژیم غذایی مطلوب به طور عمده با پارامترهایی متعددی از جمله میزان بقا، طول عمر بالغین، درصد تبدیل لارو نئونات به حشره بالغ، وزن بدن شفیره و نیز میزان تبدیل تخم به حشره کامل ارزیابی می‌شود (Dyck, 2010). در مطالعه حاضر، رشد و نمو لارو با تغذیه از رژیم دو (۳۸/۶۹ روز) طولانی‌ترین و رژیم شش (۲۹/۷۳ روز) و رژیم چهار (۳۰/۳۶ روز) کوتاه‌ترین زمان را به خود اختصاص دادند. مدت زمان معمول برای تکمیل دوره رشد و نمو لاروی در کرم سیب بین پانزده تا بیست و پنج روز با توجه به دمای محل پرورش، گزارش شده است (Dyck, 2010). Howell (1970) این دوره را معادل ۲۷ روز گزارش داد. کوتاه‌ترین زمان رشد و نمو لاروی در پژوهش کنونی، با تغذیه لاروها از برگ سیب بدست آمد. Pszczolkowski et al. (2002) بیان کردند که با تخم‌گذاری بسیاری از حشرات ماده روی برگ، لاروها توانایی تغذیه از برگ را نیز دارند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که اندازه کپسول سر و وزن شفیره زمانی که لارو از برگ تغذیه دارد، کمتر از زمانی است که با رژیم غذایی مصنوعی تغذیه می‌شود. ضمن این که تعداد لاروهایی که توانایی تکمیل دوره لاروی و ورود به مرحله شفیریگی و سپس ظهور بالغین را داشتند، با تغذیه از برگ سیب، کاهش چشمگیری را نشان داد.

جدول ۴- دوره‌های تولیدمثلی حشرات ماده *Cydia pomonella* تغذیه شده با رژیم‌های غذایی مختلف. ۱) نسخه تغییر یافته (Brinton et al. 1969)، ۲ و ۳) نسخه‌های تغییر یافته (Bathon (1981)، ۴) Fukova et al. (2005)، ۵) سیب و ۶) برگ سیب

Table 4. Reproductive periods for females of the *Cydia pomonella* fed with different diet. 1) Modified version of the diet of apple, 6) apple leaf. Brinton et al. (1969), 2 and 3) modified version of the diet of Bathon (1981) 4) Fukova et al. (2005), 5)

Diet	Preoviposition (day)	Oviposition (day)	Postoviposition(day)
1	1.11±0.17b	6.32±0.051b	1.02±0.15a
2	1.96±0.38a	5.01±0.43c	1.83±0.39a
3	1.33±0.16b	6.73±0.52b	1.24±0.14a
4	1.92±0.18a	6.88±0.45b	1.3±0.41a
5	1.06±0.14b	7.21±0.54a	1.82±0.14a
6	2.01±0.34a	5.46±0.41c	0.98±0.32a

Means followed by different letters within a column are significantly different at $P < 0.05$

ناتوانی این گروه از لاروها در دریافت انرژی و کسب ارزش غذایی ناکافی می‌تواند توضیح این روند کاهش باشد (Pszczolkowski et al., 2002:2002). تعداد سنین لاروی در کرم سیب با تغذیه از رژیم‌های غذایی شرح داده شده، پنج سن بود. معمولاً کرم سیب دارای پنج سن لاروی است ولی اگر لاروها از تغذیه کافی و مناسبی برخوردار نباشند، می‌توانند تا هشت سن لاروی هم ایجاد نمایند (Williams & Behdad, 2002). نتایج ما نشان داد که تعداد سنین لاروی *C. pomonella* با تغذیه از رژیم‌های غذایی مصنوعی و میزبان اصلی (میوه یا برگ سیب) تغییری نداشت و در تمام رژیم‌ها تعداد سنین لاروی از پنج سن تجاوز نکرد.

