بررسی ارتباط بین فراسنجه‌های زیستی و تغذیه‌ای کرم گلوگاه انار، *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lep.: Pyralidae)، با برخی از ترکیبات بیوشیمیایی میزبان‌های مختلف

علی گلی‌زاده[1]* و زهرا عابدی[2]

۱- * **نویسنده مسوول:** استاد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (golizadeh@uma.ac.ir)

۲- دکتری حشره‌شناسی کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹

چکیده

کرم گلوگاه انار، *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lep.: Pyralidae)، آفتی خطرناک، چندین‌خوار و با پراکنش جهانی است که محصولات مختلف کشاورزی را قبل و پس از برداشت مورد حمله قرار می‌دهد. در پژوهش حاضر، تأثیر ۱۱ میزبان مختلف گیاهی شامل انار، انجیر خشک، بادام زمینی، به، پسته، پرتقال، خرما، سیب، زیتون، گردو و غذای مصنوعی بر فراسنجه‌های زیستی و تغذیه‌ای این آفت در اتاقک رشدی با شرایط دمایی ۱±۳۰ درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره‌ی نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی بررسی شد. هم‌چنین، در این تحقیق برخی از ترکیبات اولیه و ثانویه میزبان‌های مختلف اندازه‌گیری شد تا ارتباط بین این ترکیبات بیوشیمیایی با فراسنجه‌های جدول زندگی و تغذیه‌ای آفت تعیین شود. مطابق با نتایج، طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین طول دوره نابالغ آفت به‌ترتیب روی میزبان‌های گردو و غذای مصنوعی مشاهده شد. کم‌ترین نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) روی میزبان‌های به، پرتقال، سیب و زیتون و بیش‌ترین میزان آن روی غذای مصنوعی به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار شاخص‌های بازدهی تبدیل غذای بلعیده شده (ECI) و کارایی تبدیل غذای هضم شده (ECD) مربوط به لاروهای تغذیه شده از غذای مصنوعی بود. هم‌چنین، بیش‌ترین مقدار شاخص رشد نسبی (RGR) آفت روی میزبان پسته به‌دست آمد. نتایج تجزیه کلاستر نشان داد که انار و غذای مصنوعی به عنوان میزبان‌های نسبتاً حساس و به، پرتقال، سیب و زیتون به عنوان میزبان‌های نسبتاً مقاوم برای کرم گلوگاه انار بودند. در این تحقیق، بین مقادیر برخی از ترکیبات بیوشیمیایی در میزبان‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار مشاهده شد که همبستگی مثبت یا منفی معنی‌داری بین ترکیبات اولیه و ثانویه گیاهی با فراسنجه‌های زیستی و تغذیه‌ای کرم گلوگاه وجود داشت. فراسنجه‌های باروری، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، بازدهی تبدیل غذای خورده شده (ECI) و شاخص رشد نسبی (RGR) همبستگی منفی معنی‌داری با مقادیر محتوای ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌های گیاهی نشان دادند. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به عنوان اطلاعات پایه در جهت درک بهتر تعاملات بین گیاه-گیاه‌خوار مفید واقع شود.

کلیدواژه‌ها: رژیم‌های غذایی، جدول زندگی، واکنش تغذیه‌ای، متابولیت‌های شیمیایی گیاهی

دبیر تخصصی: دکتر سید علی همتی

مقدمه

کرم گلوگاه انار، *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae)، آفتی کلیدی و چندین‌خوار است که منجر به خسارت اقتصادی روی محصولاتی مهمی نظیر خرنوب، بادام، گردو، انار، انجیر، مرکبات، خرما، زیتون، سیب، به و پسته در ایران و بسیاری از مناطق جهان می‌شود (Alrubeai, 1987; Warner, 1990; Norouzi et al., 2008; Kishani-Farahani et al., 2012; Ramzi et al., 2013). این آفت ضمن تغذیه از میوه و کاهش کمی وکیفی محصول، موجب کاهش بازارپسندی میوه نیز می‌شود (Shakeri, 2004; Zare et al., 2013).

بعد از ورود لارو به میوه عوامل متعددی از گروه قارچ‌ها، باکتری‌ها و مخمرها به درون میوه وارد می‌شوند و بدین ترتیب فرآیند پوسیدگی و ترشیدگی میوه شکل می‌گیرد. پاتوژن‌ها قادرند در باغ و انبار شرایط گندیدگی و فساد سریع یا تدریجی میوه را فراهم نموده و آن را از بین ببرند. کرم گلوگاه انار ناقل عوامل بیمارگر به داخل میوه می‌باشد (Shakeri, 2004). بنابراین کنترل کرم گلوگاه می‌تواند نقش کلیدی در کاهش پوسیدگی میوه در باغ و انبار ایفا نماید (Sobhani et al., 2015). تحقیقات و مطالعات انجام شده روی کرم گلوگاه انار نشان می‌دهد که در حال حاضر هیچ کدام از روش‌ها به تنهایی قادر به کنترل این آفت نمی‌باشد. کنترل موفق کرم گلوگاه تنها در قالب یک مدیریت تلفیقی شامل کنترل زراعی، مکانیکی، استفاده از ارقام مقاوم و مبارزه بیولوژیک امکان‌پذیر است. از سوی دیگر، کنترل شیمیایی به دلیل تخم‌ریزی آفت درون تاج انار و روی پرچم‌ها، گذراندن مراحل نشو و نما درون میوه، بالا بودن تعداد و تداخل نسل جایگاهی ندارد (Zare et al., 2013; Pezhman and Saeidi, 2018; Abedi et al., 2019a).

مقاومت گیاه میزبان ابزار مهمی در مدیریت تلفیقی آفات است که از لحاظ اقتصادی و سلامت محیط زیست نتایج بسیار مطلوبی را به‌دنبال داشته است (Price et al., 1980). استفاده از ارقام و میزبان‌های مقاوم، مصرف آفت کش‌ها را کاهش داده، سلامت و ایمنی مصرف‌کنندگان را بهبود می‌بخشد و آلودگی محیط زیست را به حداقل می‌رساند. میزبان‌های دارای مقاومت نسبتاً بالا ممکن است اثر بخشی سایر روش‌های کنترل آفت از جمله استفاده از دشمنان طبیعی و حشره‌کش‌ها را از طریق کند کردن نشو و نما مراحل قبل از بلوغ و طولانی‌تر کردن زمان رسیدن به مرحله تولید نتاج را افزایش دهند (Dent, 2000; Sarfraz et al., 2006). بنابراین، استفاده از ارقام و میزبان‌های مقاوم گیاهی می‌تواند به عنوان مکمل کنترل بیولوژیک و کنترل شیمیایی در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات مفید واقع شود (Price et al., 1980). بررسی مقاومت گیاهان میزبان می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در شناسایی ترکیبات مهارکننده‌ی آنزیم‌های گوارشی یا بازدارنده‌های تغذیه‌ای و استفاده بیش‌تر از این اطلاعات در مدیریت تلفیقی آفات ایفا نماید. لذا استفاده از ارقام و میزبان‌های مقاوم گیاهی می‌تواند به عنوان یکی از ابزارهای کارآمد در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات به‌شمار آیند (Lewis, 1997).

مطالعات قبلی نشان داده است که ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های رشد جمعیت *E. ceratoniae* به‌طور قابل توجهی مرتبط با نوع میزبان می‌باشد (Zare et al., 2013; Mortazavi et al., 2015). در تحقیقی اثر چهار میزبان مختلف روی فراسنجه‌های جدول زندگی کرم گلوگاه بررسی شد. نتایج نشان داد که پتانسیل رشد جمعیت آفت روی انار و پسته در مقایسه با انجیر و خرما بیش‌تر می‌باشد (Norouzi et al., 2008). در پژوهشی، ویژگی‌های زیستی و تغذیه‌ای کرم گلوگاه انار روی ۱۱ رقم تجاری انار مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که رقم اصفهانی دانه قرمز در مقایسه با سایر ارقام، حساسیت کم‌تری نسبت به این آفت داشت (Abedi et al., 2019a). در تحقیق دیگری، اثر چهار رژیم غذایی شامل خمیر انار، خمیر سیب، رژیم‌های غذایی نیمه مصنوعی و مصنوعی بر فراسنجه‌های زیستی این حشره مورد مطالعه قرار گرفت (Abedi et al., 2019b). نتایج مربوطه نشان داد که بیش‌ترین نرخ ذاتی افزایش جمعیت روی غذای مصنوعی به‌دست آمد. آن‌ها گزارش کردند که

به‌دلیل بالا بودن پتانسیل رشد جمعیت آفت روی غذای مصنوعی در مقایسه با دیگر جیره‌های مورد آزمون، این رژیم غذایی برای تغذیه‌ی حشره مفیدتر می‌باشد. بنابراین کرم گلوگاه انار با تغذیه از رژیم غذایی مصنوعی بیش‌ترین احتمال را برای افزایش جمعیت دارد و به عنوان جیره مناسب برای پرورش انبوه کرم گلوگاه دارا می‌باشد.

