

Research Article

مقاومت القایی در فلفل رنگی به وسیله قارچ آنتاگونیست *Trichoderma harzianum* T22 و جاسمونیکاسید در برابر تریپس غربی گلخانه *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae)علی رضائی^۱، محمد خانجانی^۱ و شهرام فرخی^۲

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران

۲- مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده: تریپس غربی گل، *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) یکی از آفات مهم محصولات گلخانه‌ای می‌باشد که دامنه میزبانی گسترده‌ای دارد. در این پژوهش، اثر تیمار گیاه فلفل رنگی رقم لورکا، با هورمون اسید جاسمونیک (۰/۵ میلی‌مولار)، قارچ *Trichoderma harzianum* T22 (۱۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون اسپور با غلظت 1×10^7 اسپور، به‌زای هر گیاهچه) و تلفیق هورمون اسید جاسمونیک با قارچ تریکودرما (JA + Th) روی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه فلفل، میزان جذب و ترجیح تخم‌گذاری (آزمون انتخاب آزاد و غیرانتخابی) و پراستجه‌های جدول زندگی تریپس غربی گل بررسی شد. کلیه مراحل آزمایش در شرایط محیطی ثابت دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت 65 ± 5 درصد و شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام گرفت. بر اساس نتایج، تمامی پراستجه‌های جدول زندگی تریپس غربی گل تفاوت معنی‌داری را نشان داد. مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) برای شاهد و تیمارهای JA، Th و JA + Th به ترتیب 0.1827 ، 0.1513 و 0.1636 و 0.1332 بر روز و نرخ خالص تولیدمثل (R_0) برای تیمارهای ذکر شده به ترتیب $53/22$ ، $32/72$ ، $38/99$ و $25/62$ نتاج ماده تخمین زده شد. تیمار JA + Th موجب افزایش ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه فلفل شد و از کیفیت تغذیه‌ای پایینی برای آفت برخوردار بود. نتایج این بررسی می‌تواند در به‌کارگیری تیمار JA + Th برای برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفت تریپس غربی گل مورد استفاده قرار گیرد.

اطلاعات مقاله
دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۰
انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۲۷

دبیر تخصصی: حسین رنجبر اقدم

نویسنده مسئول: محمد خانجانی

ایمیل: khanjani@basu.ac.ir

کلمات کلیدی: تریکودرما، هورمون گیاهی، ترجیح تخم‌گذاری، جدول زندگی، کنترل تلفیقی آفت

DOI: <https://doi.org/10.61186/jesi.45.3.6>

مقدمه

تا کنون بیش از ۷۰۰۰ گونه در راسته بال‌ریشک‌داران (Thysanoptera) شناسایی شده است (Mound, 2009) که حدود ۱۰۰ گونه از آن‌ها آفات مهم گیاهان زراعی می‌باشند. جنس *Frankliniella* با حدود ۲۳۰ گونه سومین جنس با غنای گونه‌ای از راسته بال‌ریشک‌داران می‌باشد (Minaei, 2013). یکی از مهم‌ترین گونه‌های تریپس که به عنوان آفت جدی گیاهان گلخانه‌ای مطرح است، تریپس غربی گل، *F. occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) می‌باشد. این گونه چندخوار، یکی از آفات مهم کشاورزی در سراسر جهان است که از بیش ۲۵۰ گونه گیاه زراعی مختلف متعلق به بیش از ۶۰ خانواده‌ی گیاهی تغذیه می‌کند (McDonald et al., 1998). این گونه بومی غرب ایالت متحده آمریکا است ولی در فاصله زمانی اندکی از ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ در سراسر جهان گسترش یافته است (Zhang et al., 2019). تریپس غربی گل در ایران برای اولین بار روی گیاهان زینتی مانند ژربرا، بنفشه آفریقایی و آنتوریوم در سال ۱۳۸۳ گزارش شد (Jalili-Moghadam & Azmayesh-Fard, 2004). دلایلی مانند چند نسلی بودن، تخم‌گذاری در عمق بافت و شکوفه گیاهان میزبان، کنترل شیمیایی تریپس‌ها را دشوار کرده است (Hulshof et al., 2003). بنابراین روش کنترل شیمیایی راهکار مناسبی برای مهار جمعیت تریپس غربی گل نمی‌باشد. راهکارهای دیگر که منجر به افزایش مقاومت گیاه میزبان در برابر تغذیه و خسارت آفت شود می‌تواند در بهبود روش‌های کنترل رایج مؤثر واقع شود. میکروارگانیسم‌های مفید خاک‌زی از جمله قارچ‌ها موجب بهبود تغذیه گیاهان و افزایش تحمل آن‌ها در مقابل استرس‌های محیطی می‌شوند، همچنین موجب القا مقاومت سیستمیک در بافت‌های گیاهی علیه بیمارگرها و حشرات آفت نیز می‌شوند (Kempster et al., 2002). قارچ‌های اندوفیت میکروارگانیسم‌هایی هستند که داخل بافت‌های گیاهی زندگی می‌کنند اما هیچ‌گونه علائم ظاهری بیماری در گیاهان ایجاد نمی‌کنند (Salimi et al., 2019). اثرات مفیدی که توسط اندوفیت‌ها ایجاد می‌شود شامل کنترل آفات و بیمارگرها، ارتقا رشد گیاه، افزایش جذب مواد مغذی گیاه و افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی است که به عنوان بهبود فیزیولوژی گیاه نامیده می‌شوند. در مطالعات انجام شده اثرگذاری اندوفیت‌ها روی آفات اثبات شده است (Sánchez-Rodríguez et al., 2018). همچنین این میکروارگانیسم‌ها از خسارت حشرات آفت

به محصولات کشاورزی محافظت می‌کنند. حشرات آفت به روش‌های مختلفی مانند کاهش سرعت رشد (Akutse *et al.*, 2013)، خاصیت دورکنندگی گیاه (Vega, 2008)، اختلال در نشو و نمو، کاهش زنده‌مانی و کاهش تولیدمثل تحت تاثیر اندوفیت‌ها قرار می‌گیرند (Martinuz *et al.*, 2012).

قارچ‌های جنس *Trichoderma* از گروه قارچ‌های Hyphomycetes خاکزی هستند و در اکثر خاک‌های کشاورزی یافت می‌شوند. در میان گونه‌های مختلف، گونه *Trichoderma barzianum* Rifai (Hypocreales: Hypocreaceae) به دلیل ظرفیت بالای تولیدمثل، تحمل و مقاومت بالا در برابر تنش‌های محیطی و عوامل بیماری‌زا بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Harman *et al.*, 2004; Alizadeh *et al.*, 2013). در حال حاضر آفت‌کش‌ها و کودهای زیستی متنوعی در بازار موجود است که اکثر آن‌ها بر پایه قارچ و یا سویه‌های مختلف قارچ تریکودرما تجاری‌سازی شده‌اند (Tang *et al.*, 2010; Karimi *et al.*, 2019). برای مثال، جدایه *T. barzianum* Tr5 (جداسازی شده از مزارع میاندوآب) در ریزوسفر گندم، قابلیت اندوفیت شدن داخل بافت گندم را دارا است که این توانایی بسیار مهمی در راستای مدیریت آفات و بیمارگرها می‌تواند باشد (Narmani *et al.*, 2019). (Azimi *et al.*, 2021)، تاثیر قارچ *T. barzianum* TR6 روی پراسنجه‌های جدول زندگی شته سیاه باقلا *Aphis fabae* Scop. بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داده است که تیمار گیاه باقلا با قارچ اندوفیت در مقایسه با تیمار شاهد اثر معنی‌داری روی ویژگی‌های زیستی شته سیاه باقلا داشت و اظهار داشتند که تیمار گیاهان باقلا با قارچ تریکودرما در کاهش جمعیت شته سیاه باقلا موثر بوده است.

جاسمونیک اسید (JA) از مشتقات اسیدلینولئیک و یکی از هورمون‌های اصلی گیاهی می‌باشد که در هماهنگی مسیرهای پیچیده پیام‌رسانی مشارکت دارد (Pieterse *et al.*, 2012). اسید جاسمونیک به سرعت بعد از زخم شدن بافت گیاهی در محل زخم تجمع پیدا می‌کند و پاسخ‌های دفاعی علیه صدمات مکانیکی و حمله آفات را راه‌اندازی می‌نماید (Qalebi *et al.*, 2021). این ترکیب به عنوان تنظیم کننده درون‌زای گیاهی موجب بهبود کمیت و کیفیت محصول و افزایش مقاومت به عوامل محیطی از جمله آفات می‌شود (Saikia *et al.*, 2003). بکارگیری هورمون اسید جاسمونیک، سبب طولانی شدن دوره تخم تا شفیره لاروهای شب‌پره زمستانه شده است (Thaler, 1999). القای مقاومت در گوجه‌فرنگی نسبت به شته سیب‌زمینی، *Macrosiphum euphorbiae* Thomas، با استفاده از جاسمونیک اسید به صورت قابل توجهی طول عمر و تولید مثل شته‌های بالغ را کاهش داده است (Cooper & Goggin, 2005). همچنین اسید جاسمونیک با غلظت ۵ میلی‌مولار به صورت معنی‌داری میزان تفریح تخم‌های زنجبرک قهوه‌ای برنج را کاهش داده است (Senthil-Nathan *et al.*, 2009). گیاهان به صورت مستقیم قادر هستند زنده‌مانی، هضم غذا، اندازه و وزن بدن، نشو و نمو، طول عمر، رفتارهای جفت‌گیری و باروری حشرات گیاهخوار را در همان نسل یا نسل بعد با ساز و کار آنتی‌بیوز از طریق ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خود تحت تاثیر قرار دهند (Sarfraz *et al.*, 2006; Bernays & Chapman, 2007). اغلب تحقیقاتی که تاکنون در مورد نقش اندوفیت‌ها و پرایمینگ‌ها در القای مقاومت در گیاهان صورت گرفته است، به توانایی این عوامل در مقابله با بیمارگرهای گیاه پرداخته است (Harman *et al.*, 2017; Coppola *et al.*, 2004). و تحقیقات گسترده‌ای در مورد القای مقاومت علیه آفات انجام نشده است. چنین مطالعاتی از آنجایی که فرصت‌ها را برای تقویت و توسعه بیشتر برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات فراهم می‌کند شایسته توجه بیشتر می‌باشد. لذا این پژوهش به منظور بررسی اثر تیمار گیاه فلفل رنگی با هورمون گیاهی جاسمونیک اسید (JA) و قارچ *T. barzianum* بر میزان جذب حشرات کامل، ترجیح تخم‌گذاری، ویژگی‌های زیستی و جدول زندگی تریپس غربی گل انجام شده است. همچنین اثر این تیمارها روی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه فلفل رنگی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این بررسی ارزیابی مقاومت القا شده و اثر هم‌افزایی ناشی از قارچ بیمارگر *T. barzianum* T22 و هورمون جاسمونیک اسید در گیاه فلفل رنگی برای مهار زیستی آفت تریپس غربی گل بود.