آغاز مرحله شفیرگی زمانی است که لارو سن پنج کرم سیب، از تغذیه خودداری کرده و معمولاً به سمت بالای ظرف پرورش می‌آید و ثابت می‌شود. در این زمان، لارو به حداکثر رشد خود رسیده است و شروع به تنیدن پيله می‌نماید. (Behdad (2002 طول دوره شفیرگی کرم سیب را ده تا پانزده روز گزارش کرد. Dyck (2010) طول دوره شفیرگی *C. pomonella* را بر حسب درجه حرارت متغیر و در حدود هشت تا ده روز بیان نمود. نتایج پژوهش کنونی نیز با نتایج Dyck (2010) همخوانی داشت. نتایج ما نشان داد که طول دوره شفیرگی در هر دو جنس نر و ماده *C. pomonella* زمان تغذیه لاروها از رژیم‌های غذایی سه و چهار (۸/۹۱ و ۸/۳۹ روز) کوتاه‌تر بود. (Kuyula & Genc (2019 بیان کردند که طول دوره شفیرگی کرم سیب در صورت تغذیه از میوه سیب در حدود ۸/۹ روز به طول می‌انجامد. در مطالعه حاضر، طول دوره شفیرگی با گزارش (Kuyulu & Genc (2019 تقریباً یکسان بود. زمانی که لاروها از سیب (برگ یا میوه) تغذیه داشتند، طول دوره شفیرگی، در هر دو جنس نر و ماده، در مقایسه با رژیم‌های غذایی مصنوعی طولانی‌تر شد. طول عمر بالغین کرم سیب بر مبنای تغذیه لاروها از رژیم‌های غذایی مختلف در هر دو جنس نر و ماده نیز تفاوت معنی‌داری را نشان داد؛ به طوری که بیشترین طول عمر بالغین نر (۱۰/۳ روز) با تغذیه لاروها از رژیم غذایی چهار و پنج و بالغین ماده (۱۰/۹ روز) با تغذیه لاروها *C. pomonella* از رژیم‌های غذایی پنج بدست آمد. اگرچه طول عمر بالغین بستگی به حضور ماده غذایی، درجه حرارت و PH متغیر است (Howell, 1981) ولی به طور میانگین طول عمر بالغین نر در حدود ۱۲/۹ روز در ۲۵ درجه سلسیوس، ۱۰/۹ روز در ۲۶ درجه سلسیوس و ۷/۷ روز در ۲۷ درجه سلسیوس به طول می‌انجامد، این پارامتر زیستی در جنس ماده در دماهای ۲۵، ۲۶ و ۲۷ درجه سلسیوس به ترتیب ۱۲/۴، ۹/۱ و ۸/۱ روز است (Dyck, 2010). نتایج بدست آمده در پژوهش کنونی با گزارشات پیشین، با اندکی تفاوت، همخوانی داشت. طول عمر بالغینی که در دوره لاروی از میوه سیب تغذیه کرده بودند، نیز تقریباً در محدوده مطالعات قبلی بدست آمد گرچه (Kuyulu & Genc (2019 میانگین طول عمر بالغین ماده را زمانی که لاروها از میوه سیب تغذیه داشتند، در حدود ۲/۱۲ روز و در جنس نر ۱۶/۷ روز گزارش کردند.

در حالت معمولی تمامی شب‌پره‌های بالغ کرم سیب در روز اول بعد از ظهور، از نظر جنسی فعال هستند (Howell, 1988). مطالعات پیشین نشان داده است که جفت‌گیری بالغین *C. pomonella* بعد از ۱۲ تا ۴۸ ساعت کامل می‌شود و ماده‌ها، تخم‌ریزی را شروع می‌کنند (Howell, 1972). عمده مطالعات مرتبط با زادآوری کرم سیب به بررسی تغذیه بالغین ماده و نوع تغذیه آن‌ها بر این پارامتر پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها عمدتاً حاکی از افزایش زادآوری و طول عمر حشره ماده *C. pomonella* بوده است (Wiesmann, 1935; Howell, 1981; Wenninger & Landolt, 2011).

