Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2020.303408.668631 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱۰، دی ماه ۱۳۹۹ (ص ۲۵۷۴-۲۵۵۹)

Nutritional and Morpho-physiological Responses of Tomato Plant (Lycopersicon esculentum Mill) Affected by Biological and Chemical Fertilizers

MEYSAM CHERAGHI[1], BABAK MOTESHAREZADEH[*1], HOSSEIN ALI ALIKHANI[1]
1. Department of Soil Science Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
(Received: May. 27, 2020- Revised: July. 30, 2020- Accepted: Aug. 9, 2020)

ABSTRACT

The present study was carried out to investigate the effects of biological and chemical fertilizers on morpho-physiological characteristics and nutrients uptake in tomato plant (Lycopersicon esculentum Mill). A factorial trial arranged in a completely randomized design was carried out under greenhouse conditions. Treatments consisted of five levels of chemical fertilizers applied as: control (F0), fertilizer traditionally used (F1), soil-test-based optimum nutrients levels (F2), commercial root stimulant (F3), optimum nutrients levels + application of N, P, Zn and Si by the rate of twofold of the optimum levels (F4) and five levels of biological fertilizers including: control (BF0), PGPR (BF1), arbuscular mycorrhiza fungi (BF2), vermicompost (BF3), and biological package (BF4).The results indicated that the interaction effect of treatments was significant only for shoot dry weight. F4-BF4 and F2-BF4 treatments increased shoot dry weight up to 122% and 121% compared to the control (F0-BF0), respectively. The application of BF4 incresed the leaf area 55% and the application of F4 increased SPAD chlorophyll index 29% as compared to the control and they were the best for increasing such properties. Among the biological treatments, the application of BF4 increased the uptake of N, P, K and Si in the shoot by 108.4, 224.7, 115.6 and 226.3%, respectively, and among the chemical treatments, the application of F4 increased the uptake of these elements by 58.7%, 14.9% 25.1% and 158% in comparison with control, respectively. The results of this study showed that in the soils with high pH, the nutrients uptake of tomato plant can be effectively improved via integrated application of vermicompot and chemical fertilizers under both optimum and even higher levels.

Keywords: Arbuscular Mycorrhiza, Chemical Fertilizer, PGPR, Soil Testing, Vermicompost.

* Corresponding Author's Email: moteshare@ut.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر تیمارهای زیستی و عناصر غذایی بر پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژیکی و جذب عناصر در گیاه گوجه‌فرنگی (Lycopersicon esculentum Mill)

میثم چراغی[1]، بابک متشرع‌زاده[*1]، حسینعلی علیخانی[1]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۷- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۹- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۵/۱۹)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای زیستی و عناصر غذایی بر خصوصیات رشدی و جذب عناصر غذایی در گیاه گوجه‌فرنگی، آزمایشی در شرایط گلخانه و در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل انجام شد. تیمارها شامل: شاهد (F0)، عرف مصرف کود توسط کشاورز (F1)، سطح بهینه عناصر بر اساس آزمون خاک (F2)، کود تجاری محرک رشد ریشه (F3)، سطح بهینه عناصر + مصرف نیتروژن، فسفر، روی و سیلیسیم به میزان دو برابر توصیه (F4) و کودهای زیستی: شاهد (BF0)، PGPR (BF1)، مایکوریز آربسکولار (BF2)، ورمی‌کمپوست (BF3) و بسته زیستی (BF4) بود. نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمارها فقط بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بود. کاربرد F4-BF4 و F2-BF4 وزن خشک اندام هوایی را به ترتیب ٪۱۲۲ و ٪۱۲۱ نسبت به شاهد (F0-BF0) افزایش داد. کاربرد BF4، مساحت سطح برگ را ٪۵۵ و کاربرد F4، شاخص کلروفیل برگ (SPAD) را ٪۲۹ نسبت به شاهد افزایش داد و بهترین تیمارها در افزایش این صفات بودند. در بین تیمارهای زیستی کاربرد BF4 میزان جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سیلیسیم در اندام هوایی را به ترتیب ٪۱۰۸/۴، ٪۲۲۴/۷، ٪۱۱۵/۶ و ٪۲۲۶/۳ و در بین تیمارهای شیمیایی مصرف F4 جذب این عناصر را به ترتیب ٪۵۸/۷، ٪۱۴/۹، ٪۲۵/۱ و ٪۱۵۸ نسبت به شاهد افزایش داد. نتایج این تحقیق نشان داد که در خاک‌های با pH نسبتاً بالا، با مصرف سطح بهینه عناصر غذایی و حتی سطوح بالاتر از آن همراه با کود ورمی‌کمپوست می‌توان رشد و جذب عناصر غذایی را در گیاه گوجه‌فرنگی به طور مؤثری بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: آزمون خاک، کود شیمیایی، مایکوریز آربسکولار، ورمی‌کمپوست، PGPR.

مقدمه

حاصلخیزی پایین برخی از اراضی توأم با pH قلیایی، سبب کاهش قابلیت دسترسی گیاهان به عناصر غذایی می‌شود؛ این امر یکی از عوامل اصلی مؤثر در عملکرد پایین محصولات کشاورزی در ایران به شمار می‌رود (Shahbazi and Besharati, 2013). در چنین شرایطی یکی از اقدامات اساسی برای افزایش سطح عملکرد محصولات کشاورزی، مصرف بهینه نهاده‌های کودی می‌باشد (Zamora, 2007). مصرف کودهای شیمیایی برای افزایش حداکثری عملکرد در واحد سطح، کشت فشرده و تولید میزان کافی مواد غذایی ضروری است. این کودها به دلیل بهای ارزان، کاربرد آسان، میزان بالای عناصر غذایی و جذب سریع توسط گیاهان از اهمیت بالایی برخوردارند (Chen, 2006; Sharma and Chetani, 2017)؛ از طرفی نیز اثرات سوء ناشی از مصرف بیش از حد این کودها محیط زیست را در معرض خطر قرار می‌دهد (Sharma and Chetani, 2017)؛ بنابراین استفاده غیرمنطقی و غیرمتفکرانه از کودهای شیمیایی منجر به بی‌ثباتی و در معرض خطر قرار گرفتن کیفیت و سلامت خاک و آلودگی محیط زیست می‌شود (Prasad and Power, 1995; Savci, 2012). با این حال، استفاده هم‌زمان از کودهای شیمیایی و زیستی نتایج متفاوتی را نسبت به مصرف تکی هرکدام نشان داده است و می‌تواند یک راه‌کار مناسب برای فائق آمدن بر این مشکل و افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح باشد (Sturz and Christie, 2003; Chen, 2006).

کودهای زیستی به دلیل توانایی تثبیت نیتروژن، انحلال و متحرک ساختن فسفر، تحریک باکتری‌های ریزوسفری، افزایش محتوای ماده آلی خاک و بهبود ظرفیت تبادلی مواد غذایی توجه خاصی را به خود جلب کرده‌اند (Kumar and Kumar, 2019). قارچ مایکوریز آربسکولار یکی از کودهای زیستی پر کاربرد است؛ هیف‌های خارجی این قارچ تغذیه گیاهان به آب و عناصر غذایی مختلف به ویژه عناصر کم تحرک مانند فسفر را به شدت بهبود می‌بخشد (Augé, 2004; Lambers *et al.*, 2018). Gamalero *et*

* نویسنده مسئول: moteshare@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

al. (2004) تأثیر دو نوع باکتری PGPR (*Pseudomonas fluorescens*) و یک نوع قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*) را بر خصوصیات رشد و جذب فسفر توسط گیاه گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار دادند، نتایج کار آن‌ها نشان داد که افزودن هم‌زمان باکتری و قارچ منجر به بیشترین افزایش معنی‌دار در خصوصیات رشد و جذب فسفر در اندام هوایی شد. He *et al*. (2019) چهار باکتری محرک رشد گیاه (سه نوع باسیلوس و یک نوع سودوموناس) را به‌صورت تکی و ترکیبی بر گیاه گوجه‌فرنگی اعمال کردند و نتیجه گرفتند که کاربرد ترکیبی سه نوع باسیلوس در غیاب سودوموناس، بیشترین تأثیر را در افزایش زیست توده و عملکرد داشت و کاربرد سودوموناس پوتیدا به طور معنی‌داری میزان عناصر ماکرو و میکرو را در میوه و اندام هوایی افزایش داد.

ورمی‌کمپوست یکی دیگر از کودهای زیستی محرک رشد گیاه است که به دلیل داشتن سطح بالای جمعیت میکروبی و عناصر غذایی در حال حاضر به عنوان یکی از بهترین کودهای زیستی هست (Rashtbari *et al*., 2012). Essa *et al*. (2019) گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست خصوصیات رشدی گیاه گوجه‌فرنگی را به طوری معنی‌دار افزایش می‌دهد. Singh *et al*. (2020) دریافتند که کاربرد کودهای زیستی به ویژه ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی (NPK) منجر به افزایش معنی‌دار خصوصیات رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی می‌شود و با افزایش سطح مصرف کودهای زیستی این پارامترهای رشد و عملکرد بیشتر افزایش می‌یابد. با وجود این تحقیقات، هنوز به طور واضح مشخص نیست که آیا مصرف عناصر غذایی در سطوح بالاتر از توصیه در خاک‌های با pH قلیایی نتیجه بهتری نسبت به سطوح بهینه حاصل می‌کند یا خیر؟

گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill) به دلیل میزان پایین کالری و چربی، میزان کم کلسترول آزاد و غنی بودن از ویتامین‌ها و آنزیم‌های مختلف یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در جهان است (Alam *et al*., 2006; Ahmed *et al*., 2018). میوه گوجه‌فرنگی حاوی ویتامین‌های مختلف، اسیدهای آمینه ضروری، قندها، فیبرهای غذایی و فلاونوئیدهاست؛ که برای سلامتی انسان ضروری هستند (Kanr *et al*., 2002; Kalbani *et al*., 2016). گوجه‌فرنگی برای تولید بهینه نیاز به مصرف مقادیر بالای کود شیمیایی دارد و چون تأمین تمام این مواد مغذی صرفاً از طریق کودهای شیمیایی اولاً مقرون به صرفه نیست و دوم اینکه با سلامت مصرف کننده و حفظ محیط زیست سازگار نیست؛ لذا جهت کاهش هدر رفت عناصر غذایی و بهبود تولید؛ نیاز است مصرف هم‌زمان کودهای شیمیایی و زیستی بیش از پیش، مورد توجه قرار گیرد. لذا این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تیمارهای زیستی و سطوح مختلف عناصر غذایی بر خصوصیات رشدی و جذب عناصر غذایی در گیاه گوجه‌فرنگی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

خاک مورد نیاز در این پژوهش، از افق سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در کرج تهیه شد. نمونه‌برداری در شهریور ۱۳۹۷، از نقطه‌ای با مختصات جغرافیایی "۳۶'۵۷°۵۰ طول شرقی و "۱۳'۴۸°۳۵ عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۰۱ متر از سطح دریا انجام شد. خاک تهیه شده پس از یکنواخت سازی و هوا خشک شدن برای انجام کشت گلخانه‌ای از الک ۴ میلی‌متری گذرانده شد. به منظور تعیین پارامترهای زیستی خاک نیز مقداری از خاک مستقیماً به پس از نمونه‌برداری به یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس انتقال داده شد. برخی از خصوصیات مهم شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، از قبیل pH در گل اشباع (Thomas, 1996)، بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، درصد رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی (FC) (Black *et al*., 1965)، درصد کربن آلی به روش والکی و بلک (Nelson and Sommers, 1982)، نیتروژن کل خاک با استفاده از هضم کجلدال (Bremner, 1996)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen, 1954)، پتاسیم قابل استخراج با عصاره‌گیر استات آمونیوم (Hemke and Sparks, 1996)، غلظت آهن، روی، مس و منگنز به روش عصاره‌گیری با DTPA و توسط دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA6400 (Lindsay and Norvell, 1978)، سیلیسیم قابل استخراج با استیک اسید ۰/۵ (Narayanaswamy and Prakash, 2009)، شدت تنفس میکروبی به روش تیتراسیون (Anderson, 1983) و جمعیت میکروبی به روش MPN (Alexander, 1983) اندازه‌گیری شد که در جدول (۲) ارائه شده است.