مواد و روش‌ها

کاشت گیاه فلفل. بذر فلفل رنگی قرمز، رقم لورکا (*Capsicum annum* Lorca) از شرکت سمینیس هلند تهیه شد. برای تسریع در جوانه‌زنی، بذرهای روی کاغذ صافی مرطوب قرار گرفت و سپس در بستر کشت استاندارد شامل کوکوپیت ۵۰٪ + پرلیت ۴۰٪ + پیت‌ماس ۱۰٪ استریل شده در گلدان‌های پلاستیکی (قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر) در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۵ ± ۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد بدون مصرف هیچ‌گونه آفت‌کشی کشت داده شدند. جوانه‌های سبز شده، روزانه با آب مقطر آبیاری شدند و گیاهان آلوده به‌صورت مستمر از گلخانه خارج شدند. گیاهچه‌ها در مرحله ۴ تا ۵ برگ حقیقی (با گذشت ۶ هفته پس از کشت) برای آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

پرورش تریپس غربی گل. جمعیت تریپس غربی گل از روی گل‌های فلفل رنگی از گلخانه‌های استان البرز (50° 81 N, 35° 84' E, 1264 m) جمع‌آوری شد. شناسایی و تایید گونه با استفاده از منابع معتبر انجام گرفت (Minaei, 2013). پرورش جمعیت تریپس غربی گل با روش ارائه شده توسط DeGraaf & Wood (2009) و توسعه یافته توسط Mortazavi *et al.*, (2015) انجام گرفت. بدین منظور، از میوه خیار به تعداد چهار عدد در ظرف‌های پلاستیکی (۷/۵ × ۲۰ سانتی‌متر) استفاده شد. ظرف در قسمت میانی به دو قسمت تقسیم شد، در قسمت بالایی میوه‌های خیار قرار گرفت و در قسمت زیرین بطری‌های کوچک حاوی آب مسدود شده با پنبه برای ایجاد رطوبت قرار گرفتند. خیارهای تهیه شده با آب شست‌وشو و با پنبه الکلی ضدعفونی شدند. سپس برای یک روز در انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سلسیوس نگهداری شدند. جایگزینی میوه‌های خیار در کلنی هر پنج روز یکبار انجام شد. پس از پنج روز، دو جفت حشره نر و ماده از کلنی برداشت و به ظرف جدید با شرایط مشابه منتقل شد. پس از حذف حشرات بالغ، لاروها در شرایط ذکر شده نگهداری شدند تا به حشره بالغ تبدیل شوند. حشرات کامل ظهور یافته به عنوان نسل جدید در نظر گرفته شدند. ظرف‌های پلاستیکی در شرایط دمایی ۱ ± ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۵ ± ۶۵ درصد و دوره روشنایی و تاریکی ۱۶ و ۸ ساعت نگهداری شدند. برای به دست آوردن لاروهای همسن تریپس، تریپس‌های بالغ از کلنی برداشته و به مدت دو روز میوه‌های خیار در اختیار آن‌ها قرار گرفت و به آن‌ها اجازه داده شد که برای مدت دو روز روی این میوه‌ها تخم‌گذاری نمایند. میوه‌ها از دسترس حشرات بالغ خارج و در ظرف جداگانه‌ای تا ظهور لاروها نگهداری شدند.

تیمارهای جاسمونیک اسید (JA) و قارچ تریکودرما (Th). محلول هورمون به روش (Thaler et al., 1999) با غلظت ۰/۵ میلی مولار با استفاده از اسید جاسمونیک سنتز شده توسط شرکت Sigma Aldrich (دایا اکسیر جم) تهیه و در یک نوبت پس از کاشت گیاه فلفل در گلدان در مرحله ۴-۵ برگی روی اندامهای هوایی گیاهان محلول پاشی شد (Nemati et al., 2020). جدایه T22 از قارچ *T. harizjanum* از شرکت بایوران (فن آوری زیستی طبیعت گرا) تهیه و پس از تک اسپور کردن روی محیط PDA کشت شد. برای تهیه سوسپانسیون اسپور، ظرفهای پتری به مدت یک هفته در انکوباتور در دوره نوری ۱۲:۱۲ (تاریکی: روشنایی) قرار گرفت. پس از اضافه کردن ۱۰ میلی لیتر آب مقطر به ظرفهای پتری، اسپورهای قارچ از سطح ظرف جمع آوری شدند و مجدد با آب مقطر استریل توسط سانتریفوژ به مدت ۱۰ دقیقه در سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه شست و شو داده شد. در نهایت تعداد اسپور در میلی لیتر توسط هموسیستمتر اندازه گیری و با افزودن سولفات منیزیم رقت مورد نظر سوسپانسیون به میزان 1×10^7 اسپور در هر میلی لیتر تهیه شد (Alizadeh et al., 2013). مایه زنی گیاهچه در مرحله ۴ تا ۵ برگی توسط سوسپانسیون اسپور با غلظت 1×10^7 اسپور در میلی لیتر به میزان ۱۰ میلی لیتر به ازای هر گیاهچه به خاک ریشه افزوده شد. چهار تیمار شامل شاهد (بستر بدون مواد افزودنی)، تیمار JA به تنهایی، تیمار Th به تنهایی و تیمار تلفیق JA+Th در نظر گرفته شد.

ویژگی های رشدی و فیزیولوژیک گیاه فلفل. خصوصیات رویشی شامل، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، ارتفاع بوته، طول ریشه و میزان فنول و شاخص کلروفیل برگ در پایان آزمایش (یک ماه پس از اعمال تیمارها) اندازه گیری شد. برای اندازه گیری وزن تر شاخساره و ریشه، شاخساره و ریشه از محل طوقه از هم جدا و با کمک ترازوی دیجیتال وزن شدند و برای اندازه گیری وزن خشک در آون دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و مجدد با کمک ترازو وزن شدند.

برای سنجش فنول گیاه، نمونه های برگ در فویل آلومینیوم بسته بندی و بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد شد و تا زمان آزمایش در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. سنجش میزان فنول به روش (Ainsworth & Gillespie, 2007) انجام گرفت. به منظور همگن سازی بافت برگ از متانول ۹۵ درصد استفاده شد و محلول به دست آمده به مدت ۴۸ ساعت در تاریکی نگهداری شد. پس از سانتریفوژ به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس با ۱۴ هزار دور در دقیقه، مایع رویی با معرف فولین سیو کالتئو (Folin Ciocalteu) تهیه شده از شرکت سیگما آلد ریچ و کربنات سدیم هفت درصد مخلوط شد. تیمار شاهد، تنها متانول ۹۵ درصد به همراه کربنات سدیم و معرف فولین سیو کالتئو بود. میزان جذب در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. مقدار فنول کل از روی منحنی استاندارد برحسب گالیک اسید با غلظت های مختلف به صورت میلی گرم در هر گرم پودر خشک محاسبه و ثبت شد. شاخص کلروفیل برگ، که نمایانگر میزان کلروفیل برگ است، توسط دستگاه کلروفیل سنج (SPAD) (مدل ۵۰۲ ساخت شرکت میتولتا، ژاپن) اندازه گیری شد.

میزان جذب و ترجیح تخم گذاری تریپس غربی گل

آزمون انتخاب آزاد. ترجیح میزبانی آفت با حق انتخاب میان شاهد (بستر بدون مواد افزودنی)، تیمار JA به تنهایی، تیمار Th به تنهایی و تیمار تلفیق JA+Th انجام شد. چهار گلدان پنج برگی (پس از گذشت سه روز از تیمار گیاهان) داخل قفس های مکعبی شکل ($50 \times 50 \times 50$ سانتی متر) دارای دریچه های تهویه پوشیده شده با توری ۵۰ مش قرار گرفت (Nemati et al., 2020). به منظور حذف اثر نور در جلب حشرات کامل تریپس، گلدان های حاوی گیاه پنج برگی شامل هر یک از تیمارهای مورد نظر، به صورت تصادفی و چرخشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار رأس یک مربع داخل قفس قرار گرفت. تعداد ۴۰ جفت حشره بالغ یک روزه تریپس (۴۰ نر و ۴۰ ماده) از جمعیت کلنی جمع آوری و در مرکز هر قفس رهاسازی شدند. پس از گذشت دو روز، هر گلدان فلفل با احتیاط کامل به یخچال با دمای چهار درجه سلسیوس منتقل و به مدت ۳۰ دقیقه در این دما ذخیره سازی شدند. پس از بی حرکت شدن حشرات، تعداد افراد بالغ مستقر در هر گیاه شمارش شد. سپس برگ ها بریده شد و در شرایط ثابت محیطی تا خروج لاروهای سن اول نگهداری شد. تعداد لاروهای سن اول برای هر تیمار ثبت شد. این آزمایش با پنج تکرار (پنج قفس) برای هر تیمار در شرایط ثابت محیطی (دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت 65 ± 5 درصد و شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) انجام گرفت.

آزمون غیرانتخابی. در این بررسی تریپس ها به صورت مستقیم روی گیاه آلوده منتقل و میزان تخم گذاری آن ها بررسی شد. بدین منظور یک گیاه پنج برگی (پس از گذشت سه روز از تیمار گیاهان) داخل قفس تهویه دار مکعب مستطیلی شکل ($25 \times 25 \times 40$ سانتی متر) پوشیده با توری ۵۰ مش قرار گرفت (Nemati et al., 2020). تمامی گیاهان تیمار شده از نظر اندازه و تعداد برگ مشابه یکدیگر انتخاب شدند. سپس تعداد ۱۰ جفت حشره بالغ چهار روزه تریپس شامل ۱۰ حشره نر و ۱۰ فرد ماده به هر گلدان در قفس اختصاص داده شد. مدت زمان ۴۸ ساعت برای تغذیه، جفت گیری و تخم گذاری در نظر گرفته شد. بعد از این زمان با حذف تریپس ها، برگ ها بریده و در شرایط ثابت محیطی تا خروج لاروهای سن اول نگهداری شد. تعداد لاروهای سن اول برای هر تیمار ثبت شد. این آزمایش با پنج تکرار (پنج قفس) برای هر تیمار در شرایط ثابت محیطی (دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت 65 ± 5 درصد و شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) انجام گرفت.

پراسنجه های جدول زندگی تریپس غربی گل. در این مطالعه ۱۰ عدد تریپس غربی گل نسل پنجم آزمایشگاهی انتخاب و به مدت ۲۴ ساعت برای تخم ریزی روی گیاهان فلفل تیمار شده (شاهد، تیمار JA به تنهایی، تیمار Th به تنهایی و تیمار تلفیق JA+Th) رهاسازی شدند. سپس حشرات بالغ جمع آوری و اجازه داده شد تا تخم های گذاشته شده تفریخ شوند. تریپس غربی گل تخم ها را داخل بافت گیاه قرار می دهد و جابجایی تخم ها به دلیل تلفات زیاد امکان پذیر نیست، لذا لاروهای سن اول تریپس غربی گل که همگی کمتر از ۲۴ ساعت سن داشتند، به عنوان گروه هم سن آزمایشی استفاده شد. هشتاد عدد لارو سن یک همزاد که هر یک از آن ها به منزله یک تکرار آزمایشی بود، برای انجام آزمایش انتخاب شد. هر واحد آزمایشی شامل تشک های پتری پلاستیکی (قطر ۵/۵ سانتی متر) با یک سوراخ در آن ها برای ایجاد تهویه، بود (Reiter et al., 2015). داخل هر تشک پتری با آگار ۰/۷ درصد به ضخامت ۰/۵ سانتی متر پر شده بود و روی آگار، دیسک های برگ فلفل (قطر ۵ سانتی متر) قرار داده شد. روی هر دیسک برگ فلفل تیمار شده (ذکر شده در قسمت قبل) یک لارو سن اول تریپس

غربی گل قرار داده شد. سپس روزانه مراحل رشد و نمو و میزان تلفات لاروها تا زمان تبدیل شدن به حشره کامل ثبت شد. پس از ظهور حشرات کامل، فرد ماده (به همراه یک فرد نر) برای تخم‌ریزی به صورت انفرادی روی برگ‌های میزبان قرار داده شد. دیسک‌های برگ‌ی هر روز تعویض شد و این روند تا زمان مرگ آخرین فرد ادامه یافت. کلیه مراحل آزمایش در شرایط ثابت محیطی (دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت 65 ± 5 درصد و شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها. داده‌های بدست آمده برای نرمال بودن با استفاده از تست Kolmogorov-Smirnov بررسی شدند. سپس با استفاده از one-way ANOVA آنالیز شدند. در صورت مشاهده معنی‌داری با استفاده از آزمون Tukey's در سطح ۵ درصد مقایسه میانگین انجام گرفت. کلیه مراحل آماری در نرم‌افزار IBM-SPSS v.22 انجام گرفت. داده‌های بدست آمده از جدول زندگی تریپس غربی گل، برپایه تئوری جدول زندگی روش دو جنسی سن-مرحله رشدی (sex life table theories) (Chi & Liu, 1985; Chi, 1988; Chi, 2017) و با استفاده از نرم افزار TWOSEX-MSChart program 2019 محاسبه شد. برای تخمین میانگین و خطای استاندارد پراسنجه‌های جدول زندگی، از روش بوت‌استرپ با تکرار ۱۰۰۰۰۰ استفاده شد (Huang & Chi, 2013). مقایسه آماری نتایج به دست آمده با استفاده از فاصله اطمینان میانگین‌ها (CI) با روش بوت‌استرپ جفت شده (PBT pooled) توسط نرم‌افزار TWOSEX-MSChart program 2019 در فاصله اطمینان ۹۵٪ (CI = 95%) انجام گرفت.