جدول ۵- میانگین (\pm SE) پارامترهای رشد جمعیت *Cydia pomonella* تغذیه شده از رژیم‌های غذایی مختلف. ۱) نسخه تغییر یافته (Brinton et al. 1969)، ۲ و ۳) نسخه‌های تغییر یافته (Bathon (1981)، ۴) Fukova et al. (2005)، ۵) سیب و ۶) برگ سیب

Table 5. Population growth parameters (Means \pm SE) of *Cydia pomonella* reared on different diets. Modified version of the diet of Brinton et al. (1969), 2 and 3) modified version of the diet of Bathon (1981), 4) Fukova et al. (2005), 5) apple, 6) apple leaf.

Parameter	Diet1 Mean \pm SE	Diet2 Mean \pm SE	Diet3 Mean \pm SE	Diet4 Mean \pm SE	Diet6 Mean \pm SE
Intrinsic rate of increase (r)(day ⁻¹)	0.0732±0.001b	0.0778±0.004b	0.0797±0.007b	0.0995±0.009a	0.0814±0.008b
Net reproductive rate (R_0)(offspring)	39.2±1.01d	51.7±1.07b	49.7±1.08c	98.6±1.02a	48.6±1.08c
Finite rate of increase (λ)(day ⁻¹)	1.0759±0.0011b	1.0809±0.0014b	1.0836±0.0012b	1.1046±0.0017a	1.0848±0.0016b
Mean generation time (T)(day)	50.12±0.31a	50.68±0.39a	48.9±0.17b	46.14±0.21c	47.7±0.29b

Means followed by different letters within a row are significantly different at $P < 0.05$

برخی مطالعات پیشین نیز نشان داده است که بیشتر بالغین Tortricidae نیازی به مصرف شکر برای دست‌یابی به طول عمر و زادآوری نرمال ندارند (Wenninger & Landolt, 2011). مطالعه کنونی به بررسی پارامترهای تولیدمثلی *C. pomonella* متاثر از رژیم‌های غذایی مختلف دوره لاروی پرداخته است. بیشترین و کمترین زادآوری حشره ماده با تغذیه لارو از رژیم‌های چهار و شش حاصل شد و تغذیه از رژیم‌های یک، سه و پنج به طور تقریبی زادآوری یکسانی را

نشان داد. Dyck (2010) بیان کرد که زادآوری ماده‌های وحشی کرم سیب در مقایسه با ماده‌های آزمایشگاهی (با میانگین زادآوری ۱۳۲-۱۶۲ تخم/ماده) و نیز ماده‌هایی که در یک پرورش انبوه تولید می‌شوند (محدوده ۴۳-۱۳۰ تخم/ماده) پایین‌تر است. نتایج پژوهش کنونی نشان داد که این آماره در محدوده گزارش شده برای ماده‌های آزمایشگاهی (۱۳۲-۱۶۲ تخم/ماده) در مطالعه Dyck (2010) بود. با استفاده از رژیم غذایی مناسب در طول دوره لاروی، میزان زادآوری بالغین ماده کرم سیب متعادل و مطلوب خواهد بود. با افزایش زادآوری حشرات ماده، نیاز به حشرات کمتری برای حفظ کلنی در پرورش آزمایشگاهی، داریم (Dyck, 2010) که این موضوع، از اهمیت به سزایی در پرورش انبوه کرم سیب، به‌ویژه در زمان اجرای پروژهای SIT برخوردار است. دریافت میزان مطلوب کربوهیدرات، پروتئین و لیپید، سطح مناسبی از انرژی را مهیا می‌سازد که می‌تواند بر شاخص رشدی مراحل مختلف کرم سیب تأثیرگذار باشد. زمانی که لارو قابلیت زنده‌مانی روی رژیم غذایی مصنوعی را داشته باشد و بتواند به مرحله بالغ برسد، به این معنی است که رژیم غذایی مصنوعی هم از نظر فیزیکی و هم از نظر شیمیایی برای حشره، قابل قبول بوده است (Howell, 1970; Khan et al., 2019). نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری رشد جمعیت حاکی از آن بود که کرم سیب قادر به تکمیل چرخه زندگی و تولیدمثل خود با تغذیه از همهی رژیم‌های مورد آزمایش بود؛ ولی سرعت نشو و نماي شب‌پره‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان داد. آگار، همواره از مواد تشکیل دهنده رژیم‌های غذایی بوده است که بر طول دوره رشدی و ترجیح تغذیه‌ای حشره، تأثیرگذار است (Khan et al., 2019; Moore, 1986). جوانه گندم، که به عنوان ضروری‌ترین منبع پروتئینی در رژیم غذایی مصنوعی، حضور دارد می‌تواند تا حدود زیادی بر نرخ رشد حشره اثرگذار باشد. به عقیده برخی محققین، کیفیت جوانه گندم و نیز میزان آن، درصد زنده‌مانی و شاخص رشد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Khan et al., 2019; Cohen, 2004). در پژوهش کنونی، بالاترین شاخص رشدی مرتبط با رژیم غذایی چهار حاصل شد. اسید سورییک و اسید سیتریک، به عنوان موادی که موجب به کمینه رساندن میکروارگانسیم و PH رژیم می‌باشند، به لارو نئونات برای تکمیل رشد کمک می‌کنند (Brinton et al., 1969). رژیم چهار با داشتن هر دوی این مواد، اثر مثبتی را بر طی دوره رشدی لارو، نشان داد. مروری بر منابع موجود نشان می‌دهد که تاکنون پژوهش‌های جامعی در مورد ارزیابی کلیه پارامترهای دموگرافیک *C. pomonella* با تغذیه از رژیم‌های غذایی مختلف صورت نگرفته است و به طور عمده پارامترهای رشد جمعیت این شب‌پره بر حسب شرایط دمایی مختلف (Aghdam et al., 2009) و سموم شیمیایی (Liu et al., 2012; Ju et al., 2023) مورد مقایسه قرار گرفتند. تغذیه نامناسب و محدودیت غذایی در دوران لاروی منجر به کاهش نرخ بقا و پارامترهای رشد جمعیت می‌شود. ویژگی‌های زیستی از جمله طول عمر، زادآوری و نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) می‌تواند، کارایی پروژ SIT را تحت تأثیر قرار دهد (Dorn & Gu, 2006)؛ لذا توجه به نوع رژیم غذایی لاروها اثر مستقیمی بر کیفیت تولید حشره و میزان آن خواهد داشت.

