تحقیقات آفات‌گیاهی
۱۴۰۲ -۱۳(۳): ۴۳ -۶۱

Open access
doi: 10.22124/iprj.2023.25485.1533
pISSN:2322-2409
eISSN: 2538-6123

علمی پژوهشی

تأثیر دو رقم گیاه فلفل روی پارامترهای زیستی و رشد جمعیت شته سبز هلو، *Myzus persicae* و واکنش تابعی بالتوری سبز، *Chrysoperla carnea* در دو نوع سامانه کشت خاکی و هیدروپونیک

مهدی حسن‌پور*[۱] و مریم الهی[۲]

۱ و ۲- دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
1. 0000-0002-5409-428X, 2. 0009-0000-7480-0906

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۱)

چکیده

در این تحقیق، پارامترهای زیستی و رشد جمعیت شته سبز هلو، *Myzus persicae* پرورش‌یافته روی دو رقم فلفل الگانت و جلاپینو در دو نوع سامانه کشت خاکی و هیدروپونیک و واکنش تابعی لاروهای سن سوم بالتوری سبز *Chrysoperla carnea* نسبت به این آفت در دمای ۲±۲۵ درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ خالص تولیدمثل (R_0) شته روی رقم جلاپینو در کشت خاکی (به‌ترتیب ۰/۲۸۱ بر روز و ۶۲/۸۹ بر نسل) و کمترین مقدار آن‌ها روی رقم الگانت در کشت هیدروپونیک (به‌ترتیب ۰/۱۷۴ بر روز و ۳۴/۱۴ بر نسل) محاسبه شد. واکنش تابعی لارو سن سوم شکارگر نسبت به پوره‌های این آفت در تمام تیمارها از نوع دوم به دست آمد. نرخ حمله (a) شکارگر در تیمارهای مختلف بین ۰/۰۴۲۲ تا ۰/۰۶۷۴ بر ساعت و زمان دستیابی (T_h) آن بین ۰/۱۹۱۵ تا ۰/۲۱۹۱ ساعت متغیر بود. نتایج نشان داد که رقم جلاپینو در کشت خاکی به علت دارا بودن بیشترین میزان r رقم مطلوب‌تری برای نشوونما و تولیدمثل شته سبز هلو به حساب می‌آید. در مقابل، رقم الگانت در کشت هیدروپونیک به دلیل دارا بودن کمترین میزان r از مطلوبیت کمتری برای شته سبز هلو برخوردار است. همچنین، با توجه به پارامترهای واکنش تابعی، به‌نظر می‌رسد ارقام الگانت و جلاپینو در کشت هیدروپونیک در مقایسه با کشت خاکی از کیفیت مناسب‌تری برای اعمال کنترل بیولوژیک روی این آفت برخوردار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ارقام فلفل، برهم‌کنش شکار- شکارگر، بالتوری سبز، سامانه کشت، شته سبز هلو

*نویسنده مسئول: hassanpour@uma.ac.ir

CC BY

مقدمه

لزوم استفاده بهینه از منابع به‌ویژه آب و خاک یکی از دلایل مهم توسعه کشت‌های گلخانه‌ای می‌باشد. مسائل تغذیه‌ای گیاهان کشت شده در گلخانه که نقش عمده‌ای در دستیابی به عملکرد و کیفیت بالاتر دارد، از اهمیت بسزایی برخوردار است (Ponce *et al.*, 2014). متداول‌ترین محیط کشت گیاهان در گلخانه‌ها کشت خاکی است. مزیت بستر کشت خاک در مقایسه با بستر کشت هیدروپونیک و هواکشت، استحکام آن است که امکان رشد رویشی و طولی بیشتر را برای گیاهان فراهم می‌کند (Khan, 2018). کشت هیدروپونیک به معنی کاشت گیاهان در آب و محلول غذایی، بدون استفاده از خاک است (Dalvand *et al.*, 2017). این نوع کشت به کشاورز این امکان را می‌دهد که محصول بیشتری را در زمان کوتاه‌تر و با کار کمتر تولید کند. هر گیاهی را می‌توان به صورت هیدروپونیک کشت کرد، اما برخی از آن‌ها مانند فلفل، گوجه‌فرنگی، خیار، توت فرنگی و گیاهان برگ‌دار مانند کاهو در این سامانه بیشتر مورد توجه هستند (Roosta, 2016; Dalvand *et al.*, 2017). ماده به کار رفته به عنوان بستر کشت هیدروپونیک ممکن است یک ماده آلی مانند پیت موس، پوست درخت و مواد آلی دیگر و یا یک ماده غیر آلی نظیر پرلایت، ورمیکولایت و پشم سنگ باشد (Grewal *et al.*, 2011). بستر هیدروپونیک باید به راحتی زهکشی شود، قدرت تهویه مناسبی داشته و ظرفیت نگهداری آب آن خوب باشد. در این روش، تغذیه گیاه از طریق محلول غذایی که به محیط اضافه می‌شود صورت می‌گیرد (Choi & Lee, 2012). تغذیه بهینه یعنی فراهم کردن همه عناصر غذایی به میزان مناسب و به نسبت‌های متعادل که با منحنی رشد گیاه همخوانی داشته و کیفیت و کمیت تولید را به بالاترین میزان ممکن برساند. برداشت عناصر غذایی معدنی توسط گیاه از هر نوع بستر کشت باید جبران شود. بنابراین، مدیریت تغذیه شامل فراهم آوردن عناصر غذایی در نسبت‌های مناسب و زمان‌های مقتضی بوده و کوددهی باید در زمان مقرر و به مقدار لازم انجام شود (van Delden *et al.*, 2020). گلخانه‌های هیدروپونیک در بسیاری از کشورهای آمریکای شمالی، مکزیک، استرالیا، نیوزلند و سایر کشورهای اروپای شمالی احداث شده و از محصولات مهم تولیدی آن‌ها می‌توان به فلفل، خیار، گوجه‌فرنگی، کاهو و سبزیجات معطر اشاره کرد. تولید گل‌های مختلف و سایر محصولات غیرصیفی نیز با استفاده از این روش رو به افزایش است. ایران از لحاظ وسعت و پراکندگی گلخانه‌های هیدروپونیک موقعیت رو به رشدی دارد. درحال حاضر، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به روش هیدروپونیک در ایران ۲۱ هزار هکتار است. بسیاری از گلخانه‌های هیدروپونیک در منطقه آزاد ارس، تهران، فارس، سیستان و بلوچستان، چابهار و لرستان در حال فعالیت هستند (Ahmadi *et al.*, 2018).

فلفل، *Capsicum annum* L.، جزو سبزیجاتی است که به دلیل ارزش بالای غذایی تمایل به مصرف آن در سراسر جهان رو به افزایش است. میوه فلفل سرشار از انواع ویتامین‌ها به‌ویژه ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌باشد (Mardanluo *et al.*, 2018). این گیاه در معرض هجوم آفات و بیماری‌های مختلف است که باعث کاهش کیفیت و کمیت محصول تولیدی می‌شوند. یکی از مهم‌ترین آفات این گیاه، شته سبز هلو *Myzus persicae* (Sulzer) می‌باشد که حشره‌ای چندخوار با پراکنش زیاد در سراسر جهان بوده و از گونه‌های بیش از ۴۰ تیره گیاهی مختلف تغذیه می‌کند. این گونه مهم‌ترین ناقل ویروس‌های بیماریزای گیاهی بوده و با انتقال این عوامل بیماری‌زا آسیب شدیدی به گیاهان میزبان وارد می‌کند. بررسی‌ها نشان داده است که این آفت قادر به انتقال بیش از ۱۰۰ نوع ویروس گیاهی است (Blackman & Eastop, 2006). این شته در ایران یکی از آفات مهم محصولات گلخانه‌ای بوده و جمعیت آن می‌تواند در مدت کوتاهی تحت تأثیر شرایط محیطی مطلوب به سرعت رشد کرده و جوانه‌ها، برگ‌ها، گل‌ها و میوه‌ها را پوشانده و خسارت شدیدی وارد کند. به طور معمول، برای کنترل شته‌ها از حشره‌کش‌های مختلف استفاده می‌شود. استفاده بی‌رویه از آفت‌کش‌ها علاوه بر صرف هزینه‌های بالا و تهدید سلامت انسان و محیط زیست، پیامدهایی از جمله توسعه مقاومت

حشرات، از بین رفتن حشرات مفید، آلودگی محیط زیست و افزایش جمعیت آفات ثانویه را به همراه دارد. بنابراین، استفاده از روش‌های جایگزین سازگار با اکوسیستم‌های کشاورزی برای کنترل آفات ضروری است. حضور دشمنان طبیعی به عنوان عوامل کنترل بیولوژیک به دلیل کاهش خسارت ناشی از حضور آفات کلیدی و جلوگیری از طغیان آفات ثانویه، جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات دارد (van Lenteren & Nicot, 2020).

بالتوری سبز، *Chrysoperla carnea* (Stephens)، یک شکارگر چندخوار بوده و از طیف وسیعی از آفات با بدن نرم تغذیه می‌کند. این شکارگر به دلیل پراکنش جغرافیایی و دامنه‌ی میزبانی وسیع، قدرت جستجوی بالا، امکان پرورش و تکثیر آسان در آزمایشگاه و ذخیره‌سازی به منظور استفاده در موقع نیاز، توجه زیادی را به عنوان یک عامل کنترل بیولوژیک مؤثر در بوم‌سامانه‌های کشاورزی به خود جلب کرده است (Jokar & Zarabi, 2012). لاروهای این شکارگر بلافاصله پس از خروج از تخم به جستجوی طعمه می‌پردازند. بیشترین نرخ شکارگری این دشمن طبیعی مربوط به سن سوم لاروی آن می‌باشد که به دلیل جثه درشت‌تر و نیاز تغذیه‌ای بیشتر آن است (Kayahan, 2021).

