

القای مقاومت آنتی بیوزی در فلفل دلمه‌ای، *Capsicum annuum* L. علیه شته سبز هلو، *Myzus persicae* (Sulzer) با محلول پاشی کودهای ریزمغذی

طیبه علی‌زمانی^۱، جهانشیر شاکرمی^{۲*}، مژگان مردانی - طلایی^۳، آرش زبایی^۴

۱-۳، ۲- دانشجوی دکتری، استاد و دکتری حشره‌شناسی دانشگاه لرستان، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، ایران.

۴- دانشیار دانشگاه گیلان، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان-رشت، ایران.

(تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۰۹ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸)

چکیده

کیفیت گیاهان میزبان به عنوان سطح اول تغذیه و یک عامل کلیدی موثر، توانایی زیستی آفات گیاهخوار را تحت تاثیر قرار می‌دهد. شته سبز هلو، *Myzus persicae* (Sulzer) یکی از آفات مهم محصولات کشاورزی با دامنه میزبانی وسیع و توانایی بالا در انتقال بیمارگرهای مهم ویروسی است. این پژوهش به منظور بررسی اثر محلول پاشی کودهای ریزمغذی آلفا آهن، سولفات روی، سولفات مس و سولفات منگنز بر چند ویژگی فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی *Capsicum annuum* L. و نیز تاثیر آن بر چند پارامتر زیستی شته سبز هلو در شرایط گلخانه انجام شد. ثبت طول مراحل مختلف نشو و نمایی شته به صورت روزانه و برآورد پارامترهای زیستی آن با استفاده از روش جدول زندگی دوجنسی انجام شد. نتایج نشان داد که میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید در گیاهان تیمار شده با کودهای ریزمغذی افزایش یافت. همچنین، محلول پاشی کودهای ریزمغذی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاه را طی برهمکنش تغذیه‌ای بین گیاهان تیمار شده و شته در مقایسه با شاهد و گیاهان تیمار شده قبل از آلودگی به شته به طور معنی داری افزایش داد. از سوی دیگر، گیاهان تیمار شده با ریزمغذی‌های مختلف، پارامترهای زیستی شته را تحت تاثیر قرار دادند و کمترین طول دوره‌های زیستی و پوره‌زایی، زادآوری و طول عمر حشرات کامل در گیاهان تیمار شده با ریزمغذی منگنز مشاهده شد. طبق نتایج این بررسی، محلول پاشی فلفل دلمه‌ای با ریزمغذی‌ها می‌تواند سبب القای مقاومت آنتی‌بیوز در آن و احتمالاً سایر گیاهان میزبان شته سبز هلو شود و در قالب برنامه‌های مدیریت تلفیقی این آفت مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شته سبز هلو، القای مقاومت، جدول زندگی، کود ریزمغذی.

Induce of antibiotic resistance in bell pepper, *Capsicum annuum* L, against green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), by micronutrient fertilizers

Tayebeh Alizamani¹, Jahanshir Shakarami^{2*}, Mozhgan Mardani- Talaei³, Arash Zibaei⁴

1, 2, 3. Ph.D. student, Professor and PhD of Entomology, Lorestan University, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Iran.

4. Associate Professor, University of Guilan, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Guilan-Rasht, Iran.

(Received: February 27, 2021 - Accepted: June 8, 2021)

Abstract

The quality of host plants as the first level of nutrition and a key effective factor affect the biological ability of herbivorous pests. Green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), is an important pest of agricultural crops with the wide host range and the high ability to transmit important viral pathogens. This study was conducted to investigate the effect of foliar application of micronutrient fertilizers of Alpha Fe, Zinc sulfate, Copper sulfate and Manganese sulfate on some physiological and phytochemical characteristics of *Capsicum annuum* L., as well as some biological parameters of *M. persicae* under greenhouse conditions. Duration of different developmental stages of the aphid and estimation of biological parameters were recorded using the two-sex life table procedure. The results showed that the amount of chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll and carotenoids in plants treated with micronutrient fertilizers was increased. Also, the foliar application of micronutrient significantly was increased the activity of plant antioxidant enzymes during the nutritional interaction between the treated plants and the aphid compared to the control and the treated plants before aphid infestation. On the other hand, the plants treated with different micronutrients effected the biological parameters of aphid and the lowest life span and reproductive period, fecundity and longevity of adults were observed in plants treated with manganese micronutrient. According to the results, the foliar spraying of bell pepper with micronutrients can induce antibiotic resistance in it and possibly other plants hosting of *M. persicae* and be used in integrated management programs of this pest.

Key words: Green peach aphid, induce resistance, life table, micronutrient fertilizer.

* Corresponding author E-mail: shakarami.j@lu.ac.ir

مقدمه

فلفل دلمه، *Capsicum annuum* L. که با نام فلفل شیرین هم شناخته می‌شود، گیاهی یک ساله و متعلق به تیرهٔ بادمجانیان^۱ است. این گیاه بومی مکزیک و آمریکای جنوبی است که سرشار از مواد مغذی، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌های مهم برای سلامت انسان و تقویت‌کننده سیستم ایمنی و دستگاه گوارش می‌باشد (Chavez-Mendoza et al., 2015).

شته سبز هلو، (*Myzus persicae* (Sulzer)) به دلیل دارا بودن دامنه میزبانی وسیع، تغذیه از شیره گیاهی و توانایی بالا در انتقال بیماری‌های ویروسی از جمله ویروس موزائیک خیار^۲ (CMV)، ویروس خالدار فلفل^۳ (Pep MoV) و ویروس وای سیب زمینی^۴ (PVY)، جزو آفات مهم محصولات کشاورزی به شمار می‌رود (Fenton et al., 2010). امروزه روش رایج مدیریت شته‌ها از جمله شته سبز هلو استفاده از حشره‌کش‌ها به ویژه سموم فسفره است، اما با توجه به بروز اثرات سوء مصرف آفتکش‌ها، استفاده از روش‌های سازگار با اکوسیستم در کنترل آفات الزامی است. القای مقاومت در گیاهان میزبان یکی از روش‌های جایگزین مهم در مدیریت تلفیقی آفات است که از طریق ایجاد موانع فیزیکی و شیمیایی، ظرفیت دفاعی آن‌ها را در برابر بسیاری از آفات و بیماری‌ها افزایش می‌دهد (Naeem et al., 2018). القای مقاومت می‌تواند به صورت مستقیم با تولید ترکیبات شیمیایی دفاعی و کاهش تغذیه، تخم‌ریزی، نشوونما و یا به صورت غیر مستقیم با تولید ترکیبات فرار گیاهی، جلب‌کننده دشمنان طبیعی حشرات گیاه‌خوار ایجاد شود (Senthil-Nathan et al., 2009). در همین راستا، استفاده از روش‌های زراعی از جمله کوددهی و محلول‌پاشی گیاهان با عناصر ریزمغذی می‌تواند از طریق تغییر در کمیت و کیفیت مواد مغذی مورد نیاز برای رشد، تغییر در محتوای متابولیت‌های ثانویه دفاعی و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاهان، عملکرد اکوفیزیولوژیک

