



اثر کودهای آلی و معدنی بر شاخص‌های زیستی و جمعیتی مینوز برگ گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* و ویژگی‌های بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی

عسگر عباداللهی^{۱*}<https://orcid.org/0000-0003-3276-1608>فروغ افشاری^۲<https://orcid.org/0000-0003-1944-6419>

۱- گروه علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، ۲- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده: مدیریت تغذیه گیاه می‌تواند از طریق تغییر ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه میزبان بر عملکرد زیستی و پویایی جمعیت حشرات آفت تأثیرگذار باشد. در پژوهش حاضر، اثر منابع مختلف کودی شامل هیومیک‌اسید، ورمی‌کمپوست، کود دامی، نیتروژن و NPK بر ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های جدول زندگی مینوز برگ گوجه‌فرنگی (*Tuta absoluta* (Meyrick) و همچنین برخی شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه گوجه‌فرنگی بررسی شد. نتایج نشان داد که نوع کود مصرفی تأثیر معنی‌داری بر رشد، زنده‌مانی، تولیدمثل و فراسنجه‌های جمعیتی *T. absoluta* داشته است. بیشترین طول دوره لاروی و پیش از بلوغ و کمترین زنده‌مانی مراحل نابالغ در تیمارهای هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست مشاهده شد. همچنین، کمترین میزان باروری (۲۸۰ تخم)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0) (۷۹/۳۵ نتاج) و نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) (۰/۱۰۱ بر روز) در تیمار هیومیک‌اسید ثبت شد، در حالی که بیشترین مقادیر این شاخص‌ها در تیمار نیتروژن مشاهده شد (به ترتیب ۳۶۳/۰۳ تخم، ۲۱۷/۸۲ نتاج و ۰/۱۴۶ بر روز). تیمارهای هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست موجب افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، فنل کل و فلاونوئید کل برگ‌های گوجه‌فرنگی شدند و افزایش این شاخص‌های بیوشیمیایی با افزایش طول دوره رشد و کاهش شاخص‌های رشد جمعیت آفت همراه بود. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که تیمارهای هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست بیشترین ظرفیت را برای کاهش رشد جمعیت *T. absoluta* دارند و می‌توانند در مدیریت تلفیقی این آفت مورد توجه قرار گیرند.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۵/۳/۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۵/۴/۲۲

واژه‌های کلیدی: جدول زندگی، مینوز گوجه‌فرنگی، ورمی‌کمپوست، هیومیک‌اسید، NPK

Citation: Ebadollahi, A. & Afshari, F. (2026). Effects of organic and inorganic fertilizers on the biological and demographic parameters of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* and the biochemical traits of tomato plants. *Plant Pest Research*, 16(2), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.22124/iprj.2026.33881.1698>



*Corresponding author: ebadollahi@uma.ac.ir

مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Solanum lycopersicum* L. یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین محصولات سبزی و صیفی در جهان است که به دلیل ارزش غذایی بالا، نقش مهمی در تأمین ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مورد نیاز انسان ایفا می‌کند (Ali et al., 2020). تولید سالانه گوجه‌فرنگی در جهان حدود ۱۹۲ میلیون تن است که بخش عمده آن در آسیا تولید می‌شود؛ ایران نیز با تولید حدود ۳/۳ میلیون تن در سال، در میان ۱۵ تولیدکننده برتر جهان و از تولیدکنندگان مهم قاره آسیا به شمار می‌رود (FAOSTAT, 2023). با توجه به ضرورت بهبود عملکرد و کیفیت تولید این محصول، مدیریت مناسب تغذیه و حفظ سلامت گیاه از عوامل کلیدی در تولید پایدار آن به شمار می‌روند. در میان عوامل محدودکننده تولید گوجه‌فرنگی، مینوز برگ گوجه‌فرنگی، *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)، به عنوان یکی از مخرب‌ترین آفات این محصول شناخته می‌شود (Biondi et al., 2018). این آفت که منشأ آن آمریکای جنوبی است، در دو دهه اخیر به سرعت در مناطق مختلف جهان از جمله اروپا، آفریقا، خاورمیانه و آسیا گسترش یافته و به یکی از مهم‌ترین تهدیدهای تولید گوجه‌فرنگی تبدیل شده است (Campos et al., 2017; Santana et al., 2019; EPPO, 2024). در ایران نیز این آفت از سال ۱۳۹۰ شناسایی شده و امروزه در اغلب مناطق تولید گوجه‌فرنگی خسارت قابل توجهی ایجاد می‌کند (Baniameri & Cheraghian, 2012). لاروهای این حشره با تغذیه از برگ‌ها، ساقه‌ها، گل‌ها و میوه‌ها سبب کاهش شدید عملکرد شده و در شرایط طغیانی می‌توانند ۸۰ تا ۱۰۰ درصد خسارت وارد کنند (Desneux et al., 2010). در سال‌های اخیر، کنترل شیمیایی مهم‌ترین روش مدیریت *T. absoluta* بوده است. با این حال، مصرف مکرر حشره‌کش‌ها موجب بروز مشکلات متعددی از جمله ایجاد مقاومت در جمعیت‌های آفت، آلودگی محیط زیست، کاهش جمعیت دشمنان طبیعی و مخاطرات بهداشتی برای انسان شده است (Rani et al., 2021; Overton et al., 2021).

تأمین متعادل عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طریق کاربرد کودهای آلی و معدنی، علاوه بر افزایش رشد و عملکرد، می‌تواند بر مقاومت گیاه در برابر عوامل خسارت‌زا نیز اثرگذار باشد (Gudeta et al., 2022; da Silva et al., 2023). کیفیت گیاه میزبان یکی از عوامل مؤثر بر رشد، زنده‌مانی، تولیدمثل و پویایی جمعیت حشرات گیاهخوار محسوب می‌شود (Jones et al., 2022; Mostafa et al., 2022). ویژگی‌های ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و شیمیایی گیاهان تحت تأثیر شرایط تغذیه‌ای قرار گرفته و می‌توانند بر رفتار تغذیه‌ای، رشد و سازگاری زیستی آفات اثر بگذارند (Rehman et al., 2023). از دیدگاه اکولوژی حشرات، تغییر در وضعیت عناصر غذایی گیاه از طریق مکانیسم‌های پایین به بالا (Bottom-up effects) قادر است کیفیت تغذیه‌ای میزبان و همچنین سامانه‌های دفاعی شیمیایی و فیزیکی آن را تغییر دهد و در نتیجه بر فراسنجه‌های زیستی و جمعیتی حشرات تأثیرگذار باشد (Rehman et al., 2023). به همین دلیل، بررسی واکنش آفات به گیاهانی که تحت رژیم‌های مختلف کوددهی رشد یافته‌اند، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای طراحی برنامه‌های مدیریت پایدار آفات فراهم کند.

کودها از مهم‌ترین نهاده‌های کشاورزی در افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود رشد گیاهان به شمار می‌روند (Bhunja et al., 2021). امروزه علاوه بر کودهای شیمیایی نظیر نیتروژن، کود دامی و کودهای کامل NPK، استفاده از کودهای آلی و زیستی از جمله ورمی‌کمپوست و هیومیک‌اسید به دلیل نقش آنها در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، افزایش ماده آلی و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی مورد توجه قرار گرفته است (Gudeta et al., 2022; da Silva et al., 2023). پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که نوع و میزان کود مصرفی می‌تواند از طریق تغییر کیفیت غذایی و وضعیت دفاعی گیاه، بر تراکم و عملکرد زیستی آفات تأثیر بگذارد (Tripathi et al., 2022)؛ به‌طوری‌که گیاهان رشدیافته در بسترهای غنی از مواد آلی در بسیاری از موارد مقاومت بیشتری در برابر آفات و بیماری‌ها نسبت به گیاهان تغذیه‌شده با کودهای شیمیایی نشان داده‌اند (Silva & Canellas, 2022). پژوهش‌های پیشین نیز بیانگر تأثیر معنی‌دار کودهای آلی بر حشرات گیاهخوار بوده است. به عنوان مثال، گزارش شده است که کاربرد هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست در کشت گوجه‌فرنگی موجب کاهش جمعیت *T. absoluta* و

بهبود شاخص‌های رشد گیاه شده است (Mohammadi et al., 2016). همچنین، متقی‌نیا و رزمجو (۱۳۹۷) نشان دادند که کاربرد برخی کودهای آلی در بستر کشت سیب‌زمینی، ویژگی‌های زیستی بید سیب‌زمینی *Phthorimaea operculella* Zeller را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد (Mottaghinia & Razmjou, 2018). اگرچه پژوهش‌های متعددی به بررسی تأثیر کودهای آلی و معدنی بر رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی یا تغییرات جمعیتی برخی آفات گیاهی پرداخته‌اند، اطلاعات موجود درباره اثر مقایسه‌ای منابع مختلف کودی بر ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های جدول زندگی *T. absoluta* همچنان محدود است. بیشتر پژوهش‌های پیشین بر ارزیابی جداگانه یک یا دو نوع کود متمرکز بوده‌اند و کمتر به مقایسه همزمان کودهای آلی و معدنی با سازوکارهای تغذیه‌ای متفاوت پرداخته‌اند. پژوهش حاضر به ارزیابی جامع و مقایسه‌ای اثر کودهای هیومیک‌اسید، ورمی‌کمپوست، کود دامی، نیتروژن و NPK بر ویژگی‌های زیستی و شاخص‌های جمعیتی *T. absoluta* در یک بستر آزمایشی واحد پرداخته است. این پژوهش با بررسی همزمان پاسخ آفت به تغییرات کیفیت میزبان ناشی از منابع مختلف کودی، درک دقیق‌تری از نقش مدیریت تغذیه گیاه در تعدیل پویایی جمعیت آفت فراهم می‌کند و می‌تواند در توسعه راهکارهای تغذیه‌ای سازگار با اصول مدیریت خسارت *T. absoluta* موثر باشد.