نتایج

ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه فلفل. وزن تر شاخساره گیاه ($F = 101.76$, $df = 3, 39$, $P < 0.001$) دارای تفاوت معنی‌داری در تیمارها بود. کمترین مقدار وزن تر شاخساره در تیمار JA ($61/63$ گرم) و بیشترین مقدار آن در تیمارهای Th ($88/47$ گرم) و JA + Th ($84/11$ گرم) مشاهده شد (شکل a۱). تفاوت معنی‌داری برای وزن خشک شاخساره گیاه ($F = 26.04$, $df = 3, 39$, $P < 0.001$) بین تیمارها بود. تیمارهای Th ($12/03$ گرم) و JA + Th ($11/80$ گرم) دارای بیشترین مقدار و تیمار JA ($8/61$ گرم) دارای کمترین مقدار وزن خشک شاخساره بودند (شکل b۱). وزن تر ریشه گیاه فلفل رنگی به صورت معنی‌داری ($F = 121.94$, $df = 3, 39$, $P < 0.001$) تحت تاثیر تیمارهای JA، Th و JA + Th قرار گرفت. تیمار JA ($27/74$ گرم) دارای کمترین مقدار و تیمار Th ($36/04$ گرم) دارای بیشترین مقدار وزن تر ریشه بود (شکل c۱). وزن خشک ریشه گیاه ($F = 10.11$, $df = 3, 39$, $P < 0.001$) دارای تفاوت معنی‌داری میان تیمارهای ذکر شده بود. کمترین مقدار وزن خشک ریشه در تیمار JA ($5/04$ گرم) و بیشترین مقدار آن در تیمار Th ($6/52$ گرم) مشاهده شد (شکل d۱). تفاوت معنی‌داری برای ارتفاع بوته ($F = 13.46$, $df = 3, 39$, $P < 0.001$) بین تیمارها مشاهده شد. تیمار Th ($39/17$ سانتی‌متر) دارای بیشترین مقدار و تیمار JA ($30/52$ سانتی‌متر) دارای کمترین مقدار ارتفاع بوته بود (شکل e۱). طول ریشه به صورت معنی‌داری ($F = 18.62$, $df = 3, 39$, $P < 0.001$) تحت تاثیر تیمارهای JA، Th و JA + Th قرار گرفت. تیمار JA ($40/14$ سانتی‌متر) دارای کمترین مقدار و تیمار Th ($51/55$ سانتی‌متر) دارای بیشترین مقدار طول ریشه بود (شکل f۱). میزان فنول گیاه ($F = 8.39$, $df = 3, 39$, $P < 0.001$) دارای تفاوت معنی‌داری بین تیمارها بود. کمترین مقدار فنول در شاهد ($0/351$ میلی‌گرم/گرم) و بیشترین مقدار آن در تیمار JA + Th ($0/453$ میلی‌گرم/گرم) مشاهده شد (شکل g۱). تفاوت معنی‌داری برای شاخص کلروفیل ($F = 18.73$, $df = 3, 39$, $P < 0.001$) بین تیمارها مشاهده شد. کلیه تیمارها (JA، Th و JA + Th) دارای تفاوت معنی‌داری با شاهد بودند و کمترین میزان شاخص کلروفیل ($68/76$) در شاهد بدست آمد (شکل h۱).

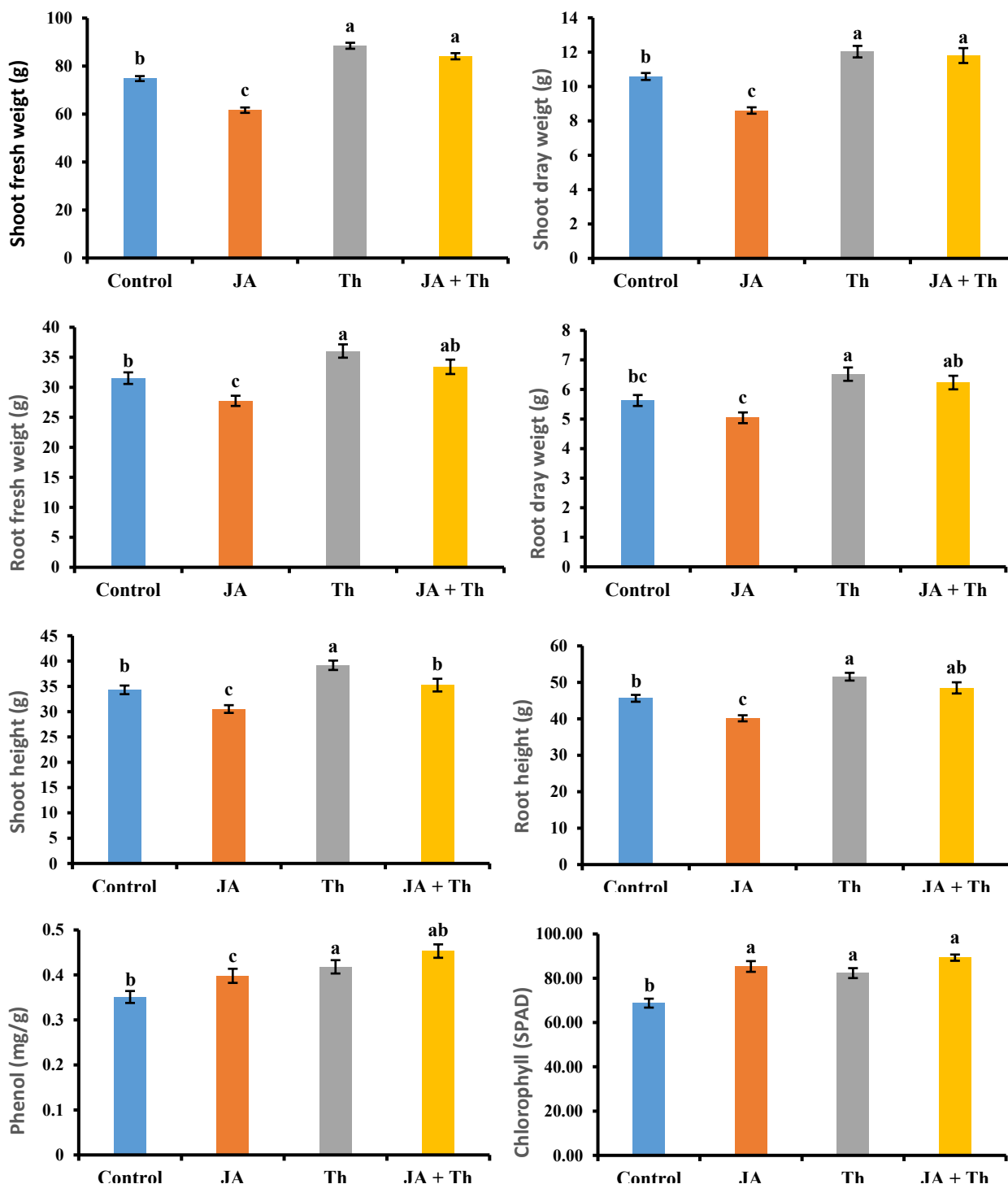
میزان جذب و ترجیح تخم‌گذاری تریپس غربی گل با آزمون انتخاب آزاد. تفاوت معنی‌داری ($F = 56.74$, $df = 3, 19$, $P < 0.001$) در میزان جذب حشرات کامل تریپس به گلدان‌های تیمار شده با JA، Th و JA + Th در مقایسه با شاهد وجود داشت. بیشترین میزان جذب حشرات کامل در شاهد ($31/2$ حشره) و پایین‌ترین میزان در تیمار JA + Th ($9/6$ حشره) مشاهده شد (شکل a۲).

تعداد لاروهای سن اول شمارش شده روی گیاهان فلفل رنگی میان تیمارهای JA، Th و JA + Th در آزمون انتخاب آزاد تفاوت معنی‌داری ($F = 19.43$, $df = 3, 19$, $P < 0.001$) را نشان داد. براساس نتایج، کمترین تعداد لارو سن اول تریپس غربی گل در تیمارهای JA ($17/4$ لارو) و JA + Th ($13/2$ لارو) و بیشترین تعداد آن در تیمارهای Th (32 لارو) و شاهد ($44/8$ لارو) مشاهده شد (شکل b۲).

میزان شایستگی (Fitness) تریپس غربی گل با آزمون غیرانتخابی. در آزمون غیرانتخابی تفاوت معنی‌داری ($F = 23.78$, $df = 3, 19$, $P < 0.001$) در تعداد لاروهای سن اول شمارش شده آفت میان تیمارهای مختلف وجود داشت. کمترین تعداد لارو سن اول شمارش شده در تیمار JA + Th (25 لارو) و بیشترین تعداد آن در شاهد ($64/6$ لارو) تخمین زده شد (شکل ۳).