به‌طور کلی تمامی رژیم‌های غذایی مصنوعی که برای کرم سیب تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است، شامل ترکیبات در دسته‌های: ترکیبات حلال (رطوبت‌زا)، پروتئین، کربوهیدرات، ویتامین‌ها و مواد معدنی، ترکیبات ضد میکروبی و نیز ترکیباتی برای تنظیم PH هستند (Bloem; Fukova et al., 2005; Botto, 2006). Brinton et al., 1969; Guannelon et al., 1981; et al., 2000). تعادل ترکیبات یک رژیم غذایی برای حشره به دو دلیل حائز اهمیت است (۱) تغذیه از رژیمی نامطلوب، نیاز به مصرف بیش از حد غذا برای کسب حداقل ماده مغذی برای رشد را در پی دارد (۲) روابط متابولیکی و بیوشیمیایی اجزای تشکیل دهنده یک رژیم غذایی نامطلوب، می‌توانند جذب انرژی را محدود کنند (Gnepe et al., 2013). عمده تغییرات روی منابع پروتئین و کربوهیدرات در رژیم‌های غذایی مصنوعی صورت گرفته است. Carpenter & Bloem (2002) بیان کردند که نوع پروتئین و کربوهیدرات (قند) تشکیل دهنده منابع پروتئینی از اهمیت بیشتری در یک رژیم غذایی برخوردار است. تغذیه از رژیم چهار، شاخص رشدی مراحل مختلف کرم سیب را تحت تأثیر قرار داده که در نتیجه باعث سریع‌تر طی شدن دوره لاروی و بالاتر بودن طول عمر بالغین شده است. همچنین به نظر می‌رسد این رژیم غذایی اثر مطلوبی بر میزان زادآوری حشره ماده کرم سیب داشته است. میزان بالای نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) کرم سیب با تغذیه از رژیم غذایی چهار، در مقایسه با سایر رژیم‌ها به دلیل دوره رشدی کوتاه‌تر و میزان زادآوری بالاتر، باعث شد تا این رژیم غذایی برای تغذیه لاروهای *C. pomonella* مطلوب‌تر باشد. به نظر می‌رسد این رژیم با فراهم‌آوری شرایط تغذیه بهینه برای لارو، بیشترین امکان افزایش جمعیت حشره را در پرورش انبوه مهیا می‌سازد. تعادل غذایی مطلوب بین اجزای تشکیل دهنده این رژیم، سبب افزایش هضم ترکیبات و جذب مواد مغذی برای لارو می‌شود گرچه مطالعات تکمیلی در خصوص بررسی فعالیت آنزیمی لارو با تغذیه از این رژیم، پیشنهاد می‌شود. نتایج این تحقیق می‌تواند به محققین در تصمیم‌گیری برای استفاده از رژیم غذایی مصنوعی حشره کمک نماید. توسعه و بهینه‌سازی یک رژیم غذایی در پرورش انبوه خصوصا در کنترل کرم سیب، با روش نرغیمی، بسیار مهم است و تلاش‌های مستمر در این زمینه، ادامه دارد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای به انجام رسیده است، که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