کود ورمی‌کمپوست گاوی به روش Windrow و تولیدشده با استفاده از *Eisenia fetida* از ایستگاه تحقیقاتی تولید ورمی‌کمپوست پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در محمد شهر کرج، تهیه شد. برخی از خصوصیات شیمیایی و زیستی ورمی‌کمپوست، از قبیل pH و EC در عصاره ۱:۵ کود ورمی‌کمپوست به آب (Thomas, 1996; Rhoades, 1996)، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک (Nelson and Sommers, 1982) و درصد کل نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در آن مشابه روش اندازه‌گیری این عناصر در اندام هوایی گیاه تعیین شد. درصد کل آهن، روی، مس و منگنز موجود در کود ورمی‌کمپوست در عصاره حاصل از روش هضم خشک با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل

www.SID.ir

Archive of SID

Shimadzu-AA6400 تعیین گردید (Sparks *et al*., 1996). جمعیت و شدت تنفس میکروبی نیز مشابه روش اندازه‌گیری برای خاک، تعیین گردید. مقدار این پارامترها در جدول (۲) ارائه شده است.

دو نوع باکتری ریزوبیومی محرک رشد *Pseudomonas baetica* و *Pseudomonas helmanticensis* از بانک ژن بخش بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد. هر دو این باکتری‌ها از ریشه گندم جدا و خالص‌سازی شده و دارای خصوصیات PGPR مطلوبی از جمله تولید ایندول استیک اسید در شرایط تنش خشکی هستند (Karimzadeh *et al*., 2020) و تاکنون در شرایط کنترل شده، بر روی گیاه گوجه‌فرنگی اعمال نشده‌اند. ترکیب سه قارچ مایکوریز آربسکولار *Glomus.mossea*، *G.intraradices* و *G.etunicatum* با نام تجاری مایکوروت از شرکت دانش‌بنیان زیست فناور پیشتاز واریان، مستقر در مرکز رشد موسسه تحقیقات خاک و آب ایران- کرج تهیه شد. کود تجاری محرک رشد ریشه با نام تجاری Rutter AA که به صورت محلول است؛ از شرکت سپاهان رویش اصفهان تهیه شد. این کود حاوی نیتروژن کل (N): ۵٪ وزنی-وزنی، فسفر (P_2O_5) محلول در آب: ۵٪ وزنی-وزنی، پتاسیم (K_2O) محلول در آب: ۳۰٫۵٪ وزنی-وزنی، آمینواسید آزاد: ۷٪ وزنی-وزنی، آهن (Fe) محلول در آب و کلات با EDDHA: ۰/۰۴٪ وزنی-وزنی، منگنز (Mn) محلول در آب و کلات با EDTA: ۰/۰۵٪ وزنی-وزنی، روی (Zn) محلول در آب و کلات با EDTA: ۰/۰۷٪ وزنی-وزنی و مولیبدن (Mo) محلول در آب: ۰/۱٪ وزنی-وزنی است (www.srooyesh.com).

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران با شرایط قابل کنترل؛ در دمای روز/شب 24±3ºC/18±3ºC، میانگین رطوبت نسبی ۶۵ تا ۸۰ درصد و دوره نوری ۱۲ ساعت اجرا گردید (Jones, 2007). کشت گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل دو فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) و با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول تیمارهای شیمیایی شامل: شاهد (F0)، عرف مصرف کود توسط کشاورز (F1)، مصرف کود در سطح توصیه بهینه عناصر (F2) بر اساس توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب برای گوجه‌فرنگی در نشریه شماره ۵۴۴، کود تجاری Rutter AA (F3)، مصرف کود در سطح بهینه + مصرف عناصر نیتروژن، فسفر، روی و سیلیسیم به میزان دو برابر توصیه بهینه (F4) و فاکتور دوم تیمارهای زیستی شامل: شاهد (BF0)، مخلوط دو نوع PGPR (BF1)، مخلوط سه قارچ مایکوریز آربسکولار (BF2)، ورمی‌کمپوست (BF3) و بسته زیستی شامل ورمی‌کمپوست + PGPR + قارچ مایکوریز آربسکولار (BF4) بود. برای انجام کشت گلخانه‌ای، ۴ کیلوگرم از خاک نمونه‌برداری شده درون گلدان‌های پلاستیکی قرار داده شد.

به منظور حصول دقت بالا در اجرای پژوهش، بذر مورد نیاز تهیه و مراحل تهیه نشاء توسط محققین در همین پژوهش، انجام شد. ابتدا بذر گیاه گوجه‌فرنگی رقم (Falat ch) تهیه و به مدت ۲۰ ثانیه در الکل ٪۹۶ و ۳ دقیقه در هیپوکلرید سدیم ٪۵ ضدعفونی سطحی شد و چندین مرتبه با آب مقطر استریل شسته شد. بذرها درون پلیت در انکوباتور جوانه‌دار شده و سپس در سینی نشاء با بستر شن-پرلیت استریل کشت شدند. گیاهان تا مرحله دوبرگی با آب مقطر و محلول هوگلند استریل آبیاری و آماده انتقال به گلدان شدند.

عرف مصرف کود توسط کشاورز (F1)، معادل ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۹۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، قبل از کشت با خاک گلدان‌ها مخلوط شد. سطح بهینه عناصر (F2)، با توجه به نتایج آنالیز خاک به این صورت اعمال شد که قبل از کشت، عناصر غذایی ماکرو (نیتروژن (۳۵۰ mg/kg) کود اوره بر اساس سطح ماده آلی خاک)، فسفر (۱۵ mg/kg)، پتاسیم (۲۵۰ mg/kg)) با خاک گلدان‌های مربوطه مخلوط و عناصر میکرو (آهن (۸ mg/kg)، روی (۲ mg/kg)، مس (۰/۵ mg/kg) و منگنز (۲۵ mg/kg)) به صورت کودآبیاری پای بوته‌ها اضافه شد (Malakouti and Tehrani, 1999; Basirat and Zolfi Bavariani, 2015). کود تجاری Rutter AA (F3)، به صورت کودآبیاری و طبق راهنمای مصرف آن، به‌طور میانگین ۸ لیتر در هکتار در ۴ مرحله (مرحله اول بلافاصله بعد از انتقال نشاء به گلدان و مراحل بعد با فاصله زمانی ۱۰ روز) به‌صورت کودآبیاری به گیاهان اعمال شد (www.srooyesh.com). برای اعمال عناصر به میزان دو برابر توصیه (F4)، ابتدا قبل از کشت میزان عناصر غذایی در خاک گلدان‌های مربوطه در سطح بهینه تأمین شد، سپس میزان عناصر نیتروژن، فسفر، روی و سیلیسیم در دو مرحله (هر مرحله نصف سطح بهینه و بافاصله زمانی ۲۰ روز یعنی ۲۰ و ۴۰ روز پس از کشت نشاءها در گلدان) به سطح دو برابر توصیه بهینه رسید. میزان و نوع عناصر مصرف شده در جدول (۱) ارائه شده است (Khadem-Moghadam et al., 2016). برای اعمال تیمار باکتریایی (BF1)، مخلوط دو باکتری *Pseudomonas baetica* و *Pseudomonas helmanticensis* با رقت 5×10^8 CFU.ml^{-1} در محیط کشت نوترینت براث تهیه و حین انتقال نشاءها به گلدان به میزان ۱ میلی‌لیتر به ریشه نشاءهای مربوطه افزوده شد. محیط حاوی قارچ مایکوریز آربسکولار (BF2) (ترکیبی از سه قارچ *G.mossea, G.intraradices & G.etunicatum*)، به میزان ۱۰۰ گرم (در ۴ کیلوگرم خاک گلدان)، به‌صورت لایه‌ای در زیر ریشه نشاءهای مربوطه قرار داده شد. کود ورمی‌کمپوست گاوی (BF3)،

www.SID.ir

Archive of SID

قبل از انتقال نشاء به گلدان به میزان ٪ ۵ وزنی با خاک گلدان های مربوطه مخلوط شد (Atiyeh et al., 2000). تیمار بسته زیستی (BF4) نیز مخلوطی از سه تیمار زیستی (BF1+BF2+BF3) بود. بعد از انتقال گیاهان به گلدان، رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حد رطوبت ظرفیت مزرعه تنظیم شد.

جدول ۱- مقادیر خالص عناصر مصرف شده برای هر تیمار با توجه به نتایج آزمون خاک

	تیمار کودی (kg/ha)		
نوع عنصر و منبع تأمین آن	سطح دو برابر توصیه بهینه (F4) (N، P، Zn و Si)	سطح بهینه (F2)	عرف مصرف کشاورز (F1)
نیتروژن (اوره)	۳۲۲	۱۶۱	۱۸۰
فسفر (دی آمونیوم فسفات)	۹۷/۵	۳۴/۵	۹۰
پتاسیم (سولفات پتاسیم)	۴۱/۵	۴۱/۵	-
آهن (کلات EDDHA)	۱۸/۳	۱۸/۳	-
روی (سولفات روی)	۱۲/۴	۳/۹۵	-
منگنز (سولفات منگنز)	۱/۲	۱/۲	-
سیلیسیم (سیلیکات پتاسیم)	۲۵۲	۱۲۶	-

۹۰ روز پس از کشت نشاءها در گلدان (در مرحله به میوه رفتن)، شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD-502 اندازه‌گیری شد (Minolta, 1989). مساحت سطح تمام برگ‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (Leaf Area Meter, Model: DELTA-T) بر حسب سانتی‌متر مربع برای هر گیاه اندازه‌گیری شد (Songsri *et al*., 2009). برای تعیین وزن خشک اندام هوایی و ریشه، پس از برداشت بخش هوایی و ریشه گیاهان و شستشو با آب مقطر، ابتدا به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده، سپس وزن آن‌ها توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد.

