Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2022, Vol 5, No 10(2), Pages 53-71

doi: 10.22034/iuvs.2021.531030.1162 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

The Effect of Application Method and Biofertilizer Type on Some Morphophysiological, Biochemical and Yield Components Traits of Tomato Plant (*Solanum lycopersicum* L.)

Morteza Goldani[1], Seyyed Fazel Fazeli Kakhki[2] and Nasser Beikzadeh[2*]

1- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Assistant Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resoueces Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

[*]**Corresponding author:** beiczadeh@gmail.com

(**Received:** 25 May 2021 **Revise:** 11 August 2021 **Accepted:** 24 August 2021)

Extended Abstract

Introduction: Due to the increasing demand for organic products, the use of growth-promoting bacteria, which play an important role in the sustainability of agricultural ecosystems, has been considered for the last two decades, and there are limited studies to determine the best efficiency of their consumption method. Accordingly, this study was conducted to investigate the most effective method of application biofertilizers on morph physiological, biochemical and yield traits of Tomato plants in greenhouse conditions.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of consumption method and type of biofertilizers on morphophysiological, biochemical and yield traits of Tomato, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design in the Research Greenhouse Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education center in 2020. The first factor was three methods of application (seed inoculation with foliar feeding, foliar feeding and soil consumpation and the second factor was types of biofertilizer (control, nitroxin, biophosphate, fertile potassium and a mixture of nitroxin and biophosphorus (rate 1:1).

3. Results and discussion: Analysis of some physical and chemical properties of soil at the beginning and end of the experiment showed that the application of biofertilizers without the use of any chemical fertilizers improved soil fertility and high availability of macronutrient, which showed an improvement in soil health indices. The soil texture remained constant at the end of the experiment but the soil saturation percentage was increased which indicated an increase in the volume of water in the soil compared to the volume of pores during the test period. Almost all properties were better condition at the end of the experiment than at the beginning, including electrical conductivity and soil acidity, which decreased by about 0.5 and 0.3 units, respectively. The results showed that the maximum plant height (176 cm) was obtained by using a mixture of nitroxin and biophosphorus from soil application. The lowest dry plant weight (23.7 g) was recorded from non-use of biofertilizers and the use of a mixture of nitroxin and biophosphorus produced about 52% more dry weight of the plant in compare of control. The application of biofertilizers had a significant effect on increase dry weight of root, so that the root dry weight was increased about 53% in compare of control by using mixture of nitroxin and biophosphorus. In the soil application method with the application of all biofertilizers, the number of fruits per plant was more than 137, the highest of it (145) was obtained from a mixture of nitroxin and biophosphorus. The highest fruit weight per plant (449 g plant^{-1}) was obtained from the application of a mixture of nitroxin and biophosphorus in soil application. The highest amount of photosynthesis (18.2 µmol CO_2 m^{-2}s^{-1}) and stomatal conductance (20.0 mmol m^{-2}.s^{-1}) were obtained from the effect of combined nitroxin and biophosphorus fertilizer on seed inoculation and foliar feeding. The highest amount of lycopene (7.69 mg 100^{-1}g FW) and the amount of vitamin C (57.7 mg 100^{-1}g FW) were obtained from the soil consumption of nitroxin biofertilizer.

4. Conclusion: Increasing diversity in soil microorganisms leads to increased soil fertility. In soil application method, the metabolic activities of bacteria are improved due to the availability of suitable temperature, oxidation and reduction conditions, minerals, organic carbon as a source of energy and water, which leads to the release of nutrients from organic materials. The results showed that due to the high growth of bacteria in the presence of different substrates in the soil and the high surface-to-volume ratio in them, the use of biological fertilizers as soil application was increase morphological and physiological characteristics, yield traits of Tomato plant.

Keywords: Foliar spray, Fruit number per plant, Lycopene, Photosynthesis, Vitamin C.

Citation: Goldani, M., Fazeli Kakhki, S. F. & Beikzadeh, N. (2022). The effect of application method and biofertilizer type on some morphophysiological, biochemical and yield components traits of Tomato plant (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, 10(2), 53-71. doi: 10.22034/iuvs.2021.531030.1162

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۵، دوره ۱۰، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، صفحات (۷۱-۵۳)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2021.531030.1162

تأثیر روش مصرف و نوع کود زیستی بر صفات مورفوفیزیولوژیکی، اجزاء عملکرد و خصوصیات کیفی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)

مرتضی گلدانی[۱]، سید فاصل فاضلی کاخکی[۲] و ناصر بیک‌زاده[۲*]

