

عوامل مهار زیستی

در تولید گوجه فرنگی گلخانه ای

◀ مانی جباری؛ دانشجوی کارشناسی گیاهپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر

mani.jabbari.mp@gmail.com

◀ میترا جباری؛ دانشجوی کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده تولید گیاهی،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۲ اردیبهشت ۱۴۰۵ ■ بازنگری: ۱۴۰۵/۱۲/۱۲ اردیبهشت ۱۴۰۵ ■ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۷ اردیبهشت ۱۴۰۵ ■ انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۵/۲۳ تیرماه ۱۴۰۵

<https://doi.org/10.22059/giahpzshs.2026.408793.1036>





چکیده

مهار زیستی یکی از ارکان اصلی مدیریت تلفیقی آفات است. تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به دلیل تقاضای رو به رشد بازار، اهمیت اقتصادی فراوانی دارد. همسو با روندهای جهانی ایمنی غذا، بهبود روش‌های زراعی و راهبردهای مدیریت آفات ضروری است. کاربرد عوامل مهار زیستی می‌تواند گامی مؤثر در تولید محصولات سالم و حفظ تنوع زیستی دشمنان طبیعی باشد. در این میان، حشرات شکارچی مؤثرترین گروه محسوب می‌شوند. اتکای صرف به آفت‌کش‌های شیمیایی پیامدهای نامطلوبی نظیر کاهش کیفیت محصول و کارایی مدیریت آفات به دنبال داشته است. مقاله حاضر راهکارهای پایدار جایگزین از جمله عوامل مهار زیستی را برای مدیریت آفات گوجه‌فرنگی مرور می‌کند. با وجود اثربخشی شناخته‌شده مهار زیستی، هنوز استفاده از آن گسترده نیست؛ از این رو ترویج این عوامل می‌تواند نقش مهمی در تحقق کشاورزی پایدار ایفا کند.

کلمات کلیدی: مهار زیستی، مدیریت تلفیقی آفات، گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، عوامل مهار زیستی آفات

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، انسان برای تأمین نیازهای غذایی ناگزیر به دست‌کاری اکوسیستم‌ها شده است، اقدامی که در بسیاری موارد موجب برهم‌خوردن

تعادل طبیعی شده است. یکی از مهم‌ترین مداخلات انسان، استفاده گسترده از آفت‌کش‌های شیمیایی باهدف افزایش عملکرد محصولات است. این ترکیبات اگرچه در کوتاه‌مدت موجب کاهش جمعیت آفات می‌شوند، اما پیامدهای متعددی دارند: نابودی میکروارگانیسم‌های مفید خاک، کاهش رشد و عملکرد گیاه، برجا گذاشتن بقایای سمی در بافت گیاهی و درنهایت ورود این ترکیبات از طریق مصرف دام و انسان به زنجیره غذایی. این امر می‌تواند بروز بیماری‌های خطرناک، از جمله انواع سرطان‌ها را افزایش دهد. در اکوسیستم‌های طبیعی، یعنی جایی که کمترین دخالت انسانی وجود دارد، آفات و بیماری‌های گیاهی همیشه حضور دارند، اما جمعیت آن‌ها معمولاً در حالت تعادل باقی می‌ماند. علت این پدیده، وجود دشمنان طبیعی است که از آفات تغذیه می‌کنند و جمعیت آن‌ها را در سطحی نگه می‌دارند که خسارت اقتصادی یا زیست‌محیطی ایجاد نکنند. این فرآیند طبیعی همان «مهار زیستی» نام دارد. مهار زیستی با استفاده از عوامل زنده مفید، مانند شکارچیان، پارازیتوئیدها یا میکروارگانیسم‌های بیماری‌زای اختصاصی آفات انجام می‌شود. این روش می‌تواند آفات را در یک منطقه به‌صورت هدفمند کاهش داده یا جمعیت آن‌ها را تا حدی پایین بیاورد که خسارت اقتصادی ایجاد نکنند. استفاده از دشمنان طبیعی، روشی سازگار با محیط‌زیست بوده و می‌تواند نقش مهمی در کاهش آلودگی‌های ناشی از مصرف بی‌رویه

آفت کش های شیمیایی داشته باشد.

با این حال، باید توجه داشت که مهار زیستی به تنهایی قادر به حذف کامل آفات نیست، زیرا کارایی آن تحت تأثیر عوامل متعدد زیستی و محیطی قرار می گیرد؛ بنابراین، برای دستیابی به بهترین نتیجه، لازم است مهار زیستی در قالب مدیریت تلفیقی آفات (IPM) و در کنار سایر روش های مهار، مانند اقدامات زراعی، مکانیکی و استفاده محدود و انتخابی از آفت کش ها به کار گرفته شود.

تولید سبزیجات به طور مداوم در حال افزایش است، در درجه اول به دلیل تقاضای بازار و درآمد بالقوه بالا در واحد سطح می باشد، گوجه فرنگی *Solanum lycopersicum* L. *Solanaceae* از جمله سبزیجاتی است که به طور گسترده مصرف می شود (FAO, 2024). با توجه به این که گوجه فرنگی یکی از محصولات عمده نقدی در بانک جهانی و یک محصول صادراتی بسیار مهم است، بیشترین مناطق را در تولید گلخانه ای به خود اختصاص داده است (Ivanišević, 2018; Keco and Gjika, 2021).

با وجود محدودیت منابع آب و خاک از یک طرف و قیمت مناسب محصولات خارج از فصل از طرف دیگر، مدت زمانی است که تولیدکنندگان به تولید محصولات گلخانه ای روی آورده اند. در کنار تمام مزایای کشت محصول در گلخانه، شرایط محیطی یکنواخت و مناسب ایجاد شده برای گیاهان در گلخانه، محیط مناسبی را برای فعالیت و طغیان برخی از آفات فراهم

کرده است. با توجه دیدگاه جهانی در خصوص کاربرد منابع و جایگزینی کشت های متراکم به جای کشاورزی گسترده، کاربرد کورکورانه سموم شیمیایی نیز تصحیح شده و امروزه سایر روش های مهار آفات مورد توجه قرار گرفته است که مهار زیستی یکی از مناسب ترین آن ها می باشد.

از نظر تولید گوجه فرنگی، مدیریت آفات یکی از چالش برانگیزترین موارد است، زیرا گوجه فرنگی در تمام مراحل رشد مورد حمله آفات متعددی قرار می گیرد که منجر به تلفات قابل توجهی در عملکرد و گاهی نابودی کامل محصول می شود (Toševski et al., 2011). در بین آفات گوجه فرنگی، حشرات مضر بیشترین توجه را در تولید سبزی های گلخانه ای به خود جلب می کنند، به دلیل تأثیر قابل توجهی که بر کمیت و کیفیت عملکرد محصول دارند (Spasov et al., 2013). مهم ترین آفات در تولید گوجه فرنگی را می توان به دودسته تقسیم کرد. آن هایی که با تغذیه از بافت های گیاهی آسیب مستقیم می زنند، به ویژه پروانه مینوز گوجه فرنگی (*Tuta absoluta* Meyrick, 1917 (Lepidoptera : Gelechiidae)) و کنه های عنکبوتی، مانند کنه تارتن دولک های (*Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari : Tetranychidae)) و کنه حنایی گوجه فرنگی (*Aculops lycopersici* Tryon, 1917 (Acari : Eriophyidae)) (Toševski et al., 2011; Spasov et al., 2013; Meck et al., 2013; Đurić et al., 2014; Škerbot et al., 2019).



این محصول می‌باشد (Karac'ic et al, ۲۰۲۴). شایع‌ترین بیماری‌های باکتریایی توسط گونه‌های *Clavibacter michiganensis* (شانکر باکتریایی) و *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (خال‌زدگی باکتریایی) روی گوجه‌فرنگی ایجاد می‌شود (Milijašević-Marc'ic et al, ۲۰۱۸). ویروس‌های گوجه‌فرنگی شامل: ویروس موزاییک خیار (CMV)، ویروس سیب‌زمینی (PVY^Y)، ویروس پژمردگی لکه‌دار گوجه‌فرنگی (TSWV)، ویروس موزاییک یونجه (AMV⁴)، ویروس موزاییک گوجه‌فرنگی (ToMV⁵) و ویروس موزاییک تنباکو (TMV⁶) (Nikolic et al, ۲۰۱۸; Vuc'urovic et al, ۲۰۲۱). حشره‌کش‌های شیمیایی، با وجود تأثیرات منفی شناخته‌شده بر محیط‌زیست و خطرات بالقوه برای سلامت انسان، همچنان روش غالب مهار آفات هستند. علاوه بر این، استفاده فشرده و مکرر از این آفت‌کش‌ها باعث توسعه جمعیت‌های مقاوم در میان آفات شده است (Balliu and Çota; ۱۹۹۸, Copping; ۲۰۰۷, Van Lenteren et al; ۲۰۱۷). ادغام روش‌های مهار زیستی، مانند به‌کارگیری دشمنان طبیعی آفات شامل پارازیتوئیدها، شکارچیان و بیمارگرها، با سایر

Spasov et al, ۲۰۲۱). گروه دوم شامل گونه‌هایی است که علاوه بر ایجاد آسیب مستقیم، با انتقال ویروس‌های گیاهی باعث آسیب غیرمستقیم می‌شوند، مانند مگس سفید (مگس سفید تنباکو) (Bemisia tabaci Gennadius, ۱۸۸۹) و مگس سفید گلخانه‌ای (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood, ۱۸۵۶) (Hemiptera: Aleyrodidae). شته‌ها (Aphis Myzus persicae Sulzer, ۱۸۸۷, gossypii Glover, ۱۸۷۶, Macrosiphum euphorbiae Thomas-, ۱۸۷۶) (Hemiptera: Aphididae) و تریپس (*Frankliniella Thysanoptera*: ۱۸۹۵, occidentalis Pergande) (Thripidae) (Riley et al; ۲۰۰۹, Peric et al; ۲۰۱۱; Perring et al, ۲۰۱۷).

علاوه بر خطر ناشی از حشرات، شرایط گلخانه، محیطی بهینه را برای بیماری‌های مختلف گیاهی از برگ، ساقه و خاک فراهم می‌کند (Vallad et al, ۲۰۱۸). این بیماری‌ها می‌توانند توسط میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا (باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها) که به سرعت در شرایط مساعد گسترش می‌یابند و همچنین توسط عوامل غیرزنده مانند آب و هوای نامناسب یا عدم تعادل تغذیه‌ای که به ریشه‌ها و قسمت‌های هوایی گیاه از جمله میوه‌ها آسیب می‌رسانند، ایجاد شوند (Ally et al, ۲۰۲۳). لکه‌موجی گوجه‌فرنگی توسط قارچ *Alternaria solani* و پژمردگی فوزاریومی *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* از بیماری‌های قارچی شایع

1. Cucumber Mosaic Virus
2. Potato Virus Y
3. Tomato Spotted Wilt Orthotospovirus
4. Alfalfa Mosaic Virus
5. Tomato Mosaic Virus
6. Tobacco Mosaic Virus



ابزارهای حفاظت گیاهی، راهکار مؤثری برای مهار آفات ارائه می‌دهد و یکی از اصول پایه‌ای مدیریت یکپارچه آفات (IPM) محسوب می‌شود (Symondson et al., ۲۰۰۲).

■ مهار زیستی آفات گوجه‌فرنگی

به‌طور کلی هر عاملی که تعادل طبیعی گیاه را بر هم بزند و در رشد و نمو عادی آن اختلال ایجاد کند، یک عامل مضر محسوب می‌شود و باید تا حد امکان تحت مهار قرار گیرد. بسیاری از آفات گیاهی، به‌ویژه حشرات، پس از جفت‌گیری توسط حشره ماده تولید مثل کرده و تخم‌های خود را روی گیاه یا در اطراف آن قرار می‌دهند. این روند در نهایت منجر به خسارت قابل توجهی در مراحل مختلف رشدی گیاه می‌شود. برآوردها نشان می‌دهد حدود ۳۰ درصد از خسارت‌های بخش کشاورزی به‌طور مستقیم ناشی از آفات است.

در مقابل، گروه بزرگی از حشرات و کنه‌ها نقش دشمنان طبیعی را ایفا می‌کنند و با شکار آفات، به مهار جمعیت آن‌ها کمک کرده و از خسارت گسترده جلوگیری می‌کنند. در بسیاری از موارد، با شناسایی این گونه‌های مفید، تکثیر انبوه آن‌ها در شرایط مهار شده و سپس رهاسازی در مزارع یا گلخانه‌ها، می‌توان جمعیت آفات را به‌طور مؤثری کاهش داد.