براساس جستجو در پایگاه‌های علمی در خصوص میزان مقاومت میزبان‌های مختلف به کرم گلوگاه انار، تاکنون گام موثری در زمینه ارزیابی حساسیت میزبان‌های مختلف به *E. ceratoniae* برداشته نشده است. با توجه به خسارت اقتصادی کرم گلوگاه انار در ایران، پژوهش‌گران بسیاری را به پژوهش روی جنبه‌های مختلف زیست‌شناسی و اکولوژی این آفت سوق داده است، ولی تاکنون مطالعه‌ی جامعی در مورد ارتباط فراسنجه‌های رشدی و تغذیه‌ای آفت با ترکیبات بیوشیمیایی میزبان‌های مختلف صورت نگرفته است. بنابراین، اهدف اصلی این تحقیق، بررسی ویژگی‌های زیستی، فراسنجه‌های جدول زندگی و شاخص‌های تغذیه‌ای *E. ceratoniae* در واکنش به تغذیه از ۱۱ میزبان مختلف، به منظور شناسایی میزبان‌هایی با بیش‌ترین اثرات نامطلوب روی این آفت است. هم‌چنین، در این تحقیق برخی متابولیت‌های اولیه و ثانویه میزبان‌های مختلف نیز اندازه‌گیری شدند تا ارتباط بین ترکیبات بیوشیمیایی با فراسنجه‌های زیستی و تغذیه‌ای کرم گلوگاه انار مشخص شود. امید است اطلاعات به‌دست آمده در این پژوهش بتواند در پیش‌برد برنامه‌های مدیریت تلفیقی کرم گلوگاه مفید واقع شود.

مواد و روش‌ها

تهیه میزبان‌های مختلف

میوه رسیده ۱۰ میزبان مختلف *E. ceratoniae* شامل انار (رقم ملس ساوه)، انجیر خشک (رقم زرد پیازی)، بادام زمینی(رقم گلی)، به (رقم اصفهان)، پسته (رقم کله قوچی)، پرتقال (رقم تامسون ناول)، خرما (رقم مضافتی)، سیب (رقم قرمز لبنانی)، زیتون (رقم زرد) وگردو (رقم مراغه) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی رامسر، مغان و موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد که برای تغذیه آفت و انجام آزمایش‌های بیوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین، از یک نوع رژیم غذایی مصنوعی (ترکیب سبوس گندم، شکر، مخمر، اسید آسکوربیک، بنزوات سدیم، لیزین، اریترومایسین، گلیسرین و آب مقطر) به منظور پرورش و تغذیه آفت استفاده شد (Mediouni and Dhouibi, 2007).

پرورش کرم گلوگاه انار در شرایط آزمایشگاهی

به‌منظور پرورش *E. ceratoniae*، انارهای آلوده به کرم گلوگاه از باغ‌های انار استان تهران جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند و جداسازی لاروها از میوه‌های آلوده صورت گرفت. پرورش لاروها روی هر یک از میزبان‌ها به طور جداگانه انجام شد. حشرات کامل پس از ظهور، به صورت روزانه با لوله آزمایش جمع‌آوری و به درون ظروف پلاستیکی استوانه‌ای به ابعاد ۵۰ ×۱۰۰ سانتی‌متر که هر دو طرف آن‌ها با توری پوشانده شده بود به مدت ۲۴ ساعت برای جفت‌گیری انتقال داده شدند. جهت تغذیه شب‌پره‌ها، از پنبه آغشته به محلول آب عسل ۱۰ درصد استفاده شد. پس از ۲۴ ساعت، پروانه‌های نر و ماده برای تخم‌گیری به ظروف استوانه‌ای به ابعاد ۱۵×۳۰ سانتی‌متر که دو طرف آن‌ها با توری پوشانده شده بود، منتقل شدند. توری‌های حاوی تخم‌های گذاشته شده برای ادامه پرورش و آزمایش‌ها به داخل ظروف دیگر حاوی برش‌هایی از میوه ها و دانه‌های مختلف و رژیم غذایی مصنوعی منتقل شد. پرورش لاروها داخل ظروف پلاستیکی به ابعاد ۶ ×۲۰ سانتی‌متر صورت گرفت. جهت تأمین تهویه، در قسمت سرپوش ظروف پلاستیکی دریچه‌ای ایجاد شده و با پارچه توری پوشانده شد. ظروف پرورش در اتاقک رشد با شرایط دمایی ۱± ۳۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و دوره‌ی نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی نگهداری شد. قبل از شروع آزمایش‌ها، کلنی *E. ceratoniae* روی هر یک از میزبان‌های مختلف مورد بررسی به مدت دو نسل پرورش داده شد (Navarro et al., 1986; Abedi et al., 2019a).

مطالعه فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیت کرم گلوگاه انار روی میزبان‌های مختلف

برای بررسی تأثیر میزبان‌های مختلف روی دوره نشو و نما و بقای مراحل نابالغ *E. ceratoniae*، تعداد ۸۰ عدد تخم هم‌سن (با طول عمر کمتر از ۲۴ ساعت)، به‌صورت انفرادی به داخل ظروف پتری به قطر ۹ سانتی‌متر حاوی برش‌هایی از میوه میزبان‌ها و دو گرم غذای مصنوعی منتقل شدند. ظروف پتری به صورت روزانه مورد بررسی قرار گرفت و غذای لاروها به‌صورت یک روز در میان تعویض و فراسنجه‌های مربوط به مراحل نابالغ مانند طول دوره‌های تخم، لارو، شفیره و بقای آن‌ها ثبت گردید. این بررسی تا زمان ظهور حشرات کامل ادامه یافت. پس از ظهور حشرات کامل، جنسیت پروانه‌ها با مشاهده انتهای شکم آنها تعیین و هر جفت نر و ماده به ظروف تخم‌گیری منتقل شدند. تعداد تخم‌های گذاشته شده و نیز طول عمر حشرات کامل نر و ماده به صورت روزانه بررسی و ثبت شد. این بررسی‌ها تا زمان مرگ آخرین حشرات کامل ادامه یافت و از داده‌های ثبت شده برای تشکیل جدول زندگی استفاده شد. آزمایش‌ها در اتاقک رشدی با شرایط دمایی۱ ± ۳۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و دوره‌ی نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام شد.

مطالعه شاخص‌های تغذیه‌ای کرم گلوگاه انار روی میزبان‌های مختلف

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های تغذیه‌ای *E. ceratoniae* روی هر یک از میزبان‌ها، تعداد ۴۰ عدد لارو سن چهارم به صورت انفرادی به داخل ظروف پتری حاوی برش‌هایی از میوه میزبان‌ها و چند گرم غذای مصنوعی منتقل شدند. وزن لاروها قبل و بعد از تغذیه، وزن غذای داده شده، وزن غذای باقی مانده و وزن فضولات با استفاده از ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) به‌صورت روزانه به مدت هفت روز ثبت شد. هم‌چنین، برای تعیین وزن خشک، ۲۰ عدد لارو همزمان با انجام آزمایش اصلی انتخاب و بعد از توزین اولیه، در آون (دمای ۶۰ درجه‌ی سلسیوس) به مدت ۴۸ ساعت کاملا خشکانده و وزن خشک آن‌ها به‌دست آمد. سپس شاخص‌های تغذیه‌ای آفت روی هر یک از میزبان‌ها با استفاده از فرمول‌های ارایه شده به شرح زیر محاسبه شدند (Waldbauer, 1968).

هضم پذیری نسبی[1]: AD = E-F/E

بازدهی تبدیل غذای خورده شده[2]: ECI = P/E

کارایی تبدیل غذای هضم شده[3]: ECD = P/E-F

نرخ مصرف نسبی[4]: RCR = E/A*T

نرخ رشد نسبی[5]: RGR = P/A*T

E: وزن غذای خورده شده (گرم)، P: افزایش وزن لاروها (گرم)، A: میانگین وزن لاروها در طول دوره تغذیه (گرم)، F: وزن فضولات تولید شده (گرم)، T: دوره زمانی مصرف غذا (روز).

اندازه‌گیری ویژگی‌های بیوشیمیایی میزبان‌های مختلف

در این تحقیق برخی متابولیت‌های بیوشیمیایی مهم میزبان‌های مختلف اندازه‌گیری شد تا ارتباط بین این ترکیبات با ویژگی‌های زیستی و تغذیه‌ای آفت تعیین شود. هر کدام از تست‌های بیوشیمیایی در پنج تکرار انجام شد.

تعیین غلظت پروتئین

به منظور سنجش غلظت پروتئین در میزبان‌های مختلف از معرف برادفورد استفاده شد و جذب آن‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد (Bradford, 1976).

تعیین غلظت کربوهیدرات

برای اندازه‌گیری محتوای کربوهیدرات موجود در میزبان‌های مختلف از معرف آنترون استفاده شد و جذب نوری آن در طول موج ۶۲۶ نانومتر قرائت شد (Bemani et al., 2012).