مواد و روش‌ها کشت گیاه میزبان

بذرهای گوجه‌فرنگی رقم اوپرون (گوجه گیلایی)، ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در دستمال مرطوب قرار گرفتند تا فرآیند جوانه‌زنی تسهیل شود. سپس بذرهای در سینی‌های کشت کاشته شدند. پس از ظهور حداقل یک برگ حقیقی، نشاها به گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۹ و ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر، حاوی خاک مزرعه، منتقل شدند. گیاهان تا زمان اجرای آزمایش در شرایط گلخانه‌ای با دمای ۲۵ تا ۲۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵۰ تا ۶۰ درصد و نور طبیعی نگهداری شدند. ارزیابی‌ها و آزمایش‌های مورد نظر پنج هفته پس از انتقال نشاها به گلدان انجام گرفت.

تهیه کودهای مورد نیاز

در این مطالعه، کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن از شرکت پشتیبانی و خدمات کشاورزان اردبیل، کود هیومیک‌اسید (حاوی ۷۰ تا ۸۰ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک) از شرکت پارس هیومیک، کود NPK با فرمول ۲۰-۲۰-۲۰ از شرکت سپاهان رویش اصفهان، کود ورمی‌کمپوست (حاوی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، ویتامین B12 و اکسین) از شرکت انوشه آراب و کود دامی گاوی از دامداران محلی تهیه و در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

تیمارهای مورد استفاده

تیمارهای آزمایشی شامل پنج سطح تغذیه‌ای کود دامی، نیتروژن، هیومیک‌اسید، NPK، ورمی‌کمپوست و تیمار شاهد (بدون مصرف کود) بودند. کود دامی به میزان ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار (۵۰ درصد کود دامی و ۵۰ درصد خاک لومی-رسی با اسیدیته ۷/۱)، کود اوره، هیومیک‌اسید و کود NPK به میزان دوز توصیه‌شده مزرعه‌ای با در نظر گرفتن وزن خاک (به ترتیب ۲۰۰، ۲۰۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار) مصرف شدند. در تیمار ورمی‌کمپوست، بستر کشت از مخلوط ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست و ۷۰ درصد خاک تهیه شد. به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت و فراهم شدن امکان آزادسازی تدریجی عناصر غذایی، کود دامی و ورمی‌کمپوست پیش از کاشت با خاک به‌طور کامل مخلوط شده و سپس گلدان‌ها در گلخانه با این مخلوط پر شدند. در مقابل، کودهای نیتروژن، هیومیک‌اسید و NPK به‌دلیل قابلیت انحلال و جذب سریع‌تر، دو هفته پس از انتقال نشاها از سینی کشت به گلدان، همراه با آب آبیاری به خاک استفاده شدند. تیمار شاهد نیز بدون دریافت هیچ‌گونه کود یا ماده اصلاح‌کننده در نظر گرفته شد.

پرورش حشره آفت

جمعیت آزمایشگاهی مینوز برگ گوجه‌فرنگی با استفاده از تخم‌های جمع‌آوری‌شده از یک گلخانه تجاری سیب‌زمینی در اردیبهشت پرورش داده شد. تخم‌های جمع‌آوری‌شده به همراه بوته‌های گوجه‌فرنگی در اتاقک رشد با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی مجهز به محفظه توری نگهداری شدند. برای پرورش آفت تا مرحله بلوغ، از گیاه گوجه‌فرنگی رقم کاسپین به‌عنوان میزبان استفاده شد. برای تداوم و حفظ جمعیت آفت، گیاهان سالم به‌طور مستمر با گیاهان آلوده جایگزین شدند. پیش از اجرای آزمایش‌ها، جمعیت *T. absoluta* به مدت حداقل سه نسل متوالی روی هر یک از تیمارهای مورد بررسی به‌صورت جداگانه پرورش داده شد تا حشرات با شرایط هر تیمار سازگار شوند.

ارزیابی دوره نشو و نما و میزان زنده‌مانی مینوز برگ گوجه‌فرنگی

به‌منظور بررسی تأثیر انواع کودهای ورمی کمپوست، هیومیک‌اسید، نیتروژن، کود دامی، NPK و شاهد بر نشو و نما و میزان زنده‌مانی *T. absoluta*، آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شدند. تمام ارزیابی‌ها در اتاقک رشد با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام گرفت. برای هر تیمار کودی، گیاهان گوجه‌فرنگی در قفس‌های پلاستیکی شفاف به ابعاد $20 \times 20 \times 30$ سانتی‌متر، مجهز به درب توری به‌منظور تأمین تهویه مناسب، قرار داده شدند. سپس ۱۰ جفت حشره بالغ *T. absoluta* به مدت ۲۴ ساعت در هر قفس رهاسازی شدند تا تخم‌گذاری انجام شود. این مرحله با هدف تولید جمعیتی از تخم‌های هم‌سن برای انجام آزمایش‌های زیستی طراحی شد. پس از پایان دوره تخم‌گذاری، تخم‌های تازه با استفاده از قلم‌موی ظریف از سطح برگ‌ها جمع‌آوری شده و هر تخم به‌صورت مجزا روی یک برگ جداشده گوجه‌فرنگی به‌صورت جداگانه از هر تیمار قرار گرفت. به‌منظور حفظ شادابی برگ‌ها، دمبرگ آن‌ها در پنبه مرطوب قرار داده شد. هر واحد آزمایشی درون یک جعبه پلاستیکی به ابعاد $8 \times 6 \times 5$ سانتی‌متر با درب توری برای تأمین گردش مناسب هوا نگهداری شد و سپس به اتاقک رشد منتقل شد. برای هر تیمار کودی، ۶۰ تخم مورد بررسی قرار گرفت. تخم‌ها به‌صورت روزانه از نظر مدت زمان رشد جنینی و درصد تفریخ پایش شدند. پس از خروج لاروها، تغذیه آن‌ها با برگ‌های تازه گوجه‌فرنگی انجام گرفت و نشو و نما و زمان روزانه شامل طول مراحل لاروی و میزان زنده‌مانی لاروها ثبت شد. همچنین شفییره‌ها تا زمان ظهور حشرات کامل به‌صورت روزانه بررسی شدند و طول دوره شفیرگی و درصد خروج حشرات بالغ تعیین شد.

ارزیابی طول عمر و فراسنجه‌های تولیدمثلی حشرات کامل مینوز برگ گوجه‌فرنگی

به‌منظور بررسی طول عمر و فراسنجه‌های تولیدمثلی، حشرات کامل تازه ظاهرشده هر تیمار به‌صورت یک جفت نر و ماده در ظروف پلاستیکی شفاف جداگانه با ابعاد $8 \times 6 \times 5$ سانتی‌متر قرار داده شدند. دهانه ظروف با پارچه توری پوشانده شد تا ضمن جلوگیری از فرار حشرات، تهویه مناسب نیز فراهم شود. برای فراهم کردن بستر مناسب تخم‌گذاری، برگ‌های تازه گوجه‌فرنگی درون هر ظرف قرار داده شد و دمبرگ آن‌ها در پنبه مرطوب نگهداری شد تا تازگی برگ‌ها حفظ شود. همچنین، به‌عنوان منبع غذایی حشرات کامل، یک قطعه پنبه آغشته به محلول ۱۰ درصد شکر در هر ظرف قرار داده شدند. ظروف آزمایشی به‌صورت روزانه بررسی شدند و تعداد تخم‌های گذاشته‌شده توسط هر حشره ماده ثبت شد. این پایش تا مرگ آخرین حشره کامل در هر واحد آزمایشی ادامه یافت. بر اساس داده‌های حاصل، شاخص‌های زیستی شامل طول عمر حشرات کامل، باروری (تعداد کل تخم‌های تولیدشده توسط هر ماده)، دوره پیش از تخم‌گذاری و دوره تخم‌گذاری *T. absoluta* تعیین و ارزیابی شدند.

اندازه‌گیری ارتفاع گیاه و ارزیابی ویژگی‌های بیوشیمیایی برگ گوجه‌فرنگی

به‌منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف کودی شامل ورمی کمپوست، هیومیک‌اسید، اوره، کود دامی و کود NPK، در کنار تیمار شاهد، بر رشد و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه، ارتفاع بوته و تعدادی از متابولیت‌های ثانویه برگ‌های گوجه‌فرنگی اندازه‌گیری شدند. شاخص‌های بیوشیمیایی مورد ارزیابی شامل محتوای فنل کل (TPC)، محتوای فلاونوئید کل (TFC)، میزان کاروتنوئیدها و محتوای کلروفیل برگ بودند. نمونه‌برداری از برگ‌ها پنج هفته پس از کشت و در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی گیاهان

انجام شد. سپس اندازه‌گیری‌های مربوط به صفات بیوشیمیایی در آزمایشگاه صورت گرفت. تمام ارزیابی‌ها در سه تکرار انجام شدند.

برای تعیین محتوای فنل کل، از هر تیمار یک گرم بافت تازه برگ گوجه‌فرنگی در ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد در حمام یخ همگن‌سازی شد. سپس عصاره حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و محلول صاف‌شده به مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و با سرعت $4317 \times g$ سانتریفیوژ شد. پس از جداسازی محلول رویی، 0.2 میلی‌لیتر از آن با $2/5$ میلی‌لیتر معرف فولین‌سیکالتو (رقیق‌شده به نسبت ۱:۱۰) و 0.2 میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم $7/5$ درصد مخلوط شد. مخلوط واکنش به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس نگهداری شد و سپس میزان جذب آن در طول موج 760 نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis مدل JENWAY 6705 (Cole-Parmer, UK) اندازه‌گیری شد. محتوای فنل کل بر اساس منحنی استاندارد اسید گالیک محاسبه و نتایج به صورت میلی‌گرم معادل اسید گالیک در کیلوگرم وزن تر نمونه گزارش شد (Ismail et al., 2010).