حمایت مادی و معنوی

این مقاله با حمایت مادی و معنوی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای در قالب طرح تحقیقاتی (PRI-A3-002) به انجام رسید.

REFERENCES

- Aghdam, H. R., Fathipour, Y., Kontodimas, D. C., Radjabi, G. & Rezapanah, M. (2009) Age-specific life table parameters and survivorship of an Iranian population of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) at different constant temperatures. *Annals of the Entomological Society of America* 102(2), 233-240.
- Amer, A. E. A. & El-Sayed, A. A. A. (2014) *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) development and growth index. *Journal of Entomology* 11, 299-305. Doi: 10.3923/je.2014.299.305
- Barnes, B., Rosenberg, S., Arnolds, L. & Johnson, J. (2007) Production and quality assurance in the SIT Africa Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) rearing facility in South Africa. *Florida Entomologist* 90, 41-52. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2007\)90\[41:PAQAIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2007)90[41:PAQAIT]2.0.CO;2)

- Bathon, H.** (1981) Zur Zucht des Apfelwicklers, *Laspeyresia pomonella* (L.) (Lep., Tortricidae), auf einem künstlichen Nährmedium. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie* 2, 136–140. English abstract.
- Beeke, H. & Jong, D. J. de.** (1991) Identification of larvae and pupae, pp. 65–76. In L.P.S. van der Geest and H.H. Evenhuis, eds. *Tortricid pests: their biology, natural enemies and control*. Vol. 5. World Crop Pests, W. Helle, ed. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.
- Behdad, E.** (2009) Introductory Entomology and Important Pests in Iran. Yadbod, Esfahan.
- Bloem S., Bloem, K. A., & Calkins, C. O.** (2000) Incorporation of diapause into codling moth mass rearing production advantages and insect quality issues. In Area-wide control of fruit flies and other insect pests. Joint proceedings of the international conference on area-wide control of insect pests, 28 May-2 June 1998 and the Fifth International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance, Penang, Malaysia, 1-5 June 1998 (pp. 329-335). Penerbit Universiti Sains Malaysia.
- Blomefield, T., Carpenter, J. E. & Vreysen, M. J. B.** (2011) Quality of mass-reared codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) after long-distance transportation: 1. Logistics of shipping procedures and quality parameters as measured in the laboratory. *Journal of Economic Entomology* 104, 814-822. <https://doi.org/10.1603/EC10238>.
- Botto, E. N.** (2006) Use of codling moth SIT to facilitate the implementation of IPM strategies in Argentina, pp. 37–44. In working material. Improvement of codling moth SIT to facilitate expansion of field application. Third Research Coordination Meeting, 16–20 September 2005, Mendoza, Argentina. IAEA-314-D4-RC876. IAEA, Vienna, Austria.
- Brinton, F. E., Proverbs, M. D., Carty, B. E.** (1969) Artificial diet for mass production of the codling moth, *Carpocapsa pomonella* (Lepidoptera: Olethreutidae). *The Canadian Entomologist* 101, 577-584. <https://doi.org/10.4039/Ent101577-6>
- Carpenter, J. E. & Bloem, S.** (2002) Interaction between insect strain and artificial diet in diamondback moth development and reproduction. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102, 283-294. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2002.00949.x>