مطالعه جدول زندگی یکی از روش‌های مهم برای بررسی اکولوژی جمعیت و مدیریت آفات می‌باشد (Soroushmehr *et al*., 2008). پارامترهای جدول زندگی جامع‌ترین توصیف از تولد، میزان زنده‌مانی، مرگ، تولیدمثل و در نهایت، نرخ رشد جمعیت یک حشره را ارائه می‌دهند (Carey, 2001; Legaspi, 2004).پارامترهای جدول زندگی، به ویژه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، پارامترهایی هستند که می‌توانند برای ارزیابی سطح مقاومت گیاه در برابر حشرات مورد استفاده قرار گیرند. گیاهانی که مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت گیاهخوار روی آن‌ها کمتر است، به‌نسبت مقاوم‌تر از گیاهانی هستند که مقدار این پارامتر روی آن‌ها بالاتر است (Golizadeh & Razmjou, 2010). درک اکولوژی آفات و تخمین توانایی تولیدمثل و پارامترهای رشد جمعیت آن‌ها، به منظور طراحی صحیح برنامه‌ی مدیریت آفات از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد (Soroushmehr *et al*., 2008).استفاده از ارقام مقاوم به عنوان یکی از روش‌های مدیریت آفات می‌تواند نقش مهمی در کنترل تلفیقی آنها داشته باشد (van Lenteren & Nicot, 2020). در یک تحقیق، مقادیر نرخ ذاتی افزایش جمعیت شته‌ی سبز هلو روی ارقام مختلف سیب‌زمینی بین ۰/۲۲۵ تا ۰/۲۹۳ بر روز برآورد شد (Mottaghinia *et al*., 2011). همچنین، لاروسا و همکاران (La Rossa *et al*., 2013) نرخ ذاتی افزایش جمعیت این آفت را روی ارقام مختلف فلفل بین ۰/۱۷۴ تا ۰/۲۸۱ بر روز محاسبه کردند. قربانیان و همکاران (Ghorbanian *et al*., 2019) در بررسی اثرات چند رقم فلفل روی شته سبز هلو و زنبور پارازیتوئید آن، *Diaeretiella rapae* نشان دادند که بیشترین مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور روی شته‌های پرورش یافته روی حساس‌ترین رقم به دست آمد که نشانگر تأثیر کیفیت گیاه میزبان روی کارآیی آفت و دشمن طبیعی آن می‌باشد. بستر کشت گیاه نیز می‌تواند عملکرد گیاه و میزان خسارت آفت و کارآیی دشمن طبیعی آن را تحت تأثیر قرار دهد. با این‌که مشکلات ناشی از برخی آفات در کشت هیدروپونیک در مقایسه با کشت در خاک کاهش می‌یابد، ولی میزان تأثیر آن روی آفات پرورش یافته روی ارقام و گونه‌های مختلف گیاهی می‌تواند متفاوت باشد.

واکنش تابعی یکی از اجزای مهم دینامیسم جمعیت شکار- شکارگر بوده و یکی از معیارهای مورد استفاده برای بررسی کارایی دشمنان طبیعی می‌باشد (Lester & Harmsen, 2002). اصطلاح واکنش تابعی اولین بار توسط سولومون (Solomon, 1949) برای توصیف رابطه بین تراکم طعمه و تعداد طعمه شکار شده توسط شکارگر مورد استفاده قرار گرفت. هولینگ (Holling, 1959) سه نوع واکنش تابعی را توصیف کرد که نوع دوم و سوم در حشرات رایج‌تر هستند. عوامل مختلفی می‌توانند بر نوع و پارامترهای واکنش تابعی مؤثر باشند که در بررسی‌های متعدد مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از عوامل مهم مؤثر روی واکنش تابعی، کیفیت گیاهان میزبان آفات است که با تأثیر

روی خوش‌خوراکی و ارزش غذایی طعمه می‌تواند برهم-کنش‌های دشمنان طبیعی با میزبان‌هایشان را تحت تأثیر قرار دهد (De Clercq *et al*., 2000; Madadi *et al*., 2007; Hassanpour *et al*., 2016). حسن‌پور و همکاران (Hassanpour *et al*., 2015) در بررسی واکنش تابعی سه سن لاروی بالتوری سبز نسبت به تخم و لارو سن اول کرم غوزه پنبه، *Helicoverpa armigera* واکنش تابعی سن-های اول و دوم شکارگر را نسبت به هر دو مرحله زیستی آفت از نوع دوم گزارش کردند. همچنین، واکنش تابعی لارو سن سوم شکارگر نسبت به تخم و لارو سن اول آفت به‌ترتیب از نوع سوم و دوم بود. ائل کاتزیم و همکاران (Ail-Catzim *et al*., 2019) در بررسی واکنش تابعی بالتوری سبز نسبت پوره‌های شته سبز هلو، *M. persicae* به این نتیجه رسیدند که واکنش تابعی لارو بالتوری سبز نسبت به تراکم‌های مختلف این شته از نوع سوم می‌باشد. مرادی و همکاران (Moradi *et al*., 2023) واکنش تابعی لاروهای سنین دوم و سوم بالتوری سبز را نسبت به شته جالیز و شته سبز مرکبات، *Aphis spiraecola* از نوع دوم گزارش کردند. در این تحقیق نرخ حمله لارو سن دوم شکارگر روی شته جالیز به طور معنی‌داری بیشتر از مقدار متناظر روی شته سبز مرکبات به دست آمد. همچنین، زمان دستیابی لارو سن سوم شکارگر در تغذیه از شته جالیز در مقایسه با شته سبز مرکبات به طور معنی‌داری کمتر و نرخ حمله آن بیشتر بود.

مطالعه حاضر به منظور بررسی تأثیر دو رقم فلفل و دو نوع سامانه کشت خاکی و هیدروپونیک روی پارامترهای زیستی و رشد جمعیت شته سبز هلو و واکنش تابعی لارو سن سوم بالتوری سبز روی پوره‌های این آفت انجام شد. یافته‌های این تحقیق می‌تواند اطلاعات ما را در زمینه‌ی برهم‌کنش‌های رقم‌های مورد بررسی گیاه فلفل، شته سبز هلو و بالتوری سبز در دو نوع سامانه کشت خاکی و هیدروپونیک افزایش دهد.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه میزبان

کاشت بذور فلفل در خاک

بذور فلفل (ارقام الگانت و جلاپینو) در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۸ و ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر و در مخلوطی از خاک، ماسه و کود دامی به نسبت حجمی ۱:۱:۲ کشت شدند. آبیاری گیاهان در مواقع لازم انجام می‌شد.

بستر رشد فلفل در کشت هیدروپونیک

کاشت بذور ارقام مورد آزمایش در سینی کشت انجام شد. نشاء رقم‌های مورد آزمایش پس از سه برگی شدن در گلدان‌های پلاستیکی حاوی مخلوطی از پرلیت و کوکوپیت کاشته شد. برای تغذیه گیاهان از روش کود آبیاری استفاده شد. هر هفته محلول غذایی متشکل از عناصر درشت مغذی و ریز مغذی در ۱۰۰۰ لیتر آب تهیه می‌شد. عناصر درشت مغذی شامل گوگرد (۵۰ میلی‌گرم در لیتر محلول)، کلسیم (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول)، منیزیم (۵۰ میلی‌گرم در لیتر محلول)، فسفر (۵۰ میلی‌گرم در لیتر محلول)، پتاسیم (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول) و نیتروژن (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول) و عناصر ریز مغذی شامل بور (۰/۳ میلی‌گرم در لیتر محلول) ، آهن (یک میلی‌گرم در لیتر)، منگنز (یک میلی‌گرم در لیتر)، مس (۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر محلول)، روی (۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر محلول) و مولیبدن (۰/۵ میلی‌گرم در لیتر محلول) بودند (Benton Jones, 2014). این محلول با توجه به مرحله رشدی و نیاز گیاه برای تغذیه و آبیاری گیاه فلفل مورد استفاده قرار گرفت.

تهیه و پرورش کلنی شته سبز هلو

جمعیت اولیه شته سبز هلو از روی گیاه فلفل در مزارع اطراف اردبیل جمع‌آوری و پس از اطمینان از صحت گونه، روی گیاهچه‌های ارقام مورد مطالعه‌ی فلفل در دو نوع سامانه کشت در اتاقک رشد در دمای ۲±۲۵ درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی پرورش داده شد.

تهیه و پرورش کلنی بالتوری سبز

در این تحقیق از کلنی بالتوری سبز موجود در آزمایشگاه گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه محقق اردبیلی استفاده شد. حشرات بالغ داخل ظروف استوانه‌ای شفاف با قطر ۱۲ و

ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که سرپوش آن‌ها با توری ۷۵ مش پوشانده شده بود، نگهداری و برای تغذیه حشرات کامل از ترکیب غذایی مخمر (۴ قسمت)، عسل (۷ قسمت) و آب مقطر (۵ قسمت) استفاده شد (Vogt *et al.*, 2000). تخم‌های بالتوری به صورت روزانه با قلم‌مو جمع‌آوری و به ظروف پتری منتقل و لاروهای آن با تخم منجمد بید آرد تغذیه می‌شدند. حشرات کامل تازه ظاهر شده با استفاده از آسپیراتور جمع‌آوری و به ظروف تخم‌گیری منتقل می‌شدند.

نحوه انجام آزمایش

بررسی زیست‌شناسی و جدول زندگی شته سبز هلو روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت

برای مطالعه جدول زندگی شته روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت، تعداد ۵۰ حشره کامل شته سبز هلو به صورت انفرادی به مدت ۲۴ ساعت روی برگ‌های چهارم (قرار گرفته درون قفس‌های برگی به ارتفاع یک و قطر سه سانتی‌متر) ارقام فلفل نگهداری شدند. سپس، حشرات بالغ و تمام پوره‌ها به جز یک پوره از هر قفس حذف و مرگ‌ومیر پوره‌ها تا زمان رسیدن به مرحله بلوغ به صورت روزانه ثبت شد. پس از بالغ شدن شته‌ها، تعداد پوره‌های ظاهر شده توسط هر شته به صورت روزانه شمارش، ثبت و از قفس حذف می‌شد. این آزمایش تا زمان مرگ آخرین شته ادامه یافت. آزمایش در اتاقک رشد در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد. در این آزمایش، پارامترهای زیستی شته شامل مدت زمان نشوونمای پوره‌ها، طول عمر افراد بالغ، پارامترهای مربوط به زادآوری و رشد جمعیت شته محاسبه شدند.