برای تعیین محتوای فلاونوئید کل، یک گرم از بافت تازه برگ گوجه‌فرنگی در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول همگن‌سازی شد و عصاره حاصل پس از عبور از کاغذ صافی جمع‌آوری شد. سپس 375 میکرولیتر از عصاره با 225 میکرولیتر محلول ۵ درصد نیتريت سدیم ($NaNO_2$) مخلوط شد. پس از ۵ دقیقه، 450 میکرولیتر محلول ۱۰ درصد کلرید آلومینیوم ($AlCl_3$) به مخلوط افزوده شد و واکنش به مدت ۶ دقیقه ادامه یافت. در مرحله بعد، $1/5$ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم ۱ مولار ($NaOH$) به نمونه اضافه شد. پس از تکمیل واکنش، جذب محلول در طول موج 510 نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis مدل JENWAY 6705 (Cole-Parmer, UK) اندازه‌گیری شد. محتوای فلاونوئید کل بر اساس منحنی استاندارد کوئرستین محاسبه و نتایج به صورت میلی‌گرم معادل کوئرستین در گرم وزن تر نمونه بیان شد (Zhishen et al., 1999).

به‌منظور اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی، 0.1 گرم از بافت تازه برگ گوجه‌فرنگی در هاون چینی آسیاب شد و هم‌زمان ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه افزوده شد تا استخراج رنگیزه‌ها انجام شود. سپس عصاره حاصل به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت 6000 دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویی به‌دست‌آمده برای اندازه‌گیری‌های اسپکتروفتومتری مورد استفاده قرار گرفت (Arnon, 1949). جذب نوری عصاره در طول موج‌های 645 و 663 نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis مدل JENWAY 6705 (Cole-Parmer, UK) اندازه‌گیری شد. مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و محتوای کاروتنوئیدها بر اساس معادله‌های ارائه‌شده توسط آرنون (Arnon, 1949) ارزیابی شدند:

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a (mg/g)} &= 12.7 (A663) - 2.69 (A645) \\ \text{Chlorophyll b (mg/g)} &= 22.9 (A645) - 4.68 (A663) \\ \text{Total chlorophyll (mg/g)} &= 20.2 (A645) + 8.02 (A663) \\ \text{Carotenoid} &= (1000 (A480) - 1.8 (\text{chl a}) - 85.02 (\text{chl b})) / 198 \end{aligned}$$

A645، A663 و A480 به‌ترتیب جذب در طول موج‌های 645 ، 663 و 480 را نشان می‌دهند.

تجزیه و تحلیل آماری

برای برآورد میانگین، واریانس و خطای معیار فراسنجه‌های جدول زندگی، از روش بوت‌استرپ با $100,000$ تکرار استفاده شد. همچنین، به‌منظور مقایسه فراسنجه‌های جمعیتی *T. absoluta* بین تیمارهای مختلف کودی، آزمون بوت‌استرپ جفتی در سطح احتمال پنج درصد به کار گرفته شد (Chi, 2023). شاخص‌های زنده‌مانی وابسته به سن (I_x) و باروری وابسته به سن (m_x) بر اساس داده‌های مربوط به مدت رشد، زنده‌مانی مراحل نابالغ و باروری حشرات کامل محاسبه شدند. ترسیم نمودارهای جدول زندگی نیز با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel (نسخه ۲۰۱۳) انجام گرفت. پیش از انجام تحلیل‌های آماری، نرمال بودن داده‌های مربوط به ارتفاع گیاه و ویژگی‌های بیوشیمیایی برگ با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ بررسی شد (SPSS Inc., 2007). پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها، اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع گیاه و صفات

بیوشیمیایی از طریق تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) ارزیابی شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام گرفت. به‌منظور بررسی ارتباط بین فراسنجه‌های جمعیتی *T. absoluta* و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه گوجه‌فرنگی در تیمارهای مختلف کودی، از ضریب همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر منابع مختلف کودی بر ویژگی‌های رشدی و زنده‌مانی مینوز برگ گوجه‌فرنگی

نتایج ارائه‌شده در جدول ۱ نشان داد که تیمارهای مختلف کودی تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های رشدی *T. absoluta* داشتند. در مقایسه با تیمار شاهد، کاربرد هیومیک‌اسید موجب افزایش معنی‌دار طول دوره جنینی از ۵/۳۶ به ۵/۸۶ روز شد، در حالی که سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند. همچنین، دوره لاروی در تیمارهای هیومیک‌اسید (۱۵/۸۲ روز)، ورمی‌کمپوست (۱۵/۳۸ روز) و NPK (۱۴/۴۶ روز) به‌طور معنی‌داری طولانی‌تر از شاهد (۱۲/۴۲ روز) بود، در حالی که در تیمارهای کود دامی (۱۱/۱۹ روز) و نیتروژن (۱۱/۴۷ روز) این دوره به‌طور معنی‌داری کوتاه‌تر از شاهد بود. مدت زمان مرحله شفیرگی نیز در تیمارهای هیومیک‌اسید، ورمی‌کمپوست و NPK نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد، در حالی که در تیمارهای کود دامی و نیتروژن کمتر از شاهد بود. در نتیجه، طول دوره پیش‌ازبلوغ در تیمار هیومیک‌اسید (۳۵/۹۴ روز)، ورمی‌کمپوست (۳۲/۰۲ روز) و NPK (۳۰/۵۰ روز) به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد (۲۷/۸۵ روز) بود، اما در تیمارهای کود دامی (۲۵/۱۹ روز) و نیتروژن (۲۵/۷۷ روز) کاهش یافت. همچنین، زنده‌مانی مراحل نابالغ در تیمارهای هیومیک‌اسید (۰/۶۰) و ورمی‌کمپوست (۰/۶۸) به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد (۰/۸۷) بود، در حالی که تیمار کود دامی (۰/۹۵) و نیتروژن (۰/۹۳) زنده‌مانی بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند. در میان تیمارها، هیومیک‌اسید بیشترین افزایش در زمان رشد و بیشترین کاهش در زنده‌مانی نابالغ را ایجاد کرد، در حالی که کود دامی و نیتروژن کوتاه‌ترین دوره رشد و بیشترین زنده‌مانی نابالغ را به خود اختصاص دادند (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین ($\pm$ خطای معیار) مدت زمان نشو و نما (روز) و زنده‌مانی مراحل نابالغ (درصد) *Tuta absoluta* در گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تیمارهای مختلف کودی

Table 1. Mean ($\pm$ SE) developmental time (days) and immature survival (%) of *Tuta absoluta* on tomato plants affected by different fertilizer treatments

Fertilizer	Incubation (days)	Larval (days)	Pupal (days)	Pre-adult (days)	Immature survival (%)
Control	5.36 $\pm$ 0.07 ^b	12.42 $\pm$ 0.20 ^c	9.87 $\pm$ 0.19 ^c	27.85 $\pm$ 0.36 ^d	0.87 $\pm$ 0.04 ^{abc}
Humic acid	5.86 $\pm$ 0.10 ^a	15.82 $\pm$ 0.22 ^a	13.72 $\pm$ 0.21 ^a	35.94 $\pm$ 0.30 ^a	0.60 $\pm$ 0.06 ^d
Manure	5.40 $\pm$ 0.08 ^b	11.19 $\pm$ 0.21 ^d	8.54 $\pm$ 0.14 ^d	25.19 $\pm$ 0.33 ^e	0.95 $\pm$ 0.03 ^a
Nitrogen	5.45 $\pm$ 0.10 ^b	11.47 $\pm$ 0.25 ^d	8.64 $\pm$ 0.23 ^d	25.77 $\pm$ 0.44 ^e	0.93 $\pm$ 0.03 ^{ab}
NPK	5.52 $\pm$ 0.09 ^b	14.46 $\pm$ 0.13 ^b	10.48 $\pm$ 0.16 ^b	30.50 $\pm$ 0.20 ^c	0.83 $\pm$ 0.05 ^{bc}
Vermicompost	5.30 $\pm$ 0.09 ^b	15.38 $\pm$ 0.20 ^a	11.12 $\pm$ 0.30 ^b	32.02 $\pm$ 0.54 ^b	0.68 $\pm$ 0.06 ^d

Mean values in a column followed by different lowercase letters are significantly different on each fertilizer treatment ($P < 0.05$).

اثر منابع مختلف کودی بر ویژگی‌های تاریخچه زندگی حشرات بالغ مینوز برگ گوجه‌فرنگی

فراسنجه‌های مرتبط با طول عمر و تولیدمثل حشرات کامل *T. absoluta* در تیمارهای مختلف کودی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که نوع کود مصرفی تأثیر معنی‌داری بر برخی از مهم‌ترین شاخص‌های زیستی این آفت داشت. کل دوره پیش از تولیدمثل (TPOP^۱) به فاصله زمانی از مرحله تخم تا زمان نخستین تخم‌گذاری حشره ماده اطلاق می‌شود. این شاخص، علاوه بر دوره رشد مراحل نابالغ، مدت زمان سپری‌شده از ظهور حشره کامل تا آغاز تخم‌گذاری را نیز بیان می‌کند و از پارامترهای مهم در ارزیابی سرعت رشد و آغاز تولیدمثل جمعیت محسوب می‌شود. کل دوره پیش از تخم‌گذاری (TPOP) در بین تیمارهای

^۱. Total Pre-Oviposition Period

مختلف تفاوت معنی داری را نشان داد؛ به طوری که بیشترین مقدار آن در تیمار هیومیک اسید (۳۸/۷۱ روز) و کمترین مقدار در تیمار کود دامی (۲۸/۵۸ روز) مشاهده شد. طول دوره تخم گذاری نیز به طور معنی داری تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت. حشرات ماده پرورش یافته روی گیاهان تیمار شده با کود هیومیک اسید (۹/۱۲ روز) و ورمی کمپوست (۸/۷۱ روز) کوتاه ترین دوره تخم گذاری را داشتند، در حالی که طولانی ترین دوره تخم گذاری در تیمار کود دامی (۱۸/۶۷ روز) و نیتروژن (۱۹/۲۷ روز) ثبت شد. باروری کل *T. absoluta* نیز در پاسخ به تیمارهای مختلف کودی تغییرات معنی داری نشان داد. بیشترین تعداد تخم تولید شده به ازای هر ماده در تیمار نیتروژن مشاهده شد و به طور میانگین به ۳۶۳/۰۳ تخم رسید. در مقابل، کمترین میزان باروری در تیمار هیومیک اسید ثبت شد که تنها ۲۸۰/۰۶ تخم به ازای هر ماده بود. طول عمر حشرات کامل نیز تحت تأثیر نوع کود قرار گرفت. در هر دو جنس نر و ماده، کمترین طول عمر در تیمار هیومیک اسید مشاهده شد و این مقادیر به طور معنی داری کمتر از سایر تیمارها بودند که بیانگر تأثیر منفی این تیمار بر زنده ماندن و عملکرد زیستی حشرات کامل است (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین ($\pm$ خطای معیار) فراسنجه های زیستی و تولید مثلی حشرات کامل *Tuta absoluta* پرورش یافته روی گیاهان گوجه فرنگی تحت تیمارهای مختلف کودی