۱- دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

[*]نویسنده مسئول: beiczadeh@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۴ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۰/۰۵/۲۰ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰/۰۶/۰۲)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر نحوه مصرف و نوع کودهای زیستی بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکردی گوجه‌فرنگی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در سال ۱۳۹۹ انجام شد. فاکتور اول شامل سه نحوه مصرف (تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی، تغذیه برگی و مصرف خاکی) و فاکتور دوم نیز شامل کودهای زیستی (شاهد، نیتروکسین، بیوفسفر، پتاس بارور و مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر) بود. نتایج نشان داد که کاربرد مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر سبب افزایش ارتفاع بوته و وزن متوسط میوه در بوته به‌ترتیب حدود ۴۴ و ۸۰ درصد نسبت به شاهد شد. در روش مصرف خاکی با کاربرد تمامی کودهای زیستی، تعداد میوه در بوته بیش از ۱۳۷ عدد مشاهده شد که بیشترین آن (۱۴۵ عدد) از مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر به‌دست آمد، همین تیمار نیز بیشترین مقدار عملکرد گوجه‌فرنگی در بوته (۴۴۹ گرم در بوته وزن میوه تر) را داشت. بیشترین مقدار فتوسنتز (۱۸/۲ میکرومول دی‌اکسید کربن در مترمربع در ثانیه) و هدایت روزنه‌ای (۲۰ میلی‌مول در مترمربع در ثانیه) از تأثیر کود تلفیقی نیتروکسین+ بیوفسفر تحت تلقیح بذری به همراه تغذیه برگی حاصل شد. استفاده از نحوه مصرف خاکی کود نیتروکسین بیشترین مقدار لیکوپن و ویتامین ث را داشت. به‌طور کلی نتایج نشان داد با توجه به توانایی رشد و متابولیسم بالا باکتری‌ها در خاک به‌علت وجود نسبت سطح به حجم بیشتر و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی، منجر به افزایش شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکردی در گوجه‌فرنگی شده است.

واژه‌های کلیدی: تغذیه برگی، تعداد میوه در بوته، فتوسنتز، لیکوپن، ویتامین ث.

استناد: گلدانی، م.، فاضلی‌کاخکی، س. ف. و بیک‌زاده، ن. (۱۴۰۰). تأثیر روش مصرف و نوع کود زیستی بر صفات مورفوفیزیولوژیکی، اجزاء عملکرد و خصوصیات کیفی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.). *علوم سبزی‌ها*، ۱۰(۲)، ۷۱-۵۳.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

باکتری‌های افزاینده رشد گیاه[1]، به گروهی از باکتری‌های محیط ریشه اطلاق می‌شود که شرایط را برای جذب بهتر عناصر غذایی از طریق ریشه فراهم می‌کنند. این باکتری‌ها که آزادزی و خاک‌زاد بوده و رشد گیاه را به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهند شامل نیتروژنوباکتر (*Azotobacter*)، استوباکتر (*Acetobacter*)، آزوسپیریلیوم (*Azospirillum*)، بورخلدریا (*Burkholderia*)، سودوموناس (*Pseudomonas*) و باسیلوس (*Bacillus*) می‌باشند (Guo *et al*., 2004). مکانیسم‌های غیرمستقیمی که این باکتری‌ها اعمال می‌کنند شامل تثبیت نیتروژن، محلول‌کردن فسفات، تولید سیانید هیدروژن (یکی از خصوصیات جنس سودوموناس با تأثیر ضد میکروبی) تولید هورمون‌های گیاهی (مانند اکسین، سیتوکنین و جیبرلین) و کاهش غلظت اتیلن است (Ahirwar *et al*., 2015). همچنین از سایر مکانیسم‌های غیرمستقیم این ریزموجودات مفید خاک‌زی می‌توان به اثر بازدارندگی آن‌ها بر ریزموجوداتی که تأثیر منفی بر رشد گیاه دارند، نام برد. سیدروفورها که به‌وسیله باکتری‌های افزاینده رشد تولید می‌شوند، نسبت به یون‌های آهن وابستگی زیادی دارند و توانایی حل‌کردن و استخراج یون‌های آهن را از ترکیبات معدنی و آلی دارند. بنابراین توانایی گیاه برای جذب آهن افزایش می‌یابد (Maheshwari, 2015). نیتروژنوباکترها، آزادزی، هوازی اجباری و به شکل بیضی یا کروی هستند و اشکال میله‌ای در برخی گونه‌ها وجود دارد. این باکتری‌ها نیتروژن اتمسفر را برای سنتز پروتئین سلولی خود استفاده می‌کنند و این پروتئین سلولی پس از مرگ سلول‌های باکتری در خاک معدنی می‌شود و بدین ترتیب نیتروژن برای گیاهان در دسترس قرار می‌گیرد. به‌طور متوسط سالانه بین ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار توسط این باکتری‌ها تثبیت می‌شود (Zaidi & Khan, 2017). بهبود عملکرد در گیاهان را به سنتز ترکیبات- باکتریایی، دسترسی آسان به مواد غذایی و جذب و تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین، سیتوکنین، اتیلن و جیبرلین نسبت می‌دهند. همچنین این باکتری‌ها از طریق متحرک ساختن مواد غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و بهبود ساختمان خاک نقش مهمی در رشد و نمو گیاه دارند (Gutpa *et al*., 2015). نتایج مطالعه Phukan و همکاران (۲۰۱۶) در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) نشان داد که استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه به‌صورت تلقیح با بذر، سبب افزایش ۲۱۱ درصدی زیست‌توده، ۲۴۶ درصدی وزن ریشه، ۶ درصدی تعداد گل و ۴ درصدی تعداد میوه نسبت به شاهد شد. نتایج تجزیه مولکولی فرآورده‌های باکتری *Bacillus circulants* که از خاک باغات سیب (*Malus* sp.) در هند استخراج شده بود نشان داد که این فرآورده‌ها علاوه بر این که دارای موادی از قبیل اکسین، آنزیم ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱- کربوکسیلات دآمیناز و سیدروفور هستند، دارای فعالیت نتیروژناز و ضد قارچ *Dematophora nectarix* نیز هستند. تلقیح بذر گوجه‌فرنگی با این باکتری سبب افزایش ۱۸ درصدی نیتروژن، ۵۷ درصدی پتاسیم و ۲۲ درصدی فسفر در زیست‌توده نسبت به شاهد شد (Mehta *et al*., 2014). نتایج مطالعه Delfin و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که در بین واریته‌های گوجه‌فرنگی پاسخ رشدی متفاوتی به تلقیح بذر با باکترهای افزاینده رشد گیاه وجود دارد به‌طوری‌که در برخی سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی و برخی سبب افزایش آن شد. با این‌حال بذور گوجه‌فرنگی هیبرید، عملکرد بیشتری بین ۱۹ تا ۲۷ درصد در پاسخ به تلقیح بذر با باکتری‌های افزاینده رشد گیاه را نسبت به سایر باکتری‌ها نشان دادند. نتایج مطالعه Jahan و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که استفاده از کودهای زیستی بیوفسفر در کنجد (*Sesamum indicum* L.) در مقایسه با تیمار عدم‌مصرف بیوفسفر و شاهد، کارایی مصرف نور را ۴۶