حشرات و کنه‌های شکارگر، از مهم‌ترین ابزارهای زیستی برای تولید محصولات سالم به شمار می‌آیند و استفاده از کنه‌های شکارگر در گلخانه‌ها طی سال‌های اخیر رشد قابل توجهی داشته است. آفات مکنده، برگ‌خوار و مینوز از اصلی‌ترین آفات گلخانه‌ای محسوب می‌شوند و بخش عمده خسارت وارد بر



محصولات گلخانه‌ای ناشی از حشرات مکنده است. بیشتر کنه‌های شکارگر مورد استفاده در گلخانه‌ها به خانواده Phytoseiidae تعلق دارند. این کنه‌ها با تغذیه از تخم، پوره و مراحل نابالغ آفات، نقش بسیار مهمی در چرخه مهار زیستی ایفا کرده و به کاهش مصرف آفت‌کش‌ها کمک می‌کنند. کنه‌های شکارگر به‌عنوان ابزارهای مفید و سازگار با محیط زیست، علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، کشاورزان را در ارائه محصولات سالم به مصرف‌کنندگان یاری می‌دهند. رایج‌ترین و پرکاربردترین کنه‌های شکارگر که برای مهار زیستی در گلخانه‌ها استفاده می‌شوند عبارت‌اند از: *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot, ۱۹۶۲ (*Mesostigmata : Phytoseiidae*) و *Neoseiulus cucumeris* Oudemans, ۱۹۳۰ (*Mesostigmata : Phytoseiidae*) (Li et al, ۲۰۱۷; Ahmed and Lou, ۲۰۱۸; Yas, ar et al, ۲۰۲۴). آن‌ها برای مهار زیستی چندین آفات کلیدی در تولید گوجه‌فرنگی، مانند کنه‌های *F. occidentalis* از خانواده Tetranychidae استفاده می‌شوند، در حالی که *N. cucumeris* نیز با موفقیت برای مهار *B. tabaci* استفاده گردید (Li et al, ۲۰۱۷; Dalir et al, ۲۰۲۱; Yas, ar et al, ۲۰۲۴). علاوه بر این، *N. cucumeris* دارای پتانسیل زیادی برای مهار *T. absoluta* است، زیرا این کنه شکارگر می‌تواند از تخم‌های *T. absoluta* و لاروهای سن اول تغذیه کند (Al-Azzazy et al, ۲۰۲۲). کنه‌های شکارگر *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, ۱۹۵۷ و *Neoseiulus californicus* McGregor, ۱۹۵۴ (*Mesostigmata : Phytoseiidae*) به‌طور خاص Tetranychidae را هدف قرار می‌دهند (McMurtry et al, ۲۰۱۳). این گونه‌ها در شرایط گلخانه‌ای به‌عنوان یک عامل مهار زیستی مؤثر (BCA) برای کاهش جمعیت *T. urticae* در محصولات مختلف از جمله گوجه‌فرنگی استفاده می‌شوند (Kazak et al, ۲۰۱۵; Abou-Haidar et al, ۲۰۲۰; Tiftikçi et al, ۲۰۲۱; Perera and Senanayake, ۲۰۲۲). برخی از کنه‌های شکارگر، مانند *Amblyseius swirskii*, به‌سرعت به‌عنوان عوامل مهار زیستی در تولید محصولات محافظت‌شده مورد استفاده گسترده قرار گرفته‌اند و اکنون در بیش از ۵۰ کشور به کار گرفته می‌شوند (Calvo et al, ۲۰۱۵). *Neoseiulus cucumeris* اولین بار در سال ۱۹۸۵ به‌صورت تجاری برای مهار تریپس معرفی شد و از آن زمان به یکی از مهم‌ترین کنه‌های شکارگر Acarid تبدیل شده است که همراه با *N. Phytoseiulus persimilis* و *A. swirskii* حدود ۶۰ درصد از بازار کل مهار زیستی بندپایان را پوشش می‌دهد. (Knapp et al, ۲۰۱۸). مزیت قابل توجه این عوامل، کارایی بالای آن‌ها در مهار آفات گوجه‌فرنگی است، چه به‌صورت جداگانه و چه در ترکیب با سایر کنه‌های شکارگر (Ahmed and Lou, ۲۰۱۸). ترکیب *N. cucumeris* و *A. swirskii* می‌تواند به‌طور مؤثری خسارت آفات را در تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای کاهش دهد. (Abou-Haidar

etal, ۲۰۲۱) گونه‌های *N. cucumeris* و *A. swirskii* نه تنها از طیف وسیعی از طعمه‌ها تغذیه می‌کنند، بلکه در غیاب طعمه قادر به استفاده از منابع غذایی دیگر مانند گرده گیاهان مختلف هستند. (Goleva, ۲۰۱۳, and Zebitz)

یک ویژگی بسیار مهم بسیاری از کنه‌های شکارگر، توانایی تولید مثل و بقا با استفاده از منابع غذایی غیرشکاری مانند گرده، شهد یا ترشحات گیاهی است. این ویژگی به جمعیت شکارگر اجازه می‌دهد پیش از ظهور آفت در محیط مستقر شود و حتی در دوره‌هایی که طعمه در دسترس نیست، روی گیاه باقی بماند. این توانایی بقا در غیاب آفت نقش مهمی در افزایش کارایی برنامه‌های مهار زیستی ایفا می‌کند، زیرا موجب حفظ جمعیت دشمن طبیعی و پیشگیری از طغیان ناگهانی آفت می‌شود (Calvo et al, ۲۰۱۵). اگرچه کنه‌های شکارگر از مؤثرترین عوامل مهار زیستی برای طیف وسیعی از آفات گلخانه‌ای به شمار می‌آیند، برخی ویژگی‌های گیاه می‌تواند کارایی آن‌ها را در دستیابی به نتایج مطلوب محدود کنند. مهم‌ترین این عوامل، ساختار گیاه و ویژگی‌های مورفولوژی برگ است که می‌تواند بر رفتار، حرکت و زیست‌شناسی کنه‌های شکارگر تأثیر بگذارد.

در گوجه‌فرنگی، وجود تریکوم‌های غده‌ای و غیر غده‌ای روی ساقه و برگ‌ها، همراه با متابولیت‌های ثانویه ترشح‌شده از آن‌ها، ممکن است بر بقا، تغذیه و

توان پراکندگی کنه‌های بالغ تأثیر منفی داشته باشد. این ساختارها و ترکیبات می‌توانند حرکت شکارگر روی سطح برگ را محدود کرده و میزان استقرار و عملکرد آن را کاهش دهند؛ بنابراین، در برنامه‌های مهار زیستی، توجه به ویژگی‌های گیاه میزبان اهمیت ویژه‌ای دارد تا انتخاب نوع شکارگر و زمان بندی رهاسازی، با حداکثر اثربخشی انجام شود. (Buitenhuis et al, ۲۰۱۴; Paspati et al, ۲۰۲۱; Ahmed and Abdelwines, ۲۰۲۳). این موضوع به ویژه در گونه *Amblyseius swirskii* مشهود است. اگرچه بقای تخم‌ها و لاروهای *A. swirskii* روی برگ‌های گوجه‌فرنگی تحت تأثیر ویژگی‌های مورفولوژی گیاه قرار نمی‌گیرد، رفتار راه رفتن این گونه به دلیل تراکم بالای تریکوم‌های غده‌ای روی ساقه‌های گوجه‌فرنگی به طور قابل توجهی محدود می‌شود. (Buitenhuis et al, ۲۰۱۴; Abou-Haidar et al, ۲۰۲۱; Paspati et al, ۲۰۲۱).

فراتر از نقش کنه‌های شکارگر، سن‌های از جنس *Orius* نیز پتانسیل قابل توجهی در مدیریت جمعیت آفات در گوجه‌فرنگی نشان داده‌اند. شکارچیان عمومی *Orius insidiosus* Say, ۱۸۳۲ و *Orius laevigatus* Fiber, ۱۸۶۰ (Hemiptera: Anthocoridae) نیز به طور گسترده برای مهار زیستی آفات گوجه‌فرنگی مانند *B. tabaci*, *F. occidentalis* و *T. urticae* استفاده می‌شوند (de Puyseleir et al, ۲۰۱۱). *O. laevigatus* و *O. insidiosus* می‌توانند



تمام مراحل این آفات از جمله بالغ‌ها را شکار کنند. ترجیحات شکار آن‌ها بر اساس گونه آفت متفاوت است، در حالی که رشد، مصرف و باروری آن‌ها به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر مرحله رشد آفات هدف قرار می‌گیرد (Salama et al., ۲۰۲۲). علاوه بر شکار، *O. laevigatus* به‌طور غیرمستقیم به کاهش آسیب آفت در گوجه‌فرنگی کمک می‌کند. در طی تخم‌گذاری روی گوجه‌فرنگی، این شکارچی واکنش زخم اسید جاسمونیک ایجاد می‌کند و مقاومت گوجه‌فرنگی را افزایش می‌دهد که می‌تواند منجر به کاهش تغذیه *F. occidentalis* از گوجه‌فرنگی شود (de Puyssseleyr et al., ۲۰۱۱). *O. insidiosus* بیشتر *F. occidentalis* را ترجیح می‌دهد، اما در صورت عدم وجود طعمه مناسب، می‌تواند از *T. urticae* نیز تغذیه کند (Xu et al., ۲۰۰۶). به‌عنوان یک شکارگر عمومی، *O. insidiosus* می‌تواند از غذاهای جایگزین مانند گرده گیاهان تغذیه کند. گرده در غیاب طعمه، امکان بقای و رشد شکارچیان را فراهم می‌کند، اما تغذیه مناسبی برای تولیدمثل نیست (Bernardo et al., ۲۰۱۷).

سن شکارگر *Zoophytophagous mirid bugs* (Hemiptera: Miridae) یکی از کارآمدترین شکارچیان عمومی آفات گوجه‌فرنگی هستند (Perdikis et al., ۲۰۰۸; Sanchez, ۲۰۱۱; Calvo et al., ۲۰۰۹). در میان آن‌ها، *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) و *Macrolophus pygmaeus* Rambur (۱۸۳۹) یکی از مهم‌ترین عوامل مهار زیستی برای مهار آفات در گوجه‌فرنگی‌های گلخانه‌ای در نظر گرفته می‌شوند (Urbaneja et al., ۲۰۰۹). علیرغم اهمیت آن‌ها به‌عنوان عوامل مهار زیستی، *Zoophytophagous mirid bugs* هم از طعمه و هم از گیاهان تغذیه می‌کنند و می‌توانند به گوجه‌فرنگی آسیب برسانند و باعث آسیب اقتصادی قابل توجهی در تولید شوند (Abraços-Duarte et al., ۲۰۲۲). *Nesidiocoris tenuis* و *M. pygmaeus* در تولید سبزیجات رایج هستند و تقریباً از تمام بندپایان کوچک موجود در تولید گوجه‌فرنگی تغذیه می‌کنند (Carnero-Hernandez et al., ۲۰۰۰; Calvo et al., ۲۰۰۹). در کشاورزی تلفیقی و ارگانیک، *N. tenuis* و *M. pygmaeus* به‌ویژه در مهار *T. absoluta*، *T. tabaci* و *vaporariorum* موفق بوده‌اند (Carnero-Hernandez et al., ۲۰۰۰; Urbaneja et al., ۲۰۰۵). همچنین آن‌ها به میزان کمتری برای مهار تریپس، شته‌ها، کنه‌ها و سایر *Lepidoptera* مضر استفاده می‌شوند (Perdikis and Lykourissis, ۲۰۰۲; Calvo and Urbaneja, ۲۰۰۳; Urbaneja et al., ۲۰۰۵). توسعه مدیریت تلفیقی آفات و استفاده از حشره‌کش‌های انتخابی، اجرای *N. tenuis* را در برنامه‌های حفاظت از سبزیجات ارتقاء داده است (Arno et al., ۲۰۱۰; Molla et al., ۲۰۱۱; Urbaneja et al., ۲۰۱۲). مطالعات متعدد نشان‌دهنده اثربخشی *N. tenuis* و *M. pygmaeus* در مهار *T. absoluta* است



Nesidiocoris tenuis



Macrolophus pygmaeus

شفیره های مگس سفید که توسط
پارازیت شده اند Encarsia formosa

تجاری ترین دشمنان طبیعی، زنبور پارازیتوئید Hymenoptera: Encarsia formosa Gahan ۱۹۲۴ (Aphelinidae) است. این زنبور معمولاً به عنوان یک شکارچی متخصص در تولید گلخانه ای گوجه فرنگی برای سرکوب مگس های سفید استفاده می شود (Hoddle et al, ۱۹۹۸, Schoeller et al, ۲۰۲۱). چهارمین سن مگس سفید و پوره های پیش شفیرگی، مناسب ترین مراحل برای پارازیتوئید شدن توسط E. formosa هستند که بالاترین میزان موفقیت آمیز را نیز در این مراحل نشان می دهند (Kahya and Port, ۲۰۱۶). در حال حاضر، این زنبور پارازیتوئید در سراسر جهان برای مهار تجاری مگس سفید در محصولات گلخانه ای استفاده می شود (Schoeller et al, ۲۰۲۱).