بررسی واکنش تابعی بالتوری سبز نسبت به شته سبز هلو

واکنش تابعی لاروهای سن سوم بالتوری سبز نسبت به تراکم‌های مختلف (۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴ و ۱۲۸ عدد) پوره‌های سه و چهار روزه شته سبز هلو روی هر یک از ارقام فلفل و سامانه کشت به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفت. تراکم‌های مختلف شته روی برگ‌های چهارم بوته‌های فلفل به صورت جداگانه در اختیار لاروهای سن سوم شکارگر (که به مدت ۱۶ ساعت گرسنه نگه داشته شده‌اند) قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت، شکارگرها از محیط آزمایش (قفس‌های برگی) حذف و تعداد طعمه‌های زنده مانده شمارش و با توجه به این اعداد، تعداد طعمه‌های خورده شده محاسبه و ثبت شد. آزمایش برای هر رقم فلفل در هر سامانه کشت و هر تراکم شته در ۱۰ تکرار انجام شد.

تجزیه‌های آماری

برای تجزیه آماری داده‌های پارامترهای زیستی و رشد جمعیت شته‌ی سبز هلو از روش TWOSEX-MSChart استفاده شد (Chi, 2019). محاسبه میانگین و خطای معیار پارامترهای جدول زندگی با روش Bootstrap در ۱۰۰,۰۰۰ تکرار انجام شد. مقایسه داده‌ها به روش paired bootstrap در نرم‌افزار ارائه شده توسط Chi انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

برای تجزیه داده‌های واکنش تابعی از روش دو مرحله‌ای جولیانو (Juliano, 2001) در نرم‌افزار SAS استفاده شد (SAS, 2002). نوع واکنش تابعی به وسیله رگرسیون لجستیک به صورت نسبت شکار خورده شده به عنوان تابعی از تراکم اولیه طعمه و از طریق تابع چندجمله‌ای زیر تعیین شد:

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}$$

در این رابطه، N_e تعداد طعمه خورده شده، N_0 تراکم اولیه طعمه و $\frac{N_e}{N_0}$ نشان دهنده نسبت طعمه خورده شده است. ضریب‌های P_0، P_1، P_2 و P_3 پارامترهایی هستند که توسط مدل تخمین زده می‌شوند. با توجه به معنی‌دار نبودن مقادیر P برای بخش خطی منحنی در تمام تیمارها، با حذف بالاترین درجه (N_0^3)، مدل مورد استفاده یک درجه کاهش داده شده و دوباره تجزیه تکرار شد (Juliano, 2001). برای تعیین نوع واکنش تابعی از علامت ضریب بخش خطی منحنی (P_1)استفاده شد. منفی بودن این علامت نشانگر واکنش تابعی نوع دوم و مثبت بودن آن نشان دهنده واکنش تابعی نوع سوم می‌باشد (Juliano, 2001). از رگرسیون غیرخطی حداقل مربعات (تعداد طعمه‌ی خورده شده در برابر تراکم اولیه‌ی طعمه) برای تخمین پارامترهای واکنش تابعی استفاده

شد. داده‌های واکنش تابعی در معادله شکارگری تصادفی قرار داده شدند (Rogers, 1972):

$$N_e=N_0 \{1-\exp [-a(T_hN_e- T)]\}$$

در این رابطه، a نرخ حمله، T_h زمان دست‌یابی و T کل مدت زمان آزمایش (۲۴ ساعت) است.

برای مقایسه پارامترهای واکنش تابعی از معادله ترکیبی زیر استفاده شد:

$$N_e=N_0 \{1-\exp [-(a+ D_a(J))(T-(T_{h+} D_{Th}(J))N_e)]\}$$

در این معادله، J یک شاخص متغیر است که از صفر برای اولین سری داده و یک برای دومین سری داده ارزش‌گذاری می‌شود. با تخمین پارامترهای D_a و D_{Th} می‌توان وجود تفاوت معنی‌دار در مقادیر a و T_h را بین دو تیمار مشخص کرد. به عبارت دیگر، زمان دستیابی برای یک تیمار T_h و برای تیمار دیگر T_h+D_{Th} در نظر گرفته می‌شود. تفاوت معنی‌دار بین D_{Th} و صفر نشانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین T_h و T_h+D_{Th} بوده و بنابراین، اختلاف در زمان دستیابی شکارگر بین دو تیمار معنی‌دار خواهد بود. مقایسه بین نرخ حمله تیمارها نیز به صورت مشابه انجام شد (Juliano, 2001).

نتایج و بحث

پارامترهای زیستی و تولیدمثلی شته‌ی سبز هلو روی دو رقم فلفل

میانگین طول مراحل مختلف زیستی شته سبز هلو روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت در جدول ۱ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود بین طول مراحل مختلف زیستی شته سبز هلو روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P<۰/۰۵$) و به غیر از طول دوره رشدی پوره سن اول، سایر دوره‌ها تحت تأثیر ارقام فلفل و سامانه‌های کشت قرار گرفتند. طول دوره رشدی پوره سن دوم روی رقم الگانت در کشت خاکی (۲/۹ روز) به طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر بود. بیشترین طول دوره رشدی پوره سن سوم در رقم جلاپینو در کشت هیدروپونیک (۳/۴ روز) مشاهده شد و کمترین مقدار آن در کشت خاکی این دو رقم بود. طول دوره رشدی پوره سن چهارم در ارقام الگانت و جلاپینو در کشت هیدروپونیک به طور معنی‌داری بیشتر از کشت خاکی بود. همین روند در مورد طول دوره پیش از بلوغ شته مشاهده شد. کمترین مقدار طول عمر افراد ماده در رقم الگانت (۲۸/۷ روز) و جلاپینو (۳۰/۹ روز) در کشت هیدروپونیک و بیشترین مقدار آن در رقم جلاپینو در کشت خاکی (۳۹/۹۰ روز) به دست آمد. طولانی شدن دوره نشوونمای شته در گیاهان کشت شده در شرایط هیدروپونیک نشان دهنده مطلوبیت کمتر این گیاهان بوده و احتمالاً به دلیل تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه از جمله فنول، فلاونوئید و آنتوسیانین می‌باشد (Abeysinghe *et al*., 2014; Mubeen *et al*., 2022). از طرف دیگر، کوتاه‌تر بودن طول دوره نشوونمای پورگی در گیاهان کشت شده در خاک ممکن است به علت کاهش تولید متابولیت‌های دفاعی گیاه فلفل و افزایش مطلوبیت گیاه برای شته باشد (Alizamani *et al*., 2022). بر اساس نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر، سامانه‌های مختلف کشت بر پارامترهای زیستی این آفت روی گیاه فلفل تأثیرگذار بودند. با اندازه‌گیری پارامترهای زیستی می‌توان وجود یا عدم وجود مقاومت آنتی بیوز در تیمارهای مورد بررسی را مورد بررسی قرار داد. مقاومت آنتی بیوز ممکن است به دلیل وجود مواد سمی، مواد ضد تغذیه‌ای، ترکیبات کندکننده رشد، ارزش غذایی پایین غذای خورده شده و متابولیت‌های ثانویه‌ی گیاهی اتفاق افتد (Fataholhoseini *et al*., 2011). بنابراین، سامانه کشت هیدروپونیک می‌تواند از طریق ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و یا بیوشیمیایی در گیاهان تأثیر منفی بر خصوصیات زیستی شته‌ها داشته باشد. کیفیت گیاه میزبان عامل مهمی است که روی باروری حشرات گیاه‌خوار تأثیر می‌گذارد. در پژوهش مردانی طلائی و همکاران (Mardani-Talaee *et al*., 2017) نشوونمای دوره پورگی شته‌ی سبز هلو در تیمارهای مختلف کودی بین ۵/۳ تا ۱۰/۳ روز متغیر بود و تفاوت در طول این دوره به علت وجود تفاوت در تولید و محتوای متابولیت‌های ثانویه دفاعی گیاهان میزبان گزارش شد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد رقم جلاپینو کشت شده در خاک باعث بهبود پارامترهای رشدی پوره‌های شته سبز هلو و نیز افزایش توان تولیدمثلی حشرات

بالغ در مقایسه با حشرات پرورش یافته روی گیاهان کشت شده در شرایط هیدروپونیک شده است. این امر در کشت-های تجاری و وسیع می‌تواند شرایط مناسبی را برای افزایش جمعیت شته روی این گیاهان فراهم کند. در مقابل، رقم الگانت در کشت هیدروپونیک، احتمالاً به دلیل داشتن ترکیبات شیمیایی ثانویه در مقادیر بیشتر، باعث کاهش طول عمر حشرات بالغ ظاهر شده در این شرایط در مقایسه با کشت خاکی شد. قضاوت بهتر در این زمینه نیازمند انجام بررسی‌های بیشتر می‌باشد.

پارامترهای تولیدمثلی و طول مراحل مختلف پوره‌زایی شته سبز هلو روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اختلاف در زادآوری کل شته بین تیمارها معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$) و کمترین و بیشترین مقدار به‌ترتیب روی رقم الگانت در کشت هیدروپونیک (۳۰/۸۱ پوره) و رقم جلاپینو در کشت خاکی (۵۶/۶۰ پوره) به دست آمد. اختلاف در فاصله زمانی بین تولد تا اولین پوره‌زایی (TPOP) بین تیمارها معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). فاصله زمانی بین بلوغ تا اولین پوره‌زایی افراد بالغ (APOP) بین دو رقم فلفل در سامانه کشت مشابه معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$)، اما این اختلاف در دو نوع سامانه کشت متفاوت معنی‌دار بود. در پارامتر طول دوره پوره‌زایی شته نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد ($P<۰/۰۵$) و کمترین مقدار روی رقم الگانت در کشت هیدروپونیک (۲۵/۳ روز) و بیشترین مقدار روی ارقام جلاپینو (۳۸/۴ روز) و الگانت (۳۴/۸ روز) در کشت خاکی به دست آمد. این نتایج اثرات آنتی‌بیوزی متفاوت بین این دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت را نشان می‌دهد. استفاده از محلول کود آبیاری در کشت هیدروپونیک باعث بهبود رشد و تعادل در جذب مواد غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه و افزایش ترکیبات دفاعی شیمیایی به ویژه فنول می‌شود (Vahedi Torshizi *et al*., 2017). در این حالت، مطلوبیت گیاه برای تغذیه‌ی آفت کاهش یافته و تأثیر منفی بر پارامترهای زیستی آن می‌گذارد. استفاده از ارقام مقاوم در بستر کشت مناسب در تلفیق با کنترل شیمیایی می‌تواند جایگاه مهمی در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات داشته باشد (Heinrichs, 1985). بدین صورت که با ضعیف شدن جمعیت پرورش یافته روی ارقام مقاوم در بستر کشت مناسب، حساسیت آن‌ها نسبت به کاربرد سموم افزایش یافته و در نتیجه با کاربرد مقادیر پایین سموم می‌توان جمعیت بیشتری از آفات را کنترل کرد (Lewis *et al*., 1997).