- Chi, H.** (1988) Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology* 17, 26-34. <https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26>.
- Chi, H., You, M., Atlihan, R., Smith, C. L., Kavousi, A., Özgökçe, M. S., Güncan, A., Tuan, S. J., Fu, J. W., Xu, Y. Y. & Zheng, F. Q.** (2020) Age-stage, two-sex life table: an introduction to theory, data analysis, and application. *Entomologia Generalis* 40:103 – 124. [10.1127/entomologia/2020/0936](https://doi.org/10.1127/entomologia/2020/0936)
- Cohen, A. C.** (2004) *Insect diets. Science and technology*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Cossentine, J. E., Jensen, L. B. M. & Eastwell, K. C.** (2005) Incidence and transmission of a granulovirus in a large codling moth [*Cydia pomonella* L.(Lepidoptera: Tortricidae)] rearing facility. *Journal of Invertebrate Pathology* 90, 187-192. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2005.09.006>.
- Dorn, S. & Gu, H.** (2006) Codling moth dispersal, demographic parameters and mating performance: optimization for SIT, pp. 69–73. In working material. Improvement of codling moth SIT to facilitate expansion of field application. Third Research Coordination Meeting, 16–20 September 2005, Mendoza, Argentina. IAEA-314-D4-RC876. IAEA, Vienna, Austria.
- Dyck, V. A.** (2010) Rearing codling moth for the sterile insect technique. *FAO Plant Production and Protection Paper*, (199).
- Fuková, I., Nguyen, P. & Marec, F. E.** (2005) Codling moth cytogenetics: karyotype, chromosomal location of rDNA, and molecular differentiation of sex chromosomes. *Genome* 48, 1083-1092. <https://doi.org/10.1139/g05-063>.
- Guennelon, G., Audemard, H., Fremond, J. C. & Ammari, M. A. E. I.** (1981) Progrès réalisés dans l'élevage permanent du Carpopapse (*Laspeyresia pomonella* L.) sur milieu artificiel. *Agronomie* 1, 59-64.
- Hathaway, D. O.** (1966) Laboratory and field cage studies of the effects of gamma radiation on codling moths. *Journal of Economic Entomology* 59, 35-37. <https://doi.org/10.1093/jee/59.1.35>.
- Howell, F. J.** (1970) Rearing the codling moth on an artificial diet. *Journal of Economic Entomology* 63, 1148-1150. <https://doi.org/10.1093/jee/63.4.1148>.
- Howell, J. F.** (1988) Spermatophore number in the codling moth *Cydia pomonella* (L.)(Lepidoptera: Olethreutidae). *The Canadian Entomologist* 120, 701-710. <https://doi.org/10.4039/Ent120701-8>.
- Howell, J. F.** (1981) Codling moth: the effect of adult diet on longevity, fecundity, fertility, and mating. *Journal of Economic Entomology* 74, 13-18. <https://doi.org/10.1093/jee/74.1.13>
- Howell, J. F. & Clift, A. E.** (1972) Rearing codling moths on an artificial diet in trays. *Journal of Economic Entomology* 65, 888-890. <https://doi.org/10.1093/jee/65.3.888>.
- Itoyama, K., Kawahira, Y., Murata, M. & Tojo, S.** (1999) Fluctuations of some characteristics in the common cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) reared under different diets. *Applied Entomology and Zoology* 34, 315-321. <https://doi.org/10.1303/aez.34.315>.
- Jenne, E. L.** (1909) The codling moth in the Ozarks. U.S.D.A. *Bureau of Entomology Bull* 80, 1-3.
- Jiang, D., Chen, S., Hao, M., Fu, J. & Ding, F.** (2018) Mapping the potential global codling moth (*Cydia pomonella* L.) distribution based on a machine learning method. *Scientific Reports* 8, 1-8. DOI:10.1038/s41598-018-31478-3.