یکی دیگر از زنبورهای پارازیتوئیدی که معمولاً برای سرکوب B. tabaci استفاده می شود Eretmocerus eremicus Rose & Zolnerowich ۱۹۹۷ (Hymenoptera: Aphelinidae) است. این زنبور

(Al-Jboory et al, ۲۰۱۲, ElArnaouty and Kortam, ۲۰۱۴). استفاده از عوامل مهار زیستی مانند M. pygmaeus و N. tenuis برای مدیریت T. absoluta در گلخانه ها می تواند برای کشاورزان در مقایسه با مدیریت شیمیایی معمولی مفید باشد (Dutra et al, ۲۰۲۳). ترکیب شکارگرها مختلف از خانواده Miridae با اقدامات زراعی و باغی مانند کود دهی و ... می تواند مدیریت T. absoluta و B. tabaci را بهبود بخشد و در نتیجه مهار مؤثرتر و پایدارتر آفات در تولید گوجه فرنگی گلخانه ای را به همراه داشته باشد (Konan et al, ۲۰۲۴).

■ پارازیتوئیدهای آفات گوجه فرنگی

بسیاری از پارازیتوئیدهایی که در مهار آفات گوجه فرنگی استفاده می شوند، تخصصی هستند و آسیب به ارگانیسم های غیر هدف را کاهش و اثربخشی آنها را فقط به آفات خاصی محدود می کند (Symondson et al, ۲۰۰۲). یکی از



پارازیتوئید به طور گسترده در محیط‌های کشاورزی مختلف از جمله گلخانه‌ها استفاده می‌شود، جایی که به طور مؤثری تمام سنین نابالغ مگس‌های سفید را پارازیتوئید می‌کند و تأثیر تا ۸۵ درصد دست می‌یابد (Perring et al, ۲۰۱۷; Kumar et al, ۲۰۱۷). اثر بخشی آن می‌تواند تحت تأثیر رقابت با سایر پارازیتوئیدها، مانند *Eretmocerus mundus* Mercet (۱۹۳۱ Hymenoptera : Aphelinidae)) قرار گیرد که می‌تواند *E. eremicus* را از بین ببرد (Ardeh et al, ۲۰۰۵). با این حال، استفاده همزمان از عوامل مهار زیستی مناسب نتایج عالی را به همراه دارد (Chailleux et al, ۲۰۱۳; Rubio et al, ۲۰۲۲).

پارازیتوئیدهای تخم از جنس *Trichogramma* Westwood, ۱۸۳۳ (Hymenoptera : Trichogrammatidae) یکی از پر مصرف‌ترین عوامل زیستی در سراسر جهان هستند و برای بیش از ۱۲۰ سال برای سرکوب بسیاری از آفات بالپولکدارن (راسته Lepidopterous) به طور مؤثری مورد استفاده قرار می‌گیرند (Smith, ۱۹۹۶; Van Lenteren, ۲۰۰۰). یک دلیل کلیدی برای اجرای *Trichogramma* spp. به عنوان یک ابزار ارزشمند برای مدیریت آفات در محصولات مختلف، پرورش نسبتاً آسان و مقرون به صرفه آن‌ها و همچنین توانایی آن‌ها برای هدف قرار دادن آفات قبل از آسیب رساندن به محصول است (Smith, ۱۹۹۶; Pizzol et al, ۲۰۱۲; ElArnaouty et al, ۲۰۱۴). برخی از گونه‌های جنس *Trichogramma* به عنوان عوامل مهار زیستی مؤثر برای *T. absoluta* شناسایی شده‌اند (ElArnaouty et al, ۲۰۱۴). این پارازیتوئید کارایی بالایی در کاهش سطح آلودگی به *T. absoluta* در گلخانه‌های گوجه‌فرنگی نشان داده است (Cascone et al, ۲۰۱۵). زنبورهای پارازیتوئید از جنس *Aphidius* Esenbeck, ۱۸۱۸ (Hymenoptera : Braconidae) شامل ۱۳۲ گونه شناخته شده در سراسر جهان است (Tomanovic et al, ۲۰۱۴). در مورد گوجه‌فرنگی، معمولاً در مهار زیستی برای مدیریت جمعیت شته‌ها استفاده می‌شود. در میان گونه‌های *Aphidius* spp. *Aphidius colemani* Viereck, ۱۹۱۲ (Hymenoptera : Braconidae) علیه یکی از مهم‌ترین شته‌های موجود در گوجه‌فرنگی، شته سبز هلو *M. persicae* استفاده می‌شود. *Aphidius colemani* می‌تواند رشد جمعیت را کاهش دهد و *M. persicae* آزاد شده را با نرخ یک پارازیتوئید ماده در هر ۲۲۰ شته در هفته مهار کند (Khatri et al, ۲۰۱۷). فعالیت *A. colemani* توسط ویژگی‌های مورفولوژی‌ای گوجه‌فرنگی (تری‌کوم، خار، لایه‌های مومی) مختل می‌شود که بر رفتار آفات و دشمنان طبیعی آن‌ها تأثیر می‌گذارد (Prado et al, ۲۰۱۵). همچنین اندوفیت‌ها (قارچ‌های همزیست) می‌توانند اثر دوسوگرایانه‌ای بر روی *A. colemani* و شته‌ها داشته باشند و بر نیاز به تنظیم نرخ رهاسازی با همه عوامل مؤثر بر جمعیت این زنبور برای نگه داشتن جمعیت شته در زیر سطح

آسیب‌رسان تأکید می‌کنند (Prado et al, ۲۰۱۵). استفاده از *A. matricariae* با برخی از آفت‌کش‌های گیاهی مانند روغن کرچک سازگار است که برای این زنبور بی‌خطر است (Rezaei and Moharramipour, ۲۰۱۹). تأثیر مواد سمی شیمیایی (ترکیبات فرار تولیدشده توسط گیاه در هنگام حمله) در جذب دشمنان طبیعی آفت در مورد *Aphidius ervi* Haliday ۱۸۳۴ (Hymenoptera : Braconidae) به خوبی ثبت شده است (Heuskin et al, ۲۰۱۱; Digilio et al, ۲۰۱۲; Takemoto and Takabayashi, ۲۰۱۵). حتی برخی مطالعات نشان می‌دهند که همزیست‌های ریشه‌های قارچی، مانند *Trichoderma harzianum* پس از حمله توسط *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera : Aphididae) ۱۸۷۸, Thomas متابولیکی را در گوجه‌فرنگی ایجاد می‌کنند که منجر به افزایش تولید ترکیبات آلی فرار می‌شود که *A. ervi* را جذب می‌کنند (Coppola et al, ۲۰۱۷). بنابراین، درک فعل‌وانفعالات بین دشمنان طبیعی برای انتخاب و به‌کارگیری مؤثرترین عوامل مهار بسیار مهم است (Chailleux et al, ۲۰۱۳; Rubio et al, ۲۰۲۲).

■ نماتدهای بیماری‌زا (EPNs)^۷

استفاده شوند. پس از حمله نماتدهای بیماری‌زا به حشره، باکتری‌ها را به میزبان آزاد می‌کنند که منجر به مرگ آن می‌شود (Nježic and Ehlers, ۲۰۲۰; Kallali et al, ۲۰۲۴). خانواده‌های *Steinernematidae* و *Heterorhabditidae*، به ویژه جنس‌های *Steinernema*, *Travassos Heterorhabditis* Poinar (Nježic, ۲۰۱۶)، از عوامل کلیدی مهار زیستی محسوب می‌شوند و برای مدیریت آفات مختلف کشاورزی، از جمله حشرات راسته‌های *Lepidoptera*, *Odonata*, *Heteroptera* و *Diptera* استفاده می‌شوند (Batalla-Carera et al, ۲۰۱۰). برخی از اعضای این راسته‌ها آفات مهمی در تولید گوجه‌فرنگی هستند. این نماتدها به دلیل گستره میزبانی وسیع، جستجوی فعال میزبان، کشته شدن سریع میزبان، سهولت تولید و کاربرد، اثربخشی طولانی مدت، سازگاری با اکثر آفت‌کش‌های شیمیایی و ایمنی محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Nježic, ۲۰۱۶). نماتد *Rhabditida* : *Steinernema feltiae* Filipjev ۱۹۳۴ (Steinernematidae) در همزیستی با باکتری *Xenorhabdus bovienii* Akhurst (۱۹۸۸) زندگی می‌کند و قادر است آفات مختلف محصولات کشاورزی، از جمله *Tuta absoluta* در گوجه‌فرنگی را به‌طور مؤثر مهار کند (Garcia-del-Pino et al, ۲۰۱۸; Husin and Port, ۲۰۲۱; El Aïmani et al, ۲۰۲۱). علاوه بر نماتدها، بسیاری از میکروارگانیسم‌ها، از جمله ویروس‌ها، باکتری‌ها و قارچ‌ها، کاربردهای تجاری

گونه‌های خاصی از نماتدها که به‌عنوان نماتدهای بیماری‌زا طبقه‌بندی می‌شوند، می‌توانند برای مهار آفات از طریق رابطه همزیستی با باکتری‌های روده



بیشترین اثر بیماری زایی را علیه *T. absoluta* نشان می‌دهد. در نتیجه این تحقیقات، حشره کش‌های میکروبی تجاری بر پایه PhopGV برای سرکوب *T. absoluta* توسعه یافته‌اند (Tiba et al, ۲۰۱۹).

باکولوویروس‌ها به دلیل ویژگی‌های خاص خود، دشمنان طبیعی مانند پرازیتوئیدهای Hymenoptera را آلوده نمی‌کنند و این امر آن‌ها را برای استفاده هم‌زمان با سایر ارگانسم‌های مفید، به عوامل مناسبی در مهار زیستی تبدیل می‌کند (Gonthier et al, ۲۰۲۳).

قارچ‌های بیمارگر حشرات^۸ (EPF) به عنوان عوامل مؤثری برای مدیریت حشرات شناخته شده‌اند و نقش مهمی در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات دارند. برخی از مهم‌ترین جنس‌های قارچ‌های بیمارگر حشرات عبارت‌اند از *Beauveria*، *Metarhizium*، *Isaria* و *Verticillium* (Sani et al, ۲۰۲۰). قارچ *Beauveria bassiana* باعث از بین رفتن میزبان خود با عمل آنزیمی می‌شود (Sani et al, ۲۰۲۰). محققان اثر بخشی *B. bassiana* را به عنوان یک حشره کش در برابر مگس‌های سفید را گزارش دادند (Kim et al, ۲۰۱۴). جنبه مثبت قارچ‌های بیمارگر حشرات، سازگاری آن‌ها با آفت کش‌های شیمیایی و زیستی است (Islam et al, ۲۰۰۹; Dearlove et al, ۲۰۲۴). در میان آنتاگونیست‌های زیستی مختلف که در

8. Entomopathogenic Fungi



شکل ۲. لاروهای پرازیت شده توسط نماتدهای بیمارگر حشرات

گسترده‌ای دارند و پتانسیل بالایی برای مدیریت آفات سازگار با محیط زیست و حفاظت از محصولات ارائه می‌دهند (Gomez Valderrama et al, ۲۰۱۷; Sani et al, ۲۰۲۰; Gebremariam et al, ۲۰۲۲). در این میان، ویروس‌هایی مانند *Phthorimaea operculella* *granulovirus* (PhopGV) قادر به آلوده کردن لاروهای *Tuta absoluta* و *Phthorimaea operculella* هستند (Zeller, ۱۸۷۳: Lepidoptera: Gelechiidae). و به همین دلیل گزینه‌ای امیدوارکننده برای مهار زیستی این آفات به شمار می‌آیند (Gomez Valderrama et al, ۲۰۱۷).