1. Plant Growth Promoting Rhizobacteria; PGPR

درصد بیشتر کرد.

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یک محصول با ارزش غذایی است و بعد از سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بیشترین محبوبیت را در دنیا دارد. با توجه به افزایش تقاضا برای مصرف محصولات ارگانیک، استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد که نقش مهمی در پایداری اکوسیستم‌های زراعی دارند از دو دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است و مطالعات محدودی در خصوص تعیین بهترین کارایی شیوه مصرف آن‌ها وجود دارد. بر این اساس، این مطالعه به‌منظور بررسی و انتخاب بهترین و مؤثرترین روش کاربرد انواع کودهای زیستی تجاری موجود بر صفات مورفولوژیک و عملکردی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی و انتخاب بهترین کود زیستی تجاری موجود و مؤثرترین نحوه مصرف آن‌ها بر صفات مورفولوژیکی و عملکردی گوجه‌فرنگی در گلخانه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در بهار سال ۱۳۹۹ انجام شد. فاکتور اول شامل سه نحوه مصرف (تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی، تغذیه برگی و مصرف خاکی) و فاکتور دوم نیز شامل کودهای زیستی (شاهد یا بدون کود، نیتروکسین (*Azospirillum sp, Azotobacter sp*)، بیوفسفر (*Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp)، پتاس بارور (*Thiobacillus* sp) و مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر (به نسبت ۱:۱) بود.

بذور گوجه‌فرنگی چری رقم جگوار متعلق به شرکت US Agriseeds در سینی‌های کشت حاوی کوکوپیت کشت گردید و بوته‌ها پس از رسیدن به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری، به گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی حاوی خاکی با بافت و ساختمان یکسان شامل رس، ماسه و شن به نسبت ۱:۱:۱ منتقل شدند. در هر گلدان تعداد سه نشاء گوجه‌فرنگی کشت شد. نتایج آزمایش خاک بستر کشت در جدول ۱ بیان شده است. هیچ نوع کود شیمیایی و یا دامی به بستر کشت اضافه نشد. کودهای زیستی نیتروکسین+ بیوفسفر به‌صورت مایع و در بسته‌بندی یک لیتری از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا تهیه شد و کود پتاس بارور در بسته‌بندی چهار لیتری از شرکت دانش‌بنیان خوشه پروران زیست‌فناور دایان تهیه گردید. بر اساس توصیه برند تولیدکننده کودها در هر میلی‌لیتر آن، 10^7 عدد باکتری زنده و فعال وجود داشت از همین معیار برای ادامه کار استفاده شد و مجدداً به‌دلیل جدید بودن کودهای گرفته شده، آزمایش تعداد باکتری در آزمایشگاه انجام نشد. برای نحوه مصرف به‌صورت ترکیب بذر به همراه باکتری، بذور قبل از کاشت با کودهای مذکور آغشته شده و به روش استاندارد، به دور از نور مستقیم و نیز رعایت توصیه‌های شرکت تولیدکننده، تلقیح انجام شد (Ali *et al*., 2019). مقدار کود زیستی استفاده شده برای تیمار تغذیه برگی بر اساس مرحله رشد گیاه تعیین شد به‌طوری‌که یک هفته پس از استقرار گیاهچه‌ها، برای هر گیاه ۳۰ میلی‌لیتر کود به نسبت پنج در هزار محلول‌پاشی گردید و یک‌ماه بعد، این مقدار به ۵۰ میلی‌لیتر رسید و با افزایش ارتفاع گیاه، مقدار محلول مصرفی برای هر بوته به گونه‌ای بود که سطح برگ‌ها کاملاً خیس گردید. در طول دوره رشد چهار مرحله محلول‌پاشی انجام شد. در روش مصرف خاکی، برابر با مقدار مورد استفاده در تیمار تغذیه برگی، کود زیستی به پای بوته اضافه گردید.