Table 2. Mean ($\pm$ SE) biological and reproductive parameters of *Tuta absoluta* adults reared on tomato plants affected by different fertilizer treatments

Fertilizer	TPOP (days)	Fecundity (total eggs/female)	Oviposition period (days)	Male longevity (days)	Female longevity (days)
Control	31.55 $\pm$ 0.23 ^d	321.94 $\pm$ 0.57 ^c	14.03 $\pm$ 0.47 ^b	13.32 $\pm$ 0.17 ^b	18.27 $\pm$ 0.11 ^c
Humic acid	38.71 $\pm$ 0.41 ^a	280.06 $\pm$ 3.12 ^f	9.12 $\pm$ 0.72 ^d	8.58 $\pm$ 0.28 ^e	13.41 $\pm$ 0.24 ^f
Manure	28.58 $\pm$ 0.18 ^f	331.85 $\pm$ 0.82 ^b	18.67 $\pm$ 0.53 ^a	15.25 $\pm$ 0.14 ^a	22.52 $\pm$ 0.15 ^b
Nitrogen	29.75 $\pm$ 0.31 ^e	363.03 $\pm$ 1.37 ^a	19.27 $\pm$ 0.54 ^a	14.85 $\pm$ 0.25 ^a	23.75 $\pm$ 0.15 ^a
NPK	32.48 $\pm$ 0.24 ^c	304.07 $\pm$ 3.32 ^d	13.34 $\pm$ 0.35 ^c	12.05 $\pm$ 0.16 ^c	17.21 $\pm$ 0.23 ^d
Vermicompost	37.43 $\pm$ 0.29 ^b	295.62 $\pm$ 1.95 ^e	8.71 $\pm$ 0.80 ^d	10.25 $\pm$ 0.17 ^d	15.33 $\pm$ 0.30 ^e

Mean values in a column followed by different lowercase letters are significantly different on each fertilizer treatment ($P < 0.05$). TPOP: Total pre-oviposition period

اثر منابع مختلف کودی بر فراسنجه های جدول زندگی مینوز برگ گوجه فرنگی

فراسنجه های جدول زندگی *T. absoluta* تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که نوع کود مصرفی تأثیر معنی داری بر فراسنجه های جمعیتی این آفت، شامل نرخ خالص تولید مثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، میانگین زمان یک نسل (T) و زمان دوبرابر شدن جمعیت (DT) داشت. بیشترین مقدار R_0 در تیمار نیتروژن مشاهده شد (۲۱۷/۸۲ نتاج به ازای هر فرد)، در حالی که کمترین مقدار این شاخص در تیمار هیومیک اسید ثبت شد (۷۹/۳۵ نتاج). روند مشابهی برای r و λ نیز مشاهده شد؛ به طوری که کمترین مقادیر این دو فراسنجه در تیمارهای هیومیک اسید (به ترتیب، ۰/۱۰۱ و ۱/۱۲ بر روز) و ورمی کمپوست (به ترتیب ۰/۱۱۱ و ۱/۱۱ بر روز) و بیشترین مقادیر آن ها در تیمار نیتروژن (۰/۱۴۶ و ۱/۱۶ بر روز) به دست آمد. همچنین، تیمارهای کودی اثر معنی داری بر میانگین زمان یک نسل و زمان دوبرابر شدن جمعیت داشتند. کوتاه ترین زمان دوبرابر شدن جمعیت در تیمارهای نیتروژن (۴/۷۵ روز) و کود دامی (۴/۷۶ روز) مشاهده شد که بیانگر افزایش سریع تر جمعیت آفت در این تیمار بود. در مقابل، طولانی ترین زمان دوبرابر شدن جمعیت به تیمارهای هیومیک اسید (۶/۸۷ روز) و ورمی کمپوست (۶/۲۲ روز) اختصاص داشت. از سوی دیگر، میانگین زمان یک نسل در تیمار هیومیک اسید بیشتر از سایر تیمارها بود که نشان دهنده کندتر شدن روند رشد جمعیت در این شرایط است (جدول ۳).

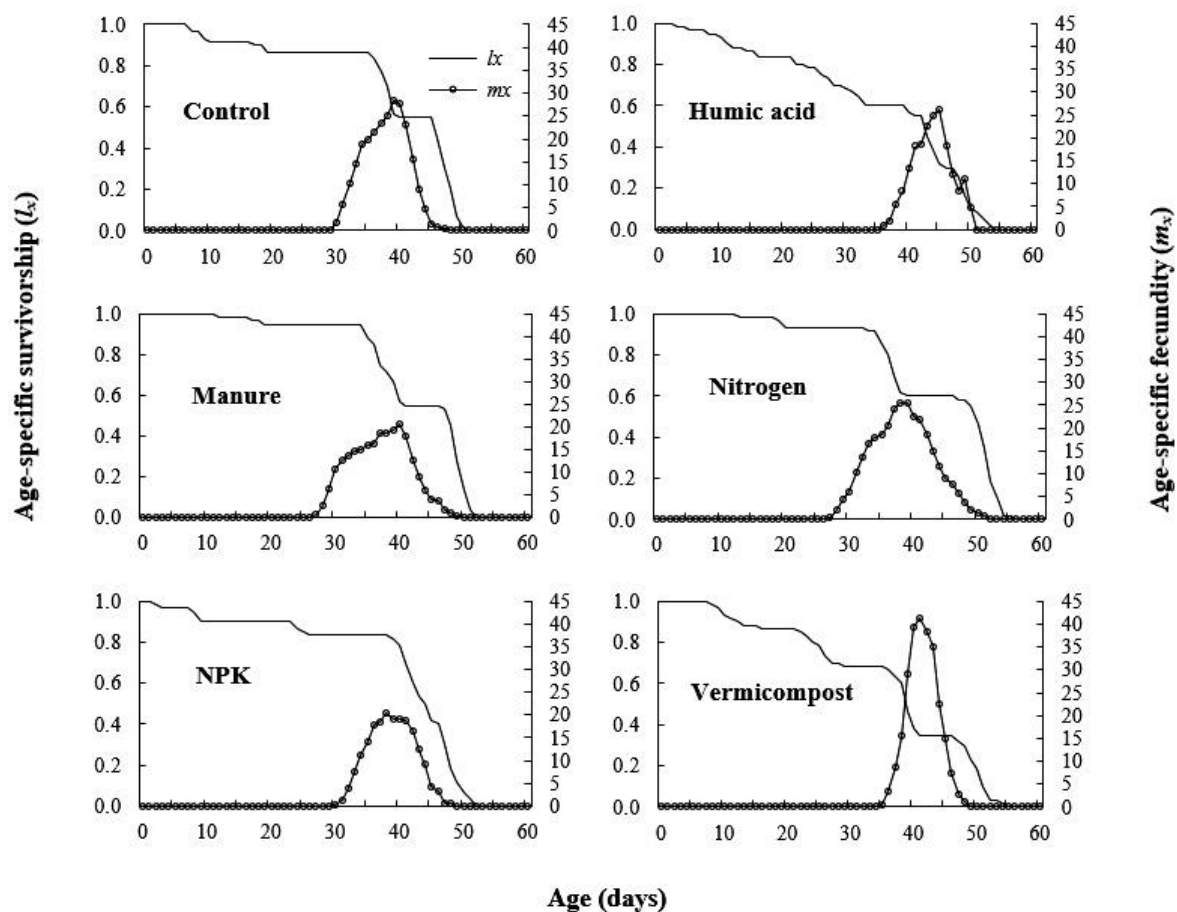
منحنی زنده ماندن ویژه سنی *T. absoluta* (l_x) روی تیمارهای مختلف کودی با گذشت زمان و افزایش طول عمر سیر نزولی پیدا کرد (شکل ۱). منحنی های زنده ماندن ویژه سنی نشان داد که فاصله زمانی بین مرحله تخم تا مرگ آخرین فرد ماده در تیمارهای شاهد، هیومیک اسید، کود دامی، نیتروژن، NPK و ورمی کمپوست به ترتیب ۵۰، ۵۳، ۵۱، ۵۵ و ۵۴ روز بود (شکل ۱).

جدول ۳- میانگین ($\pm$ خطای معیار) فراسنجه‌های جدول زندگی *Tuta absoluta* پرورش یافته روی گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تیمارهای مختلف کودی

Table 3. Mean ($\pm$ SE) life table parameters of *Tuta absoluta* reared on tomato plants affected by different fertilizer treatments

Fertilizer	R_0 (offspring)	r (day ⁻¹)	λ (day ⁻¹)	T (day)	DT (day)
Control	177.07 $\pm$ 20.71 ^{abc}	0.139 $\pm$ 0.003 ^{ab}	1.15 $\pm$ 0.004 ^{ab}	37.30 $\pm$ 0.20 ^d	4.99 $\pm$ 0.12 ^{bc}
Humic acid	79.35 $\pm$ 16.35 ^e	0.101 $\pm$ 0.005 ^c	1.12 $\pm$ 0.004 ^d	43.36 $\pm$ 0.40 ^a	6.87 $\pm$ 0.36 ^a
Manure	182.52 $\pm$ 21.37 ^{ab}	0.145 $\pm$ 0.003 ^a	1.16 $\pm$ 0.004 ^a	35.78 $\pm$ 0.16 ^e	4.76 $\pm$ 0.12 ^c
Nitrogen	217.82 $\pm$ 23.06 ^a	0.146 $\pm$ 0.003 ^a	1.16 $\pm$ 0.004 ^a	36.93 $\pm$ 0.28 ^d	4.75 $\pm$ 0.11 ^c
NPK	146.97 $\pm$ 19.70 ^{bcd}	0.129 $\pm$ 0.004 ^b	1.14 $\pm$ 0.004 ^c	38.55 $\pm$ 0.25 ^c	5.35 $\pm$ 0.16 ^b
Vermicompost	103.47 $\pm$ 18.21 ^{de}	0.111 $\pm$ 0.004 ^c	1.11 $\pm$ 0.006 ^d	41.64 $\pm$ 0.27 ^b	6.22 $\pm$ 0.26 ^a