1- Approximate digestibility
2- Efficiency of conversion of ingested food
3- Efficiency of conversion of digested food
4- Relative consumption rate
5- Relative growth rate

تعیین محتوای فنل کل

محتوای ترکیبات فنل با استفاده از معرف فولین تعیین شد. جذب آن‌ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود (Tezcan et al., 2009).

تعیین محتوای آنتوسیانین‌های کل

غلظت آنتوسیانین کل با روش اختلاف اسیدیته (pH) در دو سامانه‌ی بافری شامل بافر پتاسیم کلرید ۰/۰۲۵ مولار در pH=۱ و pH=۴ و بافر سدیم استات در pH=۴/۵ در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Wrolstad et al., 2005).

تجزیه داده‌ها

داده‌های خام به دست آمده از فراسنجه‌های دموگرافی کرم گلوگاه انار با استفاده از نرم‌افزار TWOSEX-MS Chart تجزیه شد (Chi, 2020). جهت تکراردار کردن فراسنجه‌های جدول زندگی از روش بوت‌استرپ با ۱۰۰۰۰۰ تکرار استفاده شد (Chi, 2020). هم‌چنین، اختلاف آماری بین فراسنجه‌های دموگرافی با استفاده از آزمون دو گانه بوت‌استرپ (paired bootstrap test) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد. نرمال بودن داده‌های مربوط به شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای آفت و ویژگی‌های بیوشیمیایی میزبان‌های مختلف نیز با آزمون کولموگروف اسمیرنوف بررسی شد (SPSS, 2007). جهت مقایسه‌ی اختلاف آماری این فراسنجه‌ها، از تجزیه واریانس یک طرفه (one-way ANOVA) استفاده شد و اختلاف میانگین تیمارها با استفاده از پس آزمون توکی (HSD) در سطح احتمال پنج درصد مورد بررسی قرار گرفت (SPSS, 2007). برای تعیین همبستگی و ارتباط بین ویژگی‌های بیوشیمیایی میزبان‌های مختلف با فراسنجه‌های مهم جدول زندگی و شاخص‌های تغذیه‌ای کرم گلوگاه از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد (SPSS, 2007). به منظور گروه‌بندی میزبان‌های مختلف، تجزیه کلاستر (دندروگرام) بر مبنای فراسنجه‌های رشد جمعیت و شاخص‌های تغذیه‌ای کرم گلوگاه با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 به روش Ward صورت پذیرفت. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیت کرم گلوگاه انار روی میزبان‌های مختلف

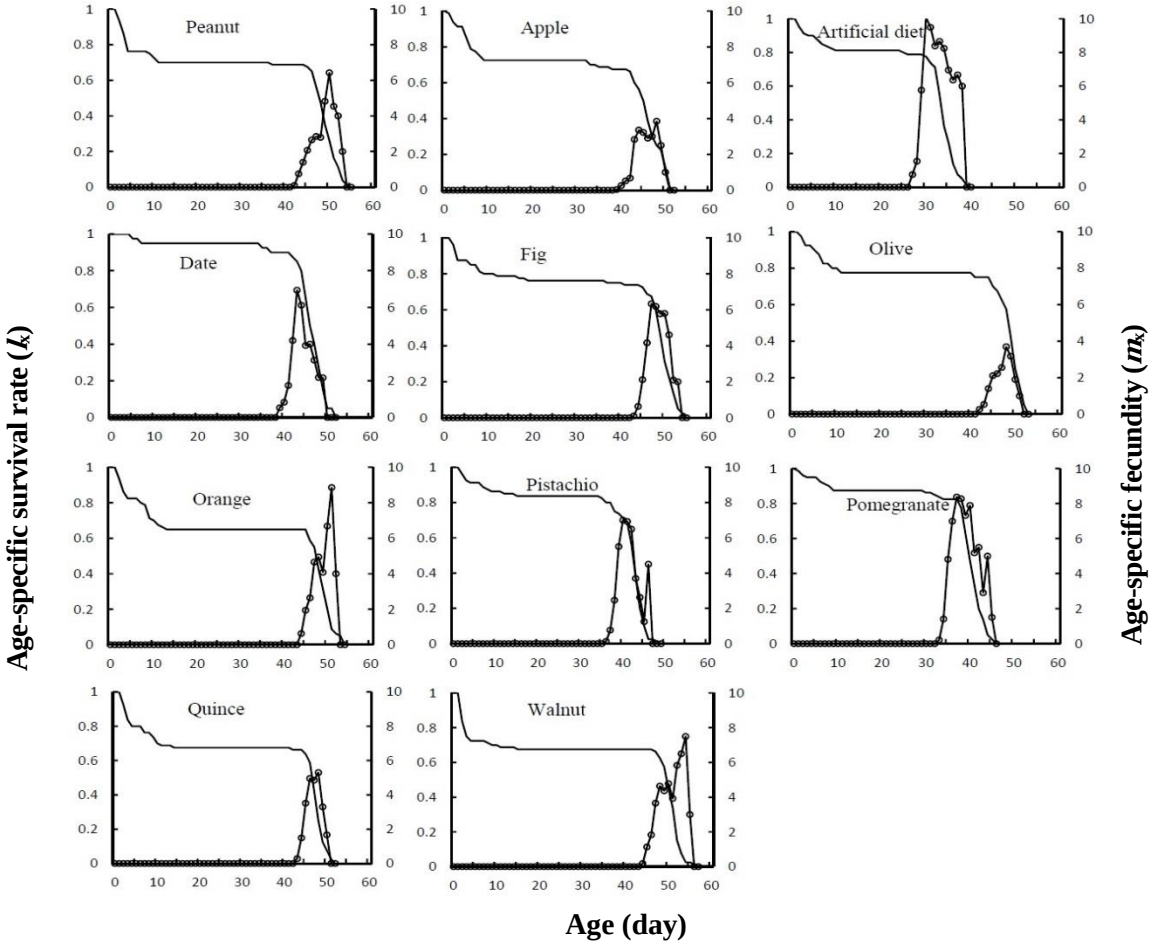
نتایج تأثیر میزبان‌های مختلف بر طول دوره نشو و نما و بقای مراحل نابالغ *E. ceratoniae* در جدول ۱ آورده شده است. اختلاف‌میانگین‌های مربوط به طول دوره‌های تخم، لاروی و شفیرگی کرم گلوگاه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میزبان‌های مختلف وجود دارد. دوره‌ی تخم کرم گلوگاه روی میزبان بادام به طور معنی‌داری بیشتر از بقیه میزبان‌ها بود. هم‌چنین، کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین دوره‌ی لاروی به ترتیب روی غذای مصنوعی و انجیر به‌دست آمد.

جدول ۱- اثر میزبان‌های مختلف روی طول دوره مراحل مختلف قبل از بلوغ (میانگین± خطای معیار) و بقای *Ectomyelois ceratoniae*

Table 1. Effect of various hosts on duration of immature stages (mean±SE) and survival of *Ectomyelois ceratoniae*

Host	Egg incubation (day)	Larval period (day)	Pupal period (day)	Development time (day)	Pre-adult Survival (%)
Peanut	5.44±0.06 a	31.18±0.25 cd	8.29±0.08 a	44.94±0.27 bc	0.69±0.05 cd
Apple	4.41±0.06 e	30.28±0.31 e	7.45±0.17 c	42.31±0.37 e	0.69±0.05 cd
Artificial diet	4.18±0.06 f	18.34±0.14 i	6.33±0.10 d	28.83±0.18 g	0.79±0.04 abc
Date	4.45±0.08 de	29.05±0.21 f	7.73±0.21 bc	42.21±0.89 ef	0.90±0.05 a
Fig	4.61±0.06 d	33.15±0.23 a	6.53±0.11 d	44.37±0.25 cd	0.74±0.04 bcd
Olive	4.89±0.05 c	32.84±0.33 b	7.55±0.20 c	45.24±0.35 b	0.72±0.07 bcd
Orange	5.30±0.06 ab	31.63±0.22 c	8.10±0.09 ab	44.99±0.26 bc	0.65±0.05 d
Pistachio	4.03±0.04 g	27.27±0.15 g	6.36±0.08 d	37.52±0.21 f	0.76±0.05 bcd
Pomegranate	4.01±0.03 g	24.74±0.15 h	5.92±0.07 e	34.68±0.19 f	0.83±0.04 ab
Quince	4.95±0.06 c	30.91±0.18 de	8.15±0.13 ab	44.02±0.21 d	0.67±0.05 cd
Walnut	5.26±0.06 b	33.01±0.22 ab	8.09±0.08 ab	46.34±0.21 a	0.68±0.05 cd

Means followed by different letters in each column are significantly different (Paired bootstrap test, $P< 0.05$).