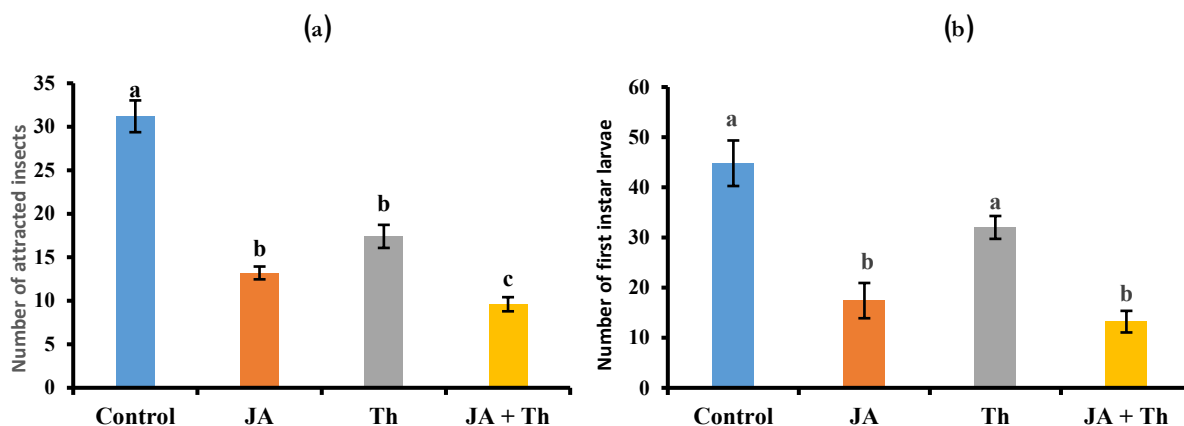
دوره نشو و نمای مراحل مختلف زیستی. طول دوره نشو و نمای مراحل مختلف زیستی تریپس غربی گل، *F. occidentalis*، روی گیاه فلفل رنگی تیمار شده با جاسمونیک اسید (JA)، قارچ تریکودرما (Th)، JA + Th و شاهد در جدول یک نشان داده شده است. طولانی‌ترین طول دوره پیش از بلوغ در تیمار JA + Th ($17/69$ روز) مشاهده شد که با مقادیر متناظر در تیمار JA (0.155 & 2.555 CI) و Th (1.415 & 3.503 CI) و شاهد (2.977 & 4.995 CI) دارای اختلاف معنی‌داری بود. تیمارها از نظر کل دوره پیش از بلوغ در چهار گروه جداگانه قرار گرفتند. طولانی‌ترین طول عمر حشرات کامل ماده در شاهد ($22/76$ روز) مشاهده شد که با مقادیر متناظر در تیمار JA (3.874 & 7.797 CI) و Th (1.608 & 5.395 CI) و JA + Th (5.299 & 9.193 CI) دارای اختلاف معنی‌داری بود. اختلاف معنی‌داری در طول عمر حشرات کامل ماده میان تیمارهای JA و JA + Th (-0.103 & 2.923 CI) مشاهده نشد.

زادآوری تریپس غربی گل به صورت معنی داری تحت تاثیر تیمارها قرار گرفت. تعداد تخم گذاشته در شاهد (۹۹/۹۵) به صورت معنی داری از مقادیر متناظر در تیمارهای JA (۶۶/۳۳) (CI: 24.090 & 43.414) Th (۷۷/۹۷) (CI: 13.135 & 30.784) و JA + Th (۵۴/۱۷) (CI: 36.640 & 54.953) بیشتر بود.



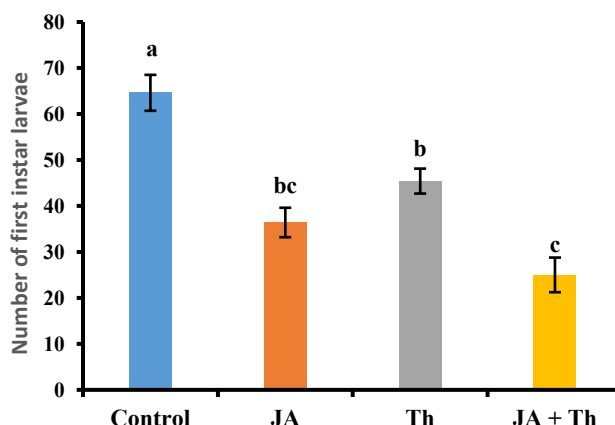
شکل ۱- اثر تیمارهای جاسمونیک اسید (JA)، قارچ *Trichoderma* (Th) و JA + Th روی وزن تر (a)، وزن خشک (b)، شاخساره (c)، وزن تر (d)، ارتفاع بوته (سانتی متر) (e)، طول ریشه (سانتی متر) (f)، میزان فنول (میلی گرم/گرم) (g) و شاخص کلروفیل (SPAD) (h) گیاه فلفل رنگی در مقایسه با شاهد (Control). حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی دار می باشند ($P < 0.05$) (one way ANOVA followed by Tukey's test).

Fig. 1. The effect of jasmonic acid (JA), *Trichoderma* fungus (Th), and JA + Th treatments on fresh weight (g) of shoot (a), dry weight (g) of shoot (b), fresh weight (g) of root (c), root dry weight (g), plant height (cm) (e), root length (cm) (f), phenol content (mg/g) (g) and chlorophyll index (SPAD) (h) colored pepper plant compared to control. Different letters indicate significant differences (one-way ANOVA followed by Tukey's test) ($P < 0.05$).



شکل ۲- میزان جذب حشرات کامل تریپس غربی گل به گل‌دان‌های فلفل رنگی (a) و تعداد لاروهای سن اول شمارش شده تریپس غربی گل (b) در تیمارهای جاسمونیک اسید (JA)، قارچ تریکودرما (Th) و JA + Th در مقایسه با شاهد (Control) در آزمون انتخاب آزاد. حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار می‌باشند (one way ANOVA followed by Tukey's test) ($P < 0.05$).

Fig. 2. The rate of absorption of western flower thrips whole insects into colored pepper pots (a) and the number of first instar larvae of western flower thrips counted (b) in jasmonic acid (JA), *Trichoderma* fungus (Th) and JA + Th treatments in Comparison with the control in the free choice test. Different letters indicate significant differences (one-way ANOVA followed by Tukey's test) ($P < 0.05$).



شکل ۳- تعداد لاروهای سن اول شمارش شده تریپس غربی گل در تیمارهای جاسمونیک اسید (JA)، قارچ تریکودرما (Th)، JA + Th و گیاه شاهد (Control) در آزمون غیرانتخابی، حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار می‌باشند (one way ANOVA followed by Tukey's test) ($P < 0.05$).

Fig. 3. The number of first-instar larvae of western flower thrips counted in treatments of jasmonic acid (JA), *Trichoderma* fungus (Th), JA + Th, and the control plant (Control) in the non-selective test, unlike letters, indicate a significant difference (one way) ANOVA followed by Tukey's test) ($P < 0.05$).

نرخ زنده‌مانی ویژه سنی، امید به زندگی و باروری. امید به زندگی ویژه سن-مرحله رشد (e_{xi}) یک فرد تازه متولد شده تریپس غربی گل در شاهد و تیمارهای JA، Th و JA + Th در به ترتیب معادل ۳۱/۲۳، ۲۸/۱۹، ۲۹/۳۵ و ۲۷/۸۸ روز است (شکل ۴). بالاترین نرخ زنده‌مانی برای مرحله شفیرگی روی شاهد و تیمارهای JA، Th و JA + Th به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۳، ۰/۳۹ و ۰/۳۵ بدست آمد (شکل ۵). بالاترین ارزش تولید مثلی تریپس غربی گل در زمان ظهور حشره کامل ماده برای تیمارهای ذکر شده به ترتیب ۳۷/۳۶، ۲۹/۱۴، ۳۲/۱۲ و ۲۷/۲۷ محاسبه شد (شکل ۶). همچنین بالاترین باروری ویژه سن - مرحله (f_{xi}) برای تیمارهای ذکر شده به ترتیب در روزهای ۲۰، ۲۵، ۲۲ و ۲۷ با تولید ۸/۱۵، ۵/۴۱، ۱۱/۷ و ۴/۹۳ تخم بر ماده می‌باشد (شکل ۷).

پراسنجه‌های جدول زندگی دوجنسی. تمامی پراسنجه‌های جدول زندگی تریپس غربی گل روی گیاه فلفل رنگی تیمار شده با JA، Th و JA + Th و شاهد دارای تفاوت معنی‌داری بودند (Table 2). بیشترین نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) روی شاهد (۷۴/۷ تخم) مشاهده شد که با مقادیر متناظر در تیمارهای JA (CI: 3.882 & 38.632) و Th (CI: 3.936 & 38.664) و JA + Th (CI: 11.661 & 46.463) دارای اختلاف معنی‌داری بود.

جدول ۱- زمان نمو، باروری و میزان بقای پیش از بلوغ مراحل مختلف تریپس گل غربی (*Frankliniella occidentalis*, WFT)، در گیاه فلفل تیمار شده با اسید جاسمونیک (JA)، *Trichoderma barzianum* (Th)، JA + Th و شاهد (n: تعداد افراد).

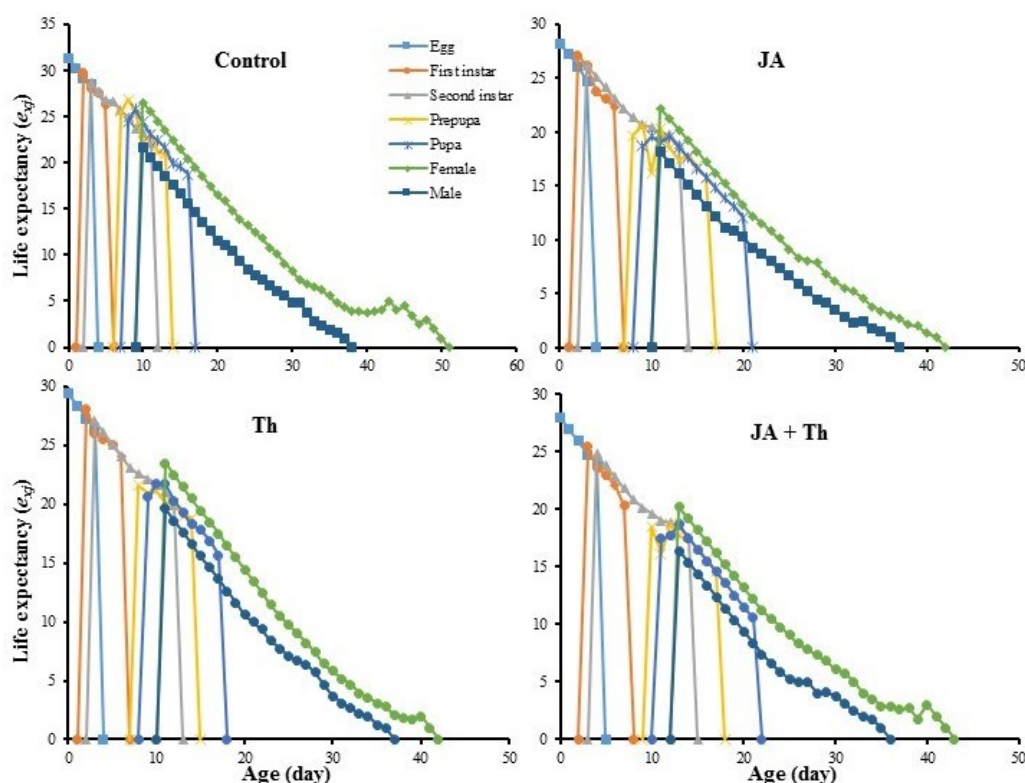
Table 1. Development time, fecundity, and preadult survival rate of different stages of the western flower thrips (WFT), *Frankliniella occidentalis*, at treated pepper plant with Jasmonic acid (JA), *Trichoderma barzianum* (Th), JA + Th, and control (n: number of individuals).