نمودار تغییرات زنده‌مانی ویژه سنی (l_x) همراه با زادآوری ویژه سنی (m_x) شته روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، منحنی تغییرات زنده‌مانی ویژه سنی شته سبز هلو در دو رقم مختلف در دو نوع سامانه کشت از یک الگوی تقریباً مشابه پیروی می‌کند. تلفات شته از همان چند روز ابتدایی زندگی شروع و با شیب به‌نسبت زیاد ادامه یافت. بیشترین زادآوری شته در نیمه اول زندگی مرحله بلوغ مشاهده شد و با افزایش سن، زادآوری با روند تقریباً مشابهی در تیمارهای مختلف کاهش یافت و در کشت‌های خاکی و هیدروپونیک ارقام جلاپینو و الگانت به‌ترتیب در روزهای ۳۷، ۲۹، ۳۷ و ۲۷ به صفر رسید. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد زمانی که دو رقم فلفل به روش هیدروپونیک کشت شدند، طول عمر شته بالغ و میزان پوره‌زایی آن نسبت به زمانی که این ارقام در بستر خاکی پرورش یافتند به صورت معنی‌داری کاهش یافت که این موضوع می‌تواند به دلیل شرایط رشدی مناسب و در دسترس بودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان و در نتیجه، تولید گیاهان مقاوم‌تر در کشت هیدروپونیک نسبت به کشت خاکی باشد.

جدول ۱- میانگین (± خطای معیار) طول دوره‌های مختلف زیستی و پارامترهای تولید مثلی شته سبز هلو، *Myzus persicae* روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت

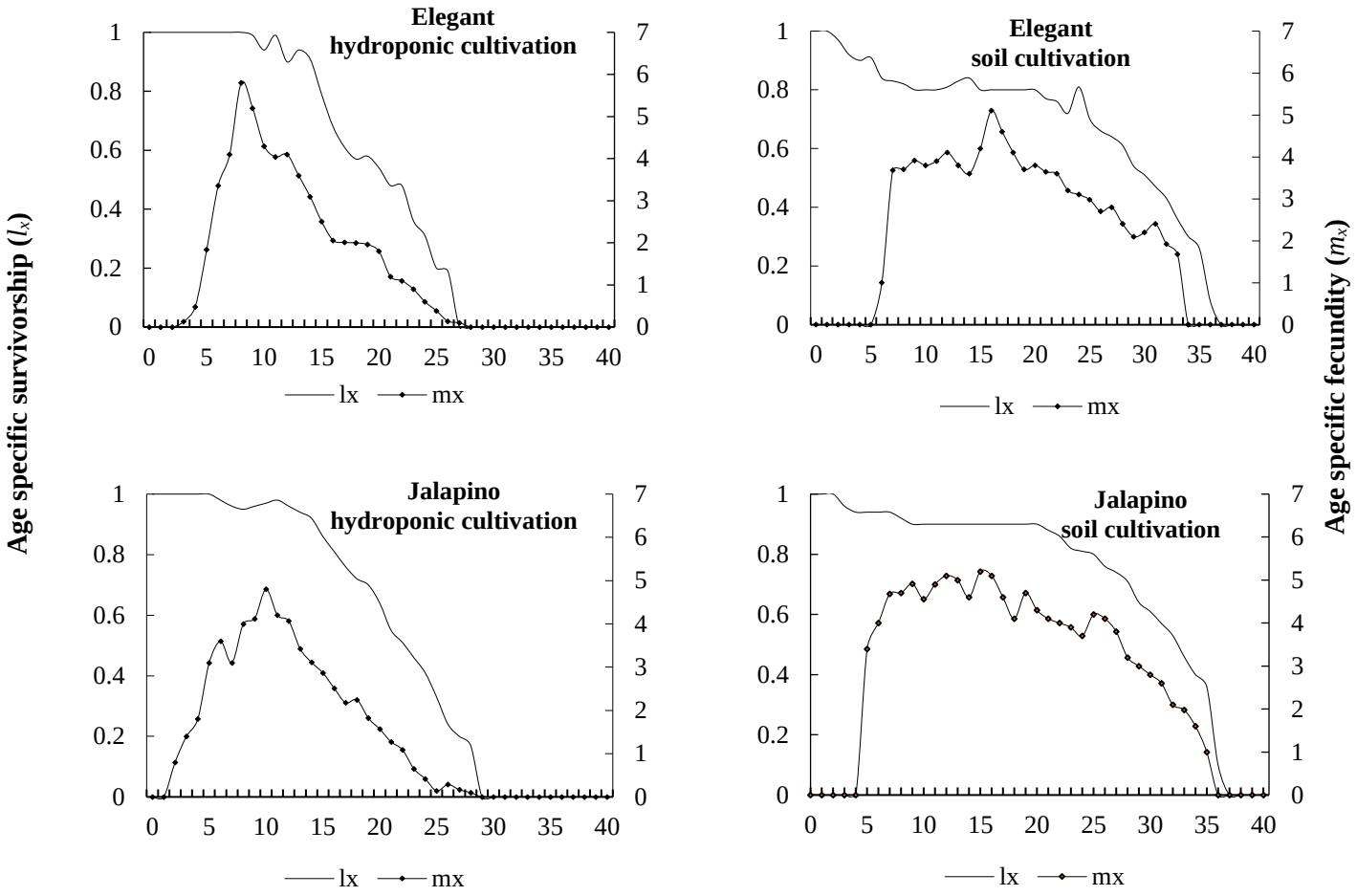
Table 1. Mean (±SE) developmental time of different life stages and reproductive parameters of *Myzus persicae* on two pepper cultivars in two types of cultivation systems

Parameter	Jalapino (soil)	Elegant (soil)	Jalapino (hydroponic)	Elegant (hydroponic)
First instar nymph	1.10±0.13a	1.40±0.04a	1.00±0.12a	1.60±0.10a
Second instar nymph	1.70±0.02b	1.80±0.06b	2.00±0.06b	2.90±0.15a
Third instar nymph	2.10±0.10c	2.70±0.08c	3.40±0.15a	2.60±0.18b
Fourth instar nymph	1.20±0.12b	1.50±0.09b	2.30±0.10a	2.80±0.24a
Pre-adult period	6.10±0.15b	7.30±0.18b	8.70±0.23a	9.90±0.22a
Adult longevity	39.90±0.25a	37.10±0.3b	30.90±0.19c	28.70±0.5c
Total fecundity	56.60±1.22a	49.37±1.11b	34.13±1.11c	30.81±0.94d
TPOP (day)	6.50±0.12d	7.90±0.31c	9.56±0.20b	10.60±0.21a
APOP (day)	0.43±0.02b	0.62±0.01b	0.95±0.03a	1.00±0.02a
Nymphoposition period (day)	38.4±1.34a	34.8±1.16a	28.3±1.18b	25.3±1.29c

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

پارامترهای رشد جمعیت شته سبز هلو

پارامترهای رشد جمعیت شته سبز هلو روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت در جدول ۲ نشان داده شده است. اختلاف در نرخ ذاتی افزایش جمعیت شته (r) بین تیمارها معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$) و کمترین و بیشترین مقدار به‌ترتیب روی رقم الگانت در کشت هیدروپونیک (۰/۱۷۴ بر روز) و جلاپینو در کشت خاکی (۰/۲۸۱ بر روز) به دست آمد. اختلاف در نوع بستر کشت گیاه مورد تغذیه شته و تفاوت در کیفیت و مقدار ترکیبات شیمیایی گیاه می‌تواند از جمله دلایل توجیهی برای وجود اختلاف در نرخ ذاتی افزایش جمعیت شته‌ی سبز هلو روی دو رقم فلفل مورد بررسی در دو نوع سامانه کشت باشد.



شکل ۱- نرخ زنده‌مانی ویژه سنی (l_x) و زادآوری ویژه‌ی سنی (m_x) شته سبز هلو، *Myzus persicae* روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت

Figure 1. Age-specific survivorship (l_x) and fecundity (m_x) of *Myzus persicae* on two pepper cultivars in two types of cultivation systems

در بررسی خورشید و همکاران (Khurshid *et al.*, 2022) مقدار r این شته در تیمارهای مختلف بین ۰/۱۶۱ تا ۰/۲۶۴ بر روز متغیر بود. همچنین، هونگ و همکاران (Hong *et al.*, 2019)مقدار r این شته را بین ۰/۳۲۰ تا ۰/۳۸۱ بر روز به‌دست آوردند. نرخ ذاتی افزایش جمعیت پارامتر مهمی است که می‌تواند به عنوان شاخص مقاومت آنتی‌بیوزی و پتانسیل رشد جمعیت آفت روی گیاه میزبان مورد استفاده قرار گیرد.

نرخ خالص تولیدمثل (R_0) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) شته سبز هلو روی دو رقم مختلف فلفل در دو نوع سامانه کشت اختلاف معنی‌داری را نشان دادند ($P<۰/۰۵$) و در هر دو پارامتر کمترین میزان مربوط به رقم الگانت در کشت هیدروپونیک و بیشترین میزان مربوط به رقم جلاپینو در کشت خاکی بود. از نظر مدت زمان یک نسل (T) شته نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود داشت ($P<۰/۰۵$) و مقادیر به دست آمده در کشت هیدروپونیک به صورت معنی‌داری بیشتر از کشت خاکی بودند. روند مشابهی نیز در پارامتر مدت زمان دو برابر شدن (DT) جمعیت شته مشاهده شد.