محققان پتانسیل جدایه‌های مختلف PhopGV را برای مهار *T. absoluta* در گوجه فرنگی بررسی کردند. آن‌ها فعالیت زیستی پنج جدایه PhopGV را با استفاده از لاروهای *T. absoluta* و *P. operculella* ارزیابی کردند و مشاهده شد که یک ایزوله خاص

مدیریت بیماری های گیاهی استفاده می شوند، *Trichoderma spp* نقش تعیین کننده ای دارد. جدایه های مختلف تریکودرما، از جمله *Trichoderma asperellum*، *T. harzianum*، *T. virens* و *T. viride* برای مدیریت طیف وسیعی از بیماری های گیاهی، به ویژه آن هایی که توسط بیمارگرهای خاکی ایجاد می شوند، استفاده می شوند (Samuels, ۱۹۹۶). تریکودرما می تواند، روابط اندوفیتی متقابلی را با گونه های مختلف گیاهی ایجاد کند و رشد میزبان را تحت تنش های زنده و غیرزنده ارتقا دهد و کارایی جذب و استفاده از عناصر غذایی را بهبود بخشد (Tseng et al, ۲۰۲۰). مکانیسم های مهار زیستی تریکودرما، رقابت برای مکان های عفونت و مواد مغذی، مایکوپرازیتیس و القای مقاومت سیستمیک در گیاهان را در بر می گیرد (Segarra et al, ۲۰۱۰). تریکودرما می تواند با مسدود کردن کلونیزاسیون بیمارگر در بافت های آسیب دیده، گوجه فرنگی را در برابر *Botrytis cinerea* محافظت کند (Elad et al, ۲۰۰۷). محققان چهار جدایه تریکودرما را منتخب را به دلیل توانایی آن ها در ترویج رشد و القای مقاومت در گوجه فرنگی و همچنین برای تأثیر آن ها در سرکوب هاگ *B. cinerea* بر روی برگ های در حال پوسیدگی گوجه فرنگی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که هر چهار جدایه به طور قابل توجهی رشد گوجه فرنگی را افزایش دادند و باعث ایجاد مقاومت سیستمیک در برابر *B. cinerea* شدند (You et al, ۲۰۱۶).

مکانیسم های مختلف، از جمله تحریک اکسین ها، اتیلن، لیگنین و پروتئین های مرتبط با بیماری زا، ممکن است در مدیریت بیماری سوختگی زودرس در گوجه فرنگی هنگام استفاده از عوامل مهار زیستی مانند گونه های تریکودرما نقش داشته باشند (Selim, ۲۰۱۵). محققان اثر *T. harzianum* را در مهار قارچ پژمردگی فوزاریوم (*F. oxysporum f.sp. lycopersici*) بررسی کردند. پژوهش ها نشان داده اند که می توان از رویکردهای نوین زیستی برای مدیریت بیماری پژمردگی فوزاریومی گوجه فرنگی بهره گرفت. یکی از این روش ها فعال سازی مکانیسم های دفاعی گیاه یا «مقاومت سیستمیک القا شده» است. در مطالعه ای، مشخص شد که کاربرد اسید سالیسیلیک، به عنوان یک القاکننده دفاعی، می تواند مکانیسم های دفاعی گیاه را علیه *Fusarium oxysporum* فعال کرده و شدت بیماری را به طور مؤثری کاهش دهد. (Houssien et al, ۲۰۱۰)

در تحقیق دیگری، پتانسیل جدایه های مختلف تریکودرما برای القای مقاومت سیستمیک در گوجه فرنگی به منظور محافظت در برابر پژمردگی فوزاریومی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که گونه های تریکودرما با ویژگی آنتاگونیستی قوی، قادر بودند شدت بیماری را به صورت معنی داری نسبت به تیمار مهار بدون قارچ آنتاگونیست کاهش دهند. این یافته ها کاربرد تریکودرما را به عنوان یک عامل زیستی مؤثر در مدیریت این بیماری تأیید می کنند (Sallam et al, ۲۰۱۹).

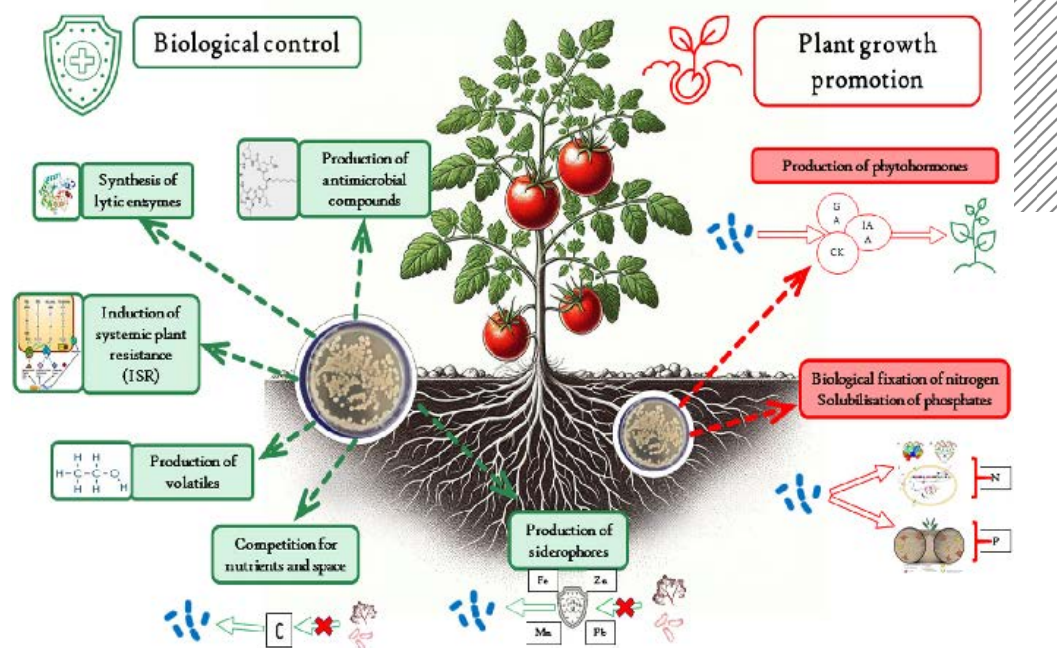


علیه باکتری‌های بیماری‌زا، قارچ‌ها و ویروس‌های گیاهی دارند و اغلب در خاک و ریزوسفر گیاهان شناسایی می‌شوند. باسیلوس با تولید سیدروفورها، ترشح آنزیم‌ها، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و القای مقاومت سیستمیک در گیاهان، نقش مؤثری در مهار بیماری‌های گیاهی ایفا می‌کند.

علاوه بر این، باسیلوس‌ها به عنوان بهبوددهنده‌های رشد گیاهان نیز شناخته می‌شوند. ویژگی‌هایی مانند پراکندگی وسیع در خاک، تحمل تغییرات دما، pH و شوری محیط و توانایی تولید اندوسپورهای مقاوم، آن‌ها را به عوامل مناسبی برای کاربرد در مهار زیستی تبدیل کرده است. گونه‌های مختلف جنس باسیلوس به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته و به عنوان عوامل مؤثر در مهار زیستی استفاده شده‌اند (Jacobsen et al., ۲۰۰۴). این باکتری‌ها فعالیت ضد میکروبی قابل توجهی علیه طیف وسیعی از بیمارگرها نشان می‌دهند و اثرات مثبتی بر رشد و بهره‌وری گیاه دارند (Miljakovic et al., ۲۰۲۰). گونه‌های مفید باسیلوس، به دلیل ویژگی‌های رشد مطلوب و توانایی تولید انواع ترکیبات فعال زیستی به طور گسترده در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. گونه‌های مانند *B. subtilis*، *B. amyloliquefaciens*، *B. velezensis*، *B. licheniformis*، *B. mojavensis*، *B. pumilus* معمولاً علیه بیمارگرها به کار می‌روند (Su et al., ۲۰۲۰). مکانیسم‌های اولیه استفاده شده توسط باکتری

محققان اثربخشی دو جدایه تریکودرما در مهار بیماری پژمردگی فوزاریومی و همچنین پتانسیل آن‌ها به عنوان کودهای زیستی برای افزایش رشد گوجه‌فرنگی را در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای بررسی کردند. آزمایش‌های کشت دوگانه نشان داد که جدایه‌های *T. harzianum* و *T. viride* خواص آنتاگونیستی در برابر *F. solani* دارند و از مکانیسم‌هایی مانند رقابت برای مواد مغذی، میکوپرازیتسم و آنتی‌بیوزیس استفاده می‌کنند. در آزمایش‌های گلخانه‌ای، گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با این جدایه‌های آنتاگونیست، چه به صورت جداگانه و چه به صورت ترکیبی، کاهش قابل توجهی در پژمردگی فوزاریوم نشان دادند و همچنین پارامترهای رشد گیاه، جذب عناصر غذایی و سطوح رنگدانه‌های فتوسنتزی و فنل کل بهبود یافتند (Awad-Allah et al., ۲۰۲۲). تریکودرما با استفاده از مکانیسم‌های مختلف، از جمله آنتی‌بیوز، کلونیزاسیون، رقابت و میکوپرازیتسم، قادر به مقابله با قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی است (Jash and Pan, ۲۰۰۷). این قارچ‌ها می‌توانند از طریق محلول‌پاشی، کاربرد خاکی، تیمار بذر و پرایمینگ مورد استفاده قرار گیرند (Meher et al., ۲۰۲۰).

یکی از گروه‌های مهم میکروارگانیسم‌ها در مهار زیستی، باکتری‌های جنس باسیلوس هستند که در زیستگاه‌های مختلف یافت می‌شوند. این باکتری‌ها طیف وسیعی از فعالیت‌های آنتاگونیستی



شکل ۳. مکانیسم های عملکرد عوامل مهار زیستی و محرک رشد گیاه باسیلوس

باسیلوس شامل تولید ترکیبات ضد میکروبی مانند آنتی بیوتیک ها، آنزیم های خارج سلولی، سیدروفورها و ترکیبات فرار است. گونه های باسیلوس برای تولید آنزیم های کاتالیزوری از جمله پروتئازها، کیتینازها و گلوکانازها و همچنین آنتی بیوتیک های پپتیدی مانند bacilizin, fengimycin, bacitracin, bacillin, iturin و bacilomycin B شناخته می شوند. این مواد به دلیل خواص ضد قارچی و ضد باکتریایی شناخته شده اند (Stein, ۲۰۰۵). علاوه بر این، باسیلوس ها با رقابت بر سر مواد مغذی و فضا از طریق ترکیبات فرار و القای مقاومت سیستمیک (ISR) به مهار بیمارگرها کمک می کنند (Karac'ic et al, ۲۰۲۴). همچنین، این باکتری ها رشد گیاه را با سنتز هورمون های گیاهی مانند اسید ایندول-۳-استیک، جیبرلین ها و سیتوکینین ها تقویت می کنند (Poveda and Gonzalez-André s, ۲۰۲۱). کاربرد گسترده باسیلوس به دلیل ویژگی های کلیدی آن، از جمله انعطاف پذیری در برابر تنش ها، توانایی تشکیل اندوسپور، کلونیزاسیون مؤثر ریشه و تولید طیف وسیعی از متابولیت های ثانویه، امکان پذیر شده است (Karac'ic et al, ۲۰۲۴). محققان گزارش کردند که *B. subtilis* و *B. amyloliquefaciens* به طور مؤثری پژمردگی باکتریایی ناشی از *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* را کاهش می دهند (Abo-Elyousr et al, ۲۰۱۹). این نتایج با مطالعاتی که استفاده مؤثر از سویه های باسیلوس را در برابر بیماری های باکتریایی در شرایط گلخانه نشان می دهند، همسو هستند (Boudyach et al, ۲۰۱۰؛



تله‌های چسبنده رنگی و تله‌های نوری، برای به دام انداختن جمعیت انبوه آفات، ایجاد اختلال در جفت‌گیری و نظارت بر فعالیت آن‌ها است (Ivezic et al., ۲۰۲۵). فرومون‌ها که مواد شیمیایی تولید شده توسط حشرات برای جذب افراد هم‌گونه هستند، نقش مهمی در مدیریت مدرن آفات ایفا می‌کنند و به تسهیل تشخیص، نظارت، پیش‌بینی جمعیت و مهار آفات کمک می‌کنند. (Witzgall et al., ۲۰۱۰). تله‌های چسبنده رنگی و تله‌های نوری اغلب برای شناسایی و پایش زودهنگام جمعیت حشرات در مزارع و گلخانه‌ها استفاده می‌شوند، اما می‌توان از آن‌ها برای مهار تریپس‌ها و مگس‌های سفید نیز بهره برد؛ به‌ویژه هنگامی که حشرات بالغ را به دام می‌اندازند و در ترکیب با فرومون‌ها اختلال در جفت‌گیری ایجاد می‌کنند که منجر به افزایش کارایی مهار می‌شود (Raghavendra et al., ۲۰۲۴). علاوه بر این، فناوری‌های نوین می‌توانند مدیریت یکپارچه آفات را بهبود بخشند، به‌ویژه در بخش پایش آفات. استفاده از فناوری‌های جدید نظارت بر آفات مانند دوربین‌ها، حسگرها و اینترنت اشیا، در ترکیب با روش‌های مرسوم مانند تله‌های چسبنده رنگی (Böckmann et al., ۲۰۲۱)، فرومون‌ها (Ding and Taylor, ۲۰۱۶) و تله‌های نوری (Bjerger et al., ۲۰۲۱)، امکان پایش دقیق‌تر و بهبود مدیریت آفات را فراهم می‌کند. علاوه بر این، استراتژی‌های حفاظتی متنوع در مدیریت یکپارچه آفات و استفاده از کشت گیاهان

Kasselaki et al., ۲۰۱۱). همچنین *Bacillus subtilis* در برابر دو بیماری ویروس پژمردگی لکه‌دار گوجه‌فرنگی (TSWV) و ویروس Y سیب‌زمینی (PVY) کارایی بالایی نشان داده است (Beris et al., ۲۰۱۸). محققان بیان کرده‌اند که در شرایط گلخانه‌ای، سویه *B. subtilis* به‌طور قابل توجهی پارامترهای رشد گوجه‌فرنگی را بهبود می‌بخشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را تقویت و به کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از ویروس موزاییک تنباکو (TMV) کمک می‌کند (El-Gendi et al., ۲۰۲۲). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که اثربخشی آفت‌کش‌های زیستی را می‌توان با افزایش دفعات کاربرد، کوتاه کردن فواصل بین محلول‌پاشی یا استفاده از ترکیبی از آفت‌کش‌های مختلف افزایش داد (Karac̆ic et al., ۲۰۱۸; Milijašević–Marc̆ic et al., ۲۰۲۴).