در انتهای آزمایش (۱۳۹۹/۰۸/۱۵)، بوته‌ها از سطح خاک کف‌بر شده و صفات شامل وزن تر و خشک اندام هوایی، تعداد میوه در بوته، طول و عرض میوه، وزن تر و خشک میوه، وزن تر و خشک ریشه و ارتفاع اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی هدایت روزنه‌ای از دستگاه پرومتر (Leaf Prometer, Model SC-1, Decagon Devices) و مقدار فتوسنتز از دستگاه فتوسنتزمتر (LCA4, ADC Biosentetic) بر روی برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته و جوان در ساعت ۱۲-۱۰ و در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و در اوایل رشد زایشی و شکل‌گیری میوه‌دهی استفاده گردید. همچنین در همین زمان شاخص کلروفیل نیز با

استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD 502, Minolta Japan) استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقدار لیکوپن از روش Shahzad و همکاران (۲۰۱۴) و برای اندازه‌گیری مقدار ویتامین ث از روش Rezvani و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها در آون (آون الکتریکی آلمانی مدل Memmert 854) با دمای ۷۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده و سپس وزن شدند. در پایان آزمایش از تیمار مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر در روش مصرف خاکی نمونه‌برداری و نتایج آزمایش خاک آن در جدول ۲ آمده است. بعد از کف بر کردن بوته‌ها خاک‌های سه تکرار با هم مخلوط و ریشه کاملاً جدا شد و خاک الک و سپس یک نمونه تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد.

داده‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab16 و MSTATC آنالیز واریانس شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و نمودارها با نرم افزار Excel ترسیم شدند.

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر کاشت در ابتدای آزمایش

Table 1- Results of physical and chemical properties of the growing media at the beginning of the experiment

شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (dSm^{-1})	pH	مواد آلی OM (٪)	اشباع Saturation (٪)	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
34	48	18	لوم	1.55	7.4	1.33	29.3	0.08	5.06	245

نتایج و بحث

خاک و عناصر غذایی

تجزیه و تحلیل برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در ابتدا آزمایش (از تیمار شاهد) و انتهای آزمایش (از تیمار کاربرد مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر به روش خاک مصرف) نشان داد که کاربرد کودهای زیستی بدون استفاده از هر نوع کود شیمیایی باعث بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک و عناصر پرمصرف گردید (جداول ۱ و ۲) که نشان‌دهنده بهبود شاخص سلامت خاک بود. علت استفاده از تیمار کاربرد مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر به روش خاک مصرف برای انجام آزمایش، این بود که بسیاری از صفات مورد مطالعه از تأثیر همین تیمار حاصل شده بود. مقدار بافت خاک در انتهای آزمایش ثابت ماند؛ اما درصد اشباع افزایش داشت که نشان‌دهنده افزایش حجم آب موجود در خاک نسبت به حجم منافذ در طول دوره آزمایش بود (جداول ۱ و ۲). تقریباً تمامی خصوصیات در پایان آزمایش نسبت به شروع آن از وضعیت بهتری برخوردار بودند از جمله هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک که به‌ترتیب در حدود ۰/۵ و ۰/۳ واحد کاهش داشتند (جداول ۱ و ۲). تنها مقدار پتاسیم خاک در انتهای آزمایش نسبت به شروع آن کاهش نشان داد که شاید بتوان علت آن را به‌دلیل اثرات متقابل منفی (آنتاگونیستی) پتاسیم با افزایش مقدار نیتروژن و فسفر در خاک دانست. با افزایش آزادسازی نیتروژن و فسفر توسط میکروارگانیسم‌ها، سبب افزایش غلظت یون‌های Mg^{2+} و Ca^{2+} در محلول خاک شده که این عناصر می‌توانند جایگزین یون K^{+} در محلول خاک شده و بنابراین بخش از پتاسیم به‌دلیل زهکش‌شدن از دسترس گیاه خارج می‌شود، از طرفی این تأثیر منفی بین پتاسیم و نیتروژن وابسته به غلظت هم می‌باشد به‌طوری‌که میزان ورودی پتاسیم به گیاه زمانی‌که غلظت نیتروژن در محیط افزایش می‌یابد، محدود می‌شود (Zhang *et al.*, 2010). به‌علاوه میزان نیاز به پتاسیم در گیاه گوجه‌فرنگی در زمان تشکیل میوه حداکثر بوده و غلظت مطلوب آن در برگ‌های روبه‌روی میوه، در محدوده ۶ تا ۱۰ درصد می‌باشد (Malakouti & Gheybi, 1997). گزارش شده که حداکثر عملکرد تولید گوجه‌فرنگی با مصـرف ۱۱۰ کـیلوگرم پتاسیم در هکتار به‌دست می‌آید

اما برای حداکثر محتوای ویتامین ث، به ۵۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار نیاز می‌باشد (Ahmad *et al.*, 2015). از طرفی دیگر، افزایش دمای خاک و گرم شدن تابستان باعث آزادشدن پتاسیم و بهبود شرایط جذب آن از خاک می‌شود. بنابراین در دسترس بودن آن بهبود می‌یابد (Jackson & Luo, 1986). پتاسیم نقش مهمی در افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری دارد، بنابراین در انتهای آزمایش با شدت بیشتری توسط گیاه جذب شده و در خاک کاهش می‌یابد (جدول ۲).