غلظت کل نیتروژن اندام هوایی به روش کجلدال اندازه-گیری شد (Bremner, 1996). غلظت فسفر کل در اندام هوایی نیز با روش زرد وانادات-مولیبدات و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Shimadzu UV-3100 در طول موج ۴۳۰ نانومتر تعیین گردید (Chapman and Pratt, 1961). غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه، در عصاره تهیه شده به روش هضم با اسید کلریدریک ۲ نرمال، توسط دستگاه فلیم‌فتومتر مدل ELEA تعیین شد (Ryan et al., 2001). غلظت سیلیسیوم موجود در اندام هوایی گیاه نیز با روش رنگ‌سنجی، با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Shimadzu UV-3100 در طول موج ۶۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Elliott and Snyder, 1991).

آنالیز داده‌های به‌دست‌آمده در طول انجام تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ انجام گردید. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها و گروه‌بندی تیمارها با روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک و کود ورمی-کمپوست استفاده شده در این تحقیق در جدول (۲) ارائه شده است. گیاه گوجه‌فرنگی بر روی انواع بافت خاک از شنی تا لومی و رسی قابل کشت است اما بهترین بافت خاک برای کشت گوجه-فرنگی، بافت شنی و شنی لومی می‌باشد. اسیدیته مطلوب خاک برای کشت گوجه‌فرنگی ۵/۵ تا ۶/۵ و EC مطلوب آن کمتر از ۲ می‌باشد (Jones, 2007). با توجه به نزدیک بودن برخی از خصوصیات این خاک به خصوصیات مطلوب برای کشت گوجه-فرنگی، از این خاک به‌عنوان بستر کشت استفاده شد و غلظت عناصر با توجه به هدف تحقیق در سطوح مورد نظر تنظیم گردید.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مصرف کودهای شیمیایی و زیستی به صورت مستقل (p <0.01) و هم‌زمان (p <0.05) بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۳). در اثر تیمارهای اعمال شده، تغییرات ناشی از تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.

مطابق با شکل (۱) کاربرد هم‌زمان عناصر شیمیایی به میزان دو برابر توصیه + بسته زیستی (F4-BF4) وزن خشک اندام هوایی را ٪۱۲۲ نسبت به شاهد (F0-BF0) افزایش داد. کمترین وزن خشک اندام هوایی (۳۲/۲۴ گرم) نیز مربوط به تیمار PGPR (F0-BF1) بود که با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت. به طور کلی در بین اثرات متقابل تنها اثر F4-BF4، F2-BF4 و F2-BF1 منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد. نتایج همچنین

www.SID.ir

Archive of SID

نشان داد که در بین تیمارهای زیستی؛ کاربرد بسته زیستی (BF4) و ورمی‌کمپوست (BF3) در غیاب مصرف کود شیمیایی نیز باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شدند؛ درحالی‌که در بین تیمارهای شیمیایی تنها مصرف سطح دو برابر عناصر (F4) در غیاب تیمارهای زیستی منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد.

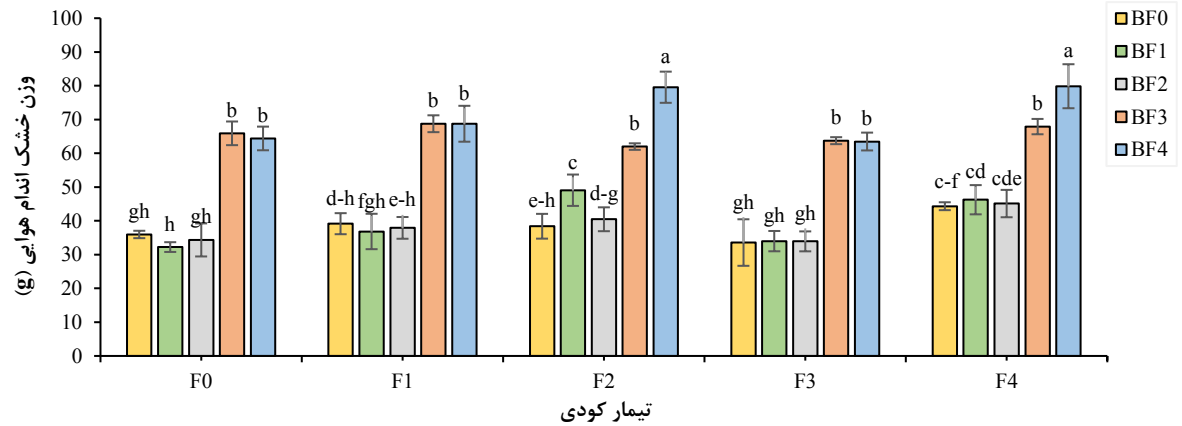
جدول ۲- برخی خصوصیات مهم شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک و کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده

خاک		ورمی‌کمپوست	
ویژگی	مقدار	ویژگی	مقدار
pH عصاره گل اشباع	۸/۵۵	pH در عصاره ۱:۵	۷/۸۸
EC عصاره اشباع (dS/m)	۱/۵۱	EC در عصاره ۱:۵(dS/m)	۴/۱۶
کربن آلی (٪)	۰/۶۲	کربن آلی (٪)	۲۴/۶۵
نیتروژن کل (٪)	۰/۱۱۹	نیتروژن کل (٪)	۳/۵۲
فسفر قابل جذب (mg/kg)	۶/۸	فسفر کل (٪)	۱/۰۷
پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	۲۲۵/۱۷	پتاسیم کل (٪)	۰/۷۵
آهن قابل جذب (mg/kg)	۳/۶۳	آهن کل (mg/kg)	۴۷۱۸/۱۷
روی قابل جذب (mg/kg)	۱/۰۷	روی کل(mg/kg)	۲۶۰
منگنز قابل جذب (mg/kg)	۶/۷۱	منگنز کل(mg/kg)	۴۱۷/۸۶
مس قابل جذب (mg/kg)	۱/۳۴	مس کل(mg/kg)	۷۲/۱۱
سیلیسیم قابل‌جذب (mg/kg)	۱۲۱/۲۵	تنفس میکروبی ($mgCo_2/g_{Manure}.24h$)	۰/۷۵
تنفس میکروبی ($mgCo_2/g_{Soil}.24h$)	۰/۰۸۸	جمعیت میکروبی (MPN/g_{Manure})	$۴/۷\times۱۰^{۷}$
جمعیت میکروبی (MPN/g_{Soil})	$۲/۸\times۱۰^{۶}$		
رطوبت وزنی در ظرفیت مزرعه (٪)	۲۹/۵		
بافت	Clay Loam		

جدول ۳- تجزیه واریانس منابع مختلف کودهای شیمیایی و زیستی بر برخی خصوصیات رشدی گیاه گوجه‌فرنگی

SOV		میانگین مربعات				
	df	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن خشک ریشه (g)	نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی (g/g)	مساحت سطح برگ (cm^2)	شاخص کلروفیل برگ (SPAD)
کود شیمیایی (F)	۴	۳۲۹/۵۹**	۲۸/۰۹**	۰/۰۰۴۵**	۲۲۱۲۲۹۵/۷۸**	۴۸۰/۰۲ **
کود زیستی (BF)	۴	۴۰۲۱/۰۷**	۷۲/۳۱**	۰/۰۰۵۷**	۱۲۱۲۱۲۷۹/۸۱**	۱۰۰/۴۱*
کود شیمیایی × کود زیستی (F-BF)	۱۶	۴۲/۵۷*	۱/۴۶*	۰/۰۰۱۲ns	۱۳۵۴۷۱/۳۰ns	۱۹/۶۶ns
خطا	۵۰	۲۱/۶۵	۰/۷۸	۰/۰۰۰۸۶	۳۲۱۹۹۰/۲۲	۳۳/۴۱
CV	-	۹/۱۹	۹/۰۲	۱۴/۷	۱۷/۹۱	۱۰/۶۳

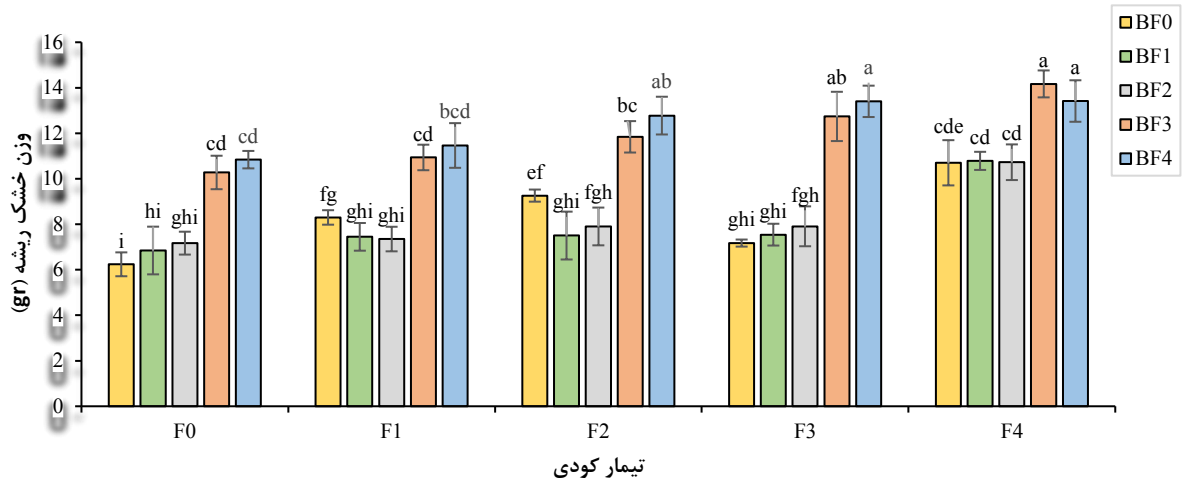
علائم ** و * به ترتیب معنی‌داری تیمارها در سطح ۱ و ۵ درصد و ns بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.