■ بهینه‌سازی استراتژی‌های مدیریت یکپارچه آفات برای اثربخشی مهار زیستی

مهار زیستی بخشی از مدیریت یکپارچه آفات است و می‌تواند با روش‌های مختلف ترکیب شود تا اثربخشی مهار باهدف قرار دادن آفات از طریق مکانیسم‌های متعدد افزایش یابد. این استراتژی‌ها شامل استفاده از فرومون‌ها و تله‌های مختلف، مانند

9. Tomato Spotted Wilt Orthotospovirus
10. Potato Virus Y
11. Tobacco Mosaic Virus

تقویت تنوع زیستی دشمنان طبیعی دارند، زیرا برای پرازیتوئیدها و شکارگرها جذاب هستند، بهویژه زمانی که در مرحله شکوفه قرار دارند (AlcalaHerrera et al., ۲۰۲۲). علاوه بر این، محلول پاشی غذایی مصنوعی می‌توانند جمعیت دشمن طبیعی را افزایش دهند و مدیریت آفات را با ارائه مواد مغذی ضروری بهبود و در نتیجه فراوانی و اثربخشی پرازیتوئیدها و شکارگرها را در مدیریت آفات افزایش دهند (Wade et al., ۲۰۰۸).

■ چالش‌های تولید عوامل مهار زیستی برای آفات و بیماری‌های گلخانه‌ای در ایران

استفاده از عوامل مهار زیستی برای مدیریت آفات و بیماری‌های گلخانه‌ای، یکی از راهکارهای مؤثر و پایدار در کشاورزی است که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این روش شامل استفاده از موجودات زنده مانند شکارچیان طبیعی، پرازیتوئیدها و بیماری‌زاهای خاص برای مهار جمعیت آفات و بیماری‌ها است. در ایران، این تکنیک به‌ویژه در بخش کشاورزی گلخانه‌ای، می‌تواند کمک زیادی به کاهش مصرف آفت‌کش‌ها و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی کند. با این حال، چالش‌های مختلفی در تولید و کاربرد عوامل مهار زیستی در کشور وجود دارد که باید به آن‌ها توجه شود.

۱- محدودیت در تولید انبوه دشمنان طبیعی:

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در تولید عوامل مهار زیستی، مشکل تولید انبوه و تجاری‌سازی



شکل ۴. فرمون‌های اختلال در جفت‌گیری

تله، روش‌های مؤثری برای افزایش جمعیت حشرات مفید در محصولات به‌شمار می‌روند. گیاهان غیر زراعی آلوده به آفات می‌توانند به عنوان منابع غذایی عمل کنند و به حشرات مفید اجازه دهند پیش از ظهور آفات، جمعیت خود را توسعه دهند (Huang et al., ۲۰۱۸; Payton Miller and Rebek; ۲۰۱۱, al et al., ۲۰۱۸). استراتژی جذب و دفع از گیاهان جذب‌کننده و دفع‌کننده آفات استفاده می‌کند و با دست‌کاری رفتار آفات، آن‌ها را از محصولات کشاورزی دور می‌کند (Cook et al., ۲۰۰۷). علاوه بر کاهش جمعیت آفات، حفظ و افزایش جمعیت موجودات مفید نیز ضروری است. این هدف می‌تواند با حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی و کشت گیاهانی که دشمنان طبیعی آفات را جذب می‌کنند، به دست آید. گیاهان گل‌دار نقش ویژه‌ای در حفظ و



دشمنان طبیعی (شکارچیان، پارازیتوئیدها و بیمارگرها) است. بسیاری از موجودات زنده که به عنوان عوامل مهار زیستی استفاده می‌شوند، نیازمند شرایط خاص برای تولید انبوه و حفظ کیفیت هستند. در ایران، فقدان تکنولوژی‌های پیشرفته در این زمینه، مشکلات مربوط به نگهداری و حمل و نقل این موجودات و عدم دسترسی به منابع معتبر برای تولید انبوه، مانع از بهره‌برداری بهینه از این روش‌ها می‌شود. به علاوه، تولیدکنندگان داخلی در مقایسه با تولیدکنندگان خارجی در این حوزه به دلیل مشکلات مالی و علمی توان رقابت با بازار جهانی را ندارند

۲- نبود دانش فنی و آموزش کشاورزان: کشاورزان به دلیل کمبود آموزش و اطلاعات به‌روز در زمینه مهار زیستی، معمولاً از روش‌های شیمیایی برای مقابله با آفات و بیماری‌ها استفاده می‌کنند. بسیاری از کشاورزان به دلیل عدم آشنایی با روش‌های مهار زیستی و عدم اطلاع از مزایای آن نسبت به شیوه‌های شیمیایی، مقاومت نشان می‌دهند. برای رفع این مشکل، نیاز به برنامه‌های آموزشی و ترویجی وجود دارد تا کشاورزان با مزایای استفاده از دشمنان طبیعی و نحوه به کارگیری صحیح آن‌ها آشنا شوند. همچنین، نیاز به ایجاد مشاوران فنی در مزارع گلخانه‌ای برای راهنمایی و پشتیبانی کشاورزان در

استفاده از این روش‌ها احساس می‌شود

۳- نبود استانداردها و دستورالعمل‌های اجرایی: در بسیاری از موارد، فقدان استانداردهای لازم برای تولید و استفاده از عوامل مهار زیستی در ایران باعث می‌شود که کارایی این روش‌ها کاهش یابد. به عنوان مثال، تولید و معرفی دشمنان طبیعی بدون رعایت شرایط و کیفیت لازم می‌تواند منجر به عدم موفقیت در مهار آفات شود. همچنین، نبود دستورالعمل‌های اجرایی برای استفاده بهینه از این عوامل در گلخانه‌ها و مزارع، باعث بروز مشکلات در مدیریت و اثربخشی این روش‌ها می‌شود

۴- محدودیت‌های اقتصادی و هزینه‌ها: تولید و استفاده از عوامل مهار زیستی معمولاً هزینه‌های اولیه بیشتری نسبت به آفت‌کش‌های شیمیایی دارد. این موضوع می‌تواند باعث محدودیت در پذیرش این تکنیک‌ها توسط کشاورزان، به‌ویژه در مناطق کم‌درآمد، شود. اگرچه در بلندمدت، استفاده از مهار زیستی می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش پایداری کشاورزی شود، اما در کوتاه‌مدت کشاورزان ممکن است به دلیل هزینه‌های بیشتر ترجیح دهند از روش‌های شیمیایی ارزان‌تر استفاده کنند.

۵- محدودیت‌های اقلیمی و زیست‌محیطی: شرایط اقلیمی و زیست‌محیطی در مناطق مختلف متفاوت است و این می‌تواند تأثیر زیادی بر اثربخشی عوامل مهار زیستی داشته باشد. برخی

از دشمنان طبیعی نیاز به شرایط خاصی دارند که در برخی از مناطق قابل تأمین نیست. همچنین، تغییرات اقلیمی و نوسانات دمایی می‌توانند باعث کاهش عملکرد عوامل مهار زیستی شوند

۶- محدودیت‌های قانونی و نظارتی: خلأهای قانونی در زمینه مجوزدهی به تولیدکنندگان عوامل مهار زیستی و معرفی آن‌ها به بازار وجود دارد. بسیاری از عوامل مهار زیستی خارجی برای استفاده در کشور نیاز به تأییدیه‌های قانونی دارند که این روند ممکن است زمان‌بر و پیچیده باشد. این امر باعث کاهش سرعت در پذیرش این روش‌ها در کشاورزی می‌شود.

۷- رقابت با روش‌های شیمیایی آفت‌کش‌ها و سموم شیمیایی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و حتی با وجود آگاهی روزافزون نسبت به آسیب‌های این سموم به محیط زیست و سلامت انسان‌ها، همچنان در بسیاری از مزارع، جایگزینی برای این روش‌ها وجود ندارد. رقابت با این محصولات شیمیایی و معرفی مهار زیستی به عنوان یک راهکار کارآمد و اقتصادی، چالشی اساسی به حساب می‌آید.

■ بحث

جامعه علمی به طور گسترده موافق است که مهار زیستی، جایگزینی ایمن، کارآمد و سازگار با محیط زیست برای آفت‌کش‌های شیمیایی در

مدیریت آفات است. بر خلاف روش‌های شیمیایی، عوامل مهار زیستی از آسیب به ارگانیسم‌های غیر هدف و حشرات مفید مانند گرده افشان‌ها جلوگیری می‌کنند و تجمع باقی‌مانده‌های سموم را کاهش می‌دهند (Harris and Dent, ۲۰۰۰). اگرچه عوامل مهار زیستی ممکن است هزینه اولیه بالاتری نسبت به آفت‌کش‌های شیمیایی داشته باشند، استفاده طولانی مدت از آن‌ها مزایای قابل توجهی برای تنوع زیستی، سلامت محیط زیست، ایمنی مواد غذایی و حتی کاهش هزینه‌های تولید فراهم می‌کند. با توجه به گسترش مقاومت آفات نسبت به بسیاری از آفت‌کش‌های شیمیایی، عوامل مهار زیستی می‌توانند به عنوان گزینه‌ای مؤثر برای مدیریت پایدار و مقرون به صرفه آفات عمل کنند (van Emden and Service, ۲۰۰۴). ابزارهای کشاورزی دقیق، مانند حسگرهای هوشمند و فناوری اینترنت اشیا، می‌توانند توانایی تشخیص و نظارت بر آفات را افزایش دهند و به کشاورزان اجازه می‌دهند تا داده‌های بلادرنگ درباره جمعیت آفات، شرایط محیطی و وضعیت سلامت محصولات جمع‌آوری کنند. (Ding and Taylor, ۲۰۱۶; Bockmann et al, ۲۰۲۱; Bjerger et al, ۲۰۲۱). این رویکرد می‌تواند مداخلات به موقع و هدفمند با استفاده از عوامل مهار زیستی را ممکن سازد، در نتیجه اثرات زیست محیطی را به حداقل می‌رساند و اتکا به آفت‌کش‌های شیمیایی را کاهش می‌دهد که به افزایش پایداری و بهره‌وری



متغیر عملکرد مؤثر داشته باشند. به طور کلی، اجرای موفق مهار زیستی نیازمند تلاش‌های هماهنگ برای ایجاد یک استراتژی کشاورزی جامع است که از استفاده از عوامل مهار زیستی پشتیبانی کند، آموزش و حمایت کشاورزان را تقویت کند و زیرساخت‌های لازم برای تولید و توزیع این عوامل را توسعه دهد (Ivezic et al, ۲۰۲۵).

■ نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان، حرکت به سمت یک سیستم کشاورزی مولد که غذای کافی تولید نماید و در عین حال از یکپارچگی محیط زیست برای نسل‌های آینده محافظت کند، ضروری است. مهار زیستی به عنوان یک رویکرد انعطاف‌پذیر و پایدار برای به حداقل رساندن تلفات محصول ناشی از آفات، پتانسیل لازم برای جایگزینی با آفت‌کش‌های شیمیایی در سیستم‌های کشاورزی را دارند. یکی از روش‌های نوین در مبارزه با آفات و بیماری‌های گیاهی، استفاده از موجودات زنده به عنوان عامل مهار زیستی می‌باشد. کاربرد عوامل مهار زیستی برای مهار آفات محصولات کشاورزی یک از سالم‌ترین و کارآمدترین روش‌ها می‌باشد. استراتژی مهار آفات باید مبتنی بر سه اصل ذیل باشد: ۱- شناسایی صحیح آفات کلیدی ۲- معرفی دشمن طبیعی مؤثر علیه آفت کلیدی ۳- دیده‌بانی و پایش منظم آفت و دشمن طبیعی و ادامه پایش ضروری است. استفاده

منجر می‌شود. پذیرش موفق این فناوری‌ها به آموزش جامع کشاورزان، ارائه دستورالعمل‌های اجرایی استراتژی‌های مهار زیستی، ادغام آن‌ها با ابزارهای نظارت دیجیتال و به کارگیری مؤثر روش‌های مدیریت یکپارچه آفات وابسته است. با این حال، حمایت فعال دولت و نهادهای قانون‌گذار برای ایجاد سیاست‌ها و چارچوب‌های مناسب، ضروری است تا این تلاش‌ها موفقیت‌آمیز باشند (Ivezic et al, ۲۰۲۵).

یکی دیگر از جنبه‌های مهم اجرای استراتژی‌های مدیریت یکپارچه آفات، درک تأثیر تغییرات آب و هوایی بر پویایی آفات، بیماری‌ها و دشمنان طبیعی آن‌ها است. تغییر اقلیم به طور عمیق بر توزیع و شیوع آفات و عوامل بیماری‌زا در سیستم‌های کشاورزی مختلف تأثیر می‌گذارد. افزایش دما و تغییر الگوهای بارش می‌تواند زیستگاه‌های مناسب برای بسیاری از گونه‌های آفات را تغییر دهد و منجر به هجوم بیشتر و ظهور تهدیدات جدید در مناطقی شود که قبلاً تحت تأثیر قرار نگرفته بودند. این تغییرات می‌توانند بر توزیع و اثربخشی دشمنان طبیعی تأثیر بگذارند و توانایی آن‌ها در سرکوب آفات را کاهش داده و تعادل استراتژی‌های مدیریت آفات را دستخوش تغییر کنند (Ivezic et al, ۲۰۲۵).

در پاسخ به این چالش‌ها، اتخاذ استراتژی‌های مدیریت آفات سازگار با تغییرات آب و هوایی ضروری است. این رویکرد شامل استفاده از عوامل مهار زیستی انعطاف‌پذیر است که می‌توانند در شرایط

منابع

- Abo-Elyousr, K.A.; Khalil Bagy, H.M.; Hashem, M.; Alamri, S.A.; Mostafa, Y.S. Biological control of the tomato wilt caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* using formulated plant growth-promoting bacteria. *Egypt. J. Biol. Pest Control*, 29, 2019 54.
- Abou-Haidar, A.; Sobh, H.; Skinner, M.; Parker, B.; Abou-Jawdah, Y. Efficacy of *Phytoseiulus persimilis* and *Amblyseius swirskii* for integrated pest management for greenhouse cucumbers under Mediterranean environmental conditions. *Can. Entomol.*, 153, 2021 615-598.
- Abraços-Duarte, G.; da Silva, E.B.; Figueiredo, E. Half Friend, Half Enemy? Comparative Phytophagy between Two Dicyphini Species (Hemiptera: Miridae). *Insects* 175, 13, 2022.
- Ahmed, M.M.; Abdelwines, M.A. Predation and oviposition rates of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot on *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) on different tomato hybrids. *Acarines* 26-23, 17, 2023.
- Ahmed, N.; Lou, M. Efficacy of two predatory phytoseiid mites in controlling the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on cherry tomato grown in a hydroponic system. *Egypt. J. Biol. Pest Control* 15, 28, 2018.
- Al-Azzazy, M.M.; Alhewairini, S.S.; Abdel-Baky, N.F.; Qureshi, M.Z.; Hajjar, M.J. Evaluation of the effectiveness of *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) as a predator of *Tuta absoluta* (Meyrick). *Braz. J. Biol.* 82, 2022, e255753.
- Alcalá Herrera, R.; Cotes, B.; Agustí, N.; Tasin, M.; Porcel, M. Using flower strips to promote green lacewings to control cabbage insect pests. *J. Pest Sci.*, 95, 2022 683-669.

از عوامل مهار زیستی در ترکیب با سایر روش‌های مهار آفات در جهت استفاده هر چه محدودتر از آفت‌کش‌های شیمیایی در سیستم مدیریت یکپارچه آفات تعریف می‌گردد و جایگاه بسیار خوبی در سیستم‌های زراعی و باغی دارد. مهار زیستی و مدیریت یکپارچه آفات با هر سیستم کشاورزی از جمله کشاورزی ارگانیک و سنتی سازگار هستند و نقش ویژه‌ای را در رویکردهای حفاظت از محصولات ایفا می‌کنند، از جمله اینکه باعث کاهش باقیمانده سموم در محصولات برداشت‌شده در سیستم‌های کشاورزی سنتی می‌شوند. شاخص‌های پایداری حرکت در جهت استفاده کمتر از منابع سموم شیمیایی با استفاده از عوامل زیستی حرکت در جهت کشاورزی پایدار را تأیید می‌نماید. با این حال، چالش‌های نظارتی، مالی و آموزشی وجود دارد که مانع پذیرش گسترده‌تر عوامل مهار زیستی، می‌شود. رسیدگی به این موانع نیازمند چارچوب‌های قانونی، پشتیبانی فنی و افزایش بودجه برای تقویت زیرساخت تولید و توزیع عوامل مهار زیستی است. اتخاذ مشوق‌ها و مقررات نوآورانه برای تحریک و ترویج تحقیقات در مورد عوامل مهار زیستی بسیار مهم است.



- Al-Jboory, I.J.; Katbeh-Bader, A.; Shakir, A.Z. First observation and identification of some natural enemies collected from heavily infested tomato by *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Jordan. *World Appl. Sci. J.* 592–589, 17, 2012.
- Ally, N.M.; Neetoo, H.; Ranghoo-Sanmukhiya, V.M.; Coutinho, T.A. Greenhouse-grown tomatoes: Microbial diseases and their control methods: A review. *Int. J. Plant Pathol.* 127–99, 12, 2023.
- Ardeh, M.J.; De Jong, P.W.; Van Lenteren, J.C. Intra- and interspecific host discrimination in arrhenotokous and thelytokous *Eretmocerus* spp. *Biol. Control* 80–74, 33, 2005.
- Arnó, J.; Castañé, C.; Riudavets, J.; Gabarra, R. Risk of damage to tomato crops by the generalist zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae). *Bull. Entomol. Res.* 115–105, 100, 2010.
- Awad-Allah, E.F.A.; Shams, A.H.M.; Helaly, A.A.; Ragheb, E.I.M. Effective Applications of *Trichoderma* spp. as Biofertilizers and Biocontrol Agents Mitigate Tomato *Fusarium* Wilt Disease. *Agriculture* 1950, 12, 2022.
- Balliu, A.; Çota, E. Biological control of main greenhouse pests in Albania. *Acta Hort.* 492–489, 729, 2007.
- Batalla-Carera, L.; Morton, A.; Garcia del Pino, F. Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in laboratory and greenhouse conditions. *BioControl* 530–523, 55, 2010.
- Beris, D.; Theologidis, I.; Skandalis, N.; Vassilakos, N. *Bacillus amyloliquefaciens* strain MBI600 induces salicylic acid dependent resistance in tomato plants against Tomato spotted wilt virus and Potato virus Y. *Sci. Rep.* 10320, 8, 2018.
- Bernardo, A.M.G.; de Oliveira, C.M.; Oliveira, R.A.; Vacacela, H.E.; Venzon, M.; Pallini, A.; Janssen, A. Performance of *Orius insidiosus* on alternative foods. *J. Appl. Entomol.* 707–702, 141, 2017.
- Bjerger, K.; Nielsen, J.B.; Sepstrup, M.V.; Helsing-Nielsen, F.; Høye, T.T. An automated light trap to monitor moths (Lepidoptera) using computer vision-based tracking and deep learning. *Sensors* 343, 21, 2021.
- Böckmann, E.; Pfaff, A.; Schirrmann, M.; Pflanz, M. Rapid and low-cost insect detection for analysing species trapped on yellow sticky traps. *Sci. Rep.* 10419, 11, 2021.
- Boudyach, E.H.; Fatmi, M.; Akhayat, O.; Benizri, E.; Aoumar, A.A.B. Selection of antagonistic bacteria of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* and evaluation of their efficiency against bacterial canker of tomato. *Biocontrol Sci. Technol.* 149–141, 11, 2010.
- Buitenhuis, R.; Shipp, L.; Scott-Dupree, C.; Brommit, A.; Lee, W. Host plant effects on the behaviour and performance of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 180–171, 62, 2014.
- Calvo, F.J.; Bolckmans, K.; Belda, J.E. Release rate for a pre-plant application of *Nesidiocoris tenuis* for *Bemisia tabaci* control in tomato. *BioControl* 817–809, 57, 2012.
- Calvo, F.J.; Knapp, M.; van Houten, Y.M.; Hoogerbrugge, H.; Belda, J.E. *Amblyseius swirskii*: What made this predatory mite such a successful biocontrol agent? *Exp. Appl. Acarol.* 433–419, 65, 2015.
- Calvo, F.J.; Lorente, M.J.; Stansly, P.A.; Belda, J.E. Preplant release of *Nesidiocoris tenuis* and supplementary tactics for control of *Tuta absoluta* and *Bemisia tabaci* in greenhouse tomato. *Entomol. Exp. Appl.* 119–111, 143, 2012.
- Calvo, J.; Bolckmans, K.; Stansly, P.A.; Urbaneja, A. Predation by *Nesidiocoris tenuis* on *Bemisia tabaci* and injury to tomato. *BioControl* 246–237, 54, 2009.
- Calvo, J.; Urbaneja, A. *Nesidiocoris tenuis* Reu. (Het.: Miridae) en tomate: Amigo o Enemigo? *Almeria Verde*, 2003 23–21, 4. (In Spanish).

- Carnero-Hernández, A.; Díaz-Hernández, S.; Amador-Martín, S.; Hernández-García, M.; Hernández-Suárez, E. Impact of *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) on whitefly populations in protected tomato crops. IOBC/ WPRS Bull. 259,23,2000.
- Cascone, P.; Carpenito, S.; Slotsbo, S.; Iodice, L.; Sørensen, J.; Holmstrup, M.; Guerrieri, E. Improving the efficiency of *Trichogramma achaeae* to control *Tuta absoluta*. BioControl 771–761,60,2015.
- Chailleux, A.; Bearez, P.; Pizzol, J.; Amiens-Desneux, E.; Ramirez-Romero, R.; Desneux, N. Potential for combined use of parasitoids and generalist predators for biological control of the key invasive tomato pest *Tuta absoluta*. J. Pest. Sci. 541–533,86,2013.
- Cook, S.M.; Khan, Z.R.; Pickett, J.A. The use of push-pull strategies in integrated pest management. Annu. Rev. Entomol. 400–375,52,2007.
- Copping, L.G. The Bio Pesticide Manual, 1st ed.; British Crop Protection Council: Farnham, UK, 1998; pp. 237–107.
- Coppola, M.; Cascone, P.; Chiusano, M.L.; Colantuono, C.; Lorito, M.; Pennacchio, F.; Rao, R.; Woo, S.L.; Guerrieri, E.; Digilio, M.C. *Trichoderma harzianum* enhances tomato indirect defense against aphids. Insect Sci. ,24,2017 1033–1025.
- Dalir, S.; Hajiqanbar, H.; Fathipour, Y.; Khanamani, M. A comprehensive picture of foraging strategies of *Neoseiulus cucumeris* and *Amblyseius swirskii* on western flower thrips. Pest Manag. Sci. 5429–5418,77,2021.
- Dalir, S.; Hajiqanbar, H.; Fathipour, Y.; Khanamani, M. Age-Dependent Functional and Numerical Responses of *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) on Two-Spotted Spider Mite (Acari: Tetranychidae). J. Econ. Entomol. 61–50,114,2021.
- de Puyssseleyr, V.; Höfte, M.; de Clercq, P. Ovipositing *Orius laevigatus* increase tomato resistance against *Frankliniella occidentalis* feeding by inducing the wound response. Arthropod-Plant Interact. 80–71,5,2011.
- Dearlove, E.L.; Chandler, D.; Edgington, S.; Berry, S.D.; Martin, G.; Svendsen, C.; Hesketh, H. Improved control of *Trialeurodes vaporariorum* using mixture combinations of entomopathogenic fungi and the chemical insecticide spiromesifen. Sci. Rep. 15259,14,2024.
- Digilio, M.C.; Cascone, P.; Iodice, L.; Guerrieri, E. Interactions between tomato volatile organic compounds and aphid behaviour. J. Plant Interact. 325–322,7,2012.
- Ding, W.; Taylor, G. Automatic moth detection from trap images for pest management. Comput. Electron. Agric. 28–17,123,2016.
- Đurić, Z.; Delić, D.; Hrncić, S.; Radonjić, S. Distribution and molecular identification of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera, Gelechiidae) populations in Bosnia and Herzegovina and Montenegro. Pol. J. Entomol. ,83,2014 129–121.
- Dutra, T.M.; da Graça Batista, M.; Teixeira, J.C.A.; Todorova, S.; Oliveira, L.; Tavares, J.; Borges, I.; Soares, A.O. Economic and financial model to the mass-rearing of *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) (Heteroptera: Miridae), a biological control agent against the tomato moth *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in protected culture. Pest Manag. Sci. 3720–3712,79,2023.
- El Aïmani, A.; Mokrin, F.; Houari, A.; Laasli, S.E.; Sbaghi, M.; Mentag, R.; Iraqui, D.; Udupa, S.M.; Dababat, A.A.; Lahlali, R.; et al. Potential of indigenous entomopathogenic nematodes for controlling tomato leaf miner, *Tuta absoluta*