شکل ۱- بقای ویژه سنی (l_x) و باروری ویژه سنی (m_x) کرم گلوگاه انار، *Ectomyelois ceratoniae*، روی میزبان‌های مختلف

Figure 1. Age-specific survival rate (l_x) and age specific fecundity (m_x) of the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* on various hosts

بیش‌ترین و کم‌ترین طول دوره شفیرگی به ترتیب روی بادام و انار مشاهده گردید. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که بین میزبان‌های مختلف مورد مطالعه از نظر طول مدت نشو و نمای مراحل نابالغ (از تخم تا ظهور حشره‌ی کامل) تفاوت معنی‌داری وجود دارد، بدین ترتیب که طولانی‌ترین دوره پیش از بلوغ روی میزبان گردو و کوتاه‌ترین این دوره روی غذای مصنوعی مشاهده شد. کم‌ترین و بیش‌ترین درصد بقای مراحل نابالغ به ترتیب روی پرتقال و خرما بود (جدول ۱).

منحنی‌های بقای ویژه سنی (l_x) و باروری ویژه سنی (m_x) کرم گلوگاه پرورش یافته روی میزبان‌های مختلف روی میزبان‌های مختلف در شکل ۱ ارایه شده است. بیش‌ترین پهنای منحنی بقای مراحل نابالغ آفت روی میزبان خرما مشاهده شد (شکل ۱). علاوه بر این، بیش‌ترین پهنای منحنی باروری ویژه سنی آفت در رژیم غذایی مصنوعی به دست آمد.

طول دوره تخم‌ریزی، باروری و طول عمر حشرات کامل *E. ceratoniae* روی میزبان‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. طول دوره قبل از تخم‌ریزی افراد بالغ ماده (APOP[1]) یک روز بود و در میزبان‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت که در جدول ۲ ذکر نشده است ($P> 0.05$). میزبان‌های مختلف گیاهی اثر معنی‌داری روی مجموع دوره قبل از تخم‌ریزی افراد بالغ ماده (TPOP[2])

1- Adult pre-oviposition period
2- Total pre-oviposition period

داشت، به‌طوری که کوتاه‌ترین این دوره روی غذای مصنوعی و طولانی‌ترین آن روی میزبان گردو مشاهده شد. هم‌چنین، طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین دوره تخم‌ریزی افراد ماده نیز به ترتیب روی میزبان‌های انار و به ثبت گردید. میزان باروری روی میزبان‌های سیب و زیتون به طور معنی‌داری کم‌تر از بقیه میزبان‌ها بوده و بیش‌ترین میزان باروری مربوط به میزبان انار و غذای مصنوعی به‌دست آمد. بیش‌ترین طول عمر حشرات کامل نر و ماده *E. ceratoniae* به ترتیب روی میزبان‌های خرما و انار مشاهده شد. هم‌چنین، کم‌ترین طول عمر حشرات کامل نر و ماده *E. ceratoniae* نیز به ترتیب روی میزبان‌های زیتون، به و پرتقال به‌دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- اثر میزبان‌های مختلف روی طول دوره تخمریزی، باروری و طول عمر (میانگین± خطای معیار) حشرات کامل *Ectomyelois ceratoniae*

Table 2. Effect of various hosts on reproduction period, fecundity and adult longevity (mean±SE) of *Ectomyelois ceratoniae*

Host	TPOP (day)	Oviposition period (day)	Fecundity (offspring)	Female adult longevity (day)	Male adult longevity (day)
Peanut	46.07±0.42 bc	3.54±0.17 de	34.90±1.93 de	4.99±0.19 d	4.70±0.17 d
Apple	43.67±0.43 d	3.52±0.21 def	29.28±2.32 e	5.19±0.30 cd	4.60±0.24 de
Artificial diet	29.84±0.23 h	4.75±0.17 b	86.59±6.21 a	6.50±0.18 b	4.95±0.27 cd
Date	41.90±0.28 e	4.63±0.42 bc	50.54±5.75 bc	6.11±0.51 bc	6.70±0.99 a
Fig	46.10±0.28 b	4.47±0.20 bc	50.23±2.14 c	6.10±0.23 bc	5.71±0.18 b
Olive	45.78±0.51 bc	3.29±0.22 ef	29.51±1.33 e	4.86±0.27 de	4.19±0.17 f
Orange	46.20±0.31 b	3.20±0.19 ef	36.86±2.83 d	4.80±0.28 e	4.21±0.16 ef
Pistachio	38.90±0.25 f	4.38±0.14 bc	61.19±1.75 b	6.38±0.19 b	5.58±0.21 bc
Pomegranate	35.75±0.29 g	5.69±0.17 a	90.69±2.30 a	7.09±0.18 a	5.93±0.16 b
Quince	45.21±0.25 c	2.99±0.19 f	35.16±9.61 de	4.33±0.23 e	3.86±0.19 f
Walnut	47.30±0.31 a	3.90±0.19 cd	40.16±2.90 cd	5.33±0.19 cd	4.62±0.22 de

Means followed by different letters in each column are significantly different (Paired bootstrap test, $P< 0.05$).

جدول ۳- اثر میزبان‌های مختلف روی فراسنجه‌های جدول زندگی (میانگین± خطای معیار) *Ectomyelois ceratoniae*

Table 3. Effect of various hosts on life table parameters (mean±SE) of *Ectomyelois ceratoniae*

Host	R_0 (offspring per adult)	r (day^{-1})	λ (day $^{-1}$)	T (day)
Peanut	12.23±1.99 de	0.052±0.003 de	1.053±0.004 de	48.31±0.46 b
Apple	9.88±1.72 e	0.049±0.003 e	1.051±0.004 e	45.84±0.39 d
Artificial diet	38.94±5.55 a	0.113±0.005 a	1.120±0.005 a	32.22±0.30 h
Date	24.04±4.79 bc	0.071±0.004 c	1.074±0.005 c	44.47±0.34 e
Fig	18.85±2.84 cd	0.060±0.003 d	1.062±0.003 d	48.60±0.27 b
Olive	10.35±2.28 e	0.048±0.004 e	1.049±0.005 e	47.58±0.53 bc
Orange	11.53±2.11e	0.050±0.004 e	1.051±0.004 e	48.57±0.38 b
Pistachio	22.13±3.37 c	0.075±0.004 c	1.077±0.004 c	41.33±0.24 f
Pomegranate	36.26±5.01 ab	0.093±0.004 b	1.097±0.004 b	38.52±0.28 g
Quince	10.26±2.04 e	0.049±0.004 e	1.050±0.005 e	47.12±0.27 c
Walnut	15.07±2.42 cde	0.054±0.003 de	1.056±0.003 de	49.59±0.38 a

Means followed by different letters in each column are significantly different (Paired bootstrap test, $P< 0.05$).
GRR, the gross reproductive rate; R_0, the net reproductive rate; r, intrinsic rate of increase; λ, finite rate of increase and, T, mean generation time.

نتایج فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار *E. ceratoniae* روی میزبان‌های مختلف در جدول ۳ ارایه شده است. بین میزبان‌های مختلف مورد آزمایش، از نظر فراسنجه‌های جدول زندگی آفت اختلاف معنی‌داری وجود داشت. نتایج نشان داد که مقدار نرخ خالص تولیدمثل (R_0) روی رژیم غذایی مصنوعی بیش‌تر و روی میزبان سیب کم‌تر از سایر میزبان‌ها بود. هم‌چنین، بیش‌ترین مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) مربوط به حشرات پرورش یافته روی غذای مصنوعی و کم‌ترین آن مربوط به حشرات پرورش یافته روی میزبان‌های به، پرتقال، زیتون و سیب بود. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) نیز روی غذای مصنوعی بیش‌ترین و روی میزبان‌های به، پرتقال، زیتون و سیب کم‌ترین مقدار را داشت. هم‌چنین، بیش‌ترین مقدار متوسط زمان یک نسل (T) آفت در بین میزبان‌های مختلف مورد مطالعه، روی گردو و کم‌ترین مقدار آن روی رژیم غذایی مصنوعی به‌دست آمد (جدول ۳).

شاخص‌های تغذیه‌ای کرم گلوگاه انار روی میزبان‌های مختلف

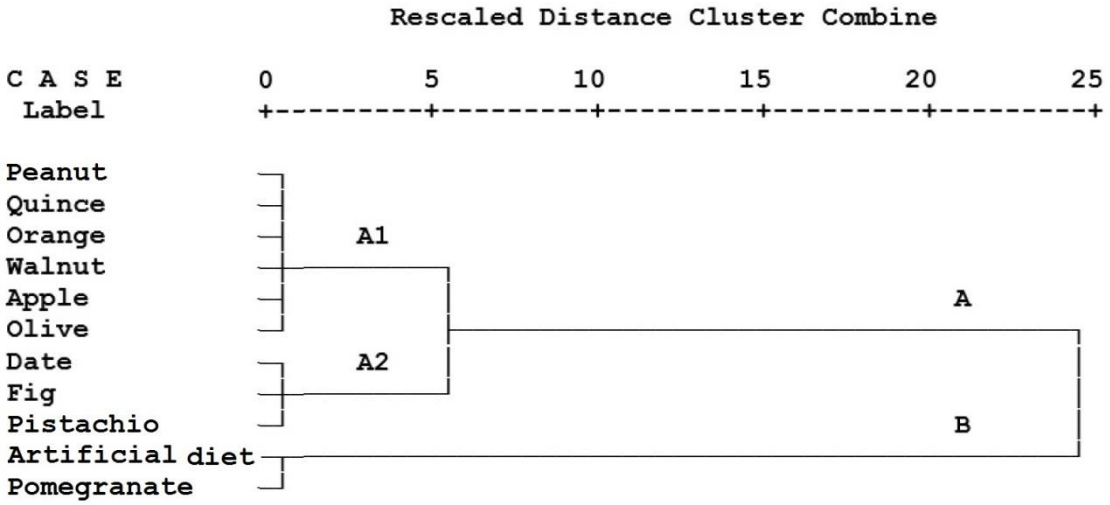
شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سن چهارم *E. ceratoniae* تغذیه شده روی میزبان‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۴).