Mean values in a column followed by different lowercase letters are significantly different on each fertilizer treatment ($P < 0.05$). R_0 : Net reproductive rate; r : Intrinsic rate of increase; λ : Finite rate of increase; T : Mean generation time; DT : Doubling time



شکل ۱- نرخ زنده‌مانی (l_x) و باروری ویژه سنی (m_x) *Tuta absoluta* روی گوجه‌فرنگی تیمار شده با کودهای مختلف

Figure 1. The age-stage survival rate (l_x) and age-specific fecundity (m_x) of *Tuta absoluta* on tomato plants treated with different fertilizers

الگوی باروری ویژه سنی *T. absoluta* (m_x) نیز تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی قرار گرفت (شکل ۱). اوج باروری در شاهد در روز ۳۹ با مقدار ۲۸/۳۸۲، نیتروژن در روز ۳۸ با مقدار ۲۵/۵۶۸، NPK در روز ۳۸ با مقدار ۲۰/۲۸۰، هیومیک اسید در روز ۴۵ با مقدار ۲۶/۰۵۳، کود دامی در روز ۴۰ با مقدار ۲۰/۷۳۵ و ورمی کمپوست در روز ۴۱ با مقدار ۴۱/۳۸۱ نتایج به ازای هر ماده بود.

اثر منابع مختلف کودی بر ارتفاع گیاه و ویژگی‌های بیوشیمیایی برگ‌های گوجه‌فرنگی

نتایج مربوط به اثر تیمارهای مختلف کودی بر ارتفاع گیاه و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی برگ گوجه‌فرنگی در جدول ۴ ارائه شده است. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که تیمارهای کودی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه ($df=5,12$; $F=159.579$; $P<0.05$)، محتوای کلروفیل کل ($df=5,12$; $F=15294.255$; $P<0.05$)، کلروفیل a ($df=5,12$; $F=654.625$; $P<0.05$)، محتوای فنل کل (TPC) ($df=5,12$; $F=923.299$; $P<0.05$)، کلروفیل b ($df=5,12$; $F=371.748$; $P<0.05$)، محتوای فلاونوئید کل (TFC) ($df=5,12$; $F=230.439$; $P<0.05$) و میزان کاروتنوئید ($df=5,12$; $F=565.763$; $P<0.05$) داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار کود نیتروژن به دست آمد که بیانگر تأثیر مثبت این تیمار بر رشد رویشی گیاه بود و کمترین مقدار در تیمارهای شاهد و کود دامی مشاهده شد. همچنین، کاربرد کود هیومیک اسید موجب افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل کل، کلروفیل a، ترکیبات فنلی کل و فلاونوئیدهای کل در مقایسه با سایر تیمارها شد، در حالی که کمترین مقادیر این صفات در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). محتوای کاروتنوئید نیز تحت تأثیر نوع کود قرار گرفت و بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری نشان داد. بیشترین و کمترین مقادیر این فراسنجه به ترتیب در تیمارهای هیومیک اسید و شاهد، مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۴- میانگین ($\pm$ خطای معیار) ارتفاع گیاه و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و ترکیبات بیوشیمیایی برگ گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تیمارهای مختلف کودی

Table 4. Mean ($\pm$ SE) plant height, photosynthetic pigments, and biochemical constituents of tomato leaves under different fertilizer treatments

Fertilizer	Height	Chl. a	Chl. b	Total chlorophyll	Carotenoid	Flavonoid	Phenol
Control	19.33 $\pm$ 2.08 ^d	1.14 $\pm$ 0.07 ^f	1.13 $\pm$ 0.06 ^e	2.27 $\pm$ 0.01 ^e	0.325 $\pm$ 0.026 ^d	1.53 $\pm$ 0.08 ^c	2.88 $\pm$ 0.10 ^e
Humic acid	43.00 $\pm$ 1.73 ^b	2.80 $\pm$ 0.03 ^a	3.33 $\pm$ 0.02 ^a	6.13 $\pm$ 0.03 ^a	0.801 $\pm$ 0.006 ^a	5.02 $\pm$ 0.27 ^a	17.35 $\pm$ 0.76 ^a
Manure	18.00 $\pm$ 2.65 ^d	0.96 $\pm$ 0.06 ^e	1.31 $\pm$ 0.09 ^d	2.27 $\pm$ 0.03 ^e	0.349 $\pm$ 0.014 ^d	1.69 $\pm$ 0.22 ^c	3.81 $\pm$ 0.15 ^e
Nitrogen	50.00 $\pm$ 1.00 ^a	1.51 $\pm$ 0.04 ^d	1.58 $\pm$ 0.05 ^c	3.08 $\pm$ 0.01 ^d	0.514 $\pm$ 0.008 ^c	3.53 $\pm$ 0.14 ^b	7.08 $\pm$ 0.62 ^d
NPK	47.33 $\pm$ 2.08 ^{ab}	2.10 $\pm$ 0.06 ^c	1.62 $\pm$ 0.05 ^c	3.72 $\pm$ 0.03 ^c	0.518 $\pm$ 0.004 ^c	3.89 $\pm$ 0.16 ^b	9.35 $\pm$ 0.60 ^c
Vermicompost	36.67 $\pm$ 1.53 ^c	2.46 $\pm$ 0.00 ^b	3.06 $\pm$ 0.02 ^b	5.52 $\pm$ 0.03 ^b	0.638 $\pm$ 0.007 ^b	4.66 $\pm$ 0.04 ^a	13.41 $\pm$ 0.40 ^b

Mean values in a column followed by different lowercase letters are significantly different on each fertilizer treatment ($P < 0.05$). Chl. a: Chlorophyll a; Chl. b: Chlorophyll b.

تحلیل همبستگی بین صفات مورد بررسی

نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های بیوشیمیایی برگ گوجه‌فرنگی و فراسنجه‌های زیستی و جمعیتی *T. absoluta* در جدول ۵ ارائه شده است. به طور کلی، شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، فلاونوئید و فنل کل با بسیاری از فراسنجه‌های رشد و پویایی جمعیت آفت همبستگی معنی‌داری نشان دادند. محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل با طول دوره لاروی، طول دوره پیش‌ازبلوغ، کل دوره پیش از تخم‌گذاری (TPOP) و میانگین زمان یک نسل (T) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. در مقابل، این شاخص‌ها با زنده‌مانی مراحل نابالغ، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) همبستگی منفی و معنی‌داری نشان دادند. بیشترین ضرایب همبستگی در میان این صفات مربوط به کلروفیل کل بود که رابطه مثبت قوی با T ($r = 0.975$) و رابطه منفی قوی با r ($r = -0.960$) نشان داد. کاروتنوئیدها نیز الگوی مشابهی را نشان دادند؛ به طوری که افزایش محتوای کاروتنوئید با افزایش طول دوره‌های رشدی آفت همراه بود، در حالی که با فراسنجه‌های مرتبط با رشد جمعیت، از جمله r و λ ، همبستگی منفی داشت. هرچند شدت این روابط نسبت به شاخص‌های کلروفیل کمتر بود. محتوای فنل کل و فلاونوئیدها نیز با اغلب شاخص‌های رشدی آفت همبستگی مثبت و با فراسنجه‌های جمعیتی همبستگی منفی نشان دادند. فنل کل دارای همبستگی مثبت معنی‌دار با طول دوره لاروی، دوره

پیش‌ازبلوغ و میانگین زمان یک نسل بود، در حالی که با R_0 ، r و λ همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. الگوی مشابهی برای فلاونوئیدها مشاهده شد، اگرچه برخی از ضرایب همبستگی در این صفت از نظر آماری معنی‌دار نبودند.

به‌طور کلی، افزایش غلظت ترکیبات بیوشیمیایی اندازه‌گیری‌شده در برگ‌های گوجه‌فرنگی با طولانی‌تر شدن دوره رشد *T. absoluta* و کاهش شاخص‌های رشد جمعیت این آفت همراه بود. این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی القاشده در گیاه توسط تیمارهای کودی می‌تواند نقش مهمی در تعدیل عملکرد زیستی و پویایی جمعیت *T. absoluta* داشته باشد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون بین فراسنجه‌های زیستی و جمعیتی *Tuta absoluta* و ویژگی‌های فیزیولوژیک و

بیوشیمیایی گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تیمارهای مختلف کودی

Table 5. Pearson correlation coefficients between the biological and population parameters of *Tuta absoluta* and the physiological and biochemical traits of tomato plants subjected to different fertilizer treatments

Plant metabolite	Larva	Pre-adult duration	Immature survival	TPOP	Fecundity	Oviposition period	R_0	r	λ	T
Chl. a	0.947**	0.934**	-0.924**	0.923**	-0.767 ^{ns}	-0.841*	-0.868*	-0.934**	-0.888*	0.950**
Chl. b	0.850*	0.871*	-0.940**	0.936**	-0.724 ^{ns}	-0.810 ^{ns}	-0.883*	-0.943**	0.903*	0.957**
Total Chlorophyll	0.913*	0.919**	-0.954**	0.951**	-0.761 ^{ns}	-0.843*	-0.897*	-0.960**	-0.914*	0.975**
Carotenoid	0.824*	0.868*	-0.880*	0.865*	-0.630 ^{ns}	-0.700 ^{ns}	-0.786	-0.882*	-0.781	0.920**
Flavonoid	0.824*	0.796 ^{ns}	-0.800	0.805 ^{ns}	-0.560 ^{ns}	-0.671 ^{ns}	-0.708	-0.810	-0.779 ^{ns}	0.852*
Phenol	0.890*	0.912*	-0.923**	0.911*	-0.729 ^{ns}	-0.781 ^{ns}	-0.863*	-0.934**	-0.854*	0.952**