- Ju, D., Liu, Y. X., Liu, X., Dewer, Y., Mota-Sanchez, D. & Yang, X. Q. (2023) Exposure to lambda-cyhalothrin and abamectin drives sublethal and transgenerational effects on the development and reproduction of *Cydia pomonella*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 252, 114581. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114581>.
- Khan, A., Honey, S. F., Bajwa, B., Jamil, N. & Mazhar, M. S. (2019) Responses of *Cydia Pomonella* (L.) reared on different artificial diets under laboratory condition. *Sarhad Journal of Agriculture* 35, 386-391. <http://dx.xoi.org/10.17582/journal.sja/2019/35.2.386.391>.
- Kuyulu, A. & Genc, H. (2019) Biology and Laboratory Rearing of Codling Moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) on Its Natural Host "Green Immature Apple" *Malus domestica* (Borkh) (Rosales: Rosaceae). *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 6, 546-556. <https://doi.org/10.30910/turkjans.595382>.
- Liu, Y., Luo, J., Zhou, Z. & Wei, Y. (2012) Life tables of the experimental population of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) at different temperatures. *Acta Phytophylacica Sinica* 39(3), 205-210.
- Moore, R. F. (1986) Feeding preferences and utilization studies as tools in developing an optimum diet for *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 79, 1707-1710. <https://doi.org/10.1093/jee/79.6.1707>.
- Pajač, I., Pejić, I. & Barić, B. (2011) Codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae)—major pest in apple production: an overview of its biology, resistance, genetic structure and control strategies. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 76, 87-92.
- Pszczolkowski, M. A. & Brown, J. J. (2002) Prospects of monosodium glutamate use for enhancement of spinosad toxicity against codling moth neonates. *Phytoparasitica* 30, 243-252. <https://doi.org/10.1007/BF03039993>.
- Pszczolkowski, M. A., Matos, L. F., Brown, R. & Brown, J. J. (2002) Feeding and development of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) larvae on apple leaves. *Annals of the Entomological Society of America* 95, 603-607. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2002\)095\[0603:FADOCJ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095[0603:FADOCJ]2.0.CO;2).
- Ranjbar Aghdam, H. (2009) Using temperature-dependent phenology in providing forecasting model of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). Ph. D. dissertation, Tarbiat Modares University.
- Rock, G. C. (1967) Aseptic rearing of the codling moth on synthetic diets: ascorbic acid and fatty acid requirements. *Journal of Economic Entomology* 60, 1002-1005. <https://doi.org/10.1093/jee/60.4.1002>.
- Rock, G. C., Glass, E. H. & Patton, R. L. (1964) Axenic rearing of the red-banded leaf roller, *Argyrotaenia velutinana*, on meridic diets. *Annals of the Entomological Society of America* 57, 617-621. <https://doi.org/10.1093/aesa/57.5.617>.
- Rull, J., Brunel, O. & Mendez, M. E. (2005) Mass rearing history negatively affects mating success of male *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) reared for sterile insect technique programs. *Journal of Economic Entomology* 98, 1510-1516. <https://doi.org/10.1093/jee/98.5.1510>.
- Sauphanor, B. & Bouvier, J. C. (1995) Cross resistance between benzoylureas and benzoylhydrazines in the codling moth, *Cydia pomonella* L. *Pesticide Science* 45, 369-375. <https://doi.org/10.1002/ps.2780450412>.
- Sauphanor, B., Brosse, V., Bouvier, J. C., Speich, P., Micoud, A. & Martinet, C. (2000) Monitoring resistance to diflubenzuron and deltamethrin in French codling moth populations (*Cydia pomonella*). *Pest Management Science: formerly Pesticide Science* 56, 74-82. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1526-4998\(200001\)56:1<74::AID-PS96>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1526-4998(200001)56:1<74::AID-PS96>3.0.CO;2-C).
- Sender, C. (1970) Élevage du carpocapse des pommes sur un nouveau milieu artificiel non spécifique. *In Annales de Zoologie Ecologie Animale*. 2: 93-95.
- Shi, Z., Cheng, H., Liu, Y. & Li, Y. (2019) A *cydia pomonella* integrated management predator-prey model with smith growth and linear feedback control. *IEEE Access* 7, 126066-126076. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2938772.
- Singh, P. (1984) Insect diets. Historical developments, recent advances, and future prospects, pp. 32-44. In E. G. King and N. C. Leppla, eds. *Advances and challenges in insect rearing*. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, New Orleans, LA, USA
- SPSS, I. (2015) IBM SPSS statistics for windows, version 23.0. Armonk: IBM Corp.
- Stenekamp, D. (2011) Optimization of a mass-rearing system to produce codling moth, *Cydia pomonella*, for a Sterile Insect Release programme in South Africa (Doctoral dissertation, Stellenbosch: University of Stellenbosch).
- Thistlewood, H. M. & Judd, G. J. (2019) Twenty-five years of research experience with the sterile insect technique and area-wide management of codling moth, *Cydia pomonella* (L.), in Canada. *Insects* 10, 292. <https://doi.org/10.3390/insects10090292>.
- Vickers, R. A. (1997) Effect of delayed mating on oviposition pattern, fecundity and fertility in codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Australian Journal of Entomology* 36, 179-182. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.1997.tb01452.x>
- Wenninger, E. J. & Landolt, P. J. (2011) Apple and sugar feeding in adult codling moths, *Cydia pomonella*: effects on longevity, fecundity, and egg fertility. *Journal of Insect Science* 11, 161. <https://doi.org/10.1673/031.011.16101>.
- Wiesmann, R. (1935) Untersuchungen über den weiblichen Genitalapparat, das Ei und die Embryonalentwicklung des Apfelwicklers *Carpocapsa* (*Cydia*) *pomonella*. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* 16: 370-377.
- Williams, D. G. & McDonald, G. (1982) The duration and number of the immature stages of codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Tortricidae: Lepidoptera). *Australian Journal of Entomology* 21, 1-4.