جدول ۲- پارامترهای رشد جمعیت شته سبز هلو *Myzus persicae* روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت

Table 2. Mean (±SE) population growth parameters of *Myzus persicae* on different pepper cultivars in two types of cultivation systems

Parameter	Jalapino (soil)	Elegant (soil)	Jalapino (hydroponic)	Elegant (hydroponic)
Intrinsic rate of increase (r)	0.281±0.001[a]	0.258±0.002[b]	0.197±0.002[c]	0.174±0.090[d]
Finite rate of increase (λ)	1.324±0.002[a]	1.294 ±0.010[b]	1.217±0.002[c]	1.190±0.010[d]
Net reproductive rate (R_0)	62.89±2.54[a]	53.16±1.20[b]	46.16±2.51[c]	34.14±1.94[d]
Mean generation time (T)	14.73±0.21[b]	15.40±0.51[b]	19.45±0.32[a]	20.32±0.12[a]
Doubling time (DT)	2.47 ± 0.03[b]	2.69±0.01[b]	3.52± 0.20[a]	3.98±0.30[a]

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

در مجموع، مقایسه‌ی پارامترهای زیستی و رشد جمعیت محاسبه شده روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت متفاوت نشان داد که رقم جلاپینو در کشت خاکی به علت طول عمر زیاد و همچنین، دارا بودن بیشترین مقدار r، رقم مطلوب‌تری برای نشوونما و افزایش جمعیت شته سبز هلو می‌باشد. در مقابل، رقم الگانت در کشت هیدروپونیک به علت طول عمرکم شته سبز هلو و دارا بودن کمترین مقدار r از مطلوبیت کمتری برای این شته برخوردار است. تفاوت در مقادیر این پارامترها می‌تواند با نوع و مقدار ترکیبات شیمیایی ثانویه و سایر بازدارنده‌های رشدی موجود در رقم‌های متفاوت گیاه فلفل، با توجه به تفاوت در نوع بستر کشت، مرتبط باشد. نقش گیاه میزبان به عنوان یک عامل اکولوژیک تأثیرگذار بر پارامترهای زیستی و رشد جمعیت شته‌های مختلف در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است (Hong *et al.*, 2019).

تفاوت در ترکیب غذایی در رقم‌های مختلف گیاهان و نیز اختلاف در ساختار بافت‌های گیاهی از دلایل احتمالی وجود تفاوت در میزان آلودگی رقم‌های گیاه فلفل نسبت به شته سبز هلو است. استفاده از گیاهان میزبان مقاوم به دلیل مسائل اقتصادی و بی‌خطر بودن از نظر مسائل زیست محیطی به عنوان یک راهکار مناسب برای کاهش اثرات مخرب آفات می‌باشد. کیفیت و کمیت منابع غذایی مورد استفاده آفات (سطح دوم تغذیه‌ای) و دشمنان طبیعی (سطح سوم تغذیه‌ای) عامل مهمی در نشوونمای آن‌ها می‌باشد. خصوصیات ذاتی گیاهان میزبان، اثرات مهم و قابل توجهی روی زیست‌شناسی، زنده‌مانی و خصوصیات بیولوژیک و اکولوژیک آفات ایجاد می‌کنند (Wu *et al.*, 2010). بررسی‌ها نشان داده‌اند که کودهای محلول در آب در سامانه کشت هیدروپونیک سبب بهبود پارامترهای رشدی و محتوای متابولیت‌های ثانویه دفاعی گیاهان و کاهش پارامترهای رشدی حشرات گیاه‌خوار می‌شوند (Alizamani *et al.*, 2022). در این سامانه، محصولات دارای کمترین میزان از باقیمانده سموم بوده و کیفیت و سلامت گیاه در سطوح بالاتری قرار دارد. خان و همکاران (Khan *et al.*, 2018) در مطالعه‌ای بیان کردند که در سامانه کشت هیدروپونیک امکان بررسی و کنترل دقیق آفات وجود داشته و مشکل آفات و بیماری‌ها به کمترین مقدار کاهش می‌یابد.

واکنش تابعی بالتوری سبز نسبت به شته سبز هلو

نتایج تجزیه رگرسیون لجستیک داده‌های واکنش تابعی لارو سن سوم بالتوری سبز، *C. carnea* نسبت به تراکم‌های مختلف شته سبز هلو *M. persicae* در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که در این جدول (علامت منفی ضریب

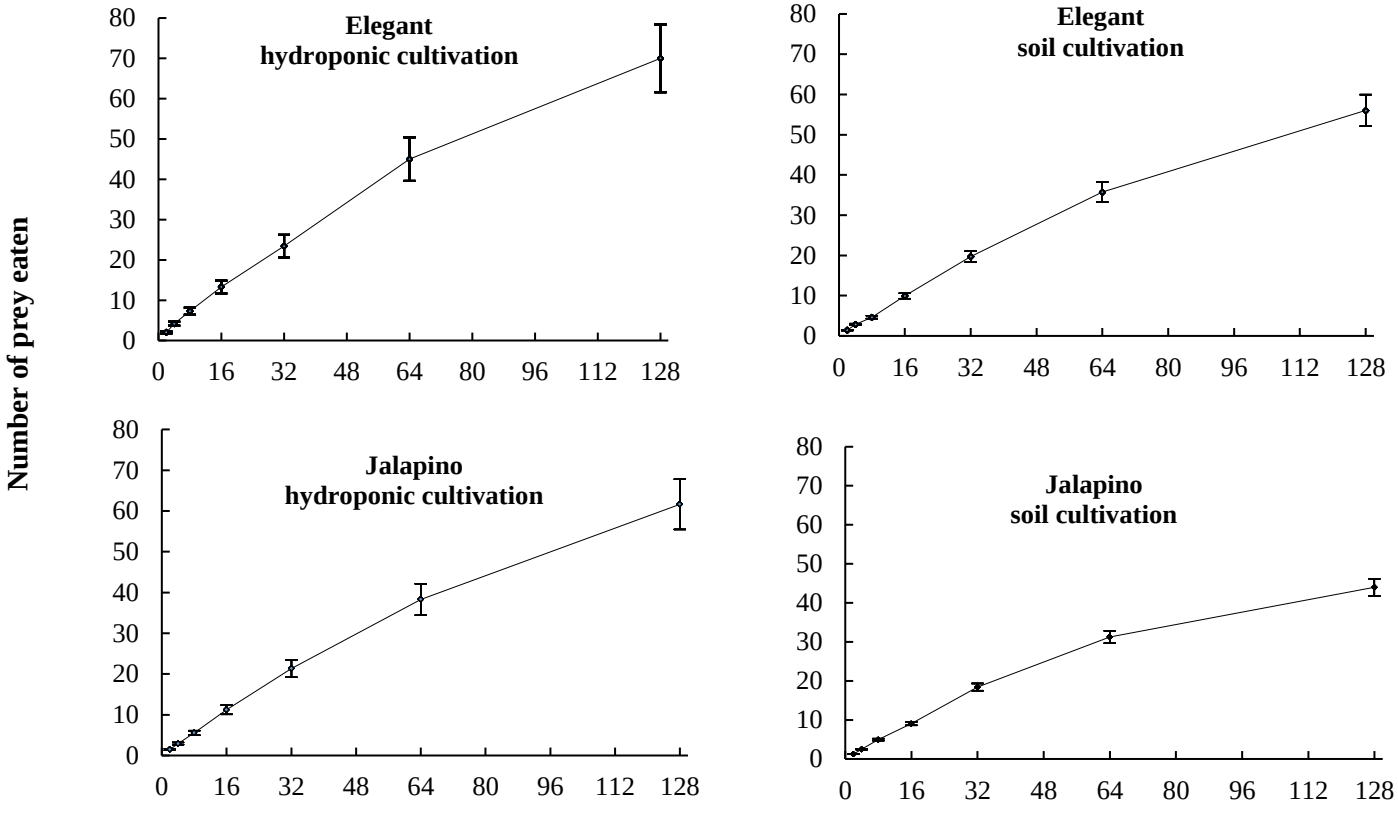
قسمت خطی منحنی) و شکل ۲ مشاهده می‌شود، واکنش تابعی لارو سن سوم بالتوری سبز نسبت به تراکم‌های مختلف شته سبز هلو روی هر دو رقم فلفل در هر دو نوع سامانه کشت از نوع دوم می‌باشد. در این نوع واکنش، نرخ حمله شکارگر با توجه به تراکم طعمه تا جایی که به نقطه سیری برسد، با روندی رو به کاهش، افزایش می‌یابد. بایومی و آوادالا (Bayoumy & Awadalla, 2018) نیز در مطالعه خود واکنش تابعی لارو سن سوم بالتوری سبز، *C. carnea* را نسبت به پوره‌های *M. persicae* از نوع دوم گزارش کردند. با این حال، در بررسی‌های مختلف هر دو نوع واکنش تابعی نوع دوم و سوم، تحت تأثیر تیمارهای مختلف، برای سنین مختلف لاروی این شکارگر نسبت به طعمه‌های مختلف گزارش شده است (Montoya-Alvarez *et al*., 2010; Sultan & Khan 2014; Hassanpour *et al*., 2015; Mahzoum *et al*., 2020; Sajjad *et al*., 2021; Moradi *et al*., 2023). به دست آمدن واکنش تابعی نوع دوم در شرایط بررسی حاضر شاید به دلیل محدود شدن شکارگر در واحدهای آزمایشی کوچک (قفس‌های برگی) و افزایش نرخ برخورد شکارگر با طعمه به ویژه در تراکم‌های پایین آن باشد (van Lenteren & Bakker, 1976). شکارگرهایی که این نوع واکنش تابعی را نشان می‌دهند، بیشترین درصد شکارگری را در تراکم‌های پایین طعمه داشته و در این تراکم‌ها (به عنوان مثال، در مرحله استقرار آفت) می‌توانند نقش مؤثری در کنترل آن‌ها داشته باشند (Holling, 1965; Pervez & Omkar, 2005). از سایر عوامل مؤثر در نوع واکنش تابعی دشمنان طبیعی می‌توان به گونه و کیفیت میزبان، نوع گیاه میزبان آفت، سنّ شکارگر و میزان گرسنگی آن و دما اشاره کرد (Gresens *et al*., 1982; De Clercq *et al*., 2000; Hassanpour *et al*., 2012; Hassanpour *et al*., 2015; Sajjad *et al*., 2021; Moradi *et al*., 2023). همچنین، کارآیی شکارگر در مدیریت جمعیت طعمه خود به عوامل متعددی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به نرخ ذاتی رشد، رقابت، ویژگی‌های طعمه و میزان پیچیدگی محیط اشاره کرد (Pervez & Omkar, 2005).