- (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under laboratory and field conditions in Morocco. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 101710,116,2021.
- El Arnaouty, S.; Pizzol, J.; Galal, H.; Kortam, M.; Afifi, A.; Beyssat, V.; Desneux, N.; Biondi, A.; Heikal, I. Assessment of Two Trichogramma Species for the Control of Tuta absoluta in North African Tomato Greenhouses. *Afr. Entomol.* 809–801,22,2014.
 - El Arnaouty, S.A.; Kortam, M.N. First record of the mired predatory species, Nesidiocoris tenuis Reuter (Heteroptera: Miridae) on the tomato leafminer, Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Egypt. *Egypt. J. Biol. Pest Control* 223,22,2012.
 - Elad, Y.; Williamson, B.; Tudzynski, P.; Delen, N. *Botrytis: Biology, Pathology and Control*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2007; pp. 8–1.
 - El-Gendi, H.; Al-Askar, A.A.; Király, L.; Samy, M.A.; Moawad, H.; Abdelkhalek, A. Foliar Applications of Bacillus subtilis HA1 Culture Filtrate Enhance Tomato Growth and Induce Systemic Resistance against Tobacco mosaic virus Infection. *Horticulturae* 301,8,2022.
 - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT Data. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed on 7 June 2024).
 - Garcia-del-Pino, F.; Morton, A.; Shapiro-Ilan, D. Entomopathogenic nematodes as biological control agents of tomato pests. In *Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2018; pp. 282–269.
 - Gebremariam, A.; Chekol, Y.; Assefa, F. Extracellular enzyme activity of entomopathogenic fungi, Beauveria bassiana and Metarhizium anisopliae and their pathogenicity potential as a bio-control agent against whitefly pests, Bemisia tabaci and Trialeurodes vaporariorum (Hemiptera: Aleyrodidae). *BMC Res. Notes* 117,15,2022.
 - Goleva, I.; Zebitz, C.P.W. Suitability of different pollen as alternative food for the predatory mite Amblyseius swirskii (Acari, Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 283–259,61,2013.
 - Gómez Valderrama, J.A.; Barrera, G.; López-Ferber, M.; Belaich, M.; Ghiringhelli, P.D.; Villamizar, L. Potential of betabaculoviruses to control the tomato leafminer Tuta absoluta (Meyrick). *J. Appl. Entomol.* 77–67,142,2017.
 - Gonthier, J.; Arnó, J.; Romeis, J.; Collatz, J. Few indirect effects of baculovirus on parasitoids demonstrate high compatibility of biocontrol methods against Tuta absoluta. *Pest Manag. Sci.* 1441–1431,79,2023.
 - Harris, J.; Dent, D. *Priorities in Biopesticide Research and Development in Developing Countries*; CABI: Wallingford, UK, 2000; p. 70.
 - Heuskin, S.; Lorge, S.; Godin, B.; Leroy, P.; Frère, I.; Verheggen, F.J.; Haubruge, E.; Wathelet, P.; Mestdagh, M.; Hance, T.; et al. Optimisation of a semiochemical slow-release alginate formulation attractive towards Aphidius ervi Haliday parasitoids. *Pest Manag. Sci.* 136–127,68,2011.
 - Hoddle, M.S.; Van Driesche, R.G.; Sanderson, J.P. Biology and use of the whitefly parasitoid, Encarsia formosa. *Annu. Rev. Entomol.* 669–645,43,1998.
 - Houssien, A.A.; Ahmed, S.M.; Ismail, A.A. Activation of Tomato Plant Defense Response Against Fusarium Wilt Disease Using Trichoderma harzianum and Salicylic Acid under Greenhouse Conditions. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 338–328,6,2010.

- Huang, N.; Enkegaard, A.; Osborne, L.S.; Ramakers, P.M.; Messelink, G.J.; Pijnakker, J.; Murphy, G. The banker plant method in biological control. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.* 278–259,30,2011.
- Husin, T.O.B.; Port, G.R. Efficacy of entomopathogenic nematodes against *Tuta absoluta*. *Biol. Control*,160,2021 104699.
- Islam, M.T.; Castle, S.J.; Ren, S. Compatibility of the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana* with neem against sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*, on eggplant. *Entomol. Exp. Appl.* 34–28,134,2009.
- Ivanišević, D.; Prodanović, R.; Stajić, D. Ekonomika proizvodnje paradajza u zavisnosti od načina nabavke rasada. *Ekonom. Teor. Praksa* 51–39,11,2018.
- Ivezić, A.; Popović, T.; Trudić, B.; Krndija, J.; Barošević, T.; Sarajlić, A.; Stojacić, I.; Kuzmanović, B. Biological Control Agents in Greenhouse Tomato Production (*Solanum lycopersicum* L.): Possibilities, Challenges and Policy Insights for Western Balkan Region. *Horticulturae* 155,11,2025.
- Ivezić, A.; Trudić, B.; Drašković, G.; Zorić, M. Predatory mirid *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) as biological control agent in greenhouse tomato production. *J. Cent. Eur. Agric.* 161–151,24,2023.
- Jacobsen, B.J.; Zidack, N.K.; Larson, B.J. The role of *Bacillus*-based biological control agents in integrated pest management systems: Plant diseases. *Phytopathology* 1275–1272,94,2004.
- Jash, S.; Pan, S. Variability in antagonistic activity and root colonizing behavior of *Trichoderma* isolates. *J. Trop. Agric.* 35–29,95,2007.
- Kahya, D.; Port, G. The effectiveness of *Encarsia formosa* Gahan (Hym: Aphelinidae) against Glasshouse Whitefly (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae)) under glasshouse conditions. *Türkiye Entomoloji Bülteni* 22–15,6,2016.
- Kallali, N.S.; Oujja, A.; Goura, K.; Laasli, S.; Kenfaoui, J.; Benseddik, Y.; Blenzar, A.; Joutei, A.B.; El Jarroudi, M.; Mokrini, F.; et al. From soil to host: Discovering the tripartite interactions between entomopathogenic nematodes, symbiotic bacteria and insect pests and related challenges. *J. Nat. Pestic. Res.* 100065,7,2024.
- Karacić, V.; Miljaković, D.; Marinković, J.; Ignjatov, M.; Milošević, D.; Tamindžić, G.; Ivanović, M. *Bacillus* species: Excellent biocontrol agents against tomato diseases. *Microorganisms* 457,12,2024.
- Kasselaki, A.M.; Goumas, D.; Tamm, L.; Fuchs, J.; Cooper, J.; Leifert, C. Effect of alternative strategies for the disinfection of tomato seed infected with bacterial canker (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*). *NJAS–Wageningen. J. Life Sci.* 147–145,58,2011.
- Kazak, C.; Karut, K.; Doker, I. Indigenous populations of *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae): Single and combined releases against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on greenhouse eggplant. *Int. J. Acarol.* 114–108,41,2015.
- Keco, R.; Gjika, I. Value chain coordination and standards: The case of greenhouse vegetables in Albania. *Bulg. J. Agric. Sci.* 478–469,27,2021.
- Khatri, D.; He, X.Z.; Wang, Q. Effective Biological Control Depends on Life History Strategies of Both Parasitoid and Its Host: Evidence from *Aphidius colemani*–*Myzus persicae* System. *J. Econ. Entomol.* 406–400,110,2017.
- Kim, C.S.; Lee, J.B.; Kim, B.S.; Nam, Y.H.; Shin, K.S.; Kim, J.W.; Kim, J.E.; Kwon, G.S. A Technique for the Prevention of Greenhouse Whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) Using the Entomopathogenic Fungus *Beauveria bassiana* M130.



- J. Microbiol. Biotechnol. 7–1,24,2014.
- Knapp, M.; van Houten, Y.; van Baal, E.; Groot, T. Use of predatory mites in commercial biocontrol: Current status and future prospects. *Acarologia* 82–72,58,2018.
 - Konan, K.A.J.; Jaworski, C.C.; Boll, R.; Desneux, A.; Ouali-N'Goran, S.-W.M.; Martin, T.; Gard, B.; Souriau, R.; Lavoit, A.-V.; Desneux, N. Benefits of intraguild interactions between zoophytophagous predators and of bottom-up effects of fertilisation for sustainable management of tomato pests. *Entomol. Gen.* 355–347,44,2024.
 - Kumar, V.; Houben, K.; McKenzie, C.L.; Osborne, L.S. Efficacy of Eretmocerus eremicus and cyantraniliprole on Bemisia tabaci (MED whitefly). *Arthropod Manag. Tests.* 2–1,42,2017.
 - Li, M.; Yang, N.; Wan, F.; Liu, L.; Chen, Y.; Li, J.; Fu, J. Functional response of Neoseiulus cucumeris (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) to Bemisia tabaci (Gennadius) on tomato leaves. *Biocontrol Sci. Technol.* 685–677,27,2017.
 - Manoj, M.; Paschapur, A.; Manideep, S.; Tulasi, B. Precision Farming Solutions: Integrating Technology for Sustainable Pest Management. *J. Adv. Biol. Biotechnol.* 54–33,27,2024.
 - McMurtry, J.A.; De Moraes, G.J.; Sourassou, N.F. Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *Syst. Appl. Acarol.* 320–297,18,2013.
 - Meck, E.D.; Kennedy, G.G.; Walgenbach, J.F. Effect of Tetranychus urticae (Acari: Tetranychidae) on yield, quality, and economics of tomato production. *Crop Prot.* 90–84,52,2013.
 - Meher, J.; Rajput, R.S.; Bajpai, R.; Teli, B.; Sarma, B.K. Trichoderma: A globally dominant commercial biofungicide. In *Trichoderma: Agricultural Applications and Beyond; Soil Biology; Manoharachary, C., Singh, H.B., Varma, A., Eds.; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2020; Volume 61.*
 - Milijašević-Marc'ić, S.; Todorović, V.; Stanojević, O.; Berić, T.; Stanković, S.; Todorović, B.; Potoc'nik, I. Antagonistic potential of Bacillus spp. isolates against bacterial pathogens of tomato and fungal pathogens of pepper. *Pestic Fitomed.* 18–9,33,2018.
 - Miljaković, D.; Marinković, J.; Balešević-Tubić, S. The significance of Bacillus spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. *Microorganisms* 1037,8,2020.
 - Mollá, O.; Biondi, A.; Alonso-Valiente, M.; Urbaneja, A. A comparative life history study of two mirid bugs preying on Tuta absoluta and Ephestia kuehniella eggs on tomato crops: Implications for biological control. *BioControl*,2014 183–175,59.
 - Mollá, O.; González-Cabrera, J.; Urbaneja, A. The combined use of Bacillus thuringiensis and Nesidiocoris tenuis against the tomato borer Tuta absoluta. *BioControl* 891–883,56,2011.
 - Nikolić, D.; Vuc'urović, A.; Stanković, I.; Radović, N.; Zec'ević, K.; Bulajić, A.; Krstić, B. Viruses affecting tomato crops in Serbia. *Eur. J. Plant Pathol.* 235–225,152,2018.
 - Nježić, B. Entomopatogene nematode u biološkoj zaštiti bilja. *Glas. Zaštite Bilja* 14–10,4,2016.
 - Nježić, B.; Ehlers, R.U. Entomopathogenic nematodes control Plum Sawflies (Hopllocampa minuta and H. flava). *J. Appl. Entomol.* 499–491,144,2020.
 - Paspati, A.; Rambla, J.L.; López Gresa, M.P.; Arbona, V.; Gómez-Cadenas, A.; Granell, A.; González-Cabrera, J.; Urbaneja, A. Tomato trichomes are deadly hurdles limiting the establishment of Amblyseius swirskii Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). *Biol. Control* 104572,157,2021.