حشرات گیاه‌خوار را از طریق مکانیسم مقاومت آنتی-بیوز تحت تاثیر قرار دهد (Bala et al., 2018; Alizamani et al., 2020). مکانیسم مقاومت آنتی-بیوز از طریق افزایش مرگ‌ومیر، کاهش رشد، طول عمر و باروری روی زیست‌شناسی آفات تاثیر منفی می‌گذارد (Smit & Clement, 2012). عناصر غذایی کم‌مصرف برای رشدونمو گیاهان بسیار لازم و ضروری هستند که در مقادیری کمتر از عناصر غذایی اصلی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم مصرف می‌شوند. این عناصر شامل آهن، روی، مس، منگنز، مولیبدن، بر و کلر هستند. کودهای ریزمغذی در فرایند سنتز ماکرومولکول‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، هورمون‌های رشد، فتوسنتز و تقسیم سلولی گیاهان نقش مهمی دارند (Hansch & Mendel, 2009; Khosa et al., 2011). ریزمغذی‌هایی مانند آهن، روی، منگنز و مس به علت فقدان در خاک، از عناصر ضروری رشدونمو گیاهان و از اجزای اصلی ساختار آنزیم‌ها و پروتئین‌های گیاهان هستند که سبب بهبود کیفیت رشد، عملکرد محصول و میزان شیمیایی دفاعی گیاهان می‌شوند (Dehghani-Yakhdani et al., 2019). بنابراین، عناصر ریزمغذی با تغییر ترکیبات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاهان میزبان می‌توانند به بروز تغییراتی در ویژگی‌های زیستی حشرات گیاه‌خوار منجر شوند (Hansch & Mendel, 2009; Dehghani-Yakhdani et al., 2019). از سوی دیگر، حشرات در طی فرایند تغذیه ریزمغذی‌هایی را دریافت می‌کنند که در فرایندهای رشد، حفظ بافت، تولید مثل و انرژی آن‌ها نقشی کلیدی دارد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که در گیاهان، بین هموستنازیس آهن و واکنش دفاعی آن‌ها علیه حشرات همبستگی وجود دارد، به طوری که گیاهان دارای کمبود آهن در برابر حمله آفات حساس‌تر گزارش شده‌اند (Verbon et al., 2017). بررسی‌های دیگر نشان داده‌اند که ریزمغذی روی که در بسیاری از مسیرهای متابولیسمی، فعالیت‌های آنزیم‌ها، رونویسی و تنظیم بیان ژن در گیاهان نقشی کلیدی دارد (Zayed et al., 2011)، می‌تواند باعث افزایش جمعیت آفات مکنده از جمله شته سبز

1. Solanaceae
2. Cucumber Mosaic Virus
3. Peppre Mottle Virus
4. Potato Virus Y

هچنین، افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در نعنای فلفلی تحت تاثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و سولفات روی در شرایط تنش آبی به وسیله (Jahani et al., 2021) گزارش شده است. امروزه، ارتباط بین فراهم بودن عناصر غذایی با کیفیت محصول به خوبی مشخص شده و در این زمینه تحقیقات زیادی نیز انجام شده است (Silberbush et al., 2008; Scott, 2003). علاوه بر این، تغذیه صحیح گیاهان روی مواجهه آن‌ها با بیمارگرها و یا کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها اثر قابل ملاحظه‌ای دارد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر محلول-پاشی کودهای ریزمغذی بر چند شاخص فیتوشیمیایی و فیزیولوژیک فلفل دلمه و نیز چند پارامتر جدول زندگی شته سبز هلو انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش‌ها طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاه گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام شدند. خاک مورد نیاز برای اجرای پژوهش از زمین‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان تهیه و با استفاده از دستگاه اتوکلاو با فشار ۱/۵ تا ۲ اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس استریل گردید. پس از استریل شدن، مقداری از خاک به صورت تصادفی به عنوان نمونه برای آزمایش تجزیه خاک (به منظور تعیین خصوصیات شیمیایی خاک) در نظر گرفته شد که نتایج آن در جدول شماره ۱ نمایش داده شده است.

هلو (Mardani-Talaei et al., 2017) و کاهش زنده-مانی و نشوونمای زجره قهوه‌ای برنج، *Nilaparvata jugens* (Stål) شود (Bala et al., 2018). منگنز ریزمغذی دیگری است که به عنوان کوفاکتور در فعالیت‌های آنزیم‌ها و فتوسنتز مشارکت می‌کند (Marschner, 2002). علاوه بر این، مس یک ترکیب ضروری برای انتقال ترکیبات نیتروژنی و تشکیل کلروفیل در گیاهان است (Hansch & Mendel, 2009). بنابراین، کودهای ریزمغذی، آلی و کودهای بیولوژیک قابل دسترس گیاه ممکن است با تغییر در محتوای متابولیت‌های ثانویه دفاعی گیاهان و پارامترهای جدول زندگی آفات مکنده، به افزایش و یا کاهش مقاومت گیاه میزبان منجر شوند (Mardani-Talaei et al., 2017; Alizamani et al., 2020). استفاده از کودهای زیستی و ریزمغذی در گندم منجر به القا مقاومت در برابر شته سبز گندم *Sitobion avenae* (Fabricius) و همچنین کاهش پارامترهای رشد جمعیت آن شده است (Pourya et al., 2020). علاوه بر آن، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یکی از اجزای مهم در سازوکار دفاعی گیاهان هستند که مقدار این آنزیم‌ها در شرایط تنش به دلیل نقش آن‌ها برای مقابله با رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد. در بررسی کاربرد آهن در افزایش کلروفیل و سطح برگ، Zuo & Zhang, (2011) نشان می‌دهند که کمبود آهن موجب از بین رفتن کلروفیل و تخریب ساختمان کلروپلاست و همچنین کاهش فعالیت آنزیم‌های اکسیداز نظیر کاتالاز و پراکسیداز می‌شود.

جدول ۱. نتایج تجزیه و تحلیل خاک مورد استفاده برای تحقیق.

Table 1. The soil analysis results used for the research.

Soil property	Value
pH	7.43
Electrical conductivity (EC)	0.481 deci Siemens/meter
Nitrogen	0.140%
Calcium	1.23%
Potassium	0.02%
Phosphorus	5.3 mgkg ⁻¹
Sodium	0.036%
Manganese	0.062%
Copper	0%
Zinc	0%

واقع در سپاهان شهر استان اصفهان تهیه شدند و به منظور تسهیل در رشد، قبل از کاشت به مدت ۱۰ روز

پرورش گیاه میزبان و تیمارهای مورد مطالعه بذور فلفل دلمه‌ای رقم کالیفرنیا واندر از شرکت گلپاد

روش (1987) Lichtenthaler انجام شد. در این روش، ابتدا ۰/۱ گرم برگ تر (برگ‌های میانی که با ازت مایع فریز شده است) توزین شد. سپس، برگ در هاون چینی با ازت مایع کاملاً له و با ۱۰ میلی‌لیتر استون خالص مخلوط گردید. عصاره به دست آمده در فالکون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در نهایت، میزان جذب محلول روشن‌آور به ترتیب در طول موج‌های ۶۶۲، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل UV-vis spectrophotometer, UV3200-MPW260R) اندازه‌گیری شد. از استون به عنوان محلول شاهد برای تنظیم صفر جذب نوری اسپکتروفوتومتر استفاده شد.

سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان فلفل

دلمه

کاتالاز و پراکسیداز

به منظور سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش (1955) Chance & Maehly، برای تهیه محلول آنزیمی مقدار ۰/۳ گرم نمونه برگ تر مربوط به قبل و بعد از آلودگی به شته به منظور سنجش فعالیت آنزیم قبل و بعد از آلودگی به شته وزن شدند. نمونه‌های برگ‌ی گرفته شده در یک هاون چینی قرار داده شده بر روی یخ و در داخل ازت مایع کاملاً پودر شدند. سپس ۱/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج آنزیم یک میلی‌مولار (شامل فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار، PVP^H ۲ درصد، EDTA^E با pH = ۷ جهت له شدن کامل بافت برگ به آن اضافه گردید. سوسپانسیون حاصل در میکروتیوب‌های ۲ میلی‌لیتری ریخته و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس و سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس، ۲۰ میکرولیتر از محلول روشن‌آور حاصل جهت اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم برداشته شد. تغییرات جذب نور به فواصل ۱۰ ثانیه‌ای به مدت ۲ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. در نهایت، فعالیت آنزیم بر

روی کاغذ صافی مرطوب در ظروف پتری شیشه‌ای (به قطر ۹ و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر) خیس‌اندازه شدند. بذرهای خیس خورده سپس در داخل گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه‌ی ۱۵ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، حاوی خاک و ماسه به نسبت ۲ به ۱ در گلخانه تحت شرایط دمایی ۲۵±۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰±۵ درصد و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی کاشته شدند. آزمایش‌ها در گلخانه با چهار تیمار و یک شاهد در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. تیمارها عبارت بودند از: ۱، ۲، ۳- گیاه فلفل دلمه‌ای کاشته شده در خاک زراعی معمولی به علاوه محلول‌پاشی گیاه در مرحله شش تا هشت برگ‌ی به ترتیب با (۱) سولفات منگنز ۵ درصد، (۲) سولفات مس ۴ درصد و (۳) سولفات روی ۷ درصد به میزان یک میلی‌لیتر در یک لیتر آب.

۴- گیاه فلفل دلمه‌ای پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی به علاوه محلول‌پاشی گیاه در مرحله شش تا هشت برگ‌ی با ریزمغذی آلفا آهن (۱۳ درصد) به میزان ۱/۷ گرم در یک لیتر آب.

۵- گیاه فلفل دلمه‌ای پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی (بدون کوددهی) به عنوان تیمار شاهد.

پرورش شته سبز هلو *M. persicae*

جمعیت اولیه شته سبز هلو از باغات حاشیه شهر خرم‌آباد تهیه شد. شته‌های جمع‌آوری شده سپس روی بوته‌های فلفل رقم کالیفرنیا و اندر در شرایط گلخانه‌ای پرورش داده شدند. جهت حفظ کلنی و جلوگیری از پارازیت و شکار شدن شته‌ها، گیاهان حاوی کلنی شته با استفاده از قفس‌های ساخته شده از چوب و توری پارچه‌ای محصور شدند. آبیاری گیاهان در فواصل زمانی معین (هر ۲ تا ۳ روز یک بار) انجام می‌شد و گیاهان به شدت آلوده به آفت برای جلوگیری از آلودگی‌های میکروبی و رشد قارچ‌های دوده با گیاهان سالم به منظور حفظ کلنی جایگزین می‌شدند.

سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید

سنجش میزان کلروفیل‌های *a*، *b* و کاروتنوئید طبق

1. Polyvinylpyrrolidone

2. Ethylenediaminetetraacetic acid

وزن تازه بافت برگ برآورد گردید (Nakano & Asada, 1981).

پراکسید هیدروژن

جهت اندازه‌گیری فعالیت پراکسید هیدروژن ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه برگ (مربوط به قبل و بعد از آلودگی به شته سبز هلو) در یک هاون چینی قرار داده شده بر روی یخ و در داخل ازت مایع کاملاً پودر گردید. نمونه برگی پودر شده سپس درون فالكون‌های ۱۵ میلی-لیتری ریخته شد و به آن ۵ میلی‌لیتر محلول اسید تری‌کلرواستیک یک درصد اضافه گردید. نمونه همگن‌شده با سرعت ۹۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول روشن‌آور به تیوب‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل شد و به آن ۰/۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات‌پتاسیم ۱۰ میلی-مولار (pH = ۷) و یک میلی‌لیتر محلول یک مولار یدید پتاسیم (KI) اضافه گردید. میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت پراکسید هیدروژن با استفاده از رسم منحنی استاندارد (بر حسب میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) محاسبه گردید (Alexieva et al., 2001). رسم منحنی استاندارد با استفاده از قرائت جذب غلظت‌های ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌مولار ساخته شده از پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر صورت گرفت و با وارد کردن غلظت‌های پراکسید هیدروژن و اعداد جذب در اکسل رسم منحنی استاندارد با R^2 مشخص در معادله رگرسیونی صورت گرفت.

مطالعه پارامترهای جدول زندگی شته سبز هلو

برای انجام این آزمایش، از کلنی پرورش شته به طور تصادفی ۵۰ عدد شته ماده بی‌بال انتخاب شدند. به کمک یک قلم موی ظریف، بر روی برگ‌های هر یک از تیمارهای مورد نظر یک عدد شته قرار داده شد. سپس، برگ‌های حاوی شته در داخل قفس‌های برگ‌ی ۷ محصور شدند. هر قفس برگ‌ی از دو ظرف پتری

حسب میکرومول در یک دقیقه در هر گرم وزن تازه بافت محاسبه شد. برای سنجش فعالیت پراکسیداز نیز همانند کاتالاز عمل شد با این تفاوت که پس از سانتریفیوژ، از ۵۰ میکرولیتر محلول رونشین استفاده شد و تغییرات جذب نور در طول موج ۴۷۵ نانومتر قرائت گردید (Mac Adam et al., 1992).

آسکوربات پراکسیداز

به منظور تهیه محلول آنزیمی جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، مقدار ۰/۱ گرم نمونه برگ تر مربوط به قبل و بعد از آلودگی به شته در هاون چینی قرار داده شده بر روی یخ و در داخل ازت مایع کاملاً خرد و پودر شد. سپس، یک میلی‌لیتر بافر استخراج آنزیم (بافر فسفات سدیم با غلظت ۵۰ میلی‌مولار و pH = ۷) به آن اضافه شد. برای تهیه بافر استخراج، ۲/۶۶ گرم مونوسدیم فسفات و ۳/۷۵ گرم دی‌سدیم فسفات در آب مقطر حل شد. سپس به آن ۰/۱۹۲ گرم EDTA ۲ میلی‌مولار و ۵ گرم PVP اضافه و به حجم یک لیتر رسانده شد. پس از اضافه نمودن ۰/۱۷۶ گرم آسکوربیک اسید یک میلی‌مولار، سوسپانسیون حاصل در میکروتیوب‌های ۱/۵ میلی-لیتری ریخته (۵۰۰ میکرولیتر از بافر اول بدون آسکوربیک اسید، ۳۰۰ میکرولیتر از بافر دوم با آسکوربیک اسید، ۳ میکرولیتر از پراکسید هیدروژن خالص و ۵۰ میکرولیتر از عصاره آنزیم برداشته و سانتریفیوژ شد) و در دستگاه سانتریفیوژ یخچال‌دار به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۴ درجه سلسیوس با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. ۵۰ میکرولیتر از محلول روشن‌آور حاصل از سوسپانسیون مورد نظر جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم مورد استفاده قرار گرفت. ثبت تغییرات جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۲۹۰ نانومتر که بیانگر میزان اکسیداسیون و کاهش غلظت آسکوربات است، هر ۱۰ ثانیه و به مدت ۱۲۰ ثانیه انجام گردید. هر واحد فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به عنوان مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که موجب اکسید شدن یک میکرومول آسکوربات در دقیقه می‌شود. در نهایت، فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول در دقیقه در هر گرم