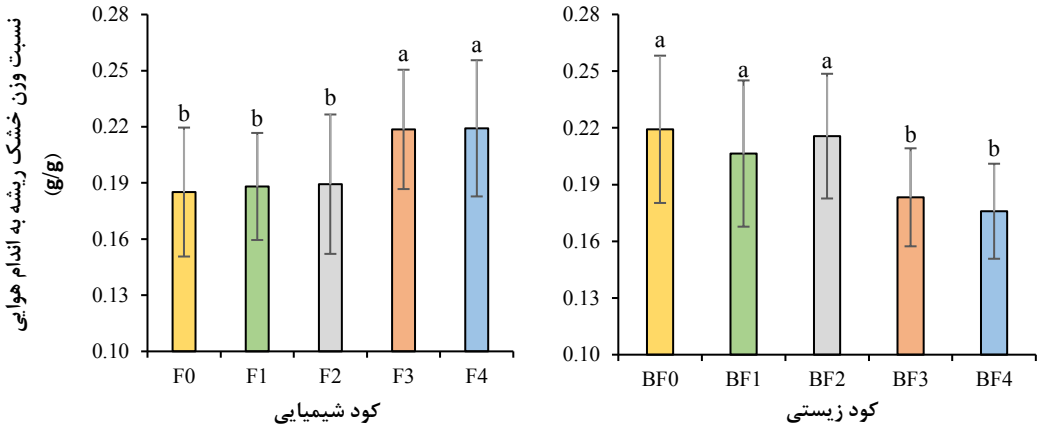
شکل ۱- اثر متقابل کودهای شیمیایی و زیستی بر وزن خشک اندام هوایی در گیاه گوجه‌فرنگی. تیمارهای شیمیایی: شاهد (F0)، عرف مصرف کود توسط کشاورز (F1)، مصرف کود در سطح توصیه بهینه عناصر (F2) بر اساس توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب برای گوجه‌فرنگی در نشریه شماره ۵۴۴، کود تجاری Rutter AA (F3)، مصرف کود در سطح بهینه + مصرف عناصر نیتروژن، فسفر، روی و سیلیسیم به میزان دو برابر توصیه بهینه (F4) و تیمارهای زیستی: شاهد (BF0)، مخلوط دو نوع PGPR (BF1)، مخلوط سه قارچ مایکوریز آربسکولار (BF2)، ورمی‌کمپوست (BF3) و بسته زیستی شامل ورمی‌کمپوست + PGPR + قارچ مایکوریز آربسکولار (BF4)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- اثر متقابل کودهای شیمیایی و زیستی بر وزن خشک ریشه در گیاه گوجه‌فرنگی. تیمارهای شیمیایی: شاهد (F0)، عرف مصرف کود توسط کشاورز (F1)، مصرف کود در سطح توصیه بهینه عناصر (F2) بر اساس توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب برای گوجه‌فرنگی در نشریه شماره ۵۴۴، کود تجاری Rutter AA (F3)، مصرف کود در سطح بهینه + مصرف عناصر نیتروژن، فسفر، روی و سیلیسیم به میزان دو برابر توصیه بهینه (F4) و تیمارهای زیستی: شاهد (BF0)، مخلوط دو نوع PGPR (BF1)، مخلوط سه قارچ مایکوریز آربسکولار (BF2)، ورمی‌کمپوست (BF3) و بسته زیستی شامل ورمی‌کمپوست + PGPR + قارچ مایکوریز آربسکولار (BF4)



شکل ۳- اثر کودهای شیمیایی و زیستی بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در گیاه گوجه‌فرنگی. تیمارهای شیمیایی: شاهد (F0)، عرف مصرف کود توسط کشاورز (F1)، مصرف کود در سطح توصیه بهینه عناصر (F2) بر اساس توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب برای گوجه‌فرنگی در نشریه شماره ۵۴۴، کود تجاری Rutter AA (F3)، مصرف کود در سطح بهینه + مصرف عناصر نیتروژن، فسفر، روی و سیلیسیم به میزان دو برابر توصیه بهینه (F4) و تیمارهای زیستی: شاهد (BF0)، مخلوط دو نوع PGPR (BF1)، مخلوط سه قارچ مایکوریز آربسکولار (BF2)، ورمی‌کمپوست (BF3) و بسته زیستی شامل ورمی‌کمپوست + PGPR + قارچ مایکوریز آربسکولار (BF4)

نتایج نشان داد، هنگامی‌که کودهای زیستی و شیمیایی هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، همواره راندمان بالاتری در تولید زیست توده گیاه دارند. نتیجه تحقیقات Sabijon and Sudaria (2018) نشان داد که کاربرد کود شیمیایی و ورمی-کمپوست خصوصیات رشدی گیاه گوجه‌فرنگی بخصوص وزن خشک اندام هوایی و عملکرد بوته را افزایش می‌دهد و بیشترین وزن خشک اندام هوایی و عملکرد با کاربرد هم‌زمان این دو مشاهده شد. آن‌ها بیان داشتند که مصرف ورمی‌کمپوست باعث کاهش pH، افزایش سطح ماده آلی خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی شده و از این طریق رشد بیشتر زیست توده گیاهان را تحریک می‌کند.

به‌منظور بررسی اثر تیمارهای زیستی و شیمیایی بر خصوصیات رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی، ۵ سطح کود ورمی‌کمپوست و سه سطح کود شیمیایی NPK در آزمایشی گلخانه‌ای بر گیاه گوجه‌فرنگی اعمال شد؛ نتایج نشان داد که بیشترین مقدار مصرف ورمی‌کمپوست (۲۰ تن در هکتار)، باعث افزایش ۵۲ برابری وزن خشک اندام هوایی و ۱۱۵ برابری وزن خشک ریشه شد. همچنین بیشترین مقدار مصرف کود NPK (۲۰۰ درصد معادل ۱۴۰-۶۴-۲۷۴ تن در هکتار) وزن خشک اندام هوایی و ریشه را به ترتیب ۳۵ و ۸۰ برابر افزایش داد (Kashem *et al.*, 2015). در واقع ورمی‌کمپوست با دارا بودن غلظت بالایی از عناصر غذایی ماکرو و میکرو و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین با دارا

www.SID.ir

Archive of SID

بودن فیتوهورمون‌های مختلف رشدی ازجمله اکسین و آنزیم‌های مفید و جمعیت میکروبی غنی و فعال مانند یک کود محرک رشد برای گیاهان عمل می‌کند (Hosseinzadeh *et al*., 2016). همین عوامل سبب شده است که مصرف ورمی‌کمپوست در غیاب مصرف کودهای شیمیایی نیز منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی گردد و این اثر هنگامی‌که با مصرف عناصر غذایی و باکتری‌های PGPR همراه باشد به‌طور معنی‌داری تشدید می‌شود. در این زمینه Khosravi *et al*. (2018) بیان داشتند که مصرف کود ورمی‌کمپوست، PGPR و فسفاته باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه می‌شود؛ به گونه‌ای که اثر متقابل کود فسفاته + ورمی‌کمپوست در غیاب مصرف PGPR بیشترین افزایش معنی‌دار را نشان داد. آن‌ها دلیل این افزایش وزن را به افزایش فعالیت بیولوژیکی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی و همچنین بهبود ساختار فیزیکی خاک نسبت دادند. نتایج حاکی از تحقیقات پیشین و نیز پژوهش حاضر نشان می‌دهد که کاربرد تکی کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین اثر متقابل آن‌ها منجر به افزایش رشد زیست توده گیاه می‌شوند و در این بین مصرف هم‌زمان آن‌ها بهترین نتیجه را نشان می‌دهد.

طبق نتایج مندرج در شکل (۲)، کاربرد عناصر شیمیایی به میزان دو برابر توصیه با کود ورمی‌کمپوست (F4-BF3) بیشترین افزایش معنی‌دار را در وزن خشک ریشه (۱۴/۲ گرم) حاصل کرد و با تیمارهای F4-BF4، F3-BF3,BF4 و F2-BF4 اختلاف معنی‌دار نداشت. کمترین مقدار وزن خشک ریشه نیز مربوط به کاربرد شاهد (F0-BF0) بود. این نتایج همچنین نشان داد که مصرف تکی بسیاری از تیمارها بخصوص سطح دو برابر عناصر غذایی، ورمی‌کمپوست و بسته زیستی باعث افزایش قابل توجه وزن خشک ریشه شد. تحقیقات درزمینه‌ی تأثیر عناصر غذایی و عوامل زیستی بر رشد ریشه ثابت کرده‌اند؛ که عناصر غذایی هرکدام با مکانیسمی باعث افزایش رشد ریشه در گیاهان مختلف می‌شوند (Krouk *et al*., 2010; Tyburski *et al*., 2010; Zand *et al*., 2014). Razaq *et al*. (2017) گزارش کردند که سطوح بالای نیتروژن و فسفر باعث افزایش معنی‌دار خصوصیات مورفولوژیکی ریشه، مانند وزن، قطر و حجم ریشه می‌شود؛ آن‌ها در پژوهش خود بهترین وضعیت رشد ریشه را در کاربرد هم‌زمان نیتروژن و فسفر مشاهده کردند و در این رابطه بیان داشتند؛ مصرف نیتروژن، تولید سیتوکینین را در گیاهان افزایش می‌دهد که متعاقباً بر قابلیت ارتجاعی دیواره سلولی تأثیر می‌گذارد و همچنین تعداد سلول‌های مریستمی و رشد سلول را افزایش می‌دهد. Joshi *et al*. (2015) در بررسی‌های خود افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاهان با کاربرد کود ورمی‌کمپوست را گزارش کردند و دلیل این افزایش رشد را در چند مورد به صورت خلاصه بیان کردند: ۱- ورمی‌کمپوست به دلیل نسبت بالای معدنی شدن و درجه بالایی از هیومیکی شدن، نسبت به سایر کودهای کمپوست از ارزش غذایی بالاتری برخوردار است. ۲- ورمی‌کمپوست دارای تخلخل، تهویه و ظرفیت نگهداری آب به میزان زیاد است. ۳- وجود ریز جانداران به خصوص قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها، آن را برای رشد گیاهان مناسب می‌کند. ۴- دارای نسبت بالایی از نیتروژن، فسفر و کلسیم تبادلی و پتاسیم محلول است که به راحتی برای گیاهان قابل‌دسترس است. ۵- تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و سایر مواد مؤثر بر رشد گیاه که توسط میکروارگانیسم‌ها تولید شده‌اند، در کود ورمی‌کمپوست حضور دارند و همچنین تولید اکسین و سیتوکینین نیز در آن زیاد است. نتایج ما با نتایج Zhihui *et al*. (2016) در خصوص کاربرد نیتروژن و فسفر، Tao *et al*. (2014) در خصوص کاربرد روی و Li *et al*. (2015) در رابطه با کاربرد سیلیسیم در افزایش وزن ریشه مطابقت داشت و با نتیجه کار Gamalero et al. (2004) در خصوص اثر PGPR و قارچ مایکوریزا در افزایش وزن ریشه؛ مطابقت نداشت.

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده (اصلی) مصرف کودهای شیمیایی و زیستی بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی معنی‌دار ($P<0.01$)، درحالی‌که مصرف متقابل تیمارها اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۳). مطابق با شکل (۳) در بین تیمارهای شیمیایی مصرف سطح دو برابر عناصر غذایی (۰/۲۱۹ g) و کود تجاری Rutter AA (۰/۲۱۹ g) منجر به افزایش معنی‌دار این صفت نسبت به شاهد شدند و باهم اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی نیز مربوط به شاهد (۰/۱۸۵ g) بود که با سطح بهینه عناصر و عرف کشاورز اختلاف معنی‌دار نداشت. در بین تیمارهای زیستی کاربرد بسته زیستی (۰/۱۷۶ g) و ورمی‌کمپوست (۰/۱۸۳ g)، باعث کاهش معنی‌دار نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد (۰/۲۱۹ g) شدند. کاربرد PGPR و قارچ مایکوریزا نیز اثر معنی‌داری در این صفت نداشته و با شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند.