Effect of natural and artificial diets on the biological and reproductive characteristics of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae)

Fatemeh Farsi¹ & Mehrdad Ahmadi²

Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Karaj, Iran

✉ ffarsi@aeoi.org.ir

✉ mdaahmadi@aeoi.org.ir

 <https://orcid.org/0000-0002-3754-0487>

 <https://orcid.org/0000-0002-1720-0856>

Article History

Received: 03 February 2023 | Accepted: 10 May 2023 | Subject Editor: Yaghub Fathipour

Abstract

The use of artificial diet provides the possibility of continuous mass-rearing of insects throughout the year. In current research, life-table parameters of *Cydia pomonella* (L.) (Lep.: Tortricidae) on six different diets under laboratory condition (temperature 25 ± 1 °C, $60 \pm 5\%$ RH, and 16:8 hours (light: dark) were investigated. Diets include 1) modified version of the diet of Brinton *et al.* (1969), 2 and 3) modified versions of the diet of Bathon (1981), 4) diet of Fukova *et al.* (2005), 5) apple, and 6) apple leaf. The results showed that development time of codling moth were longest (51.17 days) with diet one and shortest (48.01 days) with diet six, respectively. The results of the tests also showed that the larval duration, the pupal duration on male, and the adult longevity in both, female and male, had significant differences. The longest pre-oviposition (2.01 d) and oviposition (7.21 d) periods were found on diet six and five, respectively. The females that fed on diet four (141.2 egg/female) and six (91.3 egg/female) in the larval period produced the highest and lowest eggs, respectively. The highest growth index of all life stages of codling moth was obtained by feeding the diet four. The population parameters indicated that all diets will display growth under the studied conditions, being the mean generation time (*T*) significantly shorter when using diet four (46.14 days) than others. Based on the preadult and adult results pointing to diet four being a more efficient diet, as well as the fecundity values provided by this diet, suggest that diet four could be improved and used as an alternative to a natural diet shortly.

Keywords: Artificial diet, *C. pomonella*, Duration of life, Oviposition periods, Fecundity

Corresponding Author: Mehrdad Ahmadi (Email: mdaahmadi@aeoi.org.ir)

Citation: Farsi, F. & Ahmadi, M. (2023) Effect of natural and artificial diets on the biological and reproductive characteristics of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Entomol. Soc. Iran* 43 (1), 63-72. <https://doi.org/10.52547/jesi.43.1.7>