مقایسه قرار گرفت. داده‌های خام به دست آمده از مراحل زیستی شته سبز هلو روی تیمارهای مختلف، طبق روش جدول زندگی دوجنسی و با استفاده از نرم‌افزار TWOSEX-MSChart تجزیه و تحلیل شدند (Chi, 2018). جهت تکراردار کردن داده‌های پارامترهای زیستی شته از روش بوت استرپ با تکرار ۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از روش Paired Bootstrap در سطح احتمال پنج درصد مورد آزمون قرار گرفت.

نتایج

تاثیر تیمارهای ریزمغذی بر میزان کلروفیل‌های a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئید فلفل دلمه

طبق نتایج، تاثیر محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی روی مقدار کلروفیل‌های a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید معنی‌دار بود. فلفل دلمه تیمار شده با ریزمغذی منگنز بیشترین میزان کلروفیل a (۶/۴۰۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، کلروفیل کل (۷/۸۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید (۲/۱۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) را داشت. همچنین، بیشترین مقدار کلروفیل b در فلفل تیمار شده با ریزمغذی روی (۱/۵۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) مشاهده شد. کمترین مقادیر این پارامترها نیز در گیاهان شاهد ثبت شدند (جدول ۲).

پلاستیکی به قطر ۶ سانتی‌متر ساخته شد که با دو گیره به هم وصل شدند. برای جلوگیری از زخمی شدن برگ، به لبه‌های این ظروف یک لایه اسفنج به ضخامت ۳ میلی‌متر چسبانده شد. به منظور تامین تهویه، در هر ظرف پتری سوراخی به قطر یک سانتی-متر تعبیه و با پارچه‌ی توری ۵۰ مش پوشانده شد. به حشرات کامل ۲۴ ساعت اجازه داده شد تا پوره‌زایی نمایند. پس از گذشت این مدت زمان، شته ماده و همه پوره‌ها، به جز یک پوره به ازای هر ماده در هر گیاه، حذف شدند و زنده‌مانی پوره در هر قفس به طور روزانه ثبت شد. از بقایای پوست‌اندازی پوره برای تعیین زمان پوست‌اندازی و ورود به سن بعدی استفاده شد. بدین طول دوره نشوونمایی، زادآوری، طول عمر حشرات کامل و طول دوره‌های تولید مثلی طبق روش جدول زندگی دوجنسی اندازه‌گیری شد (Chi, 2018).

تجزیه و تحلیل‌های آماری

قبل از تجزیه‌ی داده‌ها، نرمال بودن آن‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف انجام شد. نتایج حاصل از اثر تیمارهای مختلف روی میزان کلروفیل، کاروتنوئید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاه با چهار تکرار با استفاده از روش تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه با نرم‌افزار آماری MINITAB نسخه‌ی ۱۶ تجزیه و تحلیل شد. اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی (Tukey-HSD) در سطح احتمال ۵ درصد مورد

جدول ۲. میانگین (\pm خطای معیار) چند ویژگی فیزیولوژیک فلفل دلمه، *Capsicum annuum*، تحت تاثیر محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی.

Table 2. The mean (\pm SE) of some physiological characteristics of bell pepper, *Capsicum annuum*, after foliar application of micronutrient fertilizers.

Treatments	Chlorophyll a	Chlorophyll b (mg g ⁻¹ FW)	Chlorophyll total	Carotenoid
Control	2.748 \pm 0.187c	0.925 \pm 0.047b	3.674 \pm 0.140c	1.245 \pm 0.069bc
Zn (Zin)	5.671 \pm 0.498a	1.563 \pm 0.145a	7.233 \pm 0.630a	1.798 \pm 0.274ab
Mn (Manganese)	6.405 \pm 0.079a	1.471 \pm 0.105ab	7.875 \pm 0.089a	2.176 \pm 0.072a
Cu (Copper)	3.470 \pm 0.234bc	1.502 \pm 0.168ab	4.972 \pm 0.257bc	0.937 \pm 0.022c
Fe (α -Iron)	4.071 \pm 0.090b	1.380 \pm 0.184ab	5.452 \pm 0.241b	1.028 \pm 0.065c
F	33.01	3.41	26.58	15.66
df	4,19	4,19	4,19	4,19
P-value	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشند (Tukey-HSD; $\alpha = 0.05$).

Different letters in each column indicate significant differences between the means (Tukey-HSD; $\alpha = 0.05$).

تاثیر تیمارهای ریزمغذی بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی فلفل دلمه قبل و بعد از آلودگی به شته سبز هلو

بر اساس نتایج جدول ۳، محلول‌پاشی گیاهان با کودهای ریزمغذی قبل از آلودگی به شته سبز هلو ویژگی‌های فیتوشیمیایی فلفل را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۴/۱۹۰ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) و پراکسیداز (۱۴/۴۹۳ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) در گیاهان تیمار شده با کود ریزمغذی روی و کمترین مقدار آن در گیاهان شاهد (به ترتیب،

۱/۳۱۰ و ۱۰/۱۳۰ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) مشاهده گردید. بیشترین و کمترین مقدار فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گیاهان تیمار شده با ریزمغذی آهن (۴۱/۷۵۰ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) و شاهد (۱۸/۵۱۰ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) به دست آمد. همچنین، بیشترین و کمترین مقدار فعالیت پراکسید هیدروژن به ترتیب در گیاهان تیمار شده با ریزمغذی منگنز (۰/۷۱۰ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) و شاهد (۰/۳۴۵ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر) ثبت شد.

جدول ۳. میانگین (\pm خطای معیار) تاثیر ریز مغذی‌های مختلف بر چند ویژگی فیتوشیمیایی فلفل دلمه، *Capsicum annuum*، قبل از آلودگی به شته سبز هلو، *Myzus persicae* در شرایط گلخانه‌ای.

Table 3. The mean (\pm SE) effects of different micronutrients on some phytochemical properties of bell pepper, *Capsicum annuum*, before infestation with green peach aphid, *Myzus persicae*, under greenhouse conditions.