این نتایج نشان می‌دهد که تیمارهای شیمیایی (F4 و F3) تأثیر خود را بیشتر در رشد ریشه نشان می‌دهند تا اندام هوایی، درحالی‌که کاربرد تیمارهای زیستی (BF4 و BF3) در افزایش رشد اندام هوایی تأثیر بیشتری دارد. درواقع کاربرد ورمی‌کمپوست وزن خشک ریشه و اندام هوایی را نسبت به شاهد، به‌طور معنی‌دار افزایش می‌دهد (Joshi *et al*., 2015)، اما اثر ورمی‌کمپوست و بسته زیستی در افزایش چشمگیر رشد اندام هوایی، موجب شده

www.SID.ir

Archive of SID

تا این نسبت کمتر از شاهد گردد. در رابطه با اثر عناصر غذایی؛ مانند نیتروژن، Krouk *et al.* (2010) بیان داشتند که پروتئین ناقل نیترات (nitrate transporter 1.1) که به عنوان یک سنسور برای نیترات عمل می‌کند، علاوه بر نیترات، اکسین را نیز انتقال می‌دهد، این ناقل در پاسخ به مصرف نیتروژن فعال و تجمع اکسین در نوک ریشه‌های جانبی را افزایش می‌دهد؛ اکسین نیز توسعه‌ی ریشه‌های جانبی را تحریک می‌کند. فسفر روی تقسیم سلولی و تمایز سلول‌ها تأثیر دارد. توقف رشد ریشه‌های اولیه در مقادیر کم فسفر قابل‌دسترس، به علت توقف تقسیم سلولی و تمایز سلول‌ها در مریستم ریشه‌های اولیه است (Tybarski *et al.*, 2010). عنصر روی در سنتز تریپتوفان (پیش ماده بیوسنتز ایندول استیک اسید) در گیاهان نقش دارد. تریپتوفان پیش ساز سنتز هورمون اکسین بوده که هورمون اکسین نیز نقش بسزایی در رشد ریشه دارد (Zand *et al.*, 2014). افزایش معنی‌دار نسبت توده ریشه به اندام هوایی با کاربرد ترکیبی نیتروژن و فسفر نیز قبلاً گزارش‌شده است (Song *et al.*, 2010; Costa *et al.*, 2002). Xu and Mou (2016) بیان کردند که مصرف ۵ و ۱۰ درصد حجمی کود ورمی‌کمپوست به خاک گلدان منجر به کاهش نسبت وزن خشک ریشه نسبت به اندام هوایی در گیاه اسفناج شد. علاوه بر این گزارش‌های متعددی بیان داشته‌اند که کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش چشمگیر وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی می‌شود و چون تأثیر آن در افزایش رشد اندام هوایی بیشتر از ریشه است، بنابراین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی را کاهش می‌دهد (Arancon *et al.*, 2003; 2004).

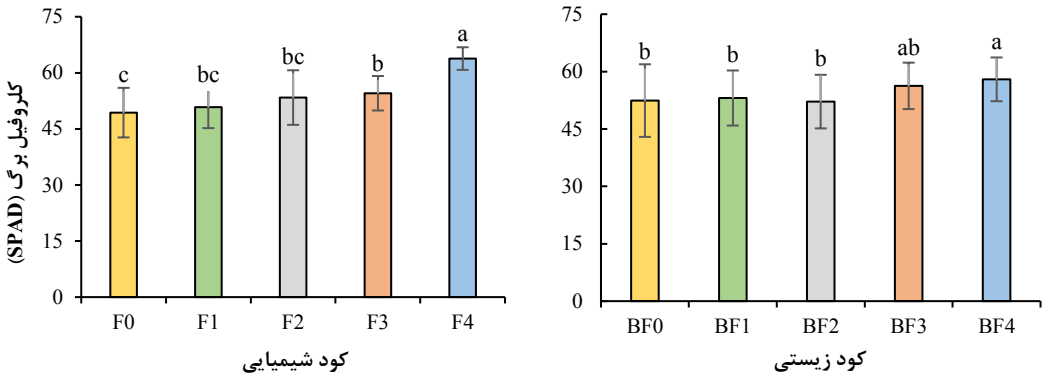
مطابق با شکل (۴) در بین تیمارهای شیمیایی کاربرد سطح دو برابر عناصر غذایی، شاخص کلروفیل برگ (SPAD) را ٪۲۹ نسبت به شاهد افزایش داد به‌گونه‌ای که با شاهد و سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. کمترین شاخص کلروفیل نیز در تیمار شاهد مشاهده شد. افزایش شاخص کلروفیل در تیمارهای شیمیایی بخصوص سطح دو برابر عناصر را تا حدودی می‌توان به نقش کلیدی نیتروژن و سپس فسفر نسبت داد چراکه نیتروژن با افزایش مقدار پروتئین‌های استرومال[1] و تیلاکوئید[2] در برگ و همچنین با افزایش کلروپلاست در طول رشد برگ‌ها، باعث تحریک تشکیل رنگدانه‌های فعال فتوسنتزی می‌شود (Li *et al.*, 2012). همچنین وجود رنگدانه‌های سبز در برگ به غلظت فسفر نیز بستگی دارد، زیرا تسهیل ویژگی‌های بیوشیمیایی و بیوسنتزی ملکول‌های رنگدانه بستگی به جذب مقادیر کافی فسفر دارد (Waraich *et al.*, 2015). Razaq *et al.* (2017) گزارش کردند که با افزایش مصرف نیتروژن و فسفر مقدار کلروفیل برگ افزایش پیدا می‌کند. آن‌ها در بررسی خود بیشترین مقدار کلروفیل برگ را در کاربرد هم‌زمان نیتروژن و فسفر مشاهده کردند. Kheyri *et al.* (2018) گزارش کردند که محلول‌پاشی روی و سیلیسیم باعث افزایش محتوای کلروفیل در برگ‌ها می‌شود؛ و بیان کردند که عنصر روی با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، از رنگدانه-های فتوسنتزی مانند کلروفیل a و b محافظت و آن‌ها را تقویت می‌کند. در گزارشی دیگر بیان شد که محلول پاشی روی در مرحله جوانه‌زنی منجر به بیان ژن‌ها و فعال‌سازی آنزیم کربنیک آنهیدراز شده و از این طریق باعث بهبود فرآیند فتوسنتز و افزایش نسبی محتوای کلروفیل در واحد سطح برگ می‌شود (Qiao *et al.*, 2014).

شکل (۴) همچنین نشان می‌دهد که در بین تیمارهای زیستی بیشترین (۵۷/۹۷) و کمترین (۵۲/۴۲) میزان شاخص کلروفیل برگ (SPAD) به ترتیب در گیاهان تیمار شده با بسته زیستی و شاهد حاصل شد. قارچ مایکوریزا و PGPR نیز با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند. افزایش میزان کلروفیل با کاربرد بسته زیستی می‌تواند به این علت باشد که هنگامی‌که باکتری و قارچ را هم‌زمان با ورمی‌کمپوست به عنوان یک بسته زیستی مصرف می‌کنیم، از آنجا که در کود ورمی‌کمپوست غلظت بالایی از عناصر غذایی ازجمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین عناصر کم مصرف شامل آهن، روی، مس و منگنز وجود دارد (Hosseinzadeh *et al.*, 2016)، این باکتری‌ها و قارچ‌های همزیست به افزایش جذب این عناصر غذایی توسط گیاه کمک می‌کنند و منجر به افزایش میزان کلروفیل می‌شوند؛ بنابراین افزایش میزان کلروفیل در برگ را می‌توان به همبستگی مثبت بین میزان عناصر غذایی ضروری در خاک (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین عناصر کم مصرف شامل آهن، روی، مس و منگنز)، کود مصرف شده و جذب آن توسط گیاه نسبت داد.

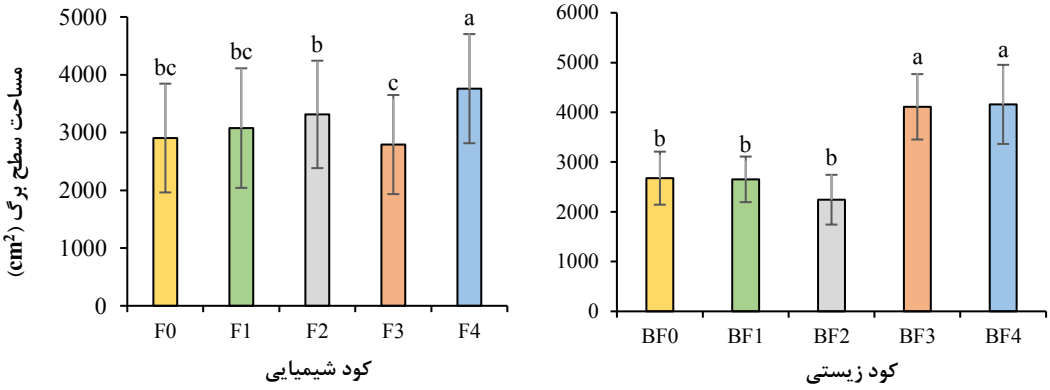
[1] Stromal
[2] thylakoid

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- اثر مصرف مختلف کودهای شیمیایی و زیستی بر میزان کلروفیل برگ در گیاه گوجه‌فرنگی. تیمارهای شیمیایی: شاهد (F0)، عرف مصرف کود توسط کشاورز (F1)، مصرف کود در سطح توصیه بهینه عناصر (F2) بر اساس توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب برای گوجه‌فرنگی در نشریه شماره ۵۴۴، کود تجاری Rutter AA (F3)، مصرف کود در سطح بهینه + مصرف عناصر نیتروژن، فسفر، روی و سیلیسیم به میزان دو برابر توصیه بهینه (F4) و تیمارهای زیستی: شاهد (BF0)، مخلوط دو نوع PGPR (BF1)، مخلوط سه قارچ مایکوریز آربسکولار (BF2)، ورمی‌کمپوست (BF3) و بسته زیستی شامل ورمی‌کمپوست + PGPR + قارچ مایکوریز آربسکولار (BF4)



شکل ۵- تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی بر مساحت سطح برگ در گیاه گوجه‌فرنگی. تیمارهای شیمیایی: شاهد (F0)، عرف مصرف کود توسط کشاورز (F1)، مصرف کود در سطح توصیه بهینه عناصر (F2) بر اساس توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب برای گوجه‌فرنگی در نشریه شماره ۵۴۴، کود تجاری Rutter AA (F3)، مصرف کود در سطح بهینه + مصرف عناصر نیتروژن، فسفر، روی و سیلیسیم به میزان دو برابر توصیه بهینه (F4) و تیمارهای زیستی: شاهد (BF0)، مخلوط دو نوع PGPR (BF1)، مخلوط سه قارچ مایکوریز آربسکولار (BF2)، ورمی‌کمپوست (BF3) و بسته زیستی شامل ورمی‌کمپوست + PGPR + قارچ مایکوریز آربسکولار (BF4)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که تنها اثر اصلی مصرف تیمارهای زیستی و شیمیایی بر مساحت سطح برگ معنی‌دار بود (P <0.01). مطابق با شکل (۵) در بین تیمارهای شیمیایی تنها کاربرد سطح دو برابر عناصر غذایی (۳۷۵۸/۷cm^2) منجر به افزایش معنی‌دار مساحت سطح برگ نسبت به شاهد (۲۹۰۴cm^2) شد و سایر تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند. نتایج همچنین نشان داد که مصرف بسته زیستی مساحت سطح برگ را ٪۵۵ نسبت به شاهد افزایش داد و با کود ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌دار نداشت. تیمارهای شاهد، PGPR و قارچ مایکوریزا نیز ازلحاظ آماری باهم اختلاف معنی‌دار نداشتند (شکل ۵). از آنجا که تیمار بسته زیستی در واقع اثر متقابل تیمارهای باکتری، قارچ و ورمی‌کمپوست را نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که این اثر مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست است.