- Payton Miller, T.L.; Rebek, E.J. Banker plants for aphid biological control in greenhouses. *J. Integr. Pest Manag.*, 2018 9,9.
- Perdikis, D.; Fantinou, A.; Lykouressis, D. Enhancing pest control in annual crops by conservation of predatory Heteroptera. *Biol. Control* 21–13, 59, 2011.
- Perdikis, D.; Kapaxidi, E.; Papadoulis, G. Biological control of insect and mite pests in greenhouse solanaceous crops. *Eur. J. Plant Sci. Biotechnol.* 144–125, 2, 2008.
- Perdikis, D.C.; Lykouressis, D.P. Life table and biological characteristics of *Macrolophus pygmaeus* when feeding on *Myzus persicae* and *Trialeurodes vaporariorum*. *Entomol. Exp. Appl.* 272–261, 102, 2002.
- Perera, M.T.M.D.R.; Senanayake, N. Biological control of two-spotted spider mite using *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) and *Neoseiulus californicus* (McGregor). *Sri Lankan J. Agric. Ecosyst.* 78–68, 4, 2022.
- Perić, P.; Marčić, D.; Stamenković, S. Natural enemies of whitefly (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) in Serbia. *Acta Hort.* 544–539, 830, 2009.
- Perring, T.M.; Battaglia, D.; Walling, L.L.; Toma, I.; Fanti, P. Aphids: Biology, Ecology, and Management. In *Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2017; pp. 48–15.
- Perring, T.M.; Stansly, P.A.; Liu, T.X.; Smith, H.A.; Andreason, S.A. Whiteflies: Biology, Ecology, and Management. In *Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2017; pp. 110–73.
- Pizzol, J.; Desneux, N.; Wajnberg, E.; Thiery, D. Parasitoid and host egg ages have independent impact on various biological traits in a *Trichogramma* species. *J. Pest Sci.* 496–489, 85, 2012.
- Poveda, J.; González-Andrés, F. *Bacillus* as a source of phytohormones for use in agriculture. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 8645–8629, 105, 2021.
- Prado, S.G.; Jandricic, S.E.; Frank, S.D. Ecological interactions affecting the efficacy of *Aphidius colemani* in greenhouse crops. *Insects* 575–538, 6, 2015.
- Raghavendra, K.V.; Rekha, B.; Ramesh, K.B.; Felix, K.T.; Chander, S. Potential of yellow sticky trap apropos monitoring and mass trapping of insect pests of tomato (*Lycopersicon esculentum* Miller): A field study. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 1805–1797, 44, 2024.
- Rezaei, M.; Moharramipour, S. Efficacy of Dayabon, a botanical pesticide, on different life stages of *Myzus persicae* and its biological control agent, *Aphidius matricariae*. *J. Crop Prod.* 10–1, 8, 2019.
- Riley, D.G.; Joseph, S.V.; Srinivasan, R.; Diffie, S. Thrips vectors of Tospoviruses. *J. Integr. Pest Manag.* 2, 2011, I1–I10.
- Rubio, F.A.; Montes, F.C.; Alpízar-Brenes, G.; Parra, J.R.P.; Jamielniak, J.A.; Junior, L.P.L.; Vilches, T.N. A predator-parasitoid mathematical model to describe the biological control of the tomato leafminer *Tuta absoluta*. *Ecol. Complex.* 100995, 50, 2022.
- Salama, N.; Emam, A.; Washahy, K.; Gaffar, S. Evaluation of *Orius laevigatus* as a predator of *Bemisia tabaci* in Vitro. *Arab Univ. J. Agric. Sci.* 314–307, 30, 2022.
- Sallam, N.M.A.; Sallam, A.; Eraky, A. Effect of *Trichoderma* spp. on *Fusarium* wilt disease of tomato. *Mol. Biol. Rep.* 4470–4463, 46, 2019.
- Samuels, G.J. *Trichoderma*: A review of biology and systematics of the genus. *Mycol. Res.* 935–923, 100, 1996.
- Sánchez, J.A. Density thresholds for *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) in tomato crops. *Biol. Control*, 2009



- 498–493,51.
- Sánchez, J.A. Zoophytophagy in the plantbug *Nesidiocoris tenuis*. *Agric. For. Entomol.* 80–75,10,2008.
 - Sani, I.; Ismail, S.I.; Abdullah, S.; Jalinas, J.; Jamian, S.; Saad, N. A Review of the Biology and Control of Whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), with Special Reference to Biological Control Using Entomopathogenic Fungi. *Insects* 619,11,2020.
 - Sarkar, S.C.; Wang, E.; Wu, S.; Lei, Z. Application of trap cropping as companion plants for the management of agricultural pests: A review. *Insects* 128,9,2018.
 - Schoeller, E.N.; Kumar, V.; McKenzie, C.L.; Osborne, L.S. *Encarsia* Wasp, a Silverleaf Whitefly Parasitoid (suggested) *Encarsia formosa* Gahan (Insecta: Hymenoptera: Aphelinidae): EENY-771/IN1337. *EDIS* 5,2021,2021.
 - Segarra, G.; Casanova, E.; Avilés, M. *Trichoderma asperellum* strain T34 controls fusarium wilt disease in tomato plants in soilless culture through competition for iron. *Microb. Ecol.* 149–141,59,2010.
 - Selim, M.E. Effectiveness of *Trichoderma* Biotic Applications in Regulating the Related Defense Genes Affecting Tomato Early Blight Disease. *Essential Oil. J. Plant. Pathol. Microb.* 311,6,2015.
 - Škerbot, I.; Škerbot, I.; Cizej, M.R.; Žveplan, S. Can Tomato Russet Mite (*Aculops lycopersici*) Undermine the Production of Tomatoes in Slovenia? In *Zbornik Predavanj in Referatov 14; Slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin z mednarodno udeležbo: Maribor, Slovenia, 2019; pp. 193–186.*
 - Smith, S.M. Biological control with *Trichogramma*: Advances, successes, and potential of their use. *Annu. Rev. Entomol.* 406–375,41,1996.
 - Spasov, D.; Atanasova, B.; Spasova, D. Population Dynamics of *Tuta absoluta* (Meyrick) in Macedonia; LAP Lambert Academic Publishing: London, UK, 2021; Volume 64.
 - Spasov, D.; Spasova, D.; Atanasova, B. Harmfulness and population dynamics of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) in Strumica region. XVIII Savetovanje o biotehnologiji sa mednarodnim ucescem. *Zb. Rad.* 163–159,18,2013.
 - Stein, T. *Bacillus subtilis* antibiotics: Structures, syntheses and specific functions. *Molecular Microbiology*, 2005 857–845,56.
 - Su, Y.; Liu, C.; Fang, H.; Zhang, D. *Bacillus subtilis*: A universal cell factory for industry, agriculture, biomaterials and medicine. *Microb. Cell Fact.* 173,19,2020.
 - Symondson, W.O.C.; Sunderland, K.D.; Greenstone, M.H. Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annu. Rev. Entomol.* 594–561,47,2002.
 - Takemoto, H.; Takabayashi, J. Parasitic Wasps *Aphidius ervi* are More Attracted to a Blend of Host-Induced Plant Volatiles than to the Independent Compounds. *J. Chem. Ecol.* 807–801,41,2015.
 - Tiba, S.B.; Larem, A.; Laarif, A.; Fritsch, E.; Undorf-Spahn, K.; Mohamed, S.A.; Ekesi, S.; Wennmann, J.T.; Kroschel, J.; Fattouch, S.; et al. The potential of novel African isolates of *Phthorimaea operculella* granulovirus for the control of *Tuta absoluta*. *J. Appl. Entomol.* 20–11,143,2019.
 - Tiftikçi, P.; Kök, S.; Kasap, I. Biological control of twospotted spider mites [*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)] using *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseidae) at different ratios of release on field-grown tomatoes. *Biol. Control* 104404,151,2020.
 - Tomanović, Ž.; Petrović, A.; Mitrović, M.; Kavallieratos, N.G.; Stary, P.; Rakhshani, E.; Rakhshanipour, M.; Popović,

- A.; Shukshuk, A.H.; Ivanovic, A. Molecular and morphological variability within the *Aphidius colemani* group with redescription of *Aphidius platensis* Brethes (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). *Bull. Entom. Res.*, 104, 2014 565–552.
- Toševski, I.; Jovic, J.; Mitrovic, M.; Cvrkovic, T.; Krstic, O.; Krnjajic, S. *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera, Gelechiidae): A new pest of tomato in Serbia. *Pestic. Fitomed.* 204–197, 26, 2011.
 - Tseng, Y.H.; Rouina, H.; Groten, K.; Rajani, P.; Furch, A.C.U.; Reichelt, M.; Baldwin, I.T.; Nataraja, K.N.; Uma Shaanker, R.; Oelmüller, R. An endophytic *Trichoderma* strain promotes growth of its hosts and defends against pathogen attack. *Front. Plant Sci.* 573670, 11, 2020.
 - Urbaneja, A.; González-Cabrera, J.; Arno, J.; Gabarra, R. Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the Mediterranean basin. *Pest Manag. Sci.* 1222–1215, 68, 2012.
 - Urbaneja, A.; Montón, H.; Mollá, O. Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis*. *J. Appl. Entomol.* 296–292, 133, 2009.
 - Urbaneja, A.; Tapia, G.; Stansly, P. Influence of host plant and prey availability on developmental time and survivorship of *Nesidiocoris tenuis* (Het.: Miridae). *Biocontrol Sci. Technol.* 518–513, 15, 2005.
 - Vallad, G.E.; Messelink, G.; Smith, H.A. Crop Protection: Pest and Disease Management. In *Tomatoes*, 2nd ed.; Euvelink, E., Ed.; CABInternational: Boston, MA, USA, 2018; pp. 257–207.
 - van Emden, H.F.; Service, M.W. *Pest and Vector Control*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2004.
 - Van Lenteren, J.; Bolckmans, K.; Köhl, J.; Ravensberg, W.; Urbaneja, A. Biological control using invertebrates and microorganisms: Plenty of new opportunities. *BioControl* 59–39, 63, 2017.
 - Van Lenteren, J.C. Success in biological control of arthropods by augmentation of natural enemies. In *Biological Control: Measures of Success*; Gurr, G., Wratten, S., Eds.; Kluwer Academic Publishers: London, UK, 2000; pp. 103–77.
 - Vucurovic, A.; Kutnjak, D.; Mehle, N.; Stankovic, I.; Pecman, A.; Bulajic, A.; Krstic, B.; Ravnikar, M. Detection of Four New Tomato Viruses in Serbia Using Post Hoc High-Throughput Sequencing Analysis of Samples from a Large-Scale Field Survey. *Plant Dis.* 2332–2325, 105, 2021.
 - Wade, M.R.; Zalucki, M.P.; Wratten, S.D.; Robinson, K.A. Conservation biological control of arthropods using artificial food sprays: Current status and future challenges. *Biol. Control* 199–185, 45, 2008.
 - Witzgall, P.; Kirsch, P.; Cork, A. Sex pheromones and their impact on pest management. *J. Chem. Ecol.*, 36, 2010 100–80.
 - Xu, X.; Borgemeister, C.; Poehling, H.M. Interactions in the biological control of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch by the predatory bug *Orius insidiosus* Say on beans. *Biol. Control* 64–57, 36, 2006.
 - Yasar, I.; Kök, S.; Kasap, I. Investigation of the synergistic effect of two predatory mites, *Phytoseiulus persimilis* and *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae), in the biological control of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Int. J. Acarol.* 319–315, 50, 2024.
 - You, J.; Zhang, J.; Wu, M.; Yang, L.; Chen, W.; Li, G. Multiple criteria-based screening of *Trichoderma* isolates for biological control of *Botrytis cinerea* on tomato. *Biol. Control* 38–31, 101, 2016.



Biological Control Agents in Greenhouse Tomato Production

Abstract

Biological control is a key component of integrated pest management. Greenhouse tomato production holds great economic importance due to growing market demand. In line with global food safety trends, improving agricultural practices and pest management strategies is essential. The application of biological control agents can be an effective step toward producing healthy agricultural products while preserving the biodiversity of natural enemies. Among these, predatory insects are considered the most effective group. Sole reliance on chemical pesticides has led to adverse consequences such as reduced product quality and impaired pest management efficacy. This article reviews sustainable alternative solutions, including biological control agents, for managing tomato pests. Despite the recognized effectiveness of biological control, its application is still not widespread; therefore, promoting these agents can play a significant role in achieving sustainable agriculture.

Keywords: Biological control, Integrated pest management (IPM), Greenhouse tomato, Biological control agents of pests