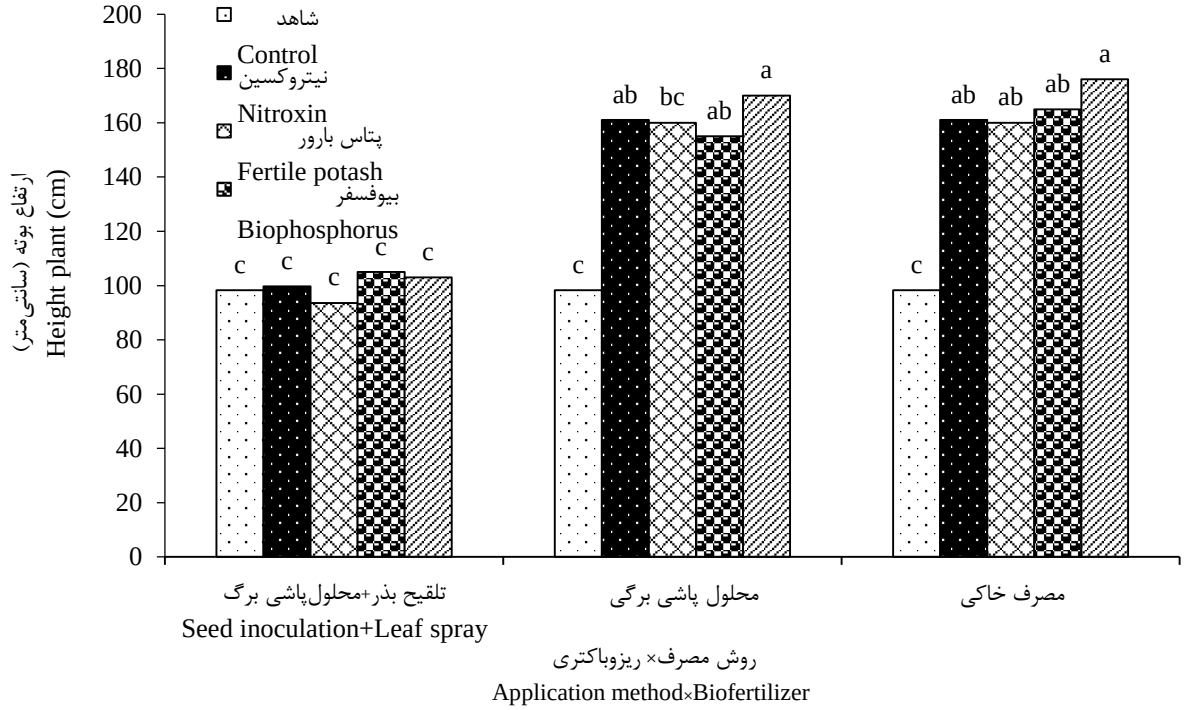
جدول ۲- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر کاشت در پایان آزمایش در تیمار مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر در روش خاک مصرف

Table 2- Results of physical and chemical properties of the growing media at the end of the experiment from mix nitroxcin and biophosphor fertilizer in soil consumpation.

پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن N (%)	اشباع Saturation (٪)	مواد آلی OM (٪)	pH	هدایت الکتریکی EC (dSm^{-1})	بافت خاک Soil texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
211	7.1	0.1	33.3	1.42	7.1	1.06	لوم	21	45	34

ارتفاع بوته

نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که استفاده از مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر به‌صورت مصرف خاکی، بیشترین ارتفاع بوته (۱۷۶ سانتی‌متر) را داشت که نسبت به اعمال این ترکیب کودی در دو تیمار تغذیه برگی و ترکیب تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی به‌ترتیب حدود ۴ و ۴۱ درصد افزایش نشان داد. در روش مصرف خاکی در تمام تیمارهای کود زیستی، ارتفاع به‌دست آمده اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین ارتفاع بوته از تیمار ترکیب تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی و استفاده از کود پتاس بارور حاصل شد. در نحوه مصرف ترکیب تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی با استفاده از تمام تیمارهای کودی، ارتفاع بوته بین ۹۳ تا ۱۰۵ سانتی‌متر حاصل شد (شکل ۱).