نیتروژن یکی از عناصر اساسی در کنترل بایومس و عملکرد از طریق افزایش سطح برگ و دریافت تشعشع است، در کمبود نیتروژن نسبت رشد برگ و شاخص سطح برگ کاهش پیدا می‌کند که این موضوع می‌تواند به خاطر کاهش فتوسنتز خالص و یا کافی نبودن گسترش سلولی باشد. همچنین افزایش دفعات کاربرد نیتروژن با افزایش سطح برگ گیاه رابطه مثبتی دارد که دلیل آن می‌تواند افزایش سطح برگ در اثر تقسیم سلولی سریع‌تر و توسعه بیشتر سلول باشد (Amanullah *et al.*, 2009). روی از طریق نقشی که در فتوسنتز و تشکیل قندها، سنتز پروتئین، باروری و تولید بذر سالم و تنظیم رشد بر عهده دارد باعث افزایش سطح برگ در گیاهان می‌شود. افزایش سطح برگ با کاربرد سولفات روی با نتایج Ghanbari *et al.* (2013) مطابقت دارد. Lack *et al.* (2015) گزارش کردند که مصرف نیتروژن از منبع اوره و روی از منبع سولفات روی، شاخص سطح برگ گیاه لوبیا را به طور

www.SID.ir

Archive of SID

معنی‌دار افزایش می‌دهد و بیشترین سطح برگ را با کاربرد هم‌زمان ۹۰ kg/ha نیتروژن و ۲۰ kg/ha سولفات روی مشاهده کردند. Nasrolahzadeh *et al*. (2016) با بررسی اثر کودهای شیمیایی NPK و کود ورمی‌کمپوست بر شاخص سطح برگ و سبزینگی گیاه ذرت، گزارش کردند که با مصرف تیمارهای کودی (زیستی و شیمیایی) شاخص سطح برگ و شاخص سبزینگی به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. آن‌ها همچنین بیان کردند که در تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی با افزایش ورمی‌کمپوست، شاخص سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد که احتمالاً به دلیل نقش بارز نیتروژن در تشکیل کلروفیل و افزایش سطح برگ می‌باشد.

طبق نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، کاربرد عناصر به میزان دو برابر توصیه، میزان جذب نیتروژن در اندام هوایی را ۵۸/۷٪ نسبت به گلدان شاهد افزایش داد و بیشترین میزان جذب را داشت. کمترین جذب نیتروژن نیز در تیمار شاهد مشاهده شد که با سایر تیمارهای شیمیایی (به غیر از F2) اختلاف معنی‌دار نداشت. در بین تیمارهای زیستی نیز کاربرد بسته زیستی و ورمی‌کمپوست میزان جذب نیتروژن در اندام هوایی گیاه را به ترتیب ۱۰۸/۴٪ و ۸۷/۳٪ نسبت به شاهد افزایش دادند، به گونه‌ای که در بین تیمارهای زیستی، تنها این دو تیمار منجر به افزایش معنی‌دار در جذب نیتروژن توسط بوته شدند.

همان‌طور که انتظار می‌رفت میزان جذب نیتروژن در اندام هوایی گیاهانی که با سطح دو برابر عناصر غذایی، سطح بهینه، بسته زیستی و کود ورمی‌کمپوست تیمار شده بودند، بیشتر از سایر تیمارها بود. چراکه قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک بخصوص نیتروژن و فسفر با کاربرد کودهای شیمیایی و کود ورمی‌کمپوست افزایش پیدا می‌کند، این افزایش به خاطر بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مانند تهویه و ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی، افزایش جمعیت میکروبی فعال و مفید، افزایش سطح ماده آلی و کاهش pH خاک باشد (Sabijon and Sudaria. 2018). نتایج تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که جذب نیتروژن در اندام هوایی گیاهان با افزایش سطوح مصرف نیتروژن و ورمی‌کمپوست افزایش می‌یابد (Inugraha *and* Widaryanto, 2014; Arancon *et al*., 2004). در این راستا Ucar *et al*. (2017) با اعمال سطوح مختلف نیتروژن بر گیاه استویا و اندازه‌گیری غلظت عناصر ماکرو و میکرو در برگ در طی دو سال متوالی به این نتیجه رسیدند که با افزایش سطح مصرف نیتروژن جذب عناصر غذایی ماکرو مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزایش می‌یابد. این نتایج همچنین با نتایج Dunn *et al*. (2018) و Bai and Malakout (2007) در رابطه با اثر مصرف نیتروژن و ورمی‌کمپوست در بهبود جذب عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و فسفر توسط گیاه هم‌خوانی داشت.

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین مصرف کودهای شیمیایی و زیستی بر میزان جذب عناصر در اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی.

	نیتروژن (mg/pot)	فسفر (mg/pot)	پتاسیم (mg/pot)	سیلیسیم (mg/pot)
تیمارهای شیمیایی				
F0	۱۱۵۰/۴^{c}	۷۱/۴^{c}	۹۰۵^{c}	۷/۲^{b}
F1	۱۳۱۰/۱^{bc}	۷۵/۶^{bc}	۹۷۵/۱^{bc}	۱۰/۱^{b}
F2	۱۳۴۶/۴^{b}	۸۶/۷^{a}	۱۰۵۲/۸^{ab}	۱۱/۱^{b}
F3	۱۲۰۱/۲^{bc}	۷۷/۲^{bc}	۹۰۱/۳^{c}	۹/۹^{b}
F4	۱۸۲۶/۴^{a}	۸۲/۱^{ab}	۱۱۳۲/۴^{a}	۱۸/۶^{a}
تیمارهای زیستی				
BF0	۹۷۷/۷^{c}	۴۱/۶^{c}	۶۸۵/۳^{b}	۵/۷^{b}
BF1	۱۰۱۷/۳^{c}	۴۳/۱^{c}	۷۰۴/۱^{b}	۷/۱^{b}
BF2	۹۷۱/۳^{c}	۴۶/۴^{c}	۶۷۷/۹^{b}	۶/۱^{b}
BF3	۱۸۳۰/۸^{b}	۱۲۶/۶^{b}	۱۴۲۱/۵^{a}	۱۹/۴^{a}
BF4	۲۰۳۷/۴^{a}	۱۳۵/۱^{a}	۱۴۷۷/۸^{a}	۱۸/۶^{a}

توضیحات: تیمارهای شیمیایی: شاهد (F0)، عرف مصرف کود توسط کشاورز (F1)، مصرف کود در سطح توصیه بهینه عناصر (F2) بر اساس توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب برای گوجه‌فرنگی در نشریه شماره ۵۴۴، کود تجاری Rutter AA (F3)، مصرف کود در سطح بهینه + مصرف عناصر نیتروژن، فسفر، روی و سیلیسیم به میزان دو برابر توصیه بهینه (F4) و تیمارهای زیستی: شاهد (BF0)، مخلوط دو نوع PGPR (BF1)، مخلوط سه قارچ مایکوریز آربسکولار (BF2)، ورمی‌کمپوست (BF3) و بسته زیستی شامل ورمی‌کمپوست + PGPR + قارچ مایکوریز آربسکولار (BF4)

طبق جدول (۴)، در بین تیمارهای شیمیایی بیشترین میزان جذب فسفر در اندام هوایی گیاه با کاربرد سطح بهینه عناصر (۸۶/۷ میلی‌گرم در گلدان) حاصل شد به‌گونه‌ای که این تیمار با تیمار سطح دو برابر عناصر تفاوت قابل توجهی نداشت.

www.SID.ir

Archive of SID

کمترین میزان فسفر نیز در گیاهان تیمار شده با شاهد (۷۱/۴ میلی‌گرم در گلدان) مشاهده شد. در بین تیمارهای زیستی نیز مصرف بسته زیستی و کود ورمی‌کمپوست به ترتیب منجر به افزایش ٪۲۲۴/۷ و ٪۲۰۴/۳ در میزان جذب فسفر در اندام هوایی نسبت به شاهد شدند. معنی‌دار شدن میزان جذب فسفر در اندام هوایی گیاهان تحت تیمار با ورمی‌کمپوست قبلاً نیز توسط Khosravi *et al*. (2018) گزارش شده است؛ که علت آن نیز دارا بودن غلظت بالایی از عناصر غذایی ازجمله فسفر، جمعیت بالای باکتری‌ها و آنزیم‌های فعال در کود ورمی‌کمپوست و بهبود شرایط شیمیایی خاک ازجمله افزایش سطح ماده آلی خاک و کاهش pH است (Sabijon and Sudaria, 2018). با افزایش سطح مصرف فسفر غلظت فسفر در محلول خاک افزایش پیدا کرده و به دنبال آن جذب توسط گیاهان راحت‌تر صورت می‌پذیرد. Zhang *et al*. (2018) در تحقیقی سطوح مختلف فسفر و نیتروژن را در خاک بستر کشت گیاهان اعمال کرده و به این نتیجه رسیدند که مصرف فسفر بر غلظت نیتروژن و مصرف نیتروژن بر غلظت فسفر در اندام هوایی تأثیر ندارند؛ اما با اعمال فسفر یا نیتروژن، قابلیت دسترسی آن در خاک افزایش یافته، جذب آن توسط گیاه بیشتر و غلظت آن در اندام هوایی گیاه افزایش می‌یابد.