Treatments	Catalase	Peroxidase	Ascorbate peroxidase	H ₂ O ₂
	($\mu\text{mol min}^{-1} \text{g FW}^{-1}$)			
Control	1.310 \pm 0.038b	10.130 \pm 0.048d	18.510 \pm 1.510c	0.345 \pm 0.035c
Zn (Zin)	4.190 \pm 0.233a	14.493 \pm 0.193a	38.660 \pm 2.330ab	0.577 \pm 0.036ab
Mn (Manganese)	3.505 \pm 0.287a	12.350 \pm 0.213c	32.350 \pm 1.300b	0.710 \pm 0.015a
Cu (Copper)	2.067 \pm 0.444b	13.560 \pm 0.128b	36.407 \pm 0.593ab	0.485 \pm 0.062bc
Fe (α -Iron)	3.775 \pm 0.427a	14.453 \pm 0.233a	41.750 \pm 2.330a	0.505 \pm 0.011bc
F	14.48	106.70	27.14	13.03
df	19 4,	19 4,	19 4,	19 4,
P-value	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشند (Tukey-HSD; $\alpha = 0.05$).

Different letters in each column indicate significant differences between the means (Tukey-HSD; $\alpha = 0.05$).

بر دقیقه بر گرم وزن تر در تیمار منگنز)، آسکوربات پراکسیداز (۵۷/۹۹۰ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر در تیمار مس) و پراکسید هیدروژن (۰/۹۰۷ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر در تیمار منگنز) در گیاهان تیمار شده با کودهای ریزمغذی مشاهده شد. کمترین مقدار فعالیت این آنزیم‌ها نیز در گیاهان شاهد ثبت گردید.

طبق نتایج (جدول ۴)، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان فلفل دلمه آلوده به شته سبز هلو تحت تاثیر کودهای ریزمغذی، در مقایسه با گیاهان شاهد و نیز میزان فعالیت این آنزیم‌ها قبل از آلودگی به شته به طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۷/۰۵۵ میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن تر در تیمار آهن)، پراکسیداز (۱۷/۰۰۵ میکرومول

جدول ۴. میانگین (\pm خطای معیار) چند ویژگی‌های فیتوشیمیایی فلفل دلمه، *Capsicum annuum*، بعد از آلودگی به شته سبز هلو، *Myzus persicae*، تحت تاثیر محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی در شرایط گلخانه‌ای.

Table 4. The mean (\pm SE) effects of different micronutrients on some phytochemical properties of bell pepper, *Capsicum annuum*, after infestation with green peach aphid, *Myzus persicae*, under greenhouse conditions.

Treatments	Catalase	Peroxidase	Ascorbate peroxidase	H ₂ O ₂
	(μmol min ⁻¹ g FW ⁻¹)			
Control	3.537±0.023c	12.268±0.615b	26.520±1.470c	0.377±0.021c
Zn (Zin)	5.752±0.030b	12.778±0.369b	45.850±3.100ab	0.737±0.020ab
Mn (Manganese)	5.755±0.276b	17.005±0.333a	44.820±2.060b	0.907±0.023a
Cu (Copper)	3.407±0.373c	12.545±0.794b	57.990±4.450a	0.557±0.081bc
Fe (α-Iron)	7.055±0.206a	15.818±0.450a	49.970±2.950ab	0.510±0.055c
F	53.30	16.20	15.04	19.33
dF	4,19	4,19	4,19	4,19
P-value	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشند (Tukey-HSD; $\alpha = 0.05$).

Different letters in each column indicate significant differences between the means (Tukey-HSD; $\alpha = 0.05$).

فلفل دلمه تیمار شده با روی (۶/۳۸ روز) مشاهده شد (جدول ۵). همچنین، بین طول عمر شته‌های کامل روی تیمارهای مختلف ریزمغذی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین طول عمر شته سبز هلو در گیاهان تیمار شده با آهن (۱۹/۲۹ روز) و شاهد (۱۸/۲۱ روز) بدون تفاوت معنی‌دار بین این دو تیمار، و کمترین طول عمر شته نیز در گیاهان تیمار شده با منگنز (۱۵/۰۷ روز) دیده شد. محلول‌پاشی فلفل دلمه با کودهای ریزمغذی، طول دوره زیستی شته سبز هلو را نیز به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۵).

تاثیر تیمارهای ریزمغذی بر چند پارامتر زیستی شته سبز هلو

نتایج نشان داد که بین طول دوره‌ی نشوونمای پورگی شته‌ی سبز هلو روی گیاهان فلفل دلمه تیمار شده با کودهای ریزمغذی تفاوت معنی‌دار وجود داشت. طولانی‌ترین دوره‌ی نشوونمای پورگی در شته‌های پرورش یافته روی گیاهان تیمار شده با آهن (۷/۱۸ روز) و شاهد (۶/۹۴ روز) مشاهده گردید که بین این دو اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کوتاه‌ترین دوره‌ی نشوونمای پورگی نیز در شته‌های پرورش یافته روی

جدول ۵. میانگین (\pm خطای معیار) تاثیر محلول‌پاشی فلفل دلمه، *Capsicum annuum*، با کودهای ریزمغذی روی چند پارامتر زیستی شته سبز هلو، *Myzus persicae*، در شرایط گلخانه‌ای.

Table 5. The mean (\pm SE) effects of various micronutrients on some biological parameters of green peach aphid, *Myzus persicae*, on bell pepper, *Capsicum annuum*, under greenhouse conditions.

Treatments	Nymphal development time	Adult longevity	survival nymph%	Life span	APOP*	TPOP**	Reproductive period	Fecundity
Control	6.94±0.18a	06a.21±1.18	0.96±0.02a	080a.72±1.24	106a/479±0.1	242a.416±0.8	15.166±0.941a	429a.35±4.63
Zn (Zin)	12b.38±0.6	99ab.62±0.16	0.96±0.02a	076ab.32±1.22	098ab/312±0.1	165b.687±0.7	13.520±0.895ab	562ab.6±4.59
Mn (Manganese)	11a.83±0.6	02b.07±1.15	0.92±0.03a	135b.54±1.20	067b/272±0.1	107ab.8±0	12.045±0.909b	264b.83±4.48
Cu (Copper)	14ab.65±0.6	93a.21±0.18	0.86±0.04a	259ab.1±1.22	259a/744±0.1	347a.395±0.8	14.232±0.857ab	905ab.86±3.53
Fe (α-Iron)	25a.18±0.7	06a.29±1.19	0.9±0.04a	214a.70±1.24	090a.622±0.1	303a.8±0.8	15.622±0.901a	037a.49±4.65
F	153.66	121.00	62.33	122.54	91.14	137.63	113.56	118.66
dF	4,225	4, 225	4, 245	4, 245	4, 223	4, 223	4, 225	4, 225
P-value	<0.05	<0.05	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

خطای استاندارد با ۱۰۰۰۰۰ بوت استرپ محاسبه شد و اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون بوت استرپ جفت شده براساس فاصله اطمینان است.

The standard errors were estimated via 100,000 bootstraps and compared through paired bootstrap test based on confidence intervals of differences. APOP*: Adult Preoviposition period, TPOP**: Total Preoviposition period.