نتایج حاصل از شاخص‌های تغذیه‌ای نشان داد که کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار هضم پذیری نسبی (AD) ($F = 52.94$; df = 10, 429; $P < 0.0001$) به‌ترتیب روی میزبان‌های غذای مصنوعی و پرتقال به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار شاخص‌های بازدهی تبدیل غذای بلعیده شده (ECI) ($F = 113.11$; df = 10, 429; $P < 0.0001$) و کارایی تبدیل غذای هضم شده (ECD) ($F = 116.42$; df = 10, 429; $P < 0.0001$) مربوط به لاروهای تغذیه شده از غذای مصنوعی بود. هم‌چنین، کم‌ترین مقادیر ECI و ECD روی میزبان‌های زیتون و پرتقال مشاهده شد. کم‌ترین مقدار شاخص مصرف نسبی

جدول ٤- اثر میزبان‌های مختلف روی شاخص‌های تغذیه‌ای (میانگین± خطای معیار) *Ectomyelois ceratoniae*
Table 4. Effect of various hosts on the nutritional indices (mean±SE) of *Ectomyelois ceratoniae*

Host	AD (%)	ECI (%)	ECD (%)	RCR (g/g/day)	RGR (g/g/day)
Peanut	94.99 ± 0.14 d	2.56 ± 0.14 ef	2.69 ± 0.15 d	2.63 ± 0.097 d	0.065 ± 0.004 de
Apple	95.42 ± 0.82 bcd	2.25 ± 0.12 ef	2.36 ± 0.12 d	3.45 ± 0.163 bc	0.076 ± 0.005 bcd
Artificial diet	89.55 ± 0.32 f	7.60 ± 0.24 a	8.52 ± 0.29 a	1.33 ± 0.045 f	0.099 ± 0.003 ab
Date	92.51 ± 0.24 e	3.53 ± 0.23 d	3.81 ± 0.25 c	1.77 ± 0.068 ef	0.061 ± 0.004 def
Fig	96.14 ± 0.14 abcd	2.64 ± 0.13 ef	2.75 ± 0.14 d	2.83 ± 0.151 dc	0.072 ± 0.005 cd
Olive	96.75 ± 0.09 ab	1.01 ± 0.10 g	1.05 ± 0.10 e	4.08 ± 0.186 b	0.039 ± 0.005 f
Orange	97.39 ± 0.07 a	1.13 ± 0.08 g	1.16 ± 0.08 e	6.27 ± 0.270 a	0.069 ± 0.007 d
Pistachio	96.52 ± 0.18 abc	5.69 ± 0.30 b	5.91 ± 0.33 b	2.17 ± 0.105de	0.119 ± 0.007 a
Pomegranate	95.19 ± 0.19 cd	4.42 ± 0.15 c	4.65 ± 0.16 c	2.16 ± 0.109 de	0.094 ± 0.006 bc
Quince	96.24 ± 0.17 abcd	1.82 ± 0.16 gf	1.90 ± 0.17 de	3.79 ± 0.332 b	0.063 ± 0.006 de
Walnut	95.39 ± 0.24 bcd	2.69 ± 0.30 de	2.83 ± 0.29 d	1.81 ± 0.091 ef	0.044 ± 0.004 ef

Means followed by different letters in each column are significantly different (HSD; $P< 0.05$).
AD= approximate digestibility; ECI = efficiency of conversion of ingested food; ECD = efficiency of conversion of digested food; RCR = relative consumption rate; RGR = relative growth rate.



شکل ۲- دندروگرام میزبان‌های مختلف بر مبنای فراسنجه‌های جدول زندگی (دوره نشو و نمای مراحل نابالغ، باروری، نرخ خالص تولیدمثل و نرخ ذاتی افزایش جمعیت) و شاخص‌های تغذیه‌ای (بازدهی تبدیل غذای بلعیده شده و شاخص رشد نسبی) *Ectomyelois ceratoniae* پرورش یافته روی میزبان‌های مختلف (به روش Ward)

Figure 2. Dendrogram of different hosts based on life table parameters (development time, fecundity, net reproductive rate and intrinsic rate of increase) and nutritional indices (efficiency of conversion of ingested food and relative growth rate) of *Ectomyelois ceratoniae* reared on various hosts (Ward's method)

($F = 69.56$; df = 10, 429; $P < 0.0001$) (RCR) روی غذای مصنوعی و بیش‌ترین آن روی میزبان پرتقال مشاهده شد. علاوه بر این، بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص رشد نسبی (RGR) ($F = 21.54$; df = 10, 429; $P <$ 0.0001) حشره به ترتیب روی میزبان‌های پسته و زیتون بدست آمد (جدول ۴).

تجزیه کلاستر میزبان‌های مختلف بر مبنای فراسنجه‌های جدول زندگی و شاخص‌های تغذیه‌ای کرم گلوگاه انار

دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر میزبان‌های مختلف بر مبنای فراسنجه‌های جدول زندگی و شاخص‌های تغذیه‌ای *E. ceratoniae* پرورش یافته روی میزبان‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. میزبان‌های مختلف مورد بررسی در دو گروه اصلی A و B قرار گرفتند. گروه B شامل میزبان‌های انار و غذای مصنوعی می‌باشد. گروه A شامل دو زیر گروه A_1 و A_2 بود. میزبان‌های بادام، به، پرتقال، گردو، سیب و زیتون در زیرگروه A_1 و میزبان‌های خرما، انجیر و پسته در زیر گروه A_2 قرار گرفتند.

ویژگی‌های بیوشیمیایی میزبان‌های مختلف

در بین میزبان‌های مختلف از نظر غلظت متابولیت‌های بیوشیمیایی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار پروتئین کل مربوط به غذای مصنوعی و کم‌ترین مقدار آن در میزبان سیب بود ($F = 2280.19$; df = 10, 44; $P <$ 0.0001). بیش‌ترین غلظت کربوهیدرات مربوط به غذای مصنوعی و کم‌ترین مقدار آن در میزبان زیتون به‌دست آمد ($F = 3714.07$; df = 10, 44; $P < 0.0001$). هم‌چنین، بیش‌ترین مقدار ترکیبات فنل ($F = 1585.84$; df = 10, 44; $P < 0.0001$) و آنتوسیانین ($F = 1040.43$; df = 10, 44; $P < 0.0001$) در میزبان زیتون و کم‌ترین مقدار آنها در غذای مصنوعی مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۶ میزان همبستگی و ارتباط موجود بین برخی فراسنجه‌های زیستی و شاخص‌های تغذیه‌ای آفت با مقادیر ترکیبات بیوشیمیایی موجود در میزبان‌های مورد مطالعه را نشان می دهد. بر اساس نتایج، طول دوره رشدی آفت با مقادیر پروتئین وکربوهیدرات میزبان‌های مختلف همبستگی منفی نشان داد اما فراسنجه‌های باروری، R_0،

r، ECI ، ECD و RGR همبستگی مثبتی با مقادیر پروتئین وکربوهیدرات نشان دادند. هم‌چنین، طول دوره رشدی آفت با محتوای ترکیبات فنلی و آنتوسیانین میزبان‌های مختلف همبستگی مثبت نشان داد و به ویژه در رابطه با ترکیب فنل ارتباط معنی‌داربود. پارامترهای باروری، R_0، *r*، ECI ، ECD و RGR همبستگی منفی معنی‌داری با مقادیر محتوای ترکیبات فنلی و آنتوسیانین نشان دادند.