*and** indicate significance at ($P<0.05$) and ($P<0.01$) levels, respectively (Pearson's correlation test). ns: non-significant; R_0 : Net reproductive rate; r : Intrinsic rate of increase; λ : Finite rate of increase; T : Mean generation time, Chl. a: Chlorophyll a; Chl. b: Chlorophyll b

بحث

یکی از عواملی که پویایی جمعیت آفات را تحت تاثیر قرار می‌دهد، کیفیت گیاه میزبان است. کیفیت غذایی بافت‌های گیاهی نقش مهمی در انتخاب گیاهان میزبان توسط گیاهخواران دارد (Awmack & Leather, 2002; Grunseich et al., 2019). کوددهی گیاه باعث تغییراتی در صفات گیاه می‌شود که می‌تواند بر رفتار و عملکرد حشرات گیاهخوار و همچنین برهمکنش‌های آنها از طریق اثرات پایین به بالا تأثیر بگذارد (Li et al., 2024). بررسی‌های مختلف نشان داده است که کوددهی گیاهان با انواع کودهای آلی و شیمیایی با تأثیر بارزی که روی کیفیت تغذیه‌ای گیاه می‌گذارد، می‌تواند نشوونما، تولیدمثل و رشد جمعیت حشرات تغذیه‌کننده را تحت تاثیر قرار دهد (Kasaei et al., 2015; Blundell et al., 2019; Afshari et al., 2021; Getman-Pickering et al., 2021). بنابراین، جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای آلی از دیدگاه مدیریت تلفیقی آفات ضمن آلودگی کمتر محیط‌زیست می‌تواند نقش مهمی در کاهش انبوهی جمعیت گونه‌های خسارت‌زای حشرات داشته باشد. در پژوهش حاضر، کاربرد منابع مختلف کودی سبب تغییرات معنی‌داری در ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه گوجه‌فرنگی شد که این تغییرات به‌طور مستقیم در عملکرد زیستی و پویایی جمعیت *T. absoluta* منعکس شد. نتایج نشان داد که گیاهان تغذیه شده با کودهای آلی و زیستی به‌ویژه هیومیک اسید و ورمی کمپوست، نسبت به کودهای شیمیایی، توانایی بیشتری در کاهش شاخص‌های زیستی *T. absoluta* داشتند و نامناسب‌ترین میزبان برای نشو و نما و توسعه این آفت بودند، در حالی که گیاهان تغذیه‌شده با کود نیتروژن و کود دامی تنها موجب افزایش عددی شاخص‌های زیستی نسبت به شاهد شدند و این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود.

این یافته با نظریه کیفیت میزبان مطابقت دارد که بیان می‌کند تغییر در ویژگی‌های تغذیه‌ای و دفاعی گیاه می‌تواند رشد و توسعه حشرات گیاه‌خوار را محدود کند (Li et al., 2024). این یافته‌ها اهمیت کیفیت گیاه میزبان را در تنظیم عملکرد زیستی

حشرات آفت تأیید می‌کند. بر اساس نظریه اثرات پایین به بالا، هر عاملی که ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و شیمیایی گیاه را تغییر دهد، می‌تواند از طریق تغییر کیفیت غذایی و دفاعی میزبان، بر رشد، زنده‌مانی، تولیدمثل و پویایی جمعیت آفات تأثیرگذار باشد. بنابراین، تفاوت‌های مشاهده‌شده در ویژگی‌های زیستی و جمعیتی *T. absoluta* را می‌توان نتیجه تغییرات ایجادشده در وضعیت تغذیه‌ای و بیوشیمیایی گیاهان تحت تیمارهای مختلف کودی دانست.

نتایج این مطالعه نشان داد که طول دوره لاروی، شفیرگی و دوره پیش از بلوغ *T. absoluta* در تیمارهای هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. طولانی شدن دوره رشد حشرات به‌طور معمول یکی از شاخص‌های شناخته‌شده کاهش کیفیت میزبان یا افزایش هزینه‌های فیزیولوژیک ناشی از مقابله با ترکیبات دفاعی گیاه برای حشرات گیاه‌خوار محسوب می‌شود (Carmona et al., 2011; Erb & Reymond, 2019). زمانی که گیاهان مقادیر بیشتری از ترکیبات دفاعی یا متابولیت‌های ثانویه تولید می‌کنند، لاروها برای تأمین نیازهای تغذیه‌ای خود ناچار به صرف انرژی بیشتر می‌شوند و بخشی از انرژی که باید صرف رشد و نمو شود به فرآورده‌های سم‌زدایی و سازگاری فیزیولوژیک اختصاص می‌یابد و در نتیجه زمان رشد افزایش پیدا می‌کند (Li et al., 2024). در مقابل، کوتاه بودن دوره‌های رشدی در تیمارهای نیتروژن و کود دامی نشان می‌دهد که این گیاهان از نظر تغذیه‌ای شرایط مطلوب‌تری برای آفت فراهم کرده‌اند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2016) نیز گزارش کردند که کاربرد کودهای هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست در بستر کشت گوجه‌فرنگی موجب افزایش طول دوره رشد و کاهش سرعت نشو و نمای *T. absoluta* می‌شود. نتایج پژوهش حاضر این یافته‌ها را تأیید کرده و نشان می‌دهد که تغییرات القاشده توسط هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست می‌تواند موجب نامناسب بودن گیاه میزبان برای آفت شود.

علاوه بر تأثیر تیمارهای هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست بر مدت رشد، کاهش معنی‌دار زنده‌مانی مراحل نابالغ آفت هم از نتایج پژوهش حاضر بود. کمترین میزان زنده‌مانی در تیمار هیومیک‌اسید و پس از آن ورمی‌کمپوست مشاهده شد، در حالی که بیشترین زنده‌مانی افراد نابالغ مربوط به کود دامی و نیتروژن بود. زنده‌مانی پایین‌تر لاروها و شفیره‌ها در این تیمارها به‌احتمال ناشی از افزایش ترکیبات بازدارنده و کاهش قابلیت استفاده از مواد غذایی موجود در بافت گیاه توسط لاروها است. بررسی‌های متعدد نشان داده‌اند که کاربرد مواد آلی موجب تحریک مسیرهای دفاعی گیاه، افزایش متابولیت‌های ثانویه و افزایش مقاومت القایی در برابر حشرات گیاه‌خوار می‌شود که می‌تواند با ایجاد اثرات ضدتغذیه‌ای، کاهش قابلیت هضم غذا و اختلال در فرآورده‌های متابولیکی، مرگ‌ومیر این حشرات را افزایش دهد (Pereira et al., 2021; Divekar et al., 2022; Poelman et al., 2023). به‌عنوان مثال، سیلوا و کانلوس (Silva & Canellas, 2022) گزارش کرده‌اند که افزایش ماده آلی خاک و کاربرد هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست در بسیاری از موارد با کاهش تراکم و خسارت آفات همراه بوده است. بنابراین، کاهش زنده‌مانی افراد نابالغ *T. absoluta* در این پژوهش را می‌توان نتیجه تقویت پاسخ‌های دفاعی گیاه در اثر کاربرد این کودها دانست.

بررسی ویژگی‌های تولیدمثلی آفت نیز نشان داد که نوع کود مصرفی تأثیر چشمگیری بر باروری و طول دوره تخم‌گذاری *T. absoluta* دارد و ویژگی‌های تولیدمثلی آفت را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار می‌دهد. ماده‌های پرورش‌یافته روی گیاهان تیمارشده با هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست تعداد تخم کمتری تولید کردند و دوره تخم‌گذاری کوتاه‌تری داشتند؛ درحالی‌که بیشترین باروری مربوط به گیاهان تغذیه‌شده با کود نیتروژن بود که به‌احتمال ناشی از دسترسی بیشتر حشره آفت به ترکیبات نیتروژنی مورد نیاز برای سنتز پروتئین‌ها و تولید تخم بوده است (Wu et al., 2021). از آنجا که تولیدمثل یکی از پرهزینه‌ترین فرآورده‌های زیستی حشرات است و وابستگی شدیدی به کیفیت غذایی میزبان دارد، کاهش کیفیت غذایی میزبان و افزایش هزینه‌های متابولیکی ناشی از مواجهه با ترکیبات دفاعی گیاه به‌طور معمول با کاهش تخصیص منابع به تولید تخم همراه می‌شود (Wu et al., 2021). حضور مقادیر بالاتر ترکیبات دفاعی گیاه می‌تواند منابع انرژی را از تولیدمثل به سمت فرآورده‌های زنده‌مانی و سم‌زدایی منحرف کند (Li et al., 2024). به همین دلیل کاهش باروری مشاهده‌شده در تیمارهای آلی به‌احتمال بازتابی از افزایش هزینه‌های متابولیکی آفت در مواجهه با گیاهان مقاوم‌تر است.

فراسنجه‌های جدول زندگی نیز به‌خوبی اثرات مشاهده‌شده در مراحل مختلف زندگی آفت و تأثیر تیمارهای کودی را بر پویایی جمعیت آفت منعکس کردند. کمترین مقادیر r ، R_0 و λ در تیمار هیومیک‌اسید مشاهده شد و ورمی‌کمپوست نیز اثرات مشابهی نشان داد. در مقابل، بیشترین مقادیر این فراسنجه‌ها در تیمار نیتروژن و سپس کود دامی به دست آمد که بیانگر مناسب بودن این تیمار برای رشد سریع جمعیت آفت است. از آنجا که فراسنجه‌های جدول زندگی حاصل برهم‌کنش ویژگی‌های مختلف تاریخیچه زندگی، از جمله طول دوره رشد، زنده‌مانی مراحل نابالغ، زمان آغاز تولیدمثل و باروری هستند، کاهش r ، R_0 و λ در تیمارهای هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست نشان می‌دهد که این کودها از طریق اثر هم‌زمان بر این مؤلفه‌های زیستی، توان افزایش جمعیت آفت را محدود کرده‌اند. همچنین افزایش زمان دو برابر شدن جمعیت و میانگین زمان یک نسل در این تیمارها بیانگر کند شدن روند رشد جمعیت *T. absoluta* است. یافته‌های حاضر با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده روی سایر حشرات گیاه‌خوار مطابقت دارد که افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن را عامل مهمی در افزایش کارایی زیستی آفات معرفی کرده‌اند (Ren et al., 2022; Xu et al., 2024).