Stage	Treatments							
	Control		JA		Th		JA + Th	
	n	Mean±SE	n	Mean±SE	n	Mean±SE	n	Mean±SE
Egg (day)	77	3.09±0.07c ¹	75	3.53±0.83b	72	3.24±0.08c	74	3.91±0.08a
First instar (day)	75	1.67±0.23c	72	1.93±0.11ab	70	1.89±0.09b	71	2.18±0.09a
Second instar (day)	72	5.12±0.08d	69	6.14±0.09b	67	5.67±0.06c	66	6.5±0.06a
Prepupa (day)	69	1.48±0.06c	66	1.77±0.09ab	64	1.67±0.06b	64	1.97±0.10a
Pupa (day)	67	2.33±0.06c	63	2.81±0.10ab	61	2.69±0.06b	61	3.02±0.10a
Immature stages (day)	67	13.70±0.30d	63	16.33±0.45b	61	15.23±0.32c	61	17.69±0.42a
Preadult survival rate	77	0.87±0.03a	75	0.84±0.04a	72	0.85±0.04a	74	0.82±0.04a
APOP ² (day)	41	1.93±0.11a	37	1.76±0.11a	36	1.86±0.11a	35	1.77±0.11a
TPOP ³ (day)	41	15.63±0.41c	37	18.05±0.62ab	36	17.06±0.43b	35	19.43±0.59a
Female adult longevity (d)	41	22.76±0.83a	37	16.92±0.55c	36	19.25±0.49b	35	15.51±0.54c
Male adult longevity (day)	26	17.88±0.81a	26	13.08±0.52c	25	15.32±0.58b	26	11.61±0.44d
Female total longevity (d)	41	36.46±0.98a	37	33.22±0.89b	36	34.44±0.69ab	35	33.17±0.87b
Male total longevity (day)	26	31.58±0.97a	26	29.46±0.97a	25	30.60±0.93a	26	29.35±0.75a
Fecundity (eggs/female)	41	99.95±3.97a	37	66.32±2.81c	36	77.97±2.12b	35	54.17±2.48d
Oviposition period (day)	41	18.83±0.71a	37	13.97±0.46c	36	15.97±0.37b	35	12.29±0.42d

¹The standard errors were estimated by using bootstrap technique with 100000 resampling. The same letter within a row indicates no significant difference between treatments based on a paired bootstrap test at the 5% significance level.

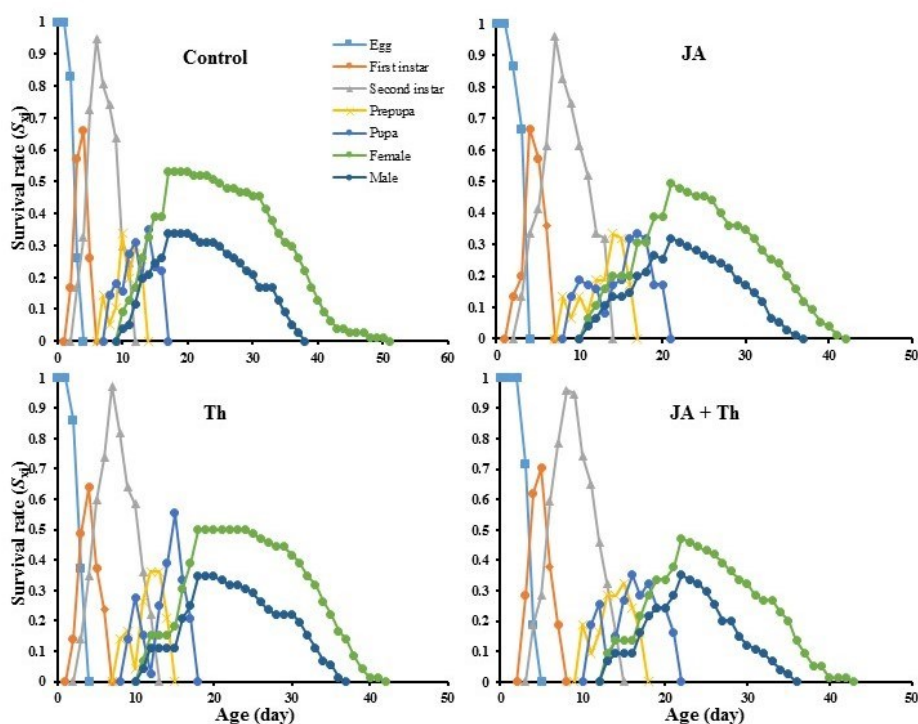
²APOP was defined as the period between adult emergence and first oviposition.

³TPOP was defined as the time between the day an offspring enclosed from the egg and the day of its first oviposition or the period from egg to adult plus preoviposition period.



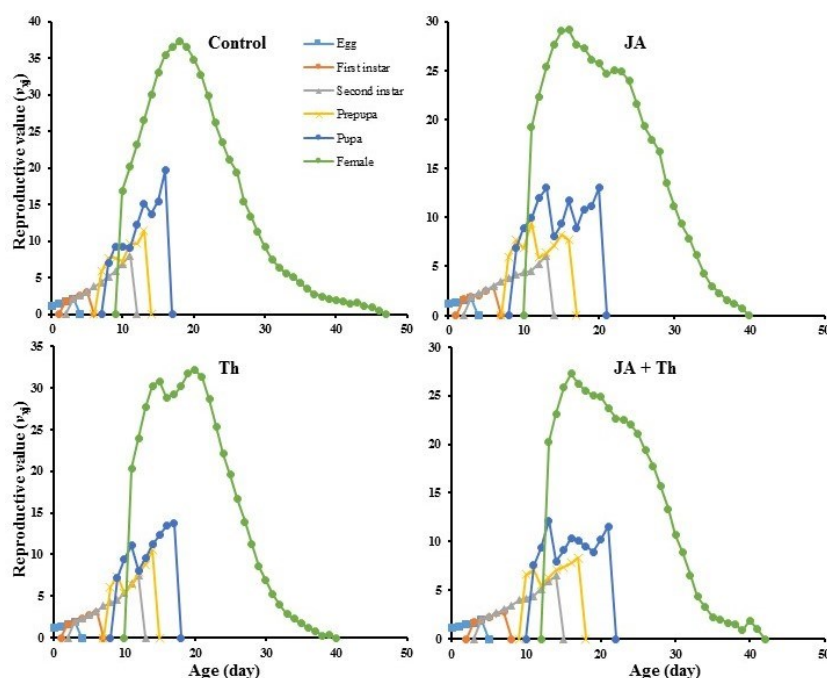
شکل ۴- امید به زندگی ویژه مرحله سنی (e_{xi}) تریپس گل غربی (*Frankliniella occidentalis*, WFT)، در گیاه فلفل تیمار شده با اسید جاسمونیک (JA)، *Trichoderma barzianum* (Th)، JA + Th و شاهد.

Fig. 4. Age-stage specific life expectancy (e_{xi}) of the western flower thrips (WFT), *Frankliniella occidentalis*, at treated pepper plant with Jasmonic acid (JA), *Trichoderma barzianum* (Th), JA + Th, and control.



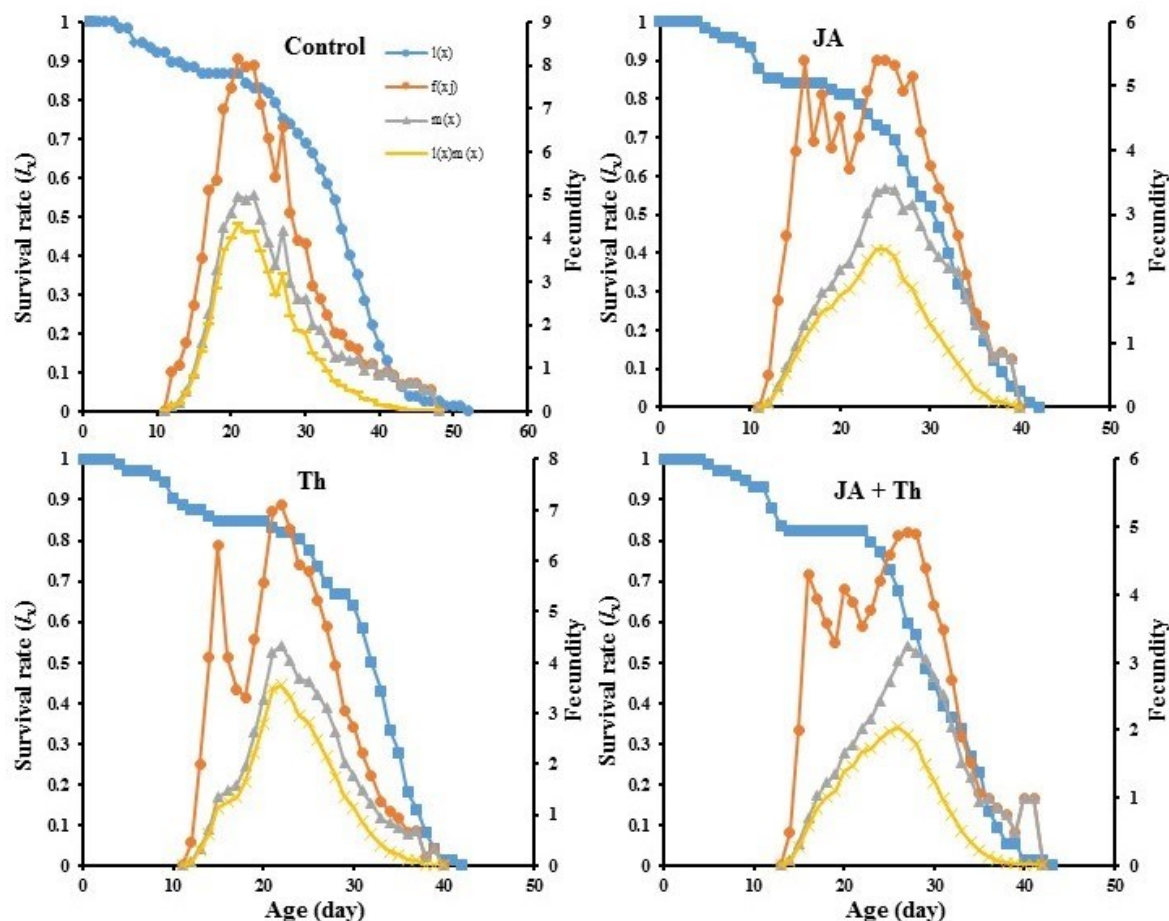
شکل ۵- نرخ بقای خاص مرحله سنی (s_{xi}) تریپس گل غربی (*Frankliniella occidentalis*، (WFT)، در گیاه فلفل تیمار شده با اسید جاسمونیک (JA)، *Trichoderma barzianum* (Th)، JA + Th، و شاهد.

Fig. 5. Age-stage specific survival rate (s_{xi}) of the western flower thrips (WFT), *Frankliniella occidentalis*, at treated pepper plant with Jasmonic acid (JA), *Trichoderma barzianum* (Th), JA + Th, and control.



شکل ۶- ارزش زایشی (v_{xi}) تریپس گل غربی (*Frankliniella occidentalis*، (WFT)، در گیاه فلفل تیمار شده با اسید جاسمونیک (JA)، *Trichoderma barzianum* (Th)، JA + Th، و شاهد.

Fig. 6. The reproductive value (v_{xi}) of the western flower thrips (WFT), *Frankliniella occidentalis*, at treated pepper plant with Jasmonic acid (JA), *Trichoderma barzianum* (Th), JA + Th, and control.



شکل ۷- نرخ بقای سن خاص (l_x)، باروری خاص در مرحله سنی (f_{xj})، باروری خاص سن (m_x) و زایمان خاص سن ($l_x m_x$) تریپس گل غربی (WFT)، *Frankliniella occidentalis*، در تیمار گیاه فلفل با اسید جاسمونیک (JA)، *Trichoderma barzianum* (Th)، JA + Th و شاهد.

Fig. 7. Age-specific survival rate (l_x), age-stage specific fecundity (f_{xj}), age-specific fecundity (m_x), and age specific maternity ($l_x m_x$) of the western flower thrips (WFT), *Frankliniella occidentalis*, at treated pepper plant with Jasmonic acid (JA), *Trichoderma barzianum* (Th), JA + Th, and control.