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، نشان داد که تنها اثر اصلی تیمارها منجر به افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم در اندام هوایی گیاهان شد و اثر متقابل تیمارها بر جذب پتاسیم در اندام هوایی معنی‌دار نبود. در بین تیمارهای شیمیایی تنها کاربرد سطح دو برابر عناصر (۱۱۳۲/۴ میلی‌گرم در گلدان) و سطح بهینه (۱۰۵۲/۸ میلی‌گرم در گلدان) منجر به افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم نسبت به شاهد (۹۰۵ میلی‌گرم در گلدان) شدند که با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند. در بین تیمارهای زیستی نیز کاربرد بسته زیستی و ورمی‌کمپوست میزان جذب پتاسیم را ٪۱۱۵/۶ و ٪۱۰۷/۴ نسبت به شاهد افزایش داد. بالا بودن غلظت پتاسیم قابل‌جذب در کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده یکی از عواملی است که باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه می‌شود. تحقیقات زیادی وجود دارد که تأیید می‌کنند مصرف ورمی‌کمپوست منجر به افزایش غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاهان می‌شود (Chand *et al*., 2007). با این حال Adiloğlu *et al*. (2018) در پژوهش خود مشاهده کردند که اعمال سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست، تأثیر معنی‌داری در غلظت پتاسیم در برگ گیاه کاهو نداشت. در بین تیمارهای شیمیایی نیز همان‌طور که انتظار می‌رفت، میزان جذب پتاسیم در اندام هوایی گیاهانی که به میزان بهینه پتاسیم دریافت کرده بودند (F3 و BF4) بیشترین میزان را داشت. Zhang *et al*. (2018)- گزارش کردند که مصرف سطوح مختلف نیتروژن و فسفر در خاک، دسترسی فسفر و نیتروژن را افزایش داده اما تأثیری در افزایش دسترسی پتاسیم نداشت. افزایش جذب پتاسیم در اندام هوایی گیاه با کاربرد سایر عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن (Ucar *et al*., 2017)، روی و سیلیسیم (Kheyri *et al*., 2018)، قبلاً گزارش‌شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت و افزایش جذب پتاسیم در تیمار F4 را توجیه می‌کند.

طبق جدول (۴)، کاربرد سطح دو برابر عناصر غذایی و کود ورمی‌کمپوست میزان جذب سیلیسیم در اندام هوایی گیاه را به ترتیب ٪۱۵۸ و ٪۲۴۰ نسبت به شاهد افزایش دادند. فقط مصرف این دو تیمار و نیز تیمار بسته زیستی منجر به افزایش معنی‌دار جذب سیلیسیم در اندام هوایی گیاهان شد و مصرف سایر تیمارها تأثیری در افزایش جذب سیلیسیم در اندام هوایی گیاه نداشت. Ramirez-Godoy *et al*. (2018) بیان کردند که با مصرف سیلیسیم، انتقال بیشتر این عنصر از طریق آوند چوبی و به وسیله جریان تعرق از ریشه به شاخصاره و برگ انجام می‌شود و درنهایت به‌صورت سیلیکات‌های بی‌شکل (اوپال، ژل سیلیکا یا فیتولیت‌ها) در قسمت‌های مختلف گیاه مانند دیواره سلولی؛ برگ‌ها و اندام‌های تولید مثلی رسوب می‌کند. در پژوهشی با اعمال سطوح مختلف سیلیسیم و نیتروژن بر دو رقم گیاه گندم مشاهده شد که با کاربرد سیلیسیم در خاک؛ غلظت آن در شاخصاره به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده شد که مصرف هم‌زمان نیتروژن و سیلیسیم (نسبت به شاهد و مصرف نیتروژن و سیلیسیم به صورت مجزا) به‌طور معنی‌داری جذب سیلیسیم در شاخساره را افزایش می‌دهد (Asadi *et al*., 2014). Kheyri *et al*. (2018) در یک آزمایش مزرعه‌ای سطوح مختلف روی و سیلیسیم را به‌صورت محلول‌پاشی و خاکی بر گیاه برنج اعمال کردند و نتیجه گرفتند که مصرف هم‌زمان روی و سیلیسیم باعث افزایش جذب این دو عنصر و نیز عنصر نیتروژن در گیاه برنج می‌شود. آن‌ها دلیل اصلی این افزایش جذب را اثرات هم‌افزایی بین سیلیسیم و روی دانستند، به‌گونه‌ای که سیلیسیم باعث ایجاد تعادل مواد غذایی در گیاهان شده و همراه با روی مکمل خوبی در بهبود جذب مواد غذایی و افزایش عملکرد می‌باشد. گزارش‌های چندانی در رابطه با تأثیر کاربرد کود ورمی‌کمپوست و سایر مواد آلی بر افزایش یا کاهش غلظت سیلیسیم در اندام هوایی گیاهان وجود ندارد. به‌احتمال بسیار زیاد افزایش غلظت سیلیسیم با کاربرد کود ورمی‌کمپوست به دلیل تأثیر ورمی‌کمپوست در افزایش سطح ماده آلی خاک، تشکیل کلات‌های طبیعی و به دنبال آن افزایش قابلیت دسترسی این عنصر برای گیاهان می‌باشد (Chand *et al*., 2007). هرچند که مصرف سایر تیمارهای

www.SID.ir

Archive of SID

زیستی مانند PGPR و قارچ مایکوریزا تأثیر معنی‌داری بر بهبود پارامترهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش نداشت؛ با این وجود تحقیقات چندانی هم در رابطه با تأثیر این دو کود زیستی بر جذب سیلیسیم توسط گیاهان صورت نگرفته است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی پارامترهای رشد و جذب عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی را به میزان قابل توجهی افزایش داد به گونه‌ای که کاربرد F4-BF4 و F2-BF4 وزن خشک اندام هوایی را به‌ترتیب ۱۲۲٪ و ۱۲۱٪ نسبت به شاهد افزایش دادند. همچنین تیمار F2 و BF2 بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه بهترین تاثیر معنی‌دار را نشان دادند. در بین تیمارهای اصلی مصرف تکی سطح دو برابر توصیه بهینه، بسته زیستی و کود ورمی‌کمپوست بهترین عملکرد را در افزایش پارامترهای رشد و جذب عناصر غذایی نسبت به سایر تیمارها حاصل کردند. در برخی از صفات؛ اثر مصرف بسته زیستی با مصرف ورمی‌کمپوست تفاوت چندانی حاصل نکرد و از آنجا که بسته زیستی، اثر متقابل باکتری + قارچ + ورمی‌کمپوست را نشان می‌دهد، این احتمال وجود دارد که در این صفات اثر بسته زیستی مربوط به تأثیر کود ورمی‌کمپوست موجود در آن است، چرا که مصرف قارچ مایکوریزا و PGPR در اکثر صفات اندازه‌گیری شده تأثیر معنی‌داری در بهبود آن‌ها نداشتند. ممکن است دلیل این رفتار باکتری‌ها عدم برقراری همزیستی مناسب با گیاه گوجه‌فرنگی در این شرایط کشت و کار (شرایط طبیعی و بدون تنش) باشد؛ چرا که درصد کلونیزاسیون در این شرایط بررسی نشد. به بیان دیگر، می‌توان گفت که همزیستی گیاه با قارچ و باکتری؛ در حضور مصرف زیاد کود شیمیایی اثر چندانی ندارد و توصیه می‌شود این هزینه‌ها زمانی اعمال گردد که کشاورز بنا به دلایلی حاضر به استفاده از کود شیمیایی نباشد.. با توجه به تجربه کسب شده از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که مصرف هم‌زمان کودهای شیمیایی (حتی در سطوح بالاتر از توصیه برای خاک‌های قلیایی) با کود ورمی‌کمپوست می‌تواند به‌عنوان یک توصیه مناسب برای کشت محصول پر نیاز گوجه‌فرنگی استفاده گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Adiloğlu, S., Eryılmaz Açıkgöz, F., Solmaz, Y., Çaktü, E., & Adiloğlu, A. (2018). Effect of vermicompost on the growth and yield of lettuce plant (Lactuca sativa L. var. crispa). *International Journal of Plant & Soil Science*, *21*(1), 1-5.

Ahmed, B., Khan, M. S., & Musarrat, J. (2018). Toxicity assessment of metal oxide nano-pollutants on tomato (Solanum lycopersicon): A study on growth dynamics and plant cell death. *Environmental Pollution*, *240*, 802-816.

Alam, M. J., Rahman, M. H., Mamun, M. A., Ahmad, I., & Islam, K. (2006). Enzyme activities in relation to sugar accumulation in tomato. *Proceedings-Pakistan Academy of Sciences*, *43*(4), 241.

Alexander, M. (1983). Most probable number method for microbial populations. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, *9*, 815-820.

Amanullah, H., Marwat, K. B., Shah, P., Maula, N., & Arifullah, S. (2009). Nitrogen levels and its time of application influence leaf area, height and biomass of maize planted at low and high density. *Pak. J. Bot*, *41*(2), 761-768.

Anderson, J. P. (1983). Soil respiration. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9, 831-871.

Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Metzger, J. D., Lee, S., & Welch, C. (2003). Effects of vermicomposts on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries: the 7th international symposium on earthworm ecology· Cardiff· Wales· 2002. *Pedobiologia*, *47*(5-6), 731-735.

Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., & Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource technology*, *93*(2), 145-153.

Asadi, E., Haghnia, G., Lakzian, A., & Maftoun, M. (2014). Effect of Silicon and Nitrogen different quantities on morphology characteristics, yield and yield components of two varieties of wheat. *Applied Field Crops Research, 27(103),* 167-178. doi: 10.22092/aj.2014.101218. (In Farsi)

Atiyeh, R. M., Domínguez, J., Subler, S., & Edwards, C. A. (2000). Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (Eisenia andrei, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*, *44*(6), 709-724.

Augé, R. M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science*, *84*(4), 373-381.

Bai, B. A., & Malakout, M. J. (2007). The effect of different organic manures on some yield and yield quality parameters in Onion. *Iran Soil and Water Sciences Journal*, *21*(1), 43-33.

Basirat, M., & Zolfi Bavariani, M. (2015). Plant Nutrition Manual in Tomato Production to Reduce Nitrate Resdual In The Fruit. *Soil and Water Research Institute*. Publication No. 544. (In Farsi)

Black, C. A., Evans, D. D., & Dinauer, R. C. (1965). Methods of soil analysis (Vol. 9, pp. 653-708) Madison. *WI: American Society of Agronomy*.

Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-total. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, *5*, 1085-

www.SID.ir

Archive of SID

1121.

Chand, S., Pande, P., Prasad, A., Anwar, M., & Dhar Patra, D. (2007). Influence of Integrated Supply of Vermicompost and Zinc-Eniched Compost with Two Graded Levels of Iron and Zinc on the Productivity of Geranium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *38*(19-20), 2581-2599.

Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1961). Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters," The University of California's Division of Agriculture Sciences, Davis, Calif, USA.

Chen, J. H. (2006). The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. In *International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use* (Vol. 16, No. 20, pp. 1-11). Land Development Department Bangkok Thailand.

Costa, C., Dwyer, L. M., Zhou, X., Dutilleul, P., Hamel, C., Reid, L. M., & Smith, D. L. (2002). Root morphology of contrasting maize genotypes. *Agronomy Journal*, *94*(1), 96-101.