یافته‌های مربوط به صفات گیاهی نشان دادند که تیمارهای مختلف کودی نه تنها رشد گیاه را تغییر دادند، بلکه موجب تغییرات گسترده‌ای در ویژگی‌های بیوشیمیایی برگ شدند. هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل‌ها، کاروتنوئید، فنل کل و فلاونوئید کل شدند. افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان‌دهنده بهبود وضعیت متابولیکی و فعالیت فتوسنتزی گیاه است، درحالی‌که افزایش ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی بیانگر فعال شدن سامانه‌های دفاعی گیاه محسوب می‌شود (Khalid et al., 2017). هیومیک‌اسید بیشترین مقادیر کلروفیل کل، فنل و فلاونوئید را تولید کرد که نشان می‌دهد این تیمار نقش مهمی در فعال‌سازی مسیرهای دفاعی گیاه داشته است. بررسی‌های اخیر نشان داده‌اند که هیومیک‌اسید می‌تواند ژن‌های مرتبط با پاسخ‌های دفاعی گیاه را فعال کرده و تولید متابولیت‌های ثانویه را افزایش دهد که در نهایت مقاومت گیاه به تنش‌های زیستی را بهبود می‌بخشد (Canellas et al., 2015). فنل‌ها و فلاونوئیدها از مهم‌ترین متابولیت‌های ثانویه دفاعی گیاهان هستند و نقش مهمی در مقاومت در برابر حشرات گیاه‌خوار دارند (Divekar et al., 2022). افزایش این ترکیبات به احتمال یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های کاهش کارایی زیستی *T. absoluta* در این پژوهش بوده است. ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی می‌توانند بر ترجیح تغذیه‌ای، قابلیت هضم غذا، فعالیت آنزیم‌های گوارشی و حتی فرآیندهای تولیدمثل حشرات اثر منفی بگذارند (Zhu et al., 2026). در مطالعه حاضر، تیمارهای دارای بیشترین مقادیر فنل و فلاونوئید، کمترین مقادیر باروری، زنده‌مانی و نرخ رشد جمعیت آفت را نیز نشان دادند. غلظت بالاتر این ترکیبات در گیاهان تیمارشده با هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست می‌تواند علت اصلی طولانی شدن دوره رشد، کاهش زنده‌مانی و افت باروری آفت در این تیمارها باشد. این موضوع بیانگر نقش کلیدی این ترکیبات در کاهش مطلوبیت گیاه میزبان برای *T. absoluta* است. یافته‌های حاضر با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده روی سایر گونه‌های بالپولکداران مطابقت دارد که افزایش غلظت ترکیبات فنلی را با کاهش رشد و تولیدمثل آفات مرتبط دانسته‌اند (Tyagi et al., 2022; Lv et al., 2025). نتایج همبستگی پیرسون این ارتباط‌ها را به‌طور واضح تأیید کرد. کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، فنل، فلاونوئید و کاروتنوئید گیاه گوجه‌فرنگی با طول دوره لاروی، دوره پیش از بلوغ، TPOP و میانگین زمان یک نسل آفت همبستگی مثبت داشتند، در حالی‌که با زنده‌مانی افراد نابالغ، R_0 ، r و λ همبستگی منفی نشان دادند. این الگو نشان می‌دهد که هرچه وضعیت فیزیولوژیک و پاسخ‌های بیوشیمیایی گیاه تقویت شده باشد، کارایی زیستی آفت و توانایی آن برای رشد و افزایش جمعیت کاهش یافته است. به‌ویژه کلروفیل کل و فنل قوی‌ترین ارتباط را با فراسنجه‌های جمعیتی نشان دادند و می‌توانند به عنوان شاخص‌های مناسبی برای پیش‌بینی مقاومت گیاه نسبت به آفت مطرح شوند. چنین الگویی از همبستگی بیانگر وجود یک ارتباط مستقیم بین وضعیت بیوشیمیایی میزبان و توانایی رشد جمعیت آفت است (Golizadeh & Afshari, 2025). در میان صفات اندازه‌گیری‌شده، کلروفیل کل بیشترین همبستگی مثبت را با میانگین زمان یک نسل و بیشترین همبستگی منفی را با نرخ ذاتی افزایش جمعیت نشان داد. این نتیجه احتمالاً بیانگر آن است که تیمارهایی که بیشترین تأثیر را بر فعالیت متابولیکی گیاه داشته‌اند،

به‌طور همزمان موجب تقویت پاسخ‌های دفاعی گیاه نیز شده‌اند (Hu et al., 2015). همبستگی منفی قوی فنل با فراسنجه‌های جمعیتی آفت نشان می‌دهد که این شاخص می‌تواند به‌عنوان نشانگرهای مناسبی برای ارزیابی مقاومت القاشده گیاه در برابر *T. absoluta* مورد استفاده قرار گیرد (Kumar et al., 2024). نکته قابل توجه دیگر، اثر متفاوت کودهای آلی و شیمیایی در این پژوهش بود. کود نیتروژن و NPK شرایط مناسبی را برای رشد و افزایش جمعیت آفت فراهم کردند. در مقابل، هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست ضمن بهبود برخی ویژگی‌های رشدی گیاه، موجب افزایش متابولیت‌های دفاعی و کاهش معنی‌دار کارآیی زیستی آفت شدند. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش رشد گیاه لزوماً به معنای افزایش حساسیت آن به آفات نیست و نوع منبع تغذیه‌ای و نحوه تأثیر آن بر مسیرهای دفاعی گیاه اهمیت بیشتری دارد (Getman-Pickering et al., 2021).

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کودها علاوه بر تأمین عناصر غذایی، با ایجاد تغییرات گسترده در ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه می‌توانند کارآیی زیستی و پویایی جمعیت *T. absoluta* را تحت تأثیر قرار دهند. در میان تیمارهای بررسی‌شده، هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست با ایجاد تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاه گوجه‌فرنگی، بیشترین اثر را در کاهش رشد جمعیت آفت نشان دادند و موجب کاهش زنده‌مانی، باروری و نرخ رشد جمعیت *T. absoluta* شدند؛ در حالی که کود نیتروژن و تا حدودی کود دامی شرایط مناسب‌تری برای توسعه آفت فراهم کردند. با توجه این نتایج به نظر می‌رسد کاربرد کودهای آلی، به‌ویژه هیومیک‌اسید و ورمی‌کمپوست، علاوه بر مزایای شناخته‌شده در بهبود کیفیت خاک و برخی ویژگی‌های رشدی گیاه، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار سازگار با محیط زیست برای کاهش خطر طغیان مینوز برگ گوجه‌فرنگی و توسعه سامانه‌های تولید پایدار مورد توجه قرار گیرد. همچنین با توجه به ارتباط بین کمیت و کیفیت محصول برداشت‌شده با خسارت آفت و عملیات کوددهی، انجام بررسی‌های تکمیلی برای ارزیابی کمیت و کیفیت محصول تولید شده در شرایط استفاده از کودهای مورد مطالعه می‌تواند در کاربرد نتایج پژوهش حاضر مفید باشد.

References

- Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2020). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A Review. *Foods*, 10, 45. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10010045>
- Afshari, F., Razmjou, J., Mottaghinia, L., Rafei Dastjerdi, H., Golizadeh, A., & Ebadollahi, A. (2021). Effect of different fertilizer treatments on the life history of vegetable leafminer, *Liriomyza sativae* Blanchard, on cucumber. *Plant Pest Research*, 11(1), 31–42. DOI: <https://doi.org/10.22124/iprj.2021.4843>
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Awmack, C. S., & Leather, S. R. (2002). Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47, 817–844. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145300>
- Baniaméri, V., & Cheraghian, A. (2012). The first report and control strategies of *Tuta absoluta* in Iran. *European and Mediterranean Plant Protection Organization*, 42, 322–324.
- Bhunia, S., Bhowmik, A., Mallick, R., & Mukherjee, J. (2021). Agronomic efficiency of animal-derived organic fertilizers and their effects on biology and fertility of soil: A review. *Agronomy*, 11, 823. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050823>
- Biondi, A., Guedes, R. N. C., Wan, F. H., & Desneux, N. (2018). Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: past, present, and future. *Annual Review of Entomology*, 63, 239–258. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-034933>
- Blundell, R., Schmidt, J., Igwe, A., Vannette, R. L., Gaudin, A., Clare, L. L., & Casteel, C. L. L. (2019). Organic management promotes natural pest control through enhanced plant resistance to insects. *bioRxiv*, 787549. DOI: <https://doi.org/10.1101/787549>
- Campos, M. R., Biondi, A., Adiga, A., Guedes, R. N. C., & Desneux, N. (2017). From the western palaearctic region to beyond: *Tuta absoluta* 10 years after invading Europe. *Journal of Pest Science*, 90, 787–796. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0867-7>

- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2015.09.013>
- Carmona, D., Lajeunesse, M. J., & Johnson, M. T. J. (2011). Plant traits that predict resistance to herbivores. *Functional Ecology*, 25, 358-367. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01794.x>
- Chi, H. (1988). Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17, 26–34. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26>
- Chi, H. (2023). TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. Doi: <http://140.120.197.174/Ecology/download/TWOSEX-MSChart.rar>. (Accessed 12 October 2024).
- Chi, H., & Liu, H. (1985). Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, (Taipei) 24, 225–240.
- da Silva, R. M., Canellas, N. A., Olivares, F. L., Piccolo, A., & Canellas, L. P. (2023). Humic substances trigger plant immune responses. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10, 123. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00468-7>
- Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K. A. G., Burgio, G., Arpaia, S., Narváez-Vasquez, C. A., González-Cabrera, J., Ruescas, D. C., Tabone, E., Frandon, J., Pizzol, J., Poncet, C., Cabello, T., & Urbaneja, A. (2010). Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83, 197–215. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0321-6>
- Divekar, P. A., Narayana, S., Divekar, B. A., Kumar, R., Gadratagi, B. G., Ray, A., Singh, A. K., Rani, V., Singh, V., Singh, A. K., Kumar, A., Singh, R. P., Meena, R. S., & Behera, T. K. (2022). Plant secondary metabolites as defense tools against herbivores for sustainable crop protection. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5), 2690. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23052690>
- EPPO. (2024). *Tuta absoluta*. EPPO Global Database; (GNORAB). <https://gd.eppo.int/taxon/GNORAB/distribution>. (Accessed 12 November 2024).
- Erb, M., & Reymond, P. (2019). Molecular interactions between plants and insect herbivores. *Annual Review of Plant Biology*, 70, 527–557. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-095910>
- FAOSTAT. (2023). Crops and livestock products database. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. <https://www.helgilibrary.com/indicators/tomato-production/iran>
- Getman-Pickering, Z. L., Stack, G. M., & Thaler, J. S. (2021). Fertilizer quantity and type alter mycorrhizae-conferred growth and resistance to herbivores. *Journal of Applied Entomology*, 58, 931–940. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13833>
- Golizadeh, A., & Afshari, F. (2025). Effects of organic and inorganic fertilizers on life history parameters of the tomato leafminer, *Tuta absoluta* on two tomato cultivars. *Crop Protection*, 196, 107271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107271>
- Grunseich, J. M., Thompson, M. N., Aguirre, N. M., & Helms, A. M. (2019). The Role of plant-associated microbes in mediating host-plant selection by insect herbivores. *Plants*, 9, 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9010006>
- Gudeta, K., Bhagat, A., Julka, J. M., Sinha, R., Verma, R., Kumar, A., Kumari, S., Ameen, F., Bhat, S. A., Amarowicz, R., & Sharma, M. (2022). Vermicompost and its derivatives against phytopathogenic fungi in the soil: A review. *Horticulturae*, 8, 311. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040311>
- Hu, X., Makita, S., Schelbert, S., Sano, S., Ochiai, M., Tsuchiya, T., Hasegawa, S. F., Hörtensteiner, S., Tanaka, A., & Tanaka, R. (2015). Reexamination of chlorophyllase function implies its involvement in defense against chewing herbivores. *Plant Physiology*, 167(3), 660. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.114.252023>
- Ismail, H. I., Chan, K. W., Mariod, A. A., & Ismail, M. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe (*Cucumis melo*) methanolic extracts. *Food Chemistry*, 119, 643–647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.023>

- Jones, L. C., Rafter, M. A., & Walter, G. H. (2022). Host interaction mechanisms in herbivorous insects – life cycles, host specialization and speciation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 137, 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blac070>
- Kasaei. Faradonbeh, S., Hassanpour, M., Razmjou, J., Golizadeh, A., & Esmaeilpour, B. (2015). Biological and population growth parameters of the melon aphid, *Aphis gossypii* Glover on cucumber plants grown at different vermicompost: soil ratios. *Plant Pest Research*, 4(4), 35–48. (In Farsi)
- Khalid, M., Hassani, D., Bilal, M., Liao, J., & Huang, D. (2017). Elevation of secondary metabolites synthesis in *Brassica campestris* sp. *chinensis* L. via exogenous inoculation of *Piriformospora indica* with appropriate fertilizer. *PloS one*, 12(5), e0177185. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177185>
- Kumar, V., Nadarajan, S., Boddupally, D., Wang, R., Bar, E., Davidovich-Rikanati, R., Doron-Faigenboim, A., Alkan, N., Lewinsohn, E., Elad, Y., & Oren-Shamir, M. (2024). Phenylalanine treatment induces tomato resistance to *Tuta absoluta* via increased accumulation of benzenoid/phenylpropanoid volatiles serving as defense signals. *The Plant Journal*, 119(1), 84–99. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.16745>
- Li, Z. X., Tan, J. F., Yao, N., & Ruo-Han Xie, R. H. (2024). From trade-off to synergy: how nutrient status modulates plant resistance to herbivorous insects? *Biotechnology Advances*, 2, 37. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44307-024-00045-5>
- Lv, J. Y., Deng, Y. N., Liu, X. R., Niu, D., & Zhang, W. S. (2025). The effects of three phenolic substances on the growth and digestive physiology of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, 16, 669. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects16070669>
- Mohamadi, P., Razmjou, J., Naseri, B., & Hassanpour, M. (2016). Population growth parameters of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on tomato plant using organic substrate and biofertilizers. *Journal of Insect Science*, 17, 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/iex011>
- Mostafa, S., Wang, Y., Zeng, W., & Jin, B. (2022). Plant responses to herbivory, wounding, and infection. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 7031. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23137031>
- Mottaghinia, L., & Razmjou, J. (2018). Effect of application of organic fertilizers in growing medium of potato plants on biological characteristics of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 38, 15–30. DOI: <https://doi.org/10.22117/jesi.2018.116221.1157> (In Farsi)
- Overton, K., Hoffmann, A. A., Reynolds, O. L., & Umina, P. A. (2021). Toxicity of insecticides and miticides to natural enemies in Australian grains: A review. *Insects*, 12, 187. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12020187>
- Pereira, R.V., Filgueiras, C. C., Dória, J., Peñaflor, M. F. G. V., & Willett, D. S. (2021). The effects of biostimulants on induced plant defense. *Frontiers in Agronomy*, 3, 630596. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.630596>
- Poelman, E. H., Bourne, M. E., Croijmans, L., Cuny, M. A. C., Delamore, Z., Joachim, G., Kalisvaart, S. N., Kamps, B. B. J., Longuemare, M., Suijkerbuijk H. A. C., & Zhang, N. X. (2023). Bringing fundamental insights of induced resistance to agricultural management of herbivore pests. *Journal of Chemical Ecology*, 49, 218–229. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-023-01432-3>
- Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A. S., Srivastav, A. L., & Kaushal, J. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production*, 283, 124657. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>
- Rehman, S. U., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., & Fanizzi, F. P. (2023). Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. *Agronomy*, 13, 1134. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13041134>
- Ren, X., Guo, R., Akami, M., & Niu, C. (2022). Nitrogen acquisition strategies mediated by insect symbionts: A review of their mechanisms, methodologies, and case studies. *Insects*, 13, 84. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13010084>
- Santana, P. A., Kumar, L., Da Silva, R. S., & Picanço, M. C. (2019). Global geographic distribution of *Tuta absoluta* as affected by climate change. *Journal of Pest Science*, 92, 1373–1385. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1057-y>

- Silva, R. M., & Canellas, L. P. (2022). Organic matter in the pest and plant disease control: A meta-analysis. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9, 70. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00332-0>
- Tripathi, R., Tewari, R., Singh, K. P., Keswani, C., Minkina, T., Srivastava, A. K., De Corato, U., & Sansinenea, E. (2022). Plant mineral nutrition and disease resistance: A significant linkage for sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Science*, 13, 883970. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.883970>
- Tyagi, S., Rathinam, M., Shashank, P. R., Chaudhary, N., Shasany, A. K., & Sreevathsa, R. (2022). Deciphering of Pod Borer [*Helicoverpa armigera* (Hübner)] resistance in *Cajanus platycarpus* (Benth.) offers novel insights on the reprogramming and role of flavonoid biosynthesis pathway. *Toxins*, 14, 455. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins14070455>
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous poly-amines. *Plant Science*, 151, 59-66. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
- Wu, Z., Yang, L., He, Q., & Zhou, S. (2021). Regulatory mechanisms of vitellogenesis in insects. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 8, 593613. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.593613>
- Xu, S., Li, X., Mao, R., Arthurs, S. P., Ye, F., Yan, H., & Gao, J. (2024). Nutrition rather than phytohormone-dependent defense of host plant mediates the different response of red- and green-morph pea aphids to nitrogen fertilization. *Agronomy*, 14, 2592. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14112592>
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, 555–559. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)
- Zhu, L., Yang, H., Li, P., Dong, L., Zhao, S., Lv, H., Crickmore, N., Zhou, X., Zhang, Y., & Guo, Z. (2026). Plant strategies against herbivorous insects. *Journal of Integrative Plant Biology*, 00, 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1111/jipb.70209>

Effects of organic and inorganic fertilizers on the biological and demographic parameters of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* and the biochemical traits of tomato plants

A. Ebadollahi^{1*} and F. Afshari²

1. Department of Plant Sciences, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, 2. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

✉ ebadollahi@uma.ac.ir

✉ fr.afshari67@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-3276-1608>

 <https://orcid.org/0009-0001-8728-3503>

Received: 24 May 2026 | Accepted: 14 July 2026 |

Abstract

Plant nutritional management can influence the biological performance and population dynamics of insect pests through alterations in the physiological and biochemical characteristics of the host plant. In the present study, the effects of different fertilizer sources, including humic acid, vermicompost, manure, nitrogen, and NPK, on the biological traits and life table parameters of *Tuta absoluta* (Meyrick) as well as certain biochemical characteristics of tomato plants were investigated. The results revealed that fertilizer type had significant effects on the development, survival, reproduction, and population growth parameters of *T. absoluta*. The longest larval and pre-adult developmental periods, along with the lowest immature survival rates, were observed in the humic acid and vermicompost treatments. Furthermore, the lowest fecundity (280 egg), net reproductive rate (R_0) (79.35 offspring), and intrinsic rate of increase (r) (0.101 day^{-1}), were recorded in the humic acid treatment, whereas the highest values of these parameters were observed in the nitrogen treatment (363.03 egg, 217.82 offspring, and 0.146 day^{-1}). Application of humic acid and vermicompost significantly increased chlorophyll, carotenoid, total phenolic, and total flavonoid contents in tomato leaves, which were associated with prolonged developmental duration and reduced population growth indices of pest. The findings of the present study demonstrated that humic acid and vermicompost treatments had the greatest potential to suppress the population growth of *T. absoluta* and could therefore be considered promising components of its integrated management.

Key words: Humic acid, life table, NPK, *Tuta absoluta*, vermicompost

Citation: Ebadollahi, A. & Afshari, F. (2026). Effects of organic and inorganic fertilizers on the biological and demographic parameters of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* and the biochemical traits of tomato plants. *Plant Pest Research*, 16(2), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.22124/iprj.2026.33881.1698>



*Corresponding author: ebadollahi@uma.ac.ir