جدول ۳- تجزیه رگرسیون لجستیک واکنش تابعی لارو سن سوم بالتوری سبز، *Chrysoperla carnea* نسبت به تراکم‌های مختلف شته سبز هلو، *Myzus persicae* روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت

Table 3. Logistic regression analysis of functional response of the third instar larvae of *Chrysoperla carnea* to different densities of *Myzus persicae* on two pepper cultivars in two types of cultivation systems

Cultivar (cultivation system)	**Parameters**	**Estimates**	**SE**	χ^2	***P* – value**
Jalapino (soil)	Constant	1.7609	0.1728	103.81	<0.0001
	Linear	-0.0437	0.0054	66.01	<0.0001
	Quadratic	0.00022	0.00003	42.73	<0.0001
Elegant (soil)	Constant	2.3385	0.1968	141.14	<0.0001
	Linear	-0.0515	0.0059	76.45	<0.0001
	Quadratic	0.00025	0.00004	48.91	<0.0001
Jalapino (hydroponic)	Constant	2.6884	0.2137	158.33	<0.0001
	Linear	-0.0584	0.0063	87.12	<0.0001
	Quadratic	0.00029	0.00004	59.41	<0.0001
Elegant (hydroponic)	Constant	3.5516	0.2692	174.01	<0.0001
	Linear	-0.0724	0.0075	93.73	<0.0001
	Quadratic	0.00036	0.00004	67.03	<0.0001

در پژوهش لی و همکاران (Li *et al.*, 2017) بیان شد که کاربرد کودهای شیمیایی مورد نیاز گیاهان می‌تواند ضخامت، تراکم تریکوم‌ها و ویژگی‌های ریخت‌شناختی برگ‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. افزایش میزان کودهای شیمیایی علاوه بر تغییر کیفیت گیاه و میزان پذیرش گیاه توسط آفت، کارآیی دشمنان طبیعی آن‌ها را نیز تحت تأثیر قرار داده و ممکن است موجب تغییر تعداد طعمه‌های خورده شده توسط شکارگر و نیز تغییر در نوع واکنش تابعی آن‌ها شود (Yardım *et al.*, 2003; Hosseini *et al.*, 2015). در پژوهش حاضر، هر چند نوع واکنش تابعی شکارگر تحت تأثیر تیمارهای رقم و نوع کشت گیاه قرار نگرفت، ولی تعداد طعمه خورده شده توسط لارو بالتوری سبز در تیمارهای هیدروپونیک در هر دو رقم در مقایسه با تیمار خاکی بیشتر بود. از دلایل به دست آمدن این نتیجه احتمالاً بتوان به استفاده از محلول کود آبیاری در کشت هیدروپونیک اشاره کرد که با تأثیر روی ویژگی‌های ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاهان میزبان، کیفیت طعمه را تحت تأثیر قرار داده است.



شکل ۲- منحنی‌های واکنش تابعی لارو سن سوم بالتوری سبز، *Chrysoperla carnea* نسبت به تراکم های مختلف شته سبز هلو، *Myzus persicae* روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت

Figure 2. Functional response curves of the third instar larvae of *Chrysoperla carnea* to different densities of *Myzus persicae* on two pepper cultivars in two types of cultivation systems

نتایج تخمین زده شده برای پارامترهای نرخ حمله (a) و زمان دستیابی (T_h) بالتوری سبز *C. carnea* نسبت به شته سبز هلو در جدول ۴ ارائه شده است. پارامتر نرخ حمله نشانگر چگونگی تغییر شیب منحنی نرخ شکارگری با افزایش تراکم طعمه می‌باشد. پارامتر زمان دستیابی نیز می‌تواند برای تخمین آستانه سیری شکارگر مورد استفاده قرار گیرد، به این صورت

که هر چه زمان دستیابی کمتر باشد، آستانه سیری شکارگر نیز پایین‌تر بوده و در نتیجه بیشترین نرخ حمله تئوریکی افزایش یافته و منحنی نرخ شکارگری سریع‌تر به خط مجانب رسیده و شکارگر سریع‌تر سیر می‌شود (Pervez, 2005). کمترین و بیشترین زمان دستیابی به‌ترتیب مربوط به رقم الگانت در کشت هیدروپونیک (۰/۱۹۱۵ ساعت) و الگانت در کشت خاکی (۰/۲۱۹۱ ساعت) بود. هر چه زمان دستیابی شکارگر به طعمه کمتر باشد، نرخ حمله آن نیز افزایش یافته و بنابراین، شکارگر خواهد توانست جمعیت طعمه‌های خود را به صورت موفقیت‌آمیزتری کنترل کند (Noruzi *et al.*, 2014). به نظر می‌رسد جثه به‌نسبت کوچک‌تر شته‌ها در پرورش روی این دو رقم در کشت هیدروپونیک در مقایسه با کشت خاکی باعث خورده شدن تعداد بیشتری از شته روی این دو رقم در این سامانه کشت شده است؛ چرا که شکارگر در این شرایط با تغذیه از تعداد بیشتری از شته به آستانه سیری می‌رسد، در حالی‌که در کشت خاکی، به دلیل جثه به‌نسبت درشت‌تر طعمه، شکارگر با تغذیه از تعداد کمتری از طعمه سیر می‌شود. نکته قابل توجه این است که برای کنترل شته‌های با جثه کوچکتر و میزان باروری کمتر روی گیاهان مقاوم‌تر در کشت هیدروپونیک، به تعداد کمتری شکارگر نیاز است که این موضوع باید در محاسبه تعداد دشمن طبیعی رهاسازی شده برای کنترل آفت مورد توجه قرار گیرد (Aqueel & Leather, 2011). یکی از ویژگی‌های مطلوب دشمنان طبیعی داشتن نرخ حمله بالاتر می‌باشد (Hassell, 1982). در این تحقیق، نرخ حمله لارو سن سوم شکارگر در دو رقم فلفل مورد بررسی در کشت هیدروپونیک بیشتر از کشت خاکی بود که نشان می‌دهد کشت هیدروپونیک موجب افزایش فعالیت شکارگری لارو سن سوم بالتوری سبز شده است.

جدول ۴- پارامترهای واکنش تابعی لارو سن سوم بالتوری سبز، *Chrysoperla carnea* نسبت به تراکم‌های مختلف شته سبز هلو، *Myzus persicae* روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت

Table 4. Functional response parameters of the third instar larvae of *Chrysoperla carnea* to different densities of *Myzus persicae* on two pepper cultivars in two types of cultivation systems

Cultivars (cultivation systems)	Attack rate (a±SE) (h^{-1})	Handling time (T_h±SE) (h)	T/T_h	R^2
Jalapino (soil)	0.0422±0.0029	0.1984±0.0211	120.97	0.97
Elegant (soil)	0.0535±0.0033	0.2191±0.0154	109.54	0.98
Jalapino (hydroponic)	0.0554±0.0035	0.1971±0.0153	121.77	0.98
Elegant (hydroponic)	0.0674±0.0044	0.1915±0.0136	125.33	0.99

مقایسه آماری پارامترهای نرخ حمله (a) و زمان دستیابی (T_h) لارو سن سوم شکارگر بین ارقام مختلف فلفل در جدول ۵ ارائه شده است. مقادیر تخمین زده شده نشان می‌دهند که اختلاف در پارامتر نرخ حمله در هر دو رقم فلفل بین دو نوع سامانه کشت معنی‌دار است، ولی اختلاف در زمان دستیابی معنی‌دار نیست. همچنین، اختلاف در پارامتر نرخ حمله بین دو رقم در هر سامانه کشت معنی‌دار ولی در زمان دستیابی غیرمعنی‌دار است. افزایش مقدار عددی زمان دستیابی شکارگر روی رقم الگانت در کشت خاکی در مقایسه با همین رقم در کشت هیدروپونیک، باعث کاهش بیشترین نرخ حمله‌ی نظری (T/T_h) شکارگر در این تیمار شد، ولی مقادیر این پارامتر روی رقم جلاپینو در هر دو کشت اختلاف چندانی با یکدیگر نداشتند. زمان دستیابی تخمین زده شده توسط مدل‌های واکنش تابعی بیش از زمان دستیابی واقعی شکارگر بوده و مجموع زمان‌های صرف شده برای گرفتن، کشتن، خوردن و هضم طعمه را شامل می‌شود (Veeravel & Baskaran, 1997). بدیهی است هر چه زمان دستیابی شکارگر به طعمه کمتر باشد، تعداد طعمه‌ی خورده شده افزایش یافته و موفقیت شکارگر در کاهش جمعیت طعمه بیشتر خواهد بود.

جدول ۵- پارامترهای تخمین زده شده با معادله ترکیبی برای مقایسه پارامترهای واکنش تابعی لارو سن سوم بالتوری سبز *Chrysoperla carnea* در تغذیه از شته سبز هلو *Myzus persicae* روی دو رقم فلفل در دو نوع سامانه کشت

Table 5. The estimated parameters by the combined equation for comparing the functional response parameters of third instar larvae of *Chrysoperla carnea* feeding on *Myzus persicae* on two pepper cultivars in two types of cultivation systems

Cultivars (cultivation systems)	Parameters	Estimates (±SE)	Approximate 95%	
			Lower	Upper
Jalapino (hydroponic-soil)	D*a*	0.0132(±0.0046)	-0.0224	-0.0041
	D_{Th}	0.0013(±0.0258)	-0.0497	0.0524
Elegant (hydroponic-soil)	D*a*	0.0138(±0.0055)	-0.0247	-0.0030
	D_{Th}	0.0275(±0.0207)	-0.0134	0.0684
Elegant-Jalapino (soil)	D*a*	0.0114(±0.0045)	-0.0203	-0.0025
	D_{Th}	0.0207(±0.0258)	-0.0716	0.0303
Elegant-Jalapino (hydroponic)	D*a*	0.0120(±0.0056)	-0.0231	-0.0009
	D_{Th}	0.0056(±0.0205)	-0.0350	0.0461

مطالعه واکنش تابعی یک روش سریع برای ارزیابی اثرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گیاهان میزبان روی کارایی دشمنان طبیعی در کنترل جمعیت آفت است Messina). (Hanks,1998 &با این‌حال، عوامل مؤثر دیگری مانند ساختار فیزیکی، ارزش غذایی و ترکیبات شیمیایی موجود در بدن طعمه و میزان تحرک، جثه بدن و تراکم جمعیت آفت و دشمن طبیعی و نیز عوامل غیرزیستی می‌توانند کارآیی دشمنان طبیعی را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین، برای ارزیابی اثرات جمعیتی دشمنان طبیعی باید تأثیر جمعی عوامل متعدد دخیل در این زمینه مورد بررسی قرار گیرد (Skirvin & Fenlon, 2001).