جدول ۵- برخی متابولیت‌های بیوشیمیایی (میانگین± خطای معیار) میزبان‌های مختلف

Table 5. Some biochemical characteristics (mean±SE) of various hosts

Host	Total protein content (mg/mL)	Carbohydrate content (mg/mL)	Total phenolic content (mg/mL)	Total anthocyanin content (mg/L)
Peanut	0.139 ± 0.001 d	230.67 ± 2.32 f	277.84 ± 4.36 e	184.18 ± 2.12 e
Apple	0.039 ± 0.000 h	245.33 ± 2.72 e	314.28 ± 2.64 d	239.59 ± 1.72 c
Artificial diet	0.22 ± 0.001 a	474.33 ± 1.90 a	85.08 ± 1.72 j	71.27 ± 0.42 i
Date	0.048 ± 0.000 g	453.67 ± 2.61 b	243.48 ± 1.50 g	143.17 ± 2.61 f
Fig	0.142 ± 0.000 d	269.67 ± 1.43 d	210.28 ± 2.14 h	120.50 ± 0.61 h
Olive	0.084 ± 0.000 f	92.33 ± 1.22 j	468.28 ± 2.32 a	293.49 ± 1.95 a
Orange	0.043 ± 0.001 gh	212.33 ± 3.09 g	335.08 ± 2.14 c	207.31 ± 2.85 d
Pistachio	0.191 ± 0.001 b	349.01 ± 1.93 c	217.88 ± 4.32 h	130.64 ± 2.03 g
Pomegranate	0.123 ± 0.000 e	102.23 ± 0.65 i	174.68 ± 1.41 i	176.83 ± 2.89 e
Quince	0.038 ± 0.001 h	192.01 ± 1.80 h	373.48 ± 2.06 b	266.91 ± 1.63 b
Walnut	0.182 ± 0.001 c	214.01 ± 1.43 g	257.48 ± 1.85 f	150.34 ± 2.33 f

Means followed by different letters in each column are significantly different (HSD; $P< 0.05$).

جدول ٦- ضریب همبستگی (r) بین برخی از فراسنجه‌های زیستی و شاخص‌های تغذیه‌ای کرم گلوگاه انار با برخی ترکیبات بیوشیمیایی میزبان‌های مختلف

Table 6. Correlation coefficients (r) of some life history parameters and nutritional indices of the carob moth with some biochemical traits of various hosts

Parameter	Total protein	Carbohydrate	Total phenolic	Anthocyanin
Development time	-0.510 (0.109)	-0.460 (0.155)	0.750 (0.008)	0.561 (0.072)
Fecundity	0.569 (0.068)	0.327 (0.327)	-0.833 (0.001)	-0.668 (0.025)
R_0	0.555 (0.076)	0.442 (0.173)	-0.850 (0.001)	-0.712 (0.014)
r	0.593 (0.055)	0.514 (0.106)	-0.843 (0.001)	-0.709 (0.015)
ECI	0.723 (0.012)	0.662 (0.026)	-0.865 (0.001)	-0.787 (0.004)
ECD	0.716 (0.013)	0.674 (0.023)	-0.863 (0.001)	-0.785 (0.004)
RGR	0.434 (0.182)	0.413 (0.207)	-0.673 (0.023)	-0.536 (0.089)

* Correlations were evaluated based on Pearson's correlation test ($P < 0.05$).
The number in parenthesis is *P* value.

بحث

روابط بین گیاه-گیاه‌خوار تحت تأثیر بیوشیمیایی و تغییر کیفیت گیاه میزبان قرار می‌گیرد که واکنش گیاه‌خوار به ترکیبات شیمیایی گیاه نقش مهمی در روابط متقابل بین آن‌ها دارد (War et al., 2012). نتایج به‌دست آمده از بررسی حاضر نشان می‌دهد که کرم گلوگاه انار قادر به تکمیل چرخه زندگی، بقاء و تولیدمثل روی همه میزبان‌های مورد مطالعه بود، ولی سرعت نشو و نمای آفت روی میزبان‌های مختلف تفاوت معنی‌داری داشت. در این تحقیق طول دوره پیش از بلوغ کرم گلوگاه روی میزبان‌های مختلف بین ۲۸/۸۳ تا ۴۶/۳۴ روز به‌دست آمد. براساس مطالعات متعدد انجام شده طول دوره مراحل مختلف زیستی کرم گلوگاه روی میزبان‌های مختلف متفاوت می‌باشد. در تحقیقی، فراسنجه‌های زیستی کرم گلوگاه روی چهار رژیم غذایی طبیعی مختلف شامل پسته، انار، انجیر و خرما بررسی شدند که طول دوره پیش از بلوغ این آفت روی این میزبان‌ها به ترتیب ۳۹/۰۸، ۳۴/۹۶، ۵۱/۵۹ و ۸۳/۶ روز به دست آمد (Norouzi et al., 2008). در مطالعه‌ای دیگر، طول دوره نابالغ این آفت روی چهار رژیم غذایی شامل پسته، انار، غذای نیمه مصنوعی و مصنوعی به ترتیب ۴۱/۳۸، ۳۴/۶۶، ۳۸/۹۶ و ۴۵/۶۱ روز گزارش شد (Mortazavi et al., 2015). هم‌چنین در پژوهشی، طول دوره نابالغ این آفت روی رژیم‌های غذایی مصنوعی، نیمه مصنوعی، خمیر انار و خمیر سیب به‌ترتیب ۲۸/۵۴، ۳۳/۵۳، ۶۰/۴۴ و ۳۸/۷۳ روز بیان شد (Abedi et al., 2019b). این یافته‌ها تا حدودی متفاوت از مقادیر به‌دست آمده در مطالعه حاضر بود. برخی تفاوت‌ها ممکن است مرتبط با تفاوت ژنتیکی جمعیت‌های کرم گلوگاه انار یا ناشی از تفاوت در شرایط و نوع آزمایش، نوع میزبان و رقم برای تغذیه این آفت باشد (Abedi et al., 2019a).

پژوهش حاضر وجود ارتباط بین خصوصیات بیوشیمیایی میزبان‌های مختلف با نرخ نشو و نما، فراسنجه‌های جدول زندگی و شاخص‌های تغذیه‌ای کرم گلوگاه را نشان می‌دهد. متابولیت‌های اولیه شامل نیتروژن، پروتئین و کربوهیدرات نقش مهمی در تغذیه و نشو و نمای حشرات گیاه‌خوار دارند، اما توجه کم‌تری به نقش متابولیت‌های ثانویه روی کارایی آفات شده است (Harvey, 2005; Ode, 2006; Golizadeh and Abedi, 2017). در این تحقیق، کم‌تر بودن محتوای ترکیبات ثانویه شامل ترکیبات فنل و آنتوسیانین در میزبان‌های انار و غذای مصنوعی می‌تواند فاکتور اساسی دخیل در کوتاه بودن طول دوره نشو و نمای کرم گلوگاه روی آن میزبان‌ها باشد. گیاهان مختلف به‌دلیل متفاوت بودن محتوای مواد مغذی و متابولیت‌های ثانویه در روابط متقابل گیاه و آفت مهم و جایگاه خاصی دارند (Posledovich et al., 2015). در این مطالعه مقدار متابولیت‌های بیوشیمیایی متغیر بود و باعث شد که فراسنجه‌های بیولوژیکی و تغذیه‌ای *E. ceratoniae* را تحت تاثیر قرار دهد. متابولیت‌های ثانویه گیاهان شامل ترکیبات فنل و آنتوسیانین‌ها از عوامل مهمی هستند که روی کمیت و کیفیت غذای مصرفی لاروهای کرم گلوگاه انار تأثیر گذاشت. تعدادی از متابولیت‌های بیوشیمیایی در گیاهان ویژگی‌های مختلفی چون خاصیت ضدتغذیه‌ای و بازدارندگی تغذیه، اختلال در هضم و جذب غذای حشرات دارند که منجر به کاهش بقا و باروری حشرات آفت و محافظت گیاهان می‌شوند (War et al., 2011, Nikooei et al., 2015). بنابراین، می‌توان چنین نتیجه گرفت که لاروها هنگام تغذیه روی میزبان غذای مصنوعی (به عنوان میزبان حساس)، شرایط تغذیه‌ای بهینه‌ای داشته‌اند. طول دوره نابالغ آفت نیز با مقدار ترکیبات ثانویه شامل فنل کل همبستگی مثبت معنی‌داری داشت و به نظر می‌رسد با افزایش مقدار ترکیبات ثانویه نشو و نمای آفت به کندی صورت گرفته و در نتیجه بر طول دوره رشدی آفت افزوده می‌شود و این نوع ارتباط هم در میزبان‌های بادام، به، پرتقال، سیب و زیتون مشاهده گردید. بافت‌های گیاهی ممکن است حاوی متابولیت‌های ثانویه دفاعی باشد که کارایی حشره گیاه‌خوار را در تغذیه از گیاه محدود می‌نماید (Coskun et al., 2005; Chen et al., 2009). تغذیه مناسب بسیار مهم بوده و تا حد زیادی نشو و نما و تولیدمثل گیاه‌خواران را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Scriber and Slansky, 1981).

نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) تعداد نتاجی که به ازای هر فرد در واحد روز به جمعیت اضافه می‌کند را بیان می‌نماید. کاهش و افزایش مقدار این فراسنجه روی یک گیاه میزبان می‌تواند نشانگر مقاومت و حساسیت آن گیاه در برابر تغذیه حشره آفت باشد (Southwood and Henderson, 2000). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به‌دلیل مقدار بالای نرخ ذاتی افزایش جمعیت حشره روی غذای مصنوعی در مقایسه با سایر میزبان‌های مورد آزمایش، این میزبان برای تغذیه حشره حساس‌تر می‌باشد. بنابراین کرم گلوگاه با تغذیه از غذای مصنوعی بیش‌ترین احتمال را برای افزایش جمعیت دارد و پایین بودن مقدار r روی میزبان‌های به، پرتقال، زیتون و سیب به‌طور عمده ناشی از باروری پایین، طولانی‌بودن دوره رشدی قبل از بلوغ و کوتاه بودن طول عمر حشره کامل ماده روی این میزبان‌ها می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که فراسنجه‌های نرخ خالص تولید مثل و نرخ ذاتی افزایش جمعیت کرم گلوگاه با ترکیبات ثانویه میزبان‌ها همبستگی منفی معنی‌داری داشت و به نظر می‌رسد با افزایش مقدار ترکیبات ثانویه سرعت رشد جمعیت آفت به کندی صورت گرفته است. در پژوهشی، با بررسی روابط بین ویژگی‌های زیست شناسی و تغذیه‌ای کرم گلوگاه با ترکیبات بیوشیمیایی ارقام مختلف انار نشان داده شد که تغییر در ویژگی‌های بیوشیمیایی ارقام انار به طور معنی‌داری سبب تغییر در نرخ ذاتی افزایش جمعیت حشره شد (Abedi et al., 2019a).

حشرات، آن دسته از میزبان‌های گیاهی را برای تغذیه ترجیح می‌دهند که برای رشد و تخم‌گذاری آن‌ها مناسب‌تر باشند (Li et al., 2004). از این‌رو، ارزیابی شاخص‌های تغذیه‌ای می‌تواند معیار مناسبی برای شناخت واکنش حشرات نسبت به تغذیه از میزبان‌های مختلف گیاهی باشد. تعیین شاخص‌های تغذیه‌ای نقش مهمی در درک فیزیولوژی تغذیه و اکولوژی حشرات ایفا می‌کنند (Scriber and Slansky, 1981). هم‌چنین، وزن بدن یکی از شاخص‌های مهم در دینامیسم جمعیت حشرات می‌باشد (Li et al., 2004). شاخص ECI نشانگر توانایی یک حشره برای استفاده از غذای مورد نیاز برای نشو و نما می‌باشد (Nathan et al., 2005). توانایی کم لاروها در تبدیل غذای خورده شده به زیست توده بدن، دلیل اصلی مقدار پایین شاخص ECI روی میزبان زیتون در تحقیق حاضر بود. مقدار پایین ECI روی میزبان مذکور می‌تواند با ترکیبات بیوشیمیایی آن نیز مرتبط باشد که ممکن است به دلیل محتوی نسبتا کم کربوهیدرات و مقدار بالای ترکیبات ثانویه در این میزبان باشد. هم‌چنین، از آنجایی که شاخص‌های ECI و ECD برای تعیین کیفیت میزبان گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Scriber and Slansky, 1981)، لذا پایین بودن مقدار آنها روی میزبان‌های زیتون و پرتقال می‌تواند معرف مکانیسم آنتی‌بیوزی و کیفیت نامناسب این میزبان‌ها در تغذیه کرم گلوگاه انار باشد. شاخص RGR به عنوان یک شاخص نشو و نما و زیست توده بدنی در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت و از آنجا که لاروهای پرورش یافته روی میزبان پسته بیش‌ترین مقدار RGR را داشت، می‌توان نتیجه گرفت که این لاروها توانایی بیش‌تری در تبدیل غذای خورده شده به زیست توده را دارا بودند. همچنین، بررسی ارتباط بین ECI ، ECD و RGR با ترکیبات ثانویه میزبان‌های مختلف نشان می‌دهد که همبستگی منفی معنی‌داری بین این فراسنجه‌های تغذیه‌ای با ترکیبات ثانویه وجود دارد. بدین معنی که با افزایش مقدار ترکیبات ثانویه در میزبان‌های مختلف توانایی لاروها در تبدیل غذای خورده شده به زیست توده بدنی کم‌تر می‌شود. نوع و میزان عناصر غذایی گیاه، ترکیبات شیمیایی ثانویه گیاه و توانایی هضم و جذب غذای خورده شده توسط حشره از جمله عواملی هستند که مطلوبیت گیاه میزبان را برای تغذیه، نشو و نما و ایجاد جمعیت نسل بعد توسط حشره‌ی آفت تحت تأثیر قرار می‌دهند (Scriber and Slansky, 1981). مطالعات نشان داده است که وقتی کیفیت غذا تغییر می‌یابد، میزان نشو و نمای حشرات نیز به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. لذا نوع و مقدار غذای خورده شده توسط حشره و

کارایی تبدیل آن به زیست توده بدن از جمله عوامل تعیین کننده در نشو و نمای حشرات می‌باشند (Browne and Raubenheimer, 2003; Martin and Pulin, 2004).

به منظور گروه‌بندی میزبان‌های مختلف از تجزیه کلاستر استفاده شد (Abedi et al., 2019a). نتایج دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر میزبان‌های مختلف بر مبنای فراسنجه‌های پارامترهای جدول زندگی و شاخص‌های تغذیه‌ای کرم گلوگاه پرورش یافته روی میزبان‌های مختلف نشان می‌دهد که میزبان‌ها در دو گروه اصلی A و B قرار گرفتند. گروه B شامل میزبان‌های انار و غذای مصنوعی بود که به عنوان میزبان‌های نسبتا حساس و مناسب برای نشو و نما کرم گلوگاه شناخته شد. گروه A شامل دو زیر گروه A_1 و A_2 بود. زیرگروه A_2 شامل میزبان‌های خرما، انجیر و پسته بود که به عنوان میزبان‌های نیمه حساس معرفی شدند که خصوصیات بیوشیمیایی مشابهی داشتند. بقیه میزبان‌ها در زیرگروه A_1 قرار گرفتند که شامل میزبان‌های بادام، به، پرتقال، گردو، سیب و زیتون بود و به عنوان میزبان‌های نسبتا مقاوم برای نشو و نما کرم گلوگاه معرفی شدند.

نتیجه‌گیری نهایی

میزبان‌های مختلف گیاه به دلیل داشتن ویژگی‌های بیوشیمیایی متفاوت روی مقاومت یا حساسیت گیاه به حشرات آفت نقش دارند و کمک شایانی به درک مناسب دینامیسم جمعیت و ارتباط گیاه–گیاه‌خوار می‌کند. نتایج این تحقیق نشان داد که ویژگی‌های زیستی و تغذیه‌ای کرم گلوگاه انار با ترکیبات بیوشیمیایی میزبان‌ها دارای همبستگی مثبت یا منفی معنی‌دار بود. نتایج تجزیه کلاستر نشان داد که میزبان‌های انار و غذای مصنوعی نسبت به میزبان‌های دیگر برای نشو و نما و تولیدمثل کرم گلوگاه مناسب‌تر می‌باشد. هم‌چنین، این مطالعه به منظور تعیین رژیم غذایی بهینه جهت پرورش انبوه این حشره در راستای انجام کارآمد طرح‌های کنترل بیولوژیک حشرات می‌تواند مفید باشد.

سپاس‌گزاری

این تحقیق در گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه محقق اردبیلی به انجام رسیده که بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه قدردانی می‌شود.

REFERENCES

Abedi, Z., Golizadeh, A., Soufbaf, M., Hassanpour, M., Jafari-Nodoushan, A., and Akhavan, H.R. 2019(a). Relationship between performance of carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) and phytochemical metabolites in various pomegranate cultivars. Frontiers in Physiology, 10: 1425-1440.

Abedi, Z., Soufbaf, M., Golizadeh, A., and Hassanpour, M. 2019(b). Evaluation of natural, semi-artificial and artificial diets on mass rearing of carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 42(3): 87-98 (In Farsi with English Abstract).

Alrubeai, H.F. 1987. Growth and development of *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae). Journal of Stored Products Research, 23: 133-135.

Bemani, M., Izadi, H., Mahdian, K., Khani, A., and Samih, M.A. 2012. Study on the physiology of diapause, cold hardiness and supercooling point of overwintering pupae of the pistachio fruit hull borer. *Arimania comaroffi*. Journal of Insect Physiology, 58: 897-902.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248-254.

Browne, B.L., and Raubenheimer, D. 2003. Ontogenetic changes in the rate of ingestion and estimates of food consumption in fourth and fifth instar *Helicoverpa armigera* caterpillars. Journal of Insect Physiology, 49: 63-71.

Chen, Y., Ni, X., and Buntin, G.D. 2009. Physiological, nutritional, and biochemical bases of corn resistance to foliage-feeding fall armyworm. Journal of Chemical Ecology, 35: 297-306.

Chi, H. 2020. TWOSEX-MSChart: A Computer Program for the Age-Stage, Two- Sex Life Table Analysis. https://140.120.197.173/ecology/prod02.htm.

Coskun, M., Ozalp, P., Sulanc, M., and Emre, I. 2005. Effects of various diets on the oviposition and sex ratio of *Pimpla turionellae* L. International Journal of Agriculture and Biology, 7: 129-132.

Dent, D. 2000. Host plant resistance. CABI Publishing, U.K.

Golizadeh, A., and Abedi, Z. 2017. Feeding performance and life table parameters of Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on various barley cultivars. Bulletin of Entomological Research, 14: 1-10.