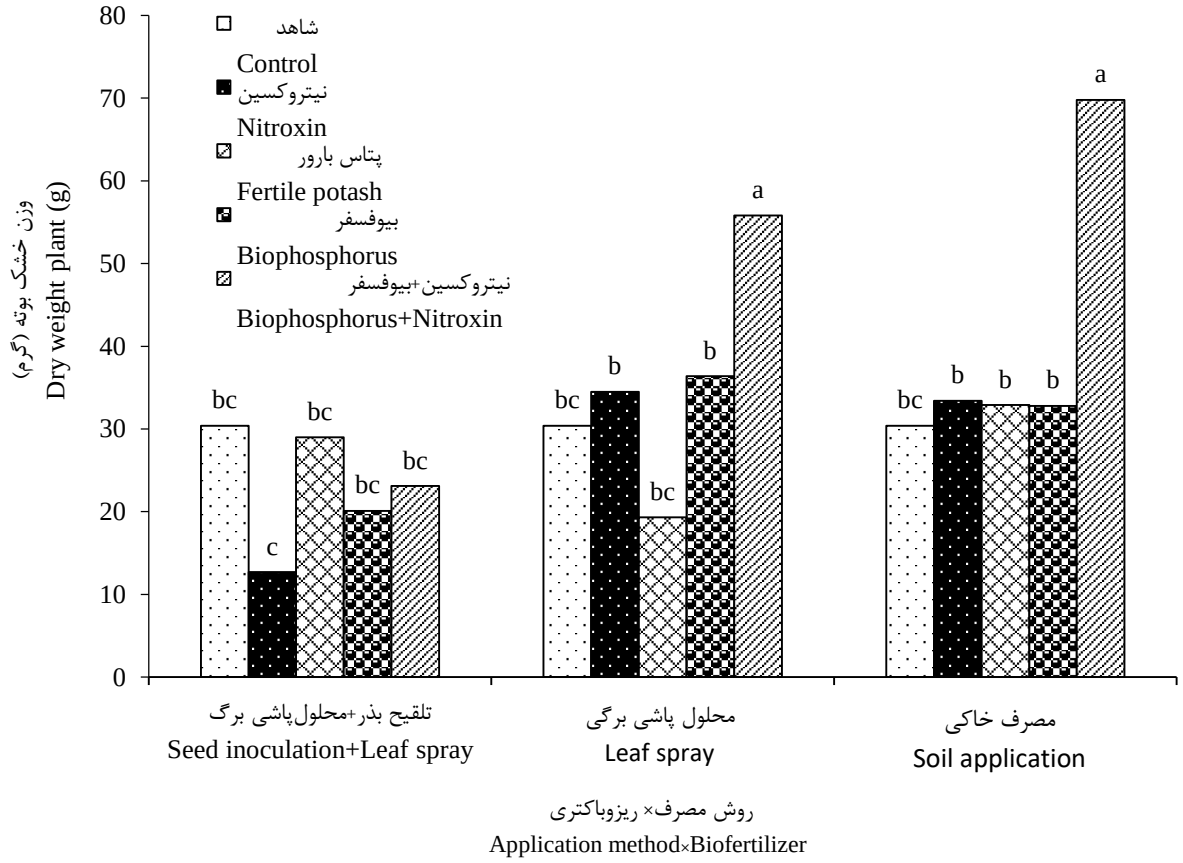
شکل ۱- نتایج برهمکنش نحوه مصرف و نوع کود مصرفی بر ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی

Figure 1- Results of the interaction between the application method and the type of the used fertilizer on the height of the Tomato plant

در مطالعه Bellishree و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه به‌ویژه جنس باسیلوس، سبب افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گوجه‌فرنگی گردید و گونه *B. subtilis* و سویه BCA-6 بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را در طی جوانه‌زنی در گوجه‌فرنگی تولید کرد. از طرفی دیگر Meena و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که در نحوه مصرف خاکی امکان تلفیق گونه‌های جنس‌های نیتروژنوباکتر، آزوسپیریلیوم و اکتینومایست‌ها با یکدیگر وجود داشته که علاوه بر افزایش خاصیت هم‌افزایی، موجب افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی شده است. به‌نظر می‌رسد اضافه شدن باکتری‌های افزاینده رشد به‌صورت کود زیستی به اندازه ۱۰ درصد جمعیت میکروبی خاک، سبب افزایش فعالیت‌های ترشحی آنزیمی در خاک شده و علاوه بر فراهم نمودن شرایط برای جذب بیشتر عناصر غذایی، در طی فرآیند فتوسنتز جهت ساخت دیواره‌های سلولی در طی تورژسانس سلولی در گوجه‌فرنگی مواد بیشتری جذب شده و باعث افزایش ارتفاع گیاه شده است (Hassan *et al*., 2014).

وزن خشک بوته

در شیوه مصرف مصرف خاکی و تغذیه برگی، بیشترین وزن خشک بوته از تأثیر مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر حاصل شد. در این صفت نیز همه داده‌های حاصل از تیمار ترکیب تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی، اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. دامنه وزن خشک بوته حاصل از برهمکنش تیمارها بین۱۲/۷ تا ۶۹/۸ گرم متفاوت بود (شکل ۲).