Dunn, B. L., Singh, H., Payton, M., & Kincheloe, S. (2018). Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium on SPAD-502 and atLEAF sensor readings of Salvia. *Journal of Plant Nutrition*, *41*(13), 1674-1683.

Elliott, C. L., & Snyder, G. H. (1991). Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *39*(6), 1118-1119.

Essa, E. M., Abd El-Rheem, K. M., Yassen A. A., & Elsawy, A. M. (2019). Effect of Vermicompost and Sulfur on Growth, Yield and Nutritional Status of Tomato plants grown on Calcareous Soil. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*, *5*(2), 46-50

Gamalero, E., Trotta, A., Massa, N., Copetta, A., Martinotti, M. G., & Berta, G. (2004). Impact of two fluorescent pseudomonads and an arbuscular mycorrhizal fungus on tomato plant growth, root architecture and P acquisition. *Mycorrhiza*, *14*(3), 185-192.

Gee, G. W. & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, *5*, 383-411.

Ghanbari, A. A., Shakiba, M. R., Toorchi, M., & Choukan, R. (2013). Nitrogen changes in the leaves and accumulation of some minerals in the seeds of red, white and chitti beans ('Phaseolus vulgaris') under water deficit conditions. *Australian Journal of Crop Science*, *7*(5), 706.

He, Y., Pantigoso, H. A., Wu, Z., & Vivanco, J. M. (2019). Co-inoculation of Bacillus sp. and Pseudomonas putida at different development stages acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of tomato. *Journal of applied microbiology*, *127*(1), 196-207.

Hemke, P. H., & Spark, D. L. (1996). Potassium. 551-574. Sparks, DL et al., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, *54*(1), 87-92.

Inugraha, M., & Widaryanto, E. (2014). Response of Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni M) to nitrogen and potassium Fertilization. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, *7*(10), 47-55.

Jones Jr, J. B. (2007). Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden. CRC press.

Joshi, R., Singh, J., & Vig, A. P. (2015). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *14*(1), 137-159.

Kalbani, F.O.S.A. Salem, M.A. Cheruth, A.J. Kurup, S. S. and Kumar, A.S. (2016). Effect of some organic fertilizers on growth, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum*). *International Letters of Natural Sciences*,53, 1-9.

Kanr, R. Savage, G.P. and Diatta, P.C. (2002). Antioxidants vitamins in four commercially grown tomato cultivars. *Nutrition Society of New Zealand*, 27, 69–74.

Karimzadeh, J. Alikhani, H. A. Etesami, H. & Pourbabaei, A. A. (2020). Improved Phosphorus Uptake by Wheat Plant (Triticum aestivum L.) with Rhizosphere Fluorescent Pseudomonads Strains Under Water-Deficit Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-17.

Kashem, M. A., Sarker, A., Hossain, I., & Islam, M. S. (2015). Comparison of the effect of vermicompost and inorganic fertilizers on vegetative growth and fruit production of tomato (Solanum lycopersicum L.). *Open Journal of Soil Science*, *5*(02), 53.

Khadem-Moghadam, N. Motesharezadeh, B. & Maali-Amiri, R. (2016). Changes in antioxidative systems and membranes stability index of canola in response to saline soil and fertilizer treatment application, *Global Nest Journal*, *18*(3), 508-515.

Kheyri, N., Norouzi, A. H., Mobasser, H. R., & Torabi, B. (2018). Effect of different resources and methods of silicon and zinc application on agronomic traits, nutrient uptake and grain yield of rice (*Oriza sativa* L.) *Applies Ecology and Environmental Research*, *16*(5), 5781-5798.

Khosravi, A., Zarei, M., & Ronaghi, A. (2018). Effect of PGPR, phosphate sources and vermicompost on growth and nutrients uptake by lettuce in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, *41*(1), 80-89.

Krouk, G., Lacombe, B., Bielach, A., Perrine-Walker, F., Malinska, K., Mounier, E., & Zazimalova, E. (2010). Nitrate-regulated auxin transport by NRT1. 1 defines a mechanism for nutrient sensing in plants. *Developmental cell*, *18*(6), 927-937.

Kumar, M. & Kumar, K. (2019). Role of Bio-fertilizers.

www.SID.ir

Archive of SID

in vegetables production: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *8*(1), 328-334.

Lack, S. H., Kermanshahi, M., & Noryani, H. (2015). Variation trend of leaf area index, yield and yield components of green beans (*Phaseolous vulgaris* L.) by using zinc sulfate and nitrogen. 9(36(4)), 599-610. (In Farsi)

Lambers, H., Albornoz, F., Kotula, L., Laliberté, E., Ranathunge, K., Teste, F. P., & Zemunik, G. (2018). How belowground interactions contribute to the coexistence of mycorrhizal and non-mycorrhizal species in severely phosphorus-impoverished hyperdiverse ecosystems. *Plant and Soil*, *424*(1-2), 11-33.

Li, H., Li, M., Luo, J., Cao, X., Qu, L., Gai, Y., & Polle, A. (2012). N-fertilization has different effects on the growth, carbon and nitrogen physiology, and wood properties of slow-and fast-growing Populus species. *Journal of experimental botany*, *63*(17), 6173-6185.

Li, H., Zhu, Y., Hu, Y., Han, W., & Gong, H. (2015). Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. *Acta physiologiae plantarum*, *37*(4), 71.

Lindsay, W. L. & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper 1. *Soil science society of America journal*, *42*(3), 421-428.

Malakouti, M. J., & Tehrani, M. M. (1999). Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products (micro nutrients with macro effects). *Tarbiat Modares University publication, Iran.* (In Farsi)

Minolta, C. (1989). Manual for chlorophyll meter SPAD-502. *Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions*.

Narayanaswamy, C., & Prakash, N. B. (2009). Calibration and categorization of plant available silicon in rice soils of South India. *Journal of plant nutrition*, *32*(8), 1237-1254.

Nasrolahzadeh, S., Shirkhani, A., Zehtab salmasi, S., & choukan, R. (2016). Effects of Biofertilizer and Chemical Fertilizer on Maize Yield and leaf Characters in Different Irrigation Conditions. *Applied Field Crops Research, 29*(4), 72-86. (In Farsi)

Nelson, D. W. & Sommers, L. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter 1. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, (methodsofsoilan2), 539-579.

Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.

Prasad, R., & Power, J. (1995). Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environment. *Advances in Agronomy*, *54*, 233-281.

Qiao, X., He, Y., Wang, Z., Li, X., Zhang, K., & Zeng, H. (2014). Effect of foliar spray of zinc on chloroplast β-carbonic anhydrase expression and enzyme activity in rice (Oryza sativa L.) leaves. *Acta physiologiae plantarum*, *36*(2), 263-272.

Rashtbari, M. Alikhani, H. A. & Ghorchiani, M. (2012). Effect of vermicompost and municipal solid waste compost on growth and yield of canola under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, *2*(4), 395-402.

Razaq, M., Zhang, P., & Shen, H. L. (2017). Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of Acer mono. *PloS one*, *12*(2), e0171321.

Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, *5*, 417-435.

Ryan, J., Estefan, G., & Rashid, A. (2001). *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual*. ICARDA.

Sabijon, J. & Sudaria, M. A. (2018). Effect of vermicompost amendment and nitrogen levels on soil characteristics and growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* cv. Diamante max). *International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences*, *2*(2), 145-153.

Savci, S. (2012). An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1), 77-80.

Shahbazi, K., & Besharati, H. (2013). Overview of agricultural soil fertility status of Iran. *Land Management Journal*, *1*, 1-15.

Sharma, A. & Chetani, R. (2017). A review on the effect of organic and chemical fertilizers on plants. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, *5*(2), 677-680.

Singh, P., Singh, D., Singh, A. K., Singh, B. K., & Singh, T. (2020). Growth and Yield of Tomato Grown Under Organic and Inorganic Nutrient Management. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, *9*(3), 365-375.

Song, C. J., Ma, K. M., Qu, L. Y., Liu, Y., Xu, X. L., Fu, B. J., & Zhong, J. F. (2010). Interactive effects of water, nitrogen and phosphorus on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of Bauhinia faberi seedlings. *Journal of arid environments*, *74*(9), 1003-1012.

Songsri, P. Jogloy, S. Holbrook, C. C. Kesmala, T. Vorasoot, N. Akkasaeng, C. & Patanothai, A. (2009). Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. *Agricultural water management*, *96*(5), 790-798.

Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., & Summner, M. E. (1996). *Methods of soil analysis: chemical methods, part 3. ASA and SSSA, Madison, WI*.

Sturz, A. V., & Christie, B. R. (2003). Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil and Tillage Research*, *72*(2), 107-123.

www.SID.ir

Archive of SID

Tao, L., Guo, M. Y., Xu, D., & Ren, J. (2014). Effect of Zinc on Seed Germination, Coleoptile Growth and Root Elongation of Six Pulses. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 618, pp. 339-343). Trans Tech Publications Ltd.

Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods*, *5*, 475-490.

Tyburski, J., Dunajska, K., & Tretyn, A. (2010). A role for redox factors in shaping root architecture under phosphorus deficiency. *Plant signaling & behavior*, *5*(1), 64-66.

Ucar, E., Ozyigit, Y., Demirbas, A., Yasin Guven, D., & Turgut, K. (2017). Effect of different nitrogen doses on dry matter ratio, chlorophyll and macro/micro nutrient content in sweet herb (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *48*(10), 1231-1239.

Waraich, E. A., Ahmad, Z., Ahmad, R., Saifullah, & Ashraf, M. Y. (2015). Foliar applied phosphorous enhanced growth, chlorophyll contents, gas exchange attributes and PUE in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of plant nutrition*, *38*(12), 1929-1943.

Xu, C., & Mou, B. (2016). Vermicompost affects soil properties and spinach growth, physiology, and nutritional value. *HortScience*, *51*(7), 847-855.

Zamora, R. F. (2007). Fertilizer and water management for lowland rice production Undergrad Thesis ViSCA, Baybay.

Zand, B., Sorooshzadeh, A., Ghanati, F., & Moradi, F. (2014). Effect of zinc (Zn) and auxin (IBA) foliar application on phytohormonal variation and growth of corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Plant Biology, 6*(22), 63-76. (In Farsi)

Zhang, J., Yan, X., Su, F., Li, Z., Wang, Y., Wei, Y., & Hu, S. (2018). Long-term N and P additions alter the scaling of plant nitrogen to phosphorus in a Tibetan alpine meadow. *Science of the Total Environment*, *625*, 440-448.

Zhihui, W. E. N., Jianbo, S. H. E. N., Blackwell, M., Haigang, L. I., Bingqiang, Z. H. A. O., & Huimin, Y. U. A. N. (2016). Combined applications of nitrogen and phosphorus fertilizers with manure increase maize yield and nutrient uptake via stimulating root growth in a long-term experiment. *Pedosphere*, *26*(1), 62-73.

www.SID.ir