مقدار نرخ خالص تولیدمثل (R_0) روی شاهد (۵۳/۲۲ نتاج ماده) دارای بیشترین مقدار بود. مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) از ۰/۱۳۳۲ بر روز تا ۰/۱۸۲۷ بر روز به ترتیب برای تیمارهای JA + Th و شاهد متغیر بود. همچنین مقادیر بیشینه و کمینه برای نرخ منتهای افزایش جمعیت (λ) به ترتیب برای تیمارهای JA + Th (۱/۱۴۲ بر روز) و شاهد (۱/۲۰۰ بر روز) بود. میانگین مدت زمان نسل (T) از ۲۱/۷۵ روز تا ۲۴/۳۴ روز به ترتیب برای شاهد و تیمارهای JA + Th متغیر بود.

بحث و نتیجه گیری

اثر تیمارهای جاسمونیک اسید (JA)، قارچ تریکودرما (Th) و JA + Th روی هشت فاکتور اندازه گیری شده از گیاه فلفل رنگی شامل وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع بوته، طول ریشه، میزان فنول و شاخص کلروفیل معنی دار بود. در این مطالعه محلول پاشی اسید جاسمونیک با غلظت ۰/۵ میلی مولار در یک نوبت در مرحله رشدی ۴-۵ برگی گیاهان فلفل موجب کاهش وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع بوته و طول ریشه و موجب افزایش میزان فنول و شاخص کلروفیل در مقایسه با گیاهان شاهد شد. در تطابق با نتایج بدست آمده، محلول پاشی اسید جاسمونیک روی گیاه گوجه فرنگی موجب کاهش معنی دار وزن خشک و تر شاخساره و ریشه شده است و در نقطه مقابل شاخص کلروفیل و مقدار فنول در برگ ها به صورت معنی داری افزایش پیدا کرده است (Haghighi & Mansouri, 2019; Nemati et al., 2020). در پژوهشی که توسط Li et al. (2018) در خصوص بررسی اثر متیل جاسمونات روی ویژگی های رشدی و ضخامت برگ سویا، آفتابگردان و گوجه فرنگی انجام شده است، کاهش رشد شاخساره به ویژه در غلظت های بالای این ترکیب، مورد اشاره قرار گرفته است. در پژوهش دیگری که توسط Taghdiri et al. (2010) انجام شده است، بیشترین ارتفاع بوته گیاهچه های سیب زمینی مربوط به عدم مصرف اسید جاسمونیک گزارش شده است. در واقع اسید جاسمونیک در کاهش رشد مریستم انتهایی ساقه، سرکوب رشد طولی گیاه و کاهش ارتفاع گیاه و تحریک میوه دهی نقش دارد (Pruski et al., 2021). که نتایج این بررسی نیز این موضوع را اثبات می نماید. با در نظر داشتن اثرات وسیع اسید جاسمونیک به ویژه بر متابولیت های ثانویه گیاهی (Emongor, 2007)، پیشنهاد می شود برای مطالعات آینده شاخص های بیشتری از گیاه فلفل رنگی با تیمار شدن اسید جاسمونیک مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۲- پراسنجه‌های جدول زندگی ($\pm$ خطای استاندارد) تریپس غربی *Frankliniella occidentalis*، روی فلفل تیمار شده با جاسمونیک اسید (JA)، قارچ تریکودرما (*Trichoderma barçianum* (Th)، ترکیب هورمون جاسمونیک اسید و قارچ تریکودرما (JA + Th) و گیاه شاهد

Table 2. Population growth parameters (Mean $\pm$ SE) of the western flower thrips (WFT), *Frankliniella occidentalis*, attreated pepper plant with Jasmonic acid (JA), *Trichoderma barçianum* (Th), JA + Th, and control.

Parameters	Control	JA	Th	JA + Th
GRR (eggs/individual)	74.7 $\pm$ 7.13a	53.28 $\pm$ 5.25b	53.21 $\pm$ 5.30b	46.22 $\pm$ 5.29b
R ₀ (eggs/individual)	53.22 $\pm$ 6.06 a*	32.72 $\pm$ 4.07 bc	38.99 $\pm$ 4.69 ab	25.62 $\pm$ 3.34 c
r (day ⁻¹)	0.1827 $\pm$ 0.0062 a	0.1513 $\pm$ 0.0069 bc	0.1636 $\pm$ 0.0068 b	0.1332 $\pm$ 0.0064 c
λ (day ⁻¹)	1.200 $\pm$ 0.007 a	1.163 $\pm$ 0.008 bc	1.178 $\pm$ 0.008 b	1.142 $\pm$ 0.007 c
T (day)	21.75 $\pm$ 0.45 b	23.05 $\pm$ 0.70 ab	22.39 $\pm$ 0.55 b	24.34 $\pm$ 0.67 a

*Means followed by the same letters in each row are not significantly different (Paired bootstrap test, $P < 0.05$).

اگرچه گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما به صورت عمده به عنوان آنتاگونیست علیه بسیاری از عوامل بیماری‌زای گیاهی مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند، اما اثرات مطلوب آن‌ها در رشد و پرورش بسیاری از گیاهان به اثبات رسیده است (Ousley *et al.*, 1994). در تطابق با نتایج این بررسی، مطالعات گوناگونی اثر مثبت جدایه‌های مختلف قارچ تریکودرما را بر عملکرد محصولات کشاورزی گزارش داشته‌اند (Newman *et al.*, 2002). برای مثال، در تحقیقی استفاده از جدایه T22 قارچ *T. barçianum* و جدایه P1 قارچ *T. atroviride* موجب افزایش معنی‌داری در وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، طول گیاه، تعداد برگ و میوه فلفل، کاهو و گوجه فرنگی شدند (Vinale *et al.*, 2004). از دیگر محصولات باغی و زراعی که تاکنون تاثیر گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما در افزایش رشد آن‌ها به اثبات رسیده است، می‌توان به نخود فرنگی، بادنجان، کاهو، فلفل، ترب، توتون، گوجه‌فرنگی و خیار اشاره کرد (Ousley *et al.*, 1994; Vinale *et al.*, 2004). نحوه اثر قارچ تریکودرما که منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود دقیقاً مشخص نمی‌باشد، اما فرضیات مختلفی توسط محققین بیان شده است. برای مثال، ذکر شده است که *Trichoderma* spp. فاکتورهای تنظیم‌کنندگی رشدی را تولید می‌کند که سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک ساقه‌ها و ریشه‌ها را در گیاه افزایش می‌دهد (Windham *et al.*, 1986). قارچ تریکودرما عوامل موثر رشد را در گیاه القا می‌کند (Baker, 1988). همچنین نفوذ و همپوشانی قسمت‌های انتهایی ریشه گیاه توسط *T. barçianum* نیز مشاهده شده است. دیگر مکانیسم احتمالی مطرح شده می‌تواند تاثیر *T. barçianum* در افزایش کارایی انتقال مواد غذایی از خاک به ریشه‌ها از طریق مسیرهایی مشابه با عملکرد قارچ‌های میکوریزا باشد (Kleifeld & Chet, 1992; Qusley *et al.*, 1994). به تاثیر *T. barçianum* در حذف یا کاهش عوامل سمی موجود در خاک که تاثیر بازدارندگی رشدی دارند در افزایش رشد گیاه اشاره نمودند. گزارش شده است که برخی از جدایه‌های تریکودرما باعث افزایش حلالیت و جذب عناصر ریزمغذی مانند روی، منگنز و آهن و پرمصرف مانند فسفر می‌شوند (Altomare *et al.*, 1999).

نتایج بدست آمده از دو آزمون انتخاب آزاد و آزمون غیرانتخابی برای بررسی میزان شایستگی تریپس غربی گل روی گیاهان فلفل رنگی تیمار شده نتایج مشابهی را به دنبال داشت. در هر دو آزمون کمترین تعداد لاروهای سن اول آفت در تیمارهای جاسمونیک اسید و تیمار تلفیقی JA + Th مشاهده شد. شایستگی گیاه میزبان برای تخم‌گذاری، تغذیه و رشد و نمو نتاج حشره، نقش تعیین‌کننده‌ای در استقرار جمعیت حشره بر آن دارد که توسط افراد ماده معمولاً به درستی تشخیص داده می‌شود (van Lenteren & Noldus, 1990; Singh, 1997). افزایش ترکیباتی مانند گلوکوزینولات‌ها، آنتوسیانین‌ها، ترپنوئیدها و آمینواسیدها در گیاهان تیمار شده با هورمون دلایلی است که برای کاهش ترجیح تخم‌گذاری سایر حشرات روی سایر گیاهان گزارش شده است (Renwick & Chew, 1994; Soldaat *et al.*, 1996; Agrawal & Kurashige, 2003). در میان ترکیبات ثانویه، محتوای فنولی موجود در گیاه از مهم‌ترین ترکیبات ایجادکننده مقاومت می‌باشد. نقش فنول در گیاه تنها منحصر به مقاومت در برابر حشرات نبوده و این ترکیبات عامل مقاومت به میکروارگانیزم‌ها نیز هستند (War *et al.*, 2012). در تطابق با نتایج مطالعه حاضر، در بررسی روی شته سیب‌زمینی (*Macrosiphum euphorbiae* (Thomas)) نیز القای مقاومت با استفاده از استرین T22 *T. barçianum* با بیوستز ترپنوئیدها و فعال کردن مسیر سالیسیلیک اسید همراه بوده است و منجر به کاهش تغذیه، تولید مثل شته و همچنین افزایش تولید ترکیبات فرار طبیعی (Volatile organic compounds) در جلب زنبور پارازیتوئید *Aphidius ervi* Haliday به سمت گیاه شده است (Coppola & Cascone, 2017). اثر استرین Tr6 قارچ *T. barçianum* روی القای مقاومت گیاه گوجه‌فرنگی و کاهش ترجیح میزبانی و تخم‌گذاری سفیدبالک گلخانه در شرایط آزمایشگاهی گزارش شده است (Aldaghi *et al.*, 2021). با در نظر داشتن کاهش ترجیح و تخم‌گذاری تریپس غربی گل در پی کاربرد قارچ تریکودرما در گیاه فلفل رنگی می‌توان استنباط کرد که حضور آن در جلوگیری از افزایش طغیانی این آفت چند نسلی در گلخانه موثر خواهد بود.

جدول زندگی ابزار مفیدی در تجزیه و تحلیل احتمال زنده‌مانی و مرگ و میر در افراد یک جمعیت است (Chi & Liu, 1985; Chi, 1988; Chi, 2017). با در نظر داشتن نتایج، اثر تیمارهای مورد بررسی روی دوره نشو و نمای مراحل مختلف زیستی آفت تریپس غربی گل معنی‌دار می‌باشد. در تطابق با نتایج مطالعه حاضر، نتایج (Cipollini & Redman, 1999) نشان داد که به کار بردن اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک با غلظت یک میلی‌مولار با بالا بردن میزان پروکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در برگ‌های گوجه‌فرنگی موجب افزایش طول دوره لاروی (*Manduca sexta* (L.) (Lepidoptera: Sphingidae)) می‌شود و در این بین تاثیر اسید جاسمونیک بر فعالیت پلی‌فنل اکسیداز بیشتر از اسید سالیسیلیک بوده است. در بررسی‌های (Thaler, 1999) مشخص شد که تیمار هورمون اسید جاسمونیک، طول دوره تخم تا شفیره لاروهای شب‌پره زمستانه را افزایش داده است و در نتیجه شانس پارازیت شدن موفق لاروها افزایش یافته است (فرضیه Slow-growth High-mortality). گزارش شده است که تلقیح ریشه گیاهان گوجه‌فرنگی با سویه T22 قارچ تریکودرما موجب کاهش تغذیه و کاهش نرخ رشد نسبی پوره‌های سن سبز، (*Nezura viridula* L. (Heteroptera: Pentatomidae)) می‌شود و همچنین از نظر مولکولی گیاه را تحت تاثیر قرار داده و تولید اسیدجاسمونیک افزایش یافته است (Alinc *et al.*, 2021).