با توجه به نتایج این تحقیق در دو بخش زیست‌شناسی و جدول زندگی شته سبز هلو و واکنش تابعی بالتوری سبز به نظر می‌رسد ارقام الگانت و جلاپینو در کشت هیدروپونیک در مقایسه با کشت در بستر خاک نسبت به این شته مقاوم‌تر بوده و از شرایط به‌نسبت مناسب‌تری برای اعمال کنترل بیولوژیک علیه این آفت برخوردار می‌باشند. با این حال، با توجه به دخیل بودن عوامل متعدد در میزان مقاومت یک گیاه نسبت به یک آفت و نیز تأثیر عوامل مختلف روی کارآیی دشمنان طبیعی، نیاز است نتایج این تحقیق در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای مورد اعتبارسنجی قرار گرفته و بررسی-های بیشتری در این زمینه صورت گیرد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد که بدینوسیله قدردانی می‌شود.

References

Abeysinghe, D., Wijerathne, S., & Dharmadasa, R. (2014). Secondary metabolites contents and antioxidant capacities of *Acmella oleraceae* grown under different growing systems. *World Journal of Agricultural Research*, *2*(4), 163-167. **DOI: 10.12691/wjar-2-4-5**

Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Abdshah, H., Kazemian, A., & Rafiee, M. (2018). Agricultural statistics of 2016-2017 growing season. *Ministry of Jehad-e-Agriculture, Tehran*, 116.

Ail-Catzim, C. E., Rodríguez-González, R. E., Hernández-Juárez, A., & Chacón-Hernández, J. C. (2019). Functional Response of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) on *Myzus persicae*

Nymphs (Hemiptera: Aphididae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, *121*(4), 535-543. **DOI: 10.4289/0013-8797.121.4.535**

Alizamani, T., Shakarami, J., Mardani-Talaee, M., & Zibaee, A. (2022). Induce of antibiotic resistance in bell pepper, *Capsicum annuum* L, against green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), by micronutrient fertilizers. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *52*(2), 73-85. (in Farsi). **DOI: 10.22059/ijpps.2021.319609.1006969**

Aqueel, M., & Leather, S. (2011). Effect of nitrogen fertilizer on the growth and survival of *Rhopalosiphum padi* (L.) and *Sitobion avenae* (F.) (Homoptera: Aphididae) on different wheat cultivars. *Crop Protection*, *30*(2), 216-221. **DOI: 10.1016/j.cropro.2010.09.013**

Bayoumy, M. H., & Awadalla, H. S. (2018). Foraging responses of *Coccinella septempunctata*, *Hippodamia variegata* and *Chrysoperla carnea* to changing in density of two aphid species. *Biocontrol Science and Technology*, *28*(3), 226-241. **DOI: 10.1080/09583157.2018.1437597**

Benton Jones, J. (2014). Complete guide for growing plants hydroponically. CRC Press. **DOI**: **10.1201/b16482**

Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2006). Aphids on the world's herbaceous plants and shrubs. 1. Host lists and keys: John Wiley and Sons Ltd. **DOI: 10.1111/j.1365-3113.2007.00412_4.x**

Carey, J. R. (2001). Insect biodemography. *Annual Review of Entomology*, *46*(1), 79-110. **DOI**: **10.1146/annurev.ento.46.1.79**

Chi, H. (2019). TWO SEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. http://140.120.197.173/Ecology/Download/TwosexMSChart.zip

Choi, J. M., & Lee, C. W. (2012). Influence of elevated phosphorus levels in nutrient solution on micronutrient uptake and deficiency symptom development in strawberry cultured with fertigation system. *Journal of Plant Nutrition*, *35*(9), 1349-1358. **DOI**: **10.1080/01904167.2012.684127**

Dalvand, S., Ansari, N. A., & Mortazavi, M. (2017). Effect of Soilless Substrates on fruit quality of four greenhouse tomato cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, *17*(4), 377-388. (in Farsi)

De Clercq, P., Mohaghegh, J., & Tirry, L. (2000). Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Biological Control*, *18*(1), 65-70. **DOI**: **10.1006/bcon.1999.0808**

Fataholhoseini, A. S., Allahyari, H., Azmayeshfard, P., Farhadi, R., & Heydari, S. (2011). Effect of host plant on development and reproduction of *Schizaphis graminum* (Rondani) (Homoptera: Aphididae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *41*(2), 233-242. (in Farsi) **DOR**: **20.1001.1.20084781.1389.41.2.7.8**

Ghorbanian, M., Fathipourm, Y., Talebi, A. A., & Reddy, G. V. P. (2019). Different pepper cultivars affect performance of second (*Myzus persicae*) and third (*Diaeretiella rapae*) tophic level. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 22(1), 194-202. DOI: **10.1016/j.aspen.2018.12.021**

Golizadeh, A., & Razmjou, J. (2010). Life table parameters of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae), feeding on tubers of six potato cultivars. *Journal of Economic Entomology*, *103*(3), 966-972. **DOI: 10.1603/EC09245**

Gresens, S. E., Cothran, M. L., & Thorp, J. H. (1982). The influence of temperature on the functional response of the dragonfly *Celithemis fasciata* (Odonata: Libellulidae). *Oecologia*, *53*, 281-284. **DOI**: **10.1007/BF00388999**

Grewal, H. S., Maheshwari, B., & Parks, S. E. (2011). Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: An Australian case study. *Agricultural Water Management*, *98*(5), 841-846. **DOI**: **10.1016/j.agwat.2010.12.010**

Hassanpour, M., Mohaghegh, J., Iranipour, Sh., Nouri-Ganbalani, G., & Enkegaard, A. (2012). Functional response of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) to *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): effect of prey and predator stages. *Insect Science*, *18*(2), 217-224. **DOI**: **10.1111/j.1744-7917.2010.01360.x**

Hassanpour, M., Maghami, R., Rafiee-Dastjerdi, H., Golizadeh, A., Yazdanian, M., & Enkegaard, A. (2015). Predation activity of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) upon *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae): Effect of different hunger levels. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *18* (2), 297-302. **DOI: 10.1016/j.aspen.2015.03.005**

Hassanpour, M., Bagheri, M. R., Golizadeh, A., & Farrokhi, Sh. (2016). Functional response of *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) to *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera:

Aleyrodidae): effect of different host plants. *Biocontrol Science and Technology*, *11*, 1489-1503. **DOI**: **10.1080/09583157.2016.1216521**

Hassell, M. (1982). Patterns of parasitism by insect parasitoids in patchy environments. *Ecological Entomology*, *7*(4), 365-377. **DOI: 10.1111/j.1365-2311.1982.tb00678.x**

Heinrichs, E. A., Medrano, F. G. & Rapisas, H. R. (1985). Genetic evaluation for insect resistance in rice. IRRI, Los Banos.

Holling, C. S. (1959). Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, *91*, 385-398. **DOI**: **10.4039/Ent91385-7**

Holling, C. S. (1965). The Functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation. *The Memoirs of the Entomological Society of Canada*, *97*, 5-60.

Hong, F., Han, H.-L., Pu, P., Wei, D., Wang, J., & Liu, Y. (2019). Effects of five host plant species on the life history and population growth parameters of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Insect Science*, *19*(5), 15. **DOI**: **10.1093/jisesa/iez094**

Hosseini, R. S., Madadi, H., Hosseini, M., Delshad, M., & Dashti, F. (2015). Nitrogen in hydroponic growing medium of tomato affects the demographic parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)(Hemiptera: Aleyrodidae). *Neotropical Entomology*, *44*, 643-650. **DOI**: **10.1007/s13744-015-0327-0**

Jokar, M., & Zarabi, M. (2012). Prominence of three diets on life table parameters for *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) to mass rearing under laboratory conditions. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *45*(18), 2213-2222. **DOI**: **10.1080/03235408.2012.724971**

Juliano, S. A. (2001). Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. In: Cheiner, S. M., & Gurven, J., (Eds.). Design and analysis of ecological experiments, (2nd ed.), Chapman and Hall, pp. 178-196. **DOI: 10.4236/aid.2020.103015**

Kayahan, A. (2021). Functional response of *Chrysoperla carnea* on two different aphid species (*Aphis fabae* and *Acyrthosiphon pisum*). *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, *5*(4), 561-570. **DOI**: **10.31015/jaefs.2021.4.16**

Khan, F. A. (2018). A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, *2*(2), 59-66. **DOI**: **10.31015/jaefs.18010**

Khurshid, A., Ali, S., Inayat, R., Tamkeen, A., Tahir, M. B., Niaz, Y., & Zhang, K. (2022). Effect of short-term heat stress on life table parameters of green peach aphid [*Myzus persicae* (Sulzer)(Hemiptera: Aphididae)]. *Journal of King Saud University-Science*, *34*(8), 102342. **DOI**: **10.1016/j.jksus.2022.102342**

La Rossa, F. R., Vasicek, A., & Lopez, M. C. (2013). Effect of pepper (*Capsicum annuum*) cultivars on the biology and life table parameters of *Myzus persicae* (Sulz.) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 42, 634-641. DOI: **10.1007/s13744-013-0166-9**

Legaspi, J. C. (2004). Life history of Podisus maculiventris (Heteroptera: Pentatomidae) adult females under different constant temperatures. *Environmental Entomology*, *33*(5), 1200-1206. **DOI**: **10.1603/0046-225X-33.5.1200**

Lewis, W. J., van Lenteren, J. C., Phatak, S. C., & Tumlinson Iii, J. H. (1997). A total system approach to sustainable pest management. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *94*(23), 12243-12248. **DOI**: **10.1073/pnas.94.23.12243**

Lester, P. J. & Harmsen, R. (2002). Functional and numerical responses do not always indicate the most effective predator for biological control: An analysis of two predators in a two-prey system. *Journal of Applied Ecology*, *39*, 455-468. **DOI**: **10.1046/j.1365-2664.2002.00733.x**