مناسب کنترل آفات و سازگار با محیط زیست، مانند استفاده از روش‌های زراعی و کودهای ریزمغذی، با ایجاد مقاومت در گیاهان میزبان، میزان مصرف آفتکش‌ها و سموم کشاورزی به حداقل مقدار ممکن کاهش یابد. محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی می‌تواند کیفیت تغذیه و رشد گیاهان میزبان را تحت تاثیر قرار دهد که متعاقباً می‌تواند منجر به تغییر در جمعیت و کارایی حشرات گیاهخوار شود (Schädler *et al.*, 2010; Dehghani-Yakhdani *et al.*, 2019; Alizamani *et al.*, 2020). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی، ویژگی‌های فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی فلفل دلمه و همچنین پارامترهای زیستی شته سبز هلو را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد. بر این اساس، میزان کلروفیل‌های *a*، *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید در تیمارهای ریزمغذی در مقایسه با گیاهان شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. نتایج نشان می‌دهد که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روند پیری برگ فلفل دلمه را با افزایش بازدارنده‌های رشدی گیاه به تاخیر انداخته و منجر به افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شده است و متعاقباً با تخریب گونه‌های فعال اکسیژن و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدان گیاه را بهبود بخشیده است. افزایش میزان کلروفیل در اثر محلول‌پاشی احتمالاً به دلیل تاثیر عناصر آهن، روی، منگنز و مس بر محتوای عناصر غذایی موثر در تشکیل کلروفیل بوده است (Kaya & Higgs, 2002). در پژوهشی که توسط Mardani-Talaei *et al.* (2017) انجام شد، مقدار کلروفیل در گیاهان فلفل دلمه تیمار شده با کودهای شیمیایی، آلی و زیستی افزایش یافت که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

روابط متقابل بین گیاه و گیاهخوار دارای پیچیدگی‌های فراوانی می‌باشند و حشرات گیاهخوار طی فرایند تغذیه خود، از طریق تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه دفاعی در گیاهان میزبان باعث ایجاد تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک در آن‌ها می‌شوند (Schädler *et al.*, 2010). بنابراین، با ایجاد شرایط تنش در گیاه و تولید رادیکال‌های آزاد و گونه-

طولانی‌ترین دوره‌ی زیستی در شته‌های پرورش یافته روی گیاهان شاهد (۲۴/۷۲ روز) و کوتاه‌ترین طول آن در شته‌های پرورش یافته روی گیاهان تیمار شده با منگنز (۲۰/۵۴ روز) مشاهده شد (جدول ۵). کودهای ریزمغذی بر APOP^۱ (طول دوره پیش از پوره‌زایی حشرات کامل) و همچنین TPOP^۲ (کل دوره پیش از پوره‌زایی) تاثیر معنی‌دار داشتند. بیشترین و کمترین APOP به ترتیب در شته‌های پرورش یافته روی گیاهان تیمار شده با مس (۱/۷۴۴ روز) و منگنز (۱/۲۷۲ روز) دیده شد. همچنین، بیشترین و کمترین TPOP در شته‌های پرورش یافته روی گیاهان تیمار شده با آهن (۸/۸ روز) و روی (۷/۶۸۷ روز) مشاهده شدند (جدول ۵). در درصد زنده‌مانی پوره‌های شته بین تیمارهای ریزمغذی و شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد با این حال بیشترین درصد زنده‌مانی پوره‌ها در تیمار شاهد و ریزمغذی روی (۰/۹۶) و کمترین آن در ریزمغذی مس (۰/۸۶) بود. بر اساس نتایج، تاثیر نوع کودهای ریزمغذی بر دوره پوره‌زایی شته معنی‌دار بود. کوتاه‌ترین طول دوره پوره‌زایی در تیمار منگنز (۱۲/۰۴۵ روز) و طولانی‌ترین آن به ترتیب در تیمار آهن و شاهد (۱۵/۶۲۲ و ۱۵/۱۶۶ روز) بدون تفاوت معنی‌دار بین این دو مشاهده شد (جدول ۵). همچنین، بین زادآوری شته سبز هلو روی تیمارهای مختلف ریزمغذی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین زادآوری شته روی گیاهان تیمار شده با آهن و شاهد (۶۵/۴۹ و ۶۳/۳۵ پوره/ ماده) مشاهده گردید و کمترین میزان آن در شته‌های پرورش یافته روی گیاهان تیمار شده با منگنز (۴۸/۸۳ پوره/ ماده) ثبت شد (جدول ۵).

بحث

امروزه تولید غذای سالم و کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی تقاضای اکثر مصرف‌کنندگان است. بنابراین، سعی و تلاش بر این است تا با استفاده از روش‌های

1. APOP: Adult Preoviposition period
2. TPOP: Total Preoviposition period

فعال است که به وسیله سیستم‌های آنزیمی مانند، سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز تولید و مصرف می‌شود. افزایش سطح پراکسید هیدروژن در گیاهان آلوده به شته نشان دهنده ایجاد تنش در گیاهان در نتیجه استقرار و تغذیه آفت و فعال شدن سیستم دفاعی و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه برای حفاظت از خود و جلوگیری از آسیب‌های ناشی از تنش می‌باشد (Alexieva et al., 2001). گیاهان در پاسخ به تنش‌های ایجاد شده در اثر حمله آفات و بیماری‌ها از طریق سیستم دفاع بیوشیمیایی، مولکولی، مورفولوژیک و فیزیولوژیک با تولید ترکیبات ثانویه دفاعی و فعال کردن سیستم دفاع آنتی-اکسیدانی، زنده‌مانی، تغذیه، تولید مثل و زادآوری گیاهخواران را تحت تاثیر قرار می‌دهند. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان بیمار شده با کودهای ریزمغذی نشان می‌دهد که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی می‌تواند کیفیت رشد، تحمل و مقاومت گیاهان را در شرایط تنش بهبود بخشد. به علاوه، تغییر در محتوای آنتی‌اکسیدان‌ها یکی از پاسخ‌های گیاه برای تنظیم شرایط فیزیولوژیک و بیوشیمیایی به تنش‌ها می‌باشد (Ali et al., 2007).

کیفیت گیاهان میزبان به عنوان سطح اول تغذیه و به عنوان یک عامل کلیدی، که در میزان تغذیه، نشوونما و زنده‌مانی مراحل نارس و حشرات کامل نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، می‌تواند به صورت شیمیایی و مورفولوژیک نیز روی دفاع مستقیم علیه آفات گیاهخوار موثر باشد (Hart Mana, 2004). بنابراین، عناصر غذایی قابل دسترس گیاه ممکن است سبب افزایش و یا کاهش مقاومت آن در برابر آفات و بیماری‌ها شوند (Bala et al., 2018). از سوی دیگر، مواد غذایی موجود در گیاه باعث کاهش جمعیت آفت و میزان خسارت آن‌ها نیز می‌شود (Meyer, 2000). بررسی‌ها نشان داده‌اند که کودهای ریزمغذی، آلی و زیستی سبب بهبود پارامترهای رشدی و محتوای متابولیت‌های ثانویه دفاعی گیاهان و کاهش پارامترهای رشد جمعیت حشرات گیاهخوار می‌شوند (Mardani-Talaei et al., 2017; Alizamani et al.,)