از آنجایی که نرخ ذاتی افزایش جمعیت شامل تمامی فاکتورهای ارزیابی شده مانند، دوره رشد و نمو، باروری و زنده ماندن می‌باشد و به عنوان مهمترین پراسنجه جدول زندگی مطرح است (Carey, 2001). بیشترین تاثیر منفی روی پراسنجه‌های رشد جمعیت آفت توسط تیمار تلفیقی JA + Th ایجاد شد. مشابه با نتایج مطالعه حاضر، (Thaler et al., 1999) و (Thaler et al., 2001) نشان داده‌اند که جاسمونیک اسید با افزایش سطح پلی فنول اکسیداز برگ و آنزیم‌های اکسیداتیو موجب افزایش حدود ۶۰ درصدی مقاومت در برابر حشرات گیاهخوار می‌شود. در تحقیق دیگری اسید جاسمونیک به عنوان یک واکسن علیه مگس‌های مینوز برگ معرفی شده است (Black et al., 2003). در تطابق با نتایج مطالعه حاضر، (Battaglia et al., 2013) کاهش رشد جمعیت شته سبب زمینی، *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas)، پرورش یافته روی گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با سویه MK1 قارچ *Trichoderma longibrachium* گزارش داشته‌اند. در مطالعه دیگری تاثیر سویه Tr6 قارچ *T. harzianum* روی کاهش معنی‌دار نرخ ذاتی افزایش جمعیت شته سیاه باقلا، *Aphis fabae* Scopli، در مقایسه با شاهد گزارش شده است (Azimi et al., 2021). گیاهان آسیب دیده توسط آفات محرک‌هایی تولید می‌کنند که با بیان ژن‌های مربوطه تولید ترکیبات ثانوی فرار و غیرفرار مانند ترکیبات فنولی، هورمون‌های گیاهی (اسیدهای جاسمونیک و سالیسیلیک)، پراکسید هیدروژن، مهارکننده‌های پروتئیناز و اسیدهای آمینه دخیل در دفاع گیاهی (مانند پرولین) را فعال می‌کند در ارتباط با قارچ تریکودرما گزارش شده است که میزان پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اسید آمینه پرولین در برگ گیاهان تیمار شده با قارچ تریکودرما به صورت معنی‌داری بیشتر از گیاهان شاهد می‌باشد. با تحریک سیستم دفاعی گیاه توسط قارچ، تولید مواد دفاعی گیاه مانند پراکسید هیدروژن و پرولین افزایش می‌یابد و در نتیجه تاثیر مخرب روی فیزیولوژی حشره می‌گذارد (War et al., 2011). برای مثال، در گیاه گلرنگ نقش ترکیبات فنلی و هورمون‌های گیاهی از جمله سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در القای مقاومت به شته گلرنگ (Homoptera: Aphididae) (*Uroleucon carthami* (Theobald)، گزارش شده است (Mansouri et al., 2020). نتایج مطالعه حاضر نیز مقاومت القایی گیاه فلفل با کاهش کارایی یا ترجیح میزبانی تریپس غربی گل را اثبات کرد.

نتایج آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی و پراسنجه‌های جدول زندگی نشان دهنده پایین بودن کیفیت گیاهان تیمار شده بویژه تیمار JA + Th برای تغذیه تریپس غربی گل می‌باشد. به صورت کلی القای مقاومت در گیاه اثر منفی روی محیط زیست و سلامت انسان ندارد و در محیط بسته گلخانه نسبت به شرایط مزرعه راحت‌تر می‌توان از آن در تلفیق با دیگر روش‌های حفاظت گیاهان به منظور کاهش جمعیت حشرات آفت استفاده کرد (Aldaghi et al., 2021). تیمار JA + Th برای بکارگیری در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفت تریپس غربی گل قابل توصیه می‌باشد اما نیاز به مطالعات میدانی به ویژه در شرایط گلخانه‌ای برای اثبات کاربرد عملی آن می‌باشد. همچنین توصیه به بررسی اثر این تیمار روی ویژگی‌های زیستی دشمنان طبیعی (سطح سوم) به ویژه کنه‌های شکارگر می‌باشد.

Author's Contributions

Ali Rezaei: conceptualization, methodology, formal analysis, investigation, draft preparation, final review and edit, visualization; **Mohammad Khanjani** supervision, project administration and funding acquisition; **Shahram Farrokhi:** final review and edit.

Author's Information

Ali Rezaei

Mohammad Khanjani

Shahram Farrokhi

✉ rezai163@yahoo.com

✉ khanjani@basu.ac.ir

✉ shahram.farrokhi@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0000-3794-0926>

 <https://orcid.org/0000-0001-7197-3908>

 <https://orcid.org/0000-0002-3056-0610>

Funding

This paper is a part of Ph.D. thesis of senior author which financially supported by Bu-Ali Sina University, we would like thanks and appreciate for this respect.

Data Availability Statement

All data supporting the findings of this study are available within the paper

Acknowledgments

The authors are grateful to Bu-Ali Sina University for the financial supports and providing laboratory facilities.

Ethics Approval

This study only included plants, beneficial fungus and insects' material. All applicable international, national, and institutional guidelines for the care and use of animals were followed. This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Generative AI statement

The authors declare that no Gen AI was used in the creation of this manuscript.

REFERENCES

- Agrawal, A. A. & Kurashige, N. S. (2003) A role for isothiocyanates in plant resistance against the specialist herbivore *Pieris rapae*. *Journal of Chemical Ecology* 29, 1403-1415.
- Ainsworth, E. A. & Gillespie, K. M. (2007) Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. *Nature Protocols* 2(4), 875-877.
- Akutse, K. S., Maniania, N. K., Fiaboe, K. K. M., Van den Berg, J. & Ekesi, S. (2013) Endophytic colonization of *Vicia faba* and *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) by fungal pathogens and their effects on the life-history parameters of *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae). *Fungal Ecology* 6(4), 293-301. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2013.01.003>
- Aldaghi, M., Allahyari, H., Hosseiniaveh, V. & Behboudi, K. (2021) Effect of *Trichoderma harzianum* Tr6 in inducing resistance in tomato against *Trialetrodes vaporariorum* (Hem.: Aleyodidae). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)* 44(3), 107-117. <https://doi.org/10.22055/ppr.2021.17128>
- Alinec, T., Cusumano, A., Peri, E., Torta, L. & Colazza, S. (2021) *Trichoderma harzianum* strain T22 modulates direct defense of tomato plants in response to *Nezara viridula* feeding activity. *Journal of Chemical Ecology* 47, 455-462. <https://doi.org/10.1007/s10886-021-01260-3>
- Alizadeh, H., Behboudi, K., Ahmadzadeh, M., Javan-Nikkhah, M., Zamioudis, C., Pieterse, C. M. & Bakker, P. A. (2013) Induced systemic resistance in cucumber and *Arabidopsis thaliana* by the combination of *Trichoderma harzianum* Tr6 and *Pseudomonas* sp. Ps14. *Biological Control* 65(1): 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.01.009>
- Altomare, C., Norvell, W. A., Björkman, T. H. O. M. A. S. & Harman, G. (1999) Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Applied and Environmental Microbiology* 65(7), 2926-2933. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.7.2926-2933.1999>
- Azimi, S., Shahin, S. & Alizadeh, A. (2021) Evaluation of bean plant treatment with *Trichoderma harzianum* TR6 on the biology of bean aphid, *Aphis fabae*. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 10(1), 1-16. DOI: 10.22034/ARPP.2021.12443
- Baker, R. (1988) *Trichoderma* spp as plant-growth stimulants. *Critical reviews in Biotechnology* 7(2), 97-106. <https://doi.org/10.3109/07388558809150724>
- Battaglia, D., Bossi, S., Cascone, P., Digilio, M. C., Prieto, J. D., Fanti, P., Guerrieri, E., Lodice, L., Lingua, G., Lorio, M., Maffei, M. E., Massa, N., Ruocco, M., Sasso, R. & Trotta, V. (2013) Tomato below ground–above ground interactions: *Trichoderma longibrachiatum* affects the performance of *Macrosiphum euphorbiae* and its natural antagonists. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 26(10), 1249-1256. <https://doi.org/10.1094/MPMI-02-13-0059-R>
- Bernays, E. A. & Chapman, R. F. (2007) Host-plant selection by phytophagous insects (Vol. 2). *Springer Science & Business Media*.
- Black, C. A., Karban, R., Godfrey, L. D., Granett, J. & Chaney, W. E. (2003) Jasmonic acid: a vaccine against leafminers (Diptera: Agromyzidae) in celery. *Environmental Entomology* 32(5), 1196-1202. <https://doi.org/10.1093/ee/32.5.1196>
- Carey, J. R. (2001) Insect biodemography. *Annual Review of Entomology* 46(1), 79-110. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.79>
- Chi, H. (1988) Life table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology* 17(1): 26-34. <https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26>
- Chi, H. (2017) TWSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. <http://140.120.197.173/Ecology/>. National Chung Hsing University, Taichung Taiwan.
- Chi, H. S. I. N. & Liu, H. S. I. (1985) Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica* 24(2): 225-240.
- Cipollini, D. F. & Redman, A. M. (1999) Age-dependent effects of jasmonic acid treatment and wind exposure on foliar oxidase activity and insect resistance in tomato. *Journal of Chemical Ecology* 25, 271-281. <https://doi.org/10.1023/A:1020842712349>
- Cooper, W. R. & Goggin, F. L. (2005) Effects of jasmonate-induced defenses in tomato on the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 115(1), 107-115. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2005.00289.x>
- Coppola, M., Cascone, P., Chiusano, M. L., Colantuono, C., Lorito, M., Pennacchio, F., Rao, R., Woo, S. L., Guerrieri, E. & Digilio, M. C. (2017) *Trichoderma harzianum* enhances tomato indirect defense against aphids. *Insect science* 24(6), 1025-1033. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12475>
- DeGraaf, H. E. & Wood, G. M. (2009) An improved method for rearing western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Florida Entomologist* 92(4): 664-666. <https://doi.org/10.1653/024.092.0424>
- Emongor, V. (2007) Gibberellin influence on vegetative growth nodulation and yield of Cowpea (*Vigna* sp.). *Journal of Agrobiological* 60(4), 509-517.
- Haghighi, M. & Mansouri, F. (2019) Effect of Jasmonic acid and Salicylic acid on growth and physiological changes of tomato under salinity stress. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology* 9(4), 1-14. <http://dx.doi.org/10.29252/ejgcst.9.4.1>
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I. & Lorito, M. (2004) *Trichoderma* species opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology* 2(1): 43-56.
- Huang, Y. B. & Chi, H. (2013) Life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): with an invalidation of the jackknife technique. *Journal of Applied Entomology* 137(5): 327-339. <https://doi.org/10.1111/jen.12002>
- Hulshof, J., Ketoja, E. & Vänninen, I. (2003) Life history characteristics of *Frankliniella occidentalis* on cucumber leaves with and without supplemental food. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 108(1), 19-32. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2003.00061.x>
- Jalili-Moghadam, M. & Azmayesh-Fard, P. (2004) Thrips of ornamental plants in Tehran and Mahallat. In Proceeding of the 16th Iranian Plant Protection Congress, Tabriz, Iran (p. 160). (In Persian with English summary).