Harvey, J.A. 2005. Factors affecting the evolution of development strategies in parasitoid wasps: the importance of functional constraints and incorporating complexity. Entomologia Experimentalis et Applicata, 117: 1-13.

Kishani-Farahani, H., Goldansaz, S.H., and Sabahi, Q. 2012. A survey on the overwintering larval parasitoids of *Ectomyelois ceratoniae* in three regions in Iran. Crop Protection, 36: 52-57.

Lewis, W.J., Van Lenteren, J.C., and Phatak, S.C. 1997. A total system approach to sustainable pest management. Proceedings of the National Academy of Sciences, 94: 12243-12248.

Li, Y., Hill, C.B., and Hartman, G.L. 2004. Effect of three resistant soybean genotypes on the fecundity, mortality, and maturation of soybean aphid (Homoptera: Aphididae). Journal of Economic Entomology, 97: 1106-1111.

Martin, L.A., and Pulin, A.S. 2004. Host-plant specialization and habitat restriction in an endangered insect, *Lycaena dispar* (Lepidoptera: Lycaenidae) larval feeding and oviposition preferences. European Journal of Entomology, 101: 51-56.

Mediouni, J., and Dhouibi, M.H. 2007. Mass-rearing and field performance of irradiated carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* in Tunisia. In M.J.B. Vreysen, A.S. Robinson J. Hendrich (eds.). Area-Wide Control of Insect Pest, pp: 265. 273.

Mortazavi, S., Samih, M.A., Ghajarieh, H., and Jafari, A. 2015. Effect of some diets on demographic parameters of *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) in vitro. Journal of Plant Protection Research, 55: 212-219.

Nathan, S.S., Chung, P.G., and Murugan, K. 2005. Effect of biopesticides applied separately or together on nutritional indices of the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. Phytoparasitica, 33: 187-195.

Navarro, S., Donahaye, E., and Calderon, M. 1986. Development of the carob moth, *Spectrobates ceratoniae*, on stored almonds. Phytoparasitica, 14: 177-186.

Nikooei, M., Fathipour, Y., Jalali Javaran, M., and Soufbaf, M. 2015. How different genetically manipulated Brassica genotypes affect life table parameters of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Journal of Economic Entomology, 108: 515-524.

Norouzi, A., Talebi, A., and Fathipour, A.Y. 2008. Development and demographic parameters of the Carob moth *Apomyelois ceratoniae* on four diet regimes. Bulletin of Insectology, 61: 291-297.

Ode, P.J. 2006. Plant chemistry and natural enemy fitness: effects on herbivore and natural enemy interactions. Annual of Review Entomology, 51: 163-185.

Pezhman, H., and Saeidi, K. 2018. Evaluation of light traps, pheromone traps and light–pheromone traps for mass trapping of *Ectomyelois ceratoniae* (Lepdoptera: Pyralidae) and determination the best pheromone traps density to decrease the pest damage in a pomegranate orchard. Iranian Journal of Entomological Research, 10: 13-28.

Posledovich, D., Toftegaard, Wiklund, T.C., Ehrlén, J., and Gotthard, K. 2015. The developmental race between maturing host plants and their butterfly herbivore, the influence of phenological matching and temperature. Journal of Animal Ecology, 84: 1690-1699.

Price, P.W., Bouton, C.E., Gross, P., McPheron, B.A., Thompson, J.N., and Weis, A.E. 1980. Interactions among threetrophic levels: influence of plant on interactions between insect herbivores and natural enemies. Annual Review of Ecology and Systematics, 11: 41-65.

Ramzi, S., Sahragard, A., Sendi, J.J., and Aalami, A. 2013. Effects of an extracted lectin from *Citrullus colocynthis* L. (Cucurbitaceae) on survival, digestion and energy reserves of *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (lepidoptera: Pyralidae). Frontiers in Physiology, 12: 328.

Sarfraz M., Dosdall, L.M., and Keddie, B.A. 2006. Diamondback moth-host plant interactions: Implications for pest management. Crop Protection, 25: 625-636.

Scriber, J.M., and Slansky, F. 1981. The nutritional ecology of immature insects. Annual Review of Entomology, 26: 183-211.

Shakeri, M. 2004. A review on investigations on pomegranate neck worm in Iran, in a proceeding on evaluation of finding and current problems associated with *Spectrobates Ceratoniae* management in pomegranate. Ministry of Jihad-e- Agriculture, Tehran. (In Farsi).

Sobhani, M., Goldansaz, S.H., Hatami, B., and Hosseini, S.A. 2015. A field screening of pomegranate cultivars for resistance to the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae*, and compatibility with its larval parasitoids. International Journal of Pest Management, 61: 346-352.

Southwood, T.R.E., and Henderson, P.A. 2000. Ecological methods. 3th edition. Blackwell Sciences, Oxford.

SPSS, computer software. 2007. SPSS base 16.0 user's guide. SPSS Incorporation, Chicago, IL.

Tezcan, F., Gültekin-Özgüven, M., Diken, T., Özçelik, B., and Erim, F. B. 2009. Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. Food Chemistry, 115: 873-877.

Waldbauer, G.P. 1968. The consumption and utilization of food by insects. Advances in Insect Physiology, 5: 229-288.

War, A.R., Paulraj, M.G., Ahmad, T., Buhroo, A.A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., and Sharma, H.Ch. 2012. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. Plant Signaling Behavior, 7: 1306-1320.

War, A.R., Paulraj, M.G., War, M.Y., and Ignacimuthu, S. 2011. Differential defensive response of groundnut to *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Plant Interactions, 6: 1-11.

Warner, R.L., Barnes, M.M., Laird, E.F., and Lanham, M.D. 1990. Chemical control of carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae), and various nitidulid beetles (Coleoptera) on 'Deglet Noor' dates in California. Journal of Economic Entomology, 83: 2357-2361.

Wrolstad, R.E., Durst, R.W., and Lee, J. 2005. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. Trends in Food Science and Techology, 16: 423-428.

Zare, D., Sendi, J.J., Jafary Nodoushan, A., and Khosravi, A. 2013. Life table parameters and biological characteristics of *Apomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) on three cultivars of pomegranate. Archive and Phytopathology and Plant Protection, 46: 766-773.

© 2021 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International. (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Investigation of relationship between biological and feeding traits of the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lep.: Pyralidae), with some biochemical compounds of various hosts

A. Golizadeh[1*] and Z. Abedi[2]

1. ***Corresponding Author:** Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources**,** University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (golizadeh@uma.ac.ir)
2. Ph.D. of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(DOI): 10.22055/ppr.2021.16936

Received: 14 May 2021 Accepted: 10 July 2021

Abstract

Background and Objectives

The carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lep.: Pyralidae), is a polyphagous and destructive pest that causes considerable damage to various crops worldwide both before and after harvest. Host plant resistance is a critical component of integrated pest management and can be beneficial when used in conjunction with biological and chemical pest control approaches. The host type has a substantial effect on the biological characteristics and population growth parameters of *E. ceratoniae*. The purpose of this contribution is to evaluate the impact of eleven hosts, including peanut, apple, date, fig, olive, orange, pistachio, pomegranate, quince, and walnut, on the life history and nutritional indices of this pest.

Materials and Methods

The carob moth larvae were reared on each plant host in a growth room set at 30 ± 1 °C, 60 ± 5 % RH, plus a 14:10 (L:D) hour photoperiod. Daily observations and records were made of the duration of each stage, developmental period, and survival rate. TWO SEX-MSChart was used to evaluate the raw data based on the age-stage two-sex life table. Additionally, hosts' phytochemical metabolites were measured using a spectrophotometer. Correlations between demographic factors and nutritional properties with biochemical features of various hosts were then estimated.

Results

The results indicated that various hosts substantially affected *E. ceratoniae's* demographic characteristics and nutritional indices. On walnut and artificial diets, the immature development period was the longest and shortest, respectively. Additionally, the intrinsic rate of increase (r) of *E. ceratoniae* was lowest on quince, orange, apple, olive, and highest on an artificial diet. Compared to larvae fed on other hosts, larvae reared on an artificial diet had the highest efficiency of conversion of ingested food (ECI) and efficiency of conversion of digested food (ECD). Furthermore, larvae-fed pistachio had a greater relative growth rate (RGR) than other tested hosts. The cluster analysis findings revealed that pomegranate and artificial diet treatments were relatively vulnerable hosts, whereas quince, orange, apple, and olive were the least suitable (most resistant) hosts for *E. ceratoniae* feeding. Significant variations in biochemical metabolites were observed between the various hosts in this study. Moreover, significant positive or negative associations between life history variables and nutritional indices plus biochemical features of various hosts were found. A significant negative correlation

was observed between total phenolic content and total anthocyanin content of different hosts and *E. ceratoniae* fecundity, net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r), the efficiency of conversion of ingested food (ECI), and relative growth rate (RGR).

Discussion

The findings may provide essential information for a better understanding of plant-herbivore interactions, which may aid in the development of effective integrated pest management (IPM) strategies for *E. ceratoniae* control.

Keywords: diets, demography, feeding response, phytochemical metabolites