های فعال اکسیژن (ROS)، سامانه دفاعی گیاه سبب تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز می‌شود که در به حداقل رساندن تنش اکسیداتیو موثر می‌باشند (Sharma et al., 2012). نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهند که میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان فلفل دلمه تحت تاثیر محلول-پاشی کودهای ریزمغذی و همچنین تحت تاثیر تنش زیستی ایجاد شده بر اثر تغذیه شته سبز هلو به میزان بیشتری نسبت به قبل از آلودگی با شته افزایش یافت. کاتالاز به عنوان یک آنزیم آنتی‌اکسیدان مهم، در سمیت‌زدایی H_2O_2 و تبدیل آن به آب و اکسیژن نقش مهمی دارد و بدین ترتیب گیاه را در برابر آسیب‌های ناشی از تنش محافظت می‌کند (Reddy et al., 2004). بر اساس پژوهش Manivannan et al. (2008)، فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش افزایش می‌یابد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. علاوه بر این، پراکسیداز یکی از آنزیم‌های مهم از بین‌برنده پراکسید هیدروژن در گیاهان در شرایط تنش است و در بسیاری از فرایندهای سلولی، مانند سازوکار دفاعی گیاه میزبان مشارکت می‌کند (Asada, 1999). افزایش فعالیت این آنزیم در تیمارهای ریزمغذی و در شرایط تنش می‌تواند عاملی موثر در حذف گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه افزایش مقاومت و تحمل گیاهان به تنش حاصل از تغذیه آفت باشد. آنزیم آسکوربات پراکسیداز در چرخه گلوکوتیون-آسکوربات، برای جلوگیری از تجمع سطوح سمی پراکسید هیدروژن و به عنوان جاروکننده H_2O_2 در شرایط تنش نقش مهمی ایفا می‌کند و گیاه را در برابر آسیب‌های ناشی از تولید این رادیکال محافظت می‌نماید (Dixit et al., 2001). فعالیت آسکوربات پراکسیداز در تیمارهای ریزمغذی و در گیاهان آلوده به شته در پاسخ به تنش ایجاد شده در نتیجه استقرار و تغذیه آفت افزایش یافت و این با گزارش Rao et al. (1996) در ارتباط با افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز در پاسخ به تنش مطابقت دارد. پراکسید هیدروژن نشانه‌ای از وجود اکسیژن

پژوهش Mardani-Talae et al. (2017) دوره‌ی نشوونمای پورگی شته سبز هلو را از ۵/۳ روز در تیمار روی تا ۱۰/۳ روز در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد به دست آوردند و تفاوت در طول این دوره را به علت وجود تفاوت در تولید و محتوای متابولیت‌های ثانویه دفاعی گیاهان میزبان گزارش کردند. پوره‌زایی شته در دامنه ۱/۷۴۴ - ۱/۲۷۲ روز پس از بلوغ انجام شد و دوره پوره‌زایی در تیمارهای مختلف از ۱۵/۶۲۲ - ۱۲/۰۴۵ روز متغیر بود. تغذیه از گیاهان تیمار شده با کودهای ریزمغذی، بر دوره پیش از پوره‌زایی افراد بالغ که نشان‌دهنده بازه زمانی میان ظهور حشره بالغ تا اولین پوره‌زایی است، و همچنین طول دوره پوره‌زایی تاثیر معنی‌داری داشت. به علاوه، اثر آن بر کل دوره پیش از پوره‌زایی معنی‌دار بود. در واقع، تیمار گیاهان با کودهای ریزمغذی زمان رسیدن به مرحله‌ی پوره‌زایی را در شته تحت تاثیر قرار داده است. بنابراین، کوددهی می‌تواند از طریق مقاومت القایی یا مقاومت کاذب، پویایی و فعالیت جمعیت آفات را کاهش دهد که این امر به نوبه خود روی تخمگذاری، زنده‌مانی و تولید مثل آفات تاثیرگذار می‌باشد (Kogan, 1982). بنابراین، مقاومت گیاهان به حشرات به طور مستقیم به فیزیولوژی گیاه ارتباط دارد و هر عاملی که فیزیولوژی گیاهان را تحت تاثیر قرار دهد، مقاومت آن‌ها به آفات را نیز تحت تاثیر قرار خواهد داد.

نتیجه‌گیری

کودهای ریزمغذی از طریق تغییر دادن کیفیت گیاهان میزبان حشرات گیاهخوار می‌توانند جنبه‌های مختلفی از ویژگی‌های زیستی سطح غذایی بالاتر را در برهمکنش گیاه- گیاهخوار تحت تاثیر قرار دهند. در این تحقیق، کودهای ریزمغذی با بهبود چند ویژگی فیزیولوژیک و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان فلفل دلمه طی تنش اکسیداتیو حاصل از تغذیه و فعالیت شته سبز هلو، به کاهش زادآوری، طول عمر حشرات کامل، طول دوره پوره‌زایی و نیز چرخه زیستی این شته منجر شدند. بنابراین، به منظور

(2020). نتایج این مطالعه نشان داد که ویژگی‌های زیستی شته سبز هلو بر روی فلفل دلمه بر اثر محلول- پاشی کودهای ریزمغذی کاهش یافت. در گیاهان فلفل دلمه تیمار شده با کودهای ریزمغذی به ویژه منگنز، طول عمر حشرات کامل این شته، طول دوره‌ی زیستی، متوسط پوره‌زایی روزانه و زادآوری در مقایسه با شته‌های پرورش یافته روی گیاهان شاهد و سایر تیمارهای ریزمغذی به طور معنی‌داری کاهش یافت و این تفاوت معنی‌دار به علت وجود مکانیسم مقاومت آنتی‌بیوزی در گیاه میزبان است. در واقع ایجاد مکانیسم مقاومت آنتی‌بیوز در اثر محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی از طریق بهبود رشد و تعادل در جذب مواد غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه در محل مورد تقاضا و همچنین افزایش ترکیبات شیمیایی دفاعی به ویژه فنول است که بافت گیاهی را برای تغذیه آفت نامطبوع کرده و تاثیر منفی بر پارامترهای زیستی شته سبز هلو ایجاد می‌کند. گزارش Hassavand et al. (2020) در ارتباط با تاثیر منفی کودهای میکوریزا بر پارامترهای دموگرافیک شته سبز هلو در فلفل دلمه به علت وجود مکانیسم مقاومت آنتی‌بیوز، ترکیبات کندکننده و بازدارنده رشد گیاه و تولید ترکیبات دفاعی در توافق با مطالعه حاضر است. همچنین گزارش Pourya et al. (2020) نشان می‌دهد که کودهای زیستی و ریزمغذی (آهن و روی) با افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه دفاعی و القا مقاومت در گندم منجر به کاهش پارامترهای رشد جمعیت، تولید مثل، بقا و باروری *S. avenae* می‌شود.