شکل ۲- نتایج برهمکنش تأثیر نحوه مصرف و تیمار کودهای زیستی بر وزن خشک بوته گوجه‌فرنگی

Figure 2- Results of the interaction of the effect of application method and treatment of biofertilizer on dry weight of Tomato plant

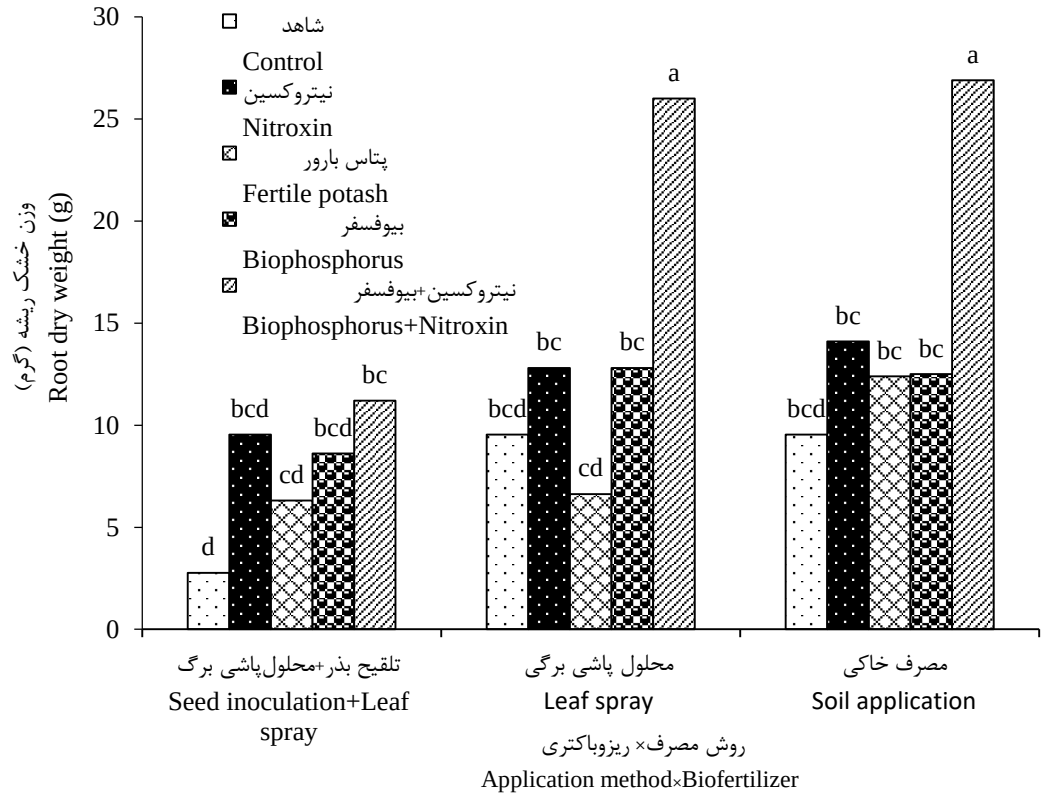
علت این دامنه افزایش را می‌توان در سرعت معدنی شدن عناصر غذایی توسط آنزیم‌های مترشحه از میکروارگانیسم‌های خاک تفسیر کرد، برای مثال در معدنی‌شدن پروتئین‌ها در خاک آنزیم‌های پپتیداز و یا پروتئیناز، پیوند پپتیدی بین اسیدهای آمینه را شکسته و اسیدآمینه آزاد که منبع انرژی، کربن و یا نیتروژن برای گیاه هستند مهیا می‌کنند و یا تجزیه نوکلئوتیدها و تولید اوره که یک منبع کود جامع نیتروژنی برای گیاه است توسط گروهی از آنزیم‌ها از قبیل اوره‌آز و نوکلئازها از باکتری‌ها ترشح می‌شوند و شرایط را برای تسریع رشد گیاه فراهم می‌آورند (Lakzian *et al*., 2004) و این افزایش دامنه را می‌توان به این ویژگی باکتری‌ها در خاک نسبت داد. نتایج مطالعه Almaghrabi و همکاران (۲۰۱۳) در کاربرد شش گونه باکتری افزاینده رشد گیاه شامل *Pseudomonas putida*، *P. fluorescens*، *Serratia marcescens*، *Bacillus amyloliquefaciens*، *B. subtilis* و *B. cereus* برای رشد گوجه‌فرنگی نشان داد که وزن خشک تولیدی به‌ترتیب ۳۴/۳، ۳۰، ۴۳، ۳۱/۶، ۲۹ و ۲۷ گرم در بوته بود. در مطالعه دیگری Hassan و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد به‌ویژه سویه TAN1 در گوجه‌فرنگی سبب افزایش ۷/۱۸ برابری وزن تر اندام هوایی و ۱۲/۶ برابری وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شاهد شده است. نتایج مطالعه Bolandnazar و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که استفاده از کودهای حاوی باکتری نیتروژنوباکتر و سودوموناس سبب افزایش غلظت نیتروژن و فسفر در گیاه تره ایرانی (*Allium ampeloprasum* spp. Persicum) نسبت به شاهد گردید. در مطالعه Kalantari Khandani و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شد که تلقیح بذور کنجد با کودهای نیتروکسین+ بیوفسفر در ۱۰۰ روز پس از کاشت در مقایسه با مصرف جداگانه آن‌ها و شاهد، سرعت آسیمیلاسیون خالص را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. به‌نظر می‌رسد این باکتری‌ها از طریق تولید موادی همانند اسید اگزالیک می‌توانند در حل‌کردن فسفات و ترکیبات آهن مؤثر بوده و زمینه جذب آن‌ها را فراهم نمایند و همچنین با تثبیت بیولوژیکی نیتروژن که یکی از عناصر پر مصرف در فرآیندها و مولکول‌های ساختمانی گیاه است توسط این باکتری‌ها، زمینه مساعد شدن سرعت آسیمیلاسیون بیشتر و رشد اندام‌های هوایی گیاه فراهم شده و وزن گیاه افزایش می‌یابد (Lakzian *et al*., 2004).