- Karimi, J., Dara, S. K., Arthurs, S. (2019) Microbial insecticides in Iran: history, current status, challenges and perspective. *Journal of Invertebrate Pathology* 165:67–73. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.02.016>
- Kempster, V. N., Scott, E. S. & Davies, K. A. (2002) Evidence for systemic, cross-resistance in white clover (*Trifolium repens*) and annual medic (*Medicago truncatula* var *truncatula*) induced by biological and chemical agents. *Biocontrol Science and Technology* 12(5), 615-623. <https://doi.org/10.1080/0958315021000016270>
- Kleifeld, O. & Chet, I. (1992) *Trichoderma harzianum* interaction with plants and effect on growth response. *Plant and Soil* 144, 267-272.
- Li, C., Wang, P., Menzies, N. W., Lombi, E. & Kopittke, P. M. (2018) Effects of methyl jasmonate on plant growth and leaf properties. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 3(181), 409-418. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700373>
- Mansouri, S. M., Mehrparvar, M., Amiri Domari, M. & Mozafari, H. (2020) Evaluation of physiological indices of induced changes in safflower cultivars under biotic stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 32(4), 941-953. <https://dori.net/dor/20.1001.1.23832592.1398.32.4.19.8>
- Martinuz, A., Schouten, A. & Sikora, R. A. (2012) Systemically induced resistance and microbial competitive exclusion: implications on biological control. *Phytopathology* 102(3), 260-266. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-11-0120>
- Mcdonald, J. R., Bale, J. S. & Walters, K. F. (1998) Effect of temperature on development of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *European Journal of Entomology* 95, 301-306.
- Minaei, K. (2013) Thrips (Insecta, Thysanoptera) of Iran: a revised and updated checklist. *Zookeys* (330): 53. <https://doi.org/10.3897/zookeys.330.5939>
- Mortazavi, N., Aleosfoor, M. & Minaei, K. (2015) Comparison of seven methods for rearing western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Iran Agricultural Research* 34(2): 15-20. <https://doi.org/10.22099/iar.2016.3423>
- Mound, L. A. & Ng, Y. F. (2009) An illustrated key to the genera of Thripinae (Thysanoptera) from South East Asia. *Zootaxa*, 2265(1), 27-47. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2265.1.2>
- Narmani, A., Arzanlou, M., Babaiahari, A. & Masteri Farahani, H. (2019) Biological control of wheat fusarium head blight using antagonistic strains of commercial and local *Trichoderma*, isolated from wheat plant rhizosphere. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 8(2), 1-20.
- Nemati, A., Zahiri, B. & Khanjani, M. (2020) Systemic changes in tomato induced by foliar-treated hormone and cultivar interactions reduce the fitness of an invasive specialist herbivore, the tomato leaf miner. *Iranian Journal of Plant Protection Science* 51(2): 221-233. <https://doi.org/10.22059/ijpps.2020.299744.1006934>
- Newman, S. E., Brown, W. M. & Ozbay, N. (2002) The effect of the *Trichoderma harzianum* strains on the growth of tomato seedlings. In XXVI International Horticultural Congress: Managing Soil-Borne Pathogens: A Sound Rhizosphere to Improve Productivity in 635 (pp. 131-135). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.635.16>
- Ousley, M. A., Lynch, J. M. & Whipps, J. M. (1994) Potential of *Trichoderma* spp as consistent plant growth stimulators. *Biology and Fertility of Soils* 17, 85-90.
- Pieterse, C. M., van der Does, A., Zamioudis, C., Leon Reyes, H. A. & Van Wees, S. C. (2012) Hormonal modulation of plant immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 28, 489-521. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-092910-154055>
- Pruski, K., Duplessis, P., Lewis, T., Astatkie, T., Nowak, J. & Struik, P. C. (2001) Jasmonate effect on in vitro tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars under light and dark conditions. *Potato Research* 44(4), 315-325.
- Qalebi, Z., Modarresi, M., Sohrabi, F., Saberi, D. & Hedayat, M. (2021) Response of Different Tomato Varieties to the Replacement of Chemical Toxins Controlling Tomato Fruit Borer (*Helicoverpa armigera* Hubner) by Some Endogenous Plant Compounds. *Plant Productions* 44(4), 531-544. <https://doi.org/10.22055/ppd.2021.34980.1940>
- Reiter, D., Farkas, P., Sojónóczy, A., Király, K. & Fail, J. (2015) Laboratory rearing of *Thrips tabaci* Lindeman: a review. *Bodenkultur. Journal of Management, Food and Environment* 66(3-4), 33-40.
- Renwick, J. A. A. & Chew, F. S. (1994) Oviposition behavior in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology* 39(1), 377-400. [0066-4170/94/0101-0377S05.00](https://doi.org/10.1146/annurev-entomol-0101-0377S05.00)
- Salimi, F., Alizadeh, A., Mirzadi Gohari, A. & Javan-Nikkhah, M. (2019) Endophytic fungus, *Radulidium subulatum* from *Phragmites australis* in Iran. *Mycologia Iranica* 6(1), 41-47. DOI: [10.22043/MI.2020.120790](https://doi.org/10.22043/MI.2020.120790)
- Sánchez-Rodríguez, A. R., Raya-Díaz, S., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M., del Campillo, M. C. & Quesada-Moraga, E. (2018) An endophytic *Beauveria bassiana* strain increases spike production in bread and durum wheat plants and effectively controls cotton leafworm (*Spodoptera littoralis*) larvae. *Biological Control* 116, 90-102. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.012>
- Sarfraz, M., Dosdall, L. M. & Keddle, B. A. (2006) Diamondback moth–host plant interactions: implications for pest management. *Crop Protection* 25(7), 625-639. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.09.011>
- Senthil-Nathan, S., Kalaivani, K., Choi, M. Y. & Paik, C. H. (2009) Effects of jasmonic acid-induced resistance in rice on the plant brownhopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 95(2), 77-84.
- Singh, A. K. (1997) Effect of leguminous plants on the growth and development of gram pod borer, *Helicoverpa armigera*. *Indian Journal of Entomology* 59, 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2009.07.001>
- Soldaat, L. L., Boutin, J. P. & Derridj, S. (1996) Species-specific composition of free amino acids on the leaf surface of four *Senecio* species. *Journal of Chemical Ecology* 22, 1-12.
- Taghdiri, B., Gholami, M., Deljo, A. & Sepehri, A. (2010) Response of tissue culture derived potato plantlets to nitrogen and jasmonic acid under hydroponic condition. *Plant Production Technology* 10(1), 69-78.
- Tang, J., Liu, L., Huang, X., Li, Y., Chen, Y. & Chen, J. (2010) Proteomic analysis of *Trichoderma atroviride* mycelia stressed by organophosphate pesticide dichlorvos. *Canadian Journal of Microbiology* 56(2), 121-127. <https://doi.org/10.1139/W09-110>

- Thaler, J. S. (1999) Induced resistance in agricultural crops: effects of jasmonic acid on herbivory and yield in tomato plants. *Environmental Entomology* 28(1), 30-37. <https://doi.org/10.1093/ee/28.1.30>
- Thaler, J. S., Stout, M. J., Karban, R. & Duffey, S. S. (2001) Jasmonate-mediated induced plant resistance affects a community of herbivores. *Ecological Entomology* 26(3), 312-324. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2001.00324.x>
- van Lenteren, J. C. & Noldus, L. P. J. J. (1990) Whitefly-plant relationships: behavioural and ecological aspects. In: D. Gerling (Ed), *Whiteflies: their bionomics, pest status and management*. (pp. 47-49). *Intercept Ltd, Andover, Hants, UK*.
- Vega, F. E. (2008). Insect pathology and fungal endophytes. *Journal of Invertebrate Pathology* 98(3), 277-279. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.01.008>
- Vinale, F., D'Ambrosio, G., Abadi, K., Scala, F., Marra, R., Woo, S. L., Turra, D. & Lorito, M. (2004) Application of *Trichoderma harzianum* (T22) and *Trichoderma atroviride* (P 1) as plant growth promoters, and their compatibility with copper oxychloride. *Journal of Plant Pathology* 86(4), 336.
- War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S. & Sharma, H. C. (2012) Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant signaling & behavior* 7(10), 1306-1320. <https://doi.org/10.4161/psb.21663>
- War, A. R., Paulraj, M. G., War, M. Y. & Ignacimuthu, S. (2011) Jasmonic acid-mediated-induced resistance in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) against *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Plant Growth Regulation* 30(4), 512-523.
- Windham, M. T. (1986) A mechanism for increased plant growth induced by *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 76, 518-521. <https://doi.org/10.1094/Phyto-76-518>
- Zhang, B., Qian, W., Qiao, X., Xi, Y. & Wan, F. (2019) Invasion biology, ecology, and management of *Frankliniella occidentalis* in China. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 102(3), e21613. <https://doi.org/10.1002/arch.21613>

Citation: Rezaei, A., Khanjani, M. & Farrokhi, S. (2025) Induced resistance in bell Pepper by *Trichoderma Harzianum* T22 and jasmonic acid against *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *J. Entomol. Soc. Iran*, 45 (3), 393–407.

DOI: <https://doi.org/10.61186/jesi.45.3.6>

URL: https://jesi.areco.ac.ir/article_131275.html



Induced resistance in bell Pepper by *Trichoderma harzianum* T22 and jasmonic acid against *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae)

Ali Rezaei¹ , Mohammad Khanjani¹  & Shahram Farrokhi² 

1- Department of Plant Protection, College of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Abstract. The western flower thrips (WFT), *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) is one of the important greenhouse insect pests with a wide host range. In this study, the effect of treating bell pepper with jasmonic acid (JA) (0.5 mM), *Trichoderma harzianum* strain T22 (Th) (10 ml per plant from 1×10^7 spore/ml suspension), and the jasmonic acid with *T. harzianum* (JA + Th) on the growth and physiological characteristics of the pepper plants, adult selection and oviposition preference (free-choice and no-choice tests), and the life table parameters of WFT were investigated. The experiments were carried out in constant environmental conditions at 25 ± 1 °C, $65 \pm 5\%$ RH, and L16: D8 photoperiod. Based on the results, all life table parameters of WFT showed a significant difference. The intrinsic rate of increase (r) for control and JA, Th, and JA + Th treatments were 0.1827, 0.1513, 0.1636, and 0.1332 (day^{-1}), respectively. The net reproductive rate (R_0) for the mentioned treatments was estimated as 22.53, 32.72, 38.99, and 25.62 (eggs/individual). The JA + Th treatment increased the growth and physiological characteristics of the pepper plants and had low nutritional quality for the pest. The results of this study can be used in the application of JA + Th treatment for integrated management programs of WFT.

Keywords: *Trichoderma*, Plant hormone, Oviposition preference, Life table, Integrated pest management

Article Info

Received:	29 October	2024
Accepted:	20 June	2025
Published:	18 July	2025

Subject Editor: Hossein Ranjbar Aghdam

Corresponding author: Mohammad Khanjani

E-mail: khanjani@basu.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.61186/jesi.45.3.6>