طول دوره‌ی نشوونمای پورگی شته سبز هلو از ۶/۳۸ روز در تیمار روی تا ۷/۱۸ روز در تیمار آهن در این پژوهش متغیر بود. دوره‌ی نشوونمایی طولانی‌تر شته در گیاهان تیمار شده با آهن می‌تواند نشان دهنده‌ی نامناسب‌تر شدن این میزبان گیاهی به علت تولید محتوای بالاتر متابولیت‌های دفاعی از جمله فنول، فلاونوئید و آنتوسانین باشد. از طرف دیگر، کوتاه‌تر بودن طول دوره نشوونمای پورگی در تیمار روی نشان دهنده افزایش مطلوبیت فلفل دلمه برای شته سبز هلو در اثر اعمال این تیمار می‌باشد. در

سپاسگزاری

از همکاری گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان جهت همکاری برای انجام این پژوهش تقدیر و تشکر می‌گردد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی علاوه بر دارا بودن مزایایی مانند قرار دادن مواد غذایی با سرعت و هزینه کم در اختیار گیاه، باعث ایجاد تعادل در تغذیه گیاه می‌شود و می‌تواند با بهبود فرایندهای رشد و نمو گیاهان به عنوان یک راهکار مدیریتی کارآمد در تولید و مدیریت محصولات و آفات گلخانه‌ای توصیه شود.

REFERENCES

- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*, 24, 1337–1344.
- Ali, B., Rani, I., Hayat, S. & Ahmad, A. (2007). Effect of 4-Cl-indole-3-acetic acid on the seed germination of *Cicer arietinum* exposed to cadmium. *Acta Botanica Croatica*, 66, 57–65.
- Alizamani, T., Shakarami, J., Mardani-Talae, M., Zibae, A. & Serrão, J. E. (2020). Direct interaction between micronutrients and bell pepper (*Capsicum annuum* L.), to affect fitness of *Myzus persicae* (Sulzer). *Journal of Plant Protection Research*, 60, 253–262.
- Asada, K. (1999). The water-water cycle in chloroplasts: Scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 601–639.
- Bala, K., Sood, A. K., Pathania, V. S. & Thakur, S. (2018). Effect of plant nutrition in insect pest management: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7, 2737–2742.
- Chance, B. & Maehly, A. C. (1955) Assay of Catalase and Peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2, 764–775.
- Chavez Mendoza, C., Sanchez, C., Munoz Marquez, E., Sida Arreola, J. P. & Flores Cordova, M. A. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different grafted varieties of bell pepper. *Antioxidants*, 4, 427–446.
- Chi, H. (2018). TWSEX- MSChart: A computer program for the age-stage, Two sex life table analysis. Accessed June 12, 2018, from <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWSEX-MSChart.Zip>.
- Dehghani-Yakhdani, H., Iranipour, Sh., Mehrnejad, M. R. & Farshbaf-Pourabad, R. (2019). The role of iron (Fe) in the population dynamics of pistachio psyllid, *Agonoscaena pistaciae* (Hemiptera: Aphalaridae) in *Pistacia* orchards. *European Journal of Entomology*, 116, 194–200.
- Fenton, B., Kasprovicz, L., Malloch, G. & Pickup, J. (2010). Reproductive performance of asexual clones of the peach-potato aphid, *Myzus persicae*, (Homoptera: Aphididae), colonising Scotland in relation to host plant and field ecology. *Bulletin of Entomological Research*, 100, 451–460.
- Hansch, R. & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12, 259–266.
- Hartmana, T. (2004). Plant-derived secondary metabolites as defensive chemicals in herbivorous insects: a case study in chemical ecology. *Review in Planta*, 219, 1–4.
- Hassanvand, M., Shakarami, J. & Mardani-Talae, M. (2020). Nutrition interaction between different mycorrhizal species and bell pepper, *Capsicum annuum* L., and its effects on biological parameters of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 50, 289–300. (In Farsi)
- Jahani, F., Tohidi Moghaddam, H. R., Larijani, H. R., Farshad Ghooshchi, F. & Oveisi, M. (2021). Effects of salicylic acid and zinc sulfate application on physiological properties, enzymatic activity and quality of peppermint under water stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51, 175–189.
- Kaya, C. & Higgs, D. (2002). Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. *Scientia Horticulturae*, 93, 53–64.
- Khosa, S. S., Younis, A., Rayit, A., Yasmeen, S. & Riaz, A. (2011). Effect of foliar application of macro and micro nutrients on growth and flowering of *Gerbera jamesonii* L. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 11, 736–757.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembrane. *Methods of Enzymology*, 148, 350–382.

17. MacAdam, J. W., Nelson, C. J. & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase Activity in the leaf elongation zone of tall fescue I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology*, 99 (3), 872–878.
18. Manivannan, P., Jaleel, C. A., Somasundaram, R. & Panneerselvam, R. (2008). Osmoregulation and antioxidant metabolism in drought-stressed *Helianthus annuus* under triadimefon drenching. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 418–425.
19. Mardani-Talaei, 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.
20. Marschner, H. (2002). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2th ed.): *Functions of Mineral Nutrients*. Academic Press, USA, 889 pp.
21. Meyer, G. A. (2000). Interactive effects of soil fertility and herbivory on *Brassica nigra*. *Oikos*, 88, 433–441.
22. Naeem, M., Aslam, Z., Khaliq, A., Ahmed, J. N., Nawaz, A. & Hussain, M. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria reduce aphid population and enhance the productivity of bread wheat. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49, 9–14.
23. Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant & Cell Physiology*, 22, 867–880
24. Pourya, M., Shakarami, J., Mardani-Talaei, M., Sadeghi, A. & Serrão, J.E. (2020). Induced resistance in wheat *Triticum aestivum* L. by chemical-and bio-fertilizers against English aphid *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae) in greenhouse. *International Journal of Tropical Insect Science*, 40, 1043–1052.
25. Rao, M.V., Paliyath, G. & Ormrod, D. P. (1996). Ultraviolet-B- and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzymes of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology*, 110, 125–136
26. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. & Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189–1202.
27. Robert, Y., Woodford, J. A. & Ducray-Bourdin, D. G. (2000). Some epidemiological approaches to the control of aphid-borne virus diseases in seed potato crops in northern Europe. *Virus Research*, 71, 33–47.
28. Schädler, M., Brandl, R. & Kempel, A. (2010). Host plant genotype determines bottom-up effects in an aphid-parasitoid-predator system. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 135, 162–169.
29. Scott, P. (2008). Mineral nutrition of plants. In: *Physiology and Behavior of Plants*. John Wiley and Sons, New York.
30. Senthil-Nathan, S., Kalaivani, K., Choi, M. Y. & Paik, C. H. (2009). Effects of jasmonic acid- induced resistance in rice on the plant brownhopper, *Nilaparvata lugens* Stal (Homoptera: Delphacidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 95, 77–84.
31. Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S. & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 1-26.
32. Silberbush, M., Ephrath, J. E., Alekperov, C. & Ben-Asher, J. (2003). Nitrogen and potassium fertilization interactions with carbon dioxide enrichment in *Hippeastrum* bulb growth. *Scientia Horticulture*, 98, 85-90.
33. Verbon, E. H., Trapet, P. L., Stringlis, I. A., Kruijs, S., Bakker, P. A. & Pieterse, C. M. (2017). Iron and immunity. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 355–375
34. Zayed, B. A., Salem, A. K. M. & Sharkawy, H. M. El. (2011). Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. *World Journal of Agricultural Sciences* 7, 179–184.
35. Zuo, Y. & Zhang, F. (2011) Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. *Plant Soil Journal*, 339, 83-93.