Li, C., Wang, P., Menzies, N. W., Lombi, E., & Kopittke, P. M. (2017). Effects of changes in leaf properties mediated by methyl jasmonate (MeJA) on foliar absorption of Zn, Mn and Fe. *Annals of Botany*, *120*(3), 405-415. **DOI**: **10.1093/aob/mcx063**

Madadi, H., Enkegaard, A., Brodsgaard, H., Kharrazi-Pakdel, A., Mohaghegh, J., & Ashouri, A. (2007). Host plant effects on the functional response of *Neoseiulus cucumeris* to onion thrips larvae. *Journal of Applied Entomology*, *131*(9-10), 728-733. **DOI**: **10.1111/j.1439-0418.2007.01206.x**

Mahzoum, A. M., Villa, M., Benhadi-Marín, J., & Pereira, J. A. (2020). Functional response of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) larvae on *Saissetia oleae* (Olivier)(Hemiptera: Coccidae): Implications for biological control. *Agronomy*, *10*(10), 1511. **DOI**: **10.3390/agronomy10101511**

Mardani-Talaee, M., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., Hassanpour, M., & Naseri, B. (2017). Impact of chemical, organic and bio-fertilizers application on bell pepper, *Capsicum annuum* L. and biological parameters of *Myzus persicae* (Sulzer)(Hem.: Aphididae). *Neotropical Entomology*, *46*, 578-586. **DOI**: **10.1007/s13744-017-0494-2**

Mardanluo, S., Souri, M. K., & Ahmadi, M. (2018). Plant growth and fruit quality of two pepper cultivars under different potassium levels of nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition*, *41*(12), 1604-1614. **DOI: 10.1080/01904167.2018.1463383**

Messina, F. J., & Hanks, J. B. (1998). Host plant alters the shape of the functional response of an aphid predator (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology*, *27*(5), 1196-1202. **DOI**: **10.1093/ee/27.5.1196**

Montoya-Alvarez, A. F., Ito, K., Nakahira, K., & Arakawa, R. (2010). Functional response of *Chrysoperla nipponensis* and *Chrysoperla carnea* (Neuroptra: Chrysopidae) to the cotton aphid *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) under laboratory conditions. *Applied Entomology and Zoology*, *45* (1), 201-206. **DOI**: **10.1303/aez.2010.201**

Moradi, M., Hassanpour, M., Fathi, S.A.A., & Golizadeh, A. (2023). Functional response of the green lacewing, *Chrysoperla carnea* larvae on two aphid pests of the citrus: *Aphis spiraecola* and *Aphis gossypii*. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *11*(4), 119-130. **DOI**: **10.22034/ARPP.2023.15869**

Mottaghinia, L., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., & Rafiee-Dastjerdi, H. (2011). Antibiosis and antixenosis of six commonly produced potato cultivars to the grean peach aphid, *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, *40*(3), 380-386. DOI: **1590/S1519-566X2011000300012**

Mubeen, B., Hasnain, A., Mehboob, R., Rasool, R., Riaz, A., Elaskary, S. A., & Ullah, I. (2022). Hydroponics and elicitation, a combined approach to enhance the production of designer secondary medicinal metabolites in Silybum marianum. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 897795. **DOI**: **10.3389/fpls.2022.897795**

Noruzi, F., Madadi, H., & Talaei Hassanloui, R. (2014). Functional response of predatory bug, *Orius albidipennis* (Reuter) to melon aphid, *Aphis gossypii* (Glover) and two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *3*(2), 69-77. (in Farsi)

Pervez, A. (2005). Ecology of two-spotted ladybird, *Adalia bipunctata*: a review. *Journal of Applied Entomology*, *129*(9-10), 465-474. **DOI: 10.1111/j.1439-0418.2005.00998.x**

Pervez, A., & Omkar (2005). Functional responses of coccinellid predators: an illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science*, *5*, 5. **DOI**: **10.1093/jis/5.1.5**

Ponce, P., Molina, A., Cepeda, P., Lugo, E., & MacCleery, B. (2014). Greenhouse design and control: CRC Press.

Roosta, H. R. (2016). Plant nutrition in hydroponics. Vali-e-Asr University of Rafsanjan Press.

Rogers, D. (1972). Random search and insect population models. *Journal of Animal Ecology*, *41*(2), 369-383. **DOI**: **10.2307/3474**

Sajjad, S., Sultan, A., Farhanullah Khan, M., Keerio, I.D., Samiullah Channa, M., & Faheem Akbar, M. (2021). Biology, life table parameters, and functional response of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) on different stages of invasive *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, *14*, 174-182. **DOI**: **10.1016/j.japb.2021.02.003**

SAS Institute (2002). The SAS system for Windows, ver. 9.1. SAS Institute, Cary, NC.

Skirvin, D., & Fenlon, J. (2001). Plant species modifies the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): implications for biological control. *Bulletin of Entomological Research*, *91*(1), 61-67. **DOI**: **10.1079/BER200063**

Solomon, M. E. (1949). The natural control of animal populations. *Journal of Animal Ecology*, *18*(1), 1-35. **DOI**: **10.2307/1578**

Soroushmehr, Z., Sahragard, A., & Salehi, L. (2008). Comparative life table statistics for the ladybeetle *Scymnus syriacus* reared on the green citrus aphid, *Aphis spiraecola*, fed on two host plants. *Entomological Science*, *11*(3), 281-288. **DOI**: **10.1111/j.1479-8298.2008.00275.x**

Sultan, A., & Farhanullah Khan, M. (2014). Functional response of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuropetra: Chrysopidae) to sugarcane whitefly *Aleurolobus barodensis* (Maskell) in laboratory conditions. *Journal of Insec Behavior*, *27*, 454-461. **DOI**: **10.1007/s10905-014-9442-8**

Vahedi Torshizi, M., Fathi, M., Zamani, M. & Hosseini Mighani, A. (2017). Introducing hydroponic cultivation as a new method in the development of agricultural entrepreneurship. *Journal of Studies in Entrepreneurship and Sustainable Agricultural Development*, *4*(2), 43-60.

Van Delden, S. H., Nazarideljou, M. J., & Marcelis, L. F. (2020). Nutrient solutions for *Arabidopsis thaliana*: a study on nutrient solution composition in hydroponics systems. *Plant Methods*, *16*, 1-14. **DOI**: **10.1186/s13007-020-00606-4**

van Lenteren, J.C., & Bakker, K. (1976). Functional responses in invertebrates. *Netherlands Journal of Zoology*, *26*(4), 567- 572. **DOI**: **10.1163/002829676X00235**

van Lenteren, J. C., & Nicot, P. C. (2020). Integrated pest management methods and considerations concerning implementation in greenhouses. In Gullino, M.L., Albajes, R., & Nicot, P. C. (Eds.). Integrated pest and disease management in greenhouse crops, (2nd ed.), Springer, pp. 177-193.

Veeravel, R., & Baskaran, P. (1997). Functional and numerical responses of *Coccinella transversalis* and *Cheilomenes sexmaculata* Fabr. feeding on the melon aphid, *Aphis gossypii* Glov. *Insect Science and its Application*, *17*, 335-339. **DOI**: **10.1017/S1742758400019196**

Vogt, H., Bigler, F., Brown, K., Candolfi, M.P., Kemmeter, F, Kuhnerm Ch., Moll, M., Travism A., Ufer, A., Vinuela, E., Waldburger, M., & Waltersdorfer, A. (2000). Laboratory method to test effects of plant protection products on larvae of *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae). In Condolfi, M.P., Blumel, S., Forster, R., Bakker, F.M., Grimm, C., Hassan, S.A., Heimbach, U., Mead-Briggs, A., Reber, B., Schmauck, R., & Vogt, H. (Eds.). Guidelines to evaluate side effects of plant protection products to non-target arthropods. IOBC, BART, and EPPO Joint Initiative. pp. 27–44.

Wu, X.-H., Zhou, X.-R., & Pang, B.-P. (2010). Influence of five host plants of *Aphis gossypii* Glover on some population parameters of *Hippodamia variegata* (Goeze). *Journal of Pest Science*, *83*, 77-83. **DOI**: **10.1007/s10340-009-0272-y**

Yardım, E. N., & Edwards, C. A. (2003). Effects of organic and synthetic fertilizer sources on pest and predatory insects associated with tomatoes. *Phytoparasitica*, *31*(4), 324-329. **DOI: 10.1007/BF02979802**

Plant Pest Research
2023- 13 (3): 43-61

Open access
doi: 10.22124/iprj.2023.25485.1533
pISSN: 2322-2409
eISSN: 2538-6123

Research paper

Effect of two pepper cultivars on biological and population growth parameters of *Myzus persicae* and functional response of *Chrysoperla carnea* in two soil and hydroponic cultivation systems

M. Hassanpour[1*] and M. Elahi[2]
1 & 2. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
1. 0000-0002-5409-428X, 2. 0009-0000-7480-0906

(Received: September 5, 2023- Accepted: November 12, 2023)

Abstract

In this study, the biological and population growth parameters of the green peach aphid, *Myzus persicae* Sulzer and the functional response of the green lacewing *Chrysoperla carnea* Stephens were investigated on two pepper cultivars (Jalapeno and Elegant) in two soil and hydroponic cultivation systems at 25±2 ˚C, 65±5 % RH and 16:8 (L:D) h. The highest values of intrinsic rate of increase (r) and net reproductive rate (R_0) of the aphid were estimated on Jalapeno in soil cultivation (0.281d^{-1} and 62.89 per generation, resp.) and the lowest values were on Elegantin in hydroponic cultivation (0.174 d^{-1} and 34.14 per generation, resp.). The third instar larvae of *C. carnea* exhibited functional response type II on all treatments. The attack rate (a) of predator varied from 0.0422 to 0.0674 h^{-1} and handling time (T_h) ranged from 0.1915 to 0.2191 h on different treatments. The results revealed that cultivar Jalapeno in soil cultivation system, with the highest r value, is a relatively desirable cultivar for the growth and feeding of *M. persicae*. In contrast, cultivar Elegant in hydroponic cultivation system with the lowest value of r is less desirable for *M. persicae*. Also, according to the results of functional response, Elegant and Jalapeno in hydroponic cultivation, compared to the soil cultivation system, have more suitable quality for biological control of this pest.

Key words: Common green lacewing, cultivation system, green peach aphid, pepper cultivars, predator-prey interaction

* Corresponding author: hassanpour@uma.ac.ir