وزن خشک ریشه

نتایج شکل ۳ نشان داد که در هر سه نحوه مصرف، شاهد کمترین مقدار وزن خشک ریشه را داشت. بیشترین وزن خشک ریشه (۲۶/۹ گرم در بوته) از تأثیر کاربرد مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر به‌صورت خاک مصرف حاصل شد و تأثیر کاربرد مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر به‌صورت تغذیه برگی در رتبه دوم قرار گرفت که اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند و عدم استفاده از کود زیستی در هر سه تیمار نحوه مصرف، کمترین وزن خشک ریشه را داشت. با استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین، پتاس بارور و بیوفسفر به‌صورت مصرف خاکی، مقدار وزن خشک ریشه به‌ترتیب ۱۴/۱، ۱۲/۴ و ۱۲/۵ گرم در بوته شد که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۳).

نتایج مطالعه Turan و همکاران (۲۰۰۷) در گوجه‌فرنگی نشان داد که استفاده همزمان از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کود سوپرفسفات تریپل منجر به تولید بیشترین وزن خشک ریشه و ساقه در گوجه‌فرنگی شد. نتایج مطالعه Mohammadpour Vashvaei و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که ترکیب نیتروکسین+ بیوفسفر در گیاه چای‌ترش (*Hibiscus sabdariffa*) باعث بهبود وزن تر و خشک ریشه در مقایسه با شاهد شد. افزایش طول ریشه بر اثر تلقیح بذور ارزن ژاپنی (*Echinochola frumentacea* L.) با باکتری‌های آزوسپیریلیوم و نیتروژنوباکتر توسط Chandrasekar و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش شده است. باکتری‌های محرک رشد از طریق تولید موادی مانند ایندول استیک اسید، جیبرلین، سیتوکنین و ویتامین‌های گروه ب سبب بهبود پتانسیل ریشه‌زایی، طویل شدن ریشه‌ها و ریشه‌های جانبی شده و در نتیجه

جذب عناصر غذایی در گیاه بهبود می‌یابد. با توجه به مطالعه Vaikuntapu و همکاران (۲۰۱۴) باکتری‌های افزاینده رشد گیاه در روش مصرف خاکی از طریق ترشح آنزیم ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱- کربوکسیلات دآمیناز از رشد عوامل بیماری‌زای قارچی در محیط ریشه در گوجه‌فرنگی جلوگیری کرده‌اند. بنابراین به‌نظر می‌رسد احتمالاً یکی از دلایل افزایش وزن خشک ریشه در شیوه مصرف خاکی، مساعد شدن شرایط رشدی ریشه از طریق جذب بهتر عناصر غذایی و اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه باشد.



شکل ۳- نتایج برهمکنش تاثیر نحوه مصرف و تیمار کودهای زیستی بر وزن خشک ریشه گوجه فرنگی

Figure 3- Results of the interaction of the effect of application method and treatment of biofertilizer on root dry weight of Tomato

تعداد میوه در بوته

بر اساس جدول ۳، تعداد میوه در دامنه ۳۷/۳ تا ۱۴۵ عدد قرار داشت. در تیمارهای شاهد، نیتروکسین و پتاس بارور در روش مصرف ترکیب تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی، تعداد میوه در بوته زیر ۶۰ عدد بود و در بقیه تیمارها تعداد میوه از ۱۰۰ عدد در بوته بیشتر شد. آنچه قابل‌تأمل است این که در کاربرد تمامی کودهای زیستی به روش مصرف خاکی، تعداد میوه در بوته بیشتر از ۱۳۷ عدد مشاهده شد که بیشترین آن (۱۴۵ عدد) از ترکیب نیتروکسین+ بیوفسفر به‌دست آمد (جدول ۳).

نتایج مطالعه Amiri و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که تعداد میوه در بوته گوجه‌فرنگی در دوره مورد آزمایش در کاربرد کودهای زیستی نیتروکسین، بیوفسفر و مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر (به روش تلقیح نشاءهای گوجه‌فرنگی با کودهای زیستی) به‌ترتیب ۱۱/۵۲، ۱۱/۵۵ و ۱۲/۸۸ بود که از لحاظ آماری معنی‌دار بود. در مطالعه دیگری کاربرد کود زیستی سبب افزایش تعداد گل و تعداد میوه در گوجه‌فرنگی شد به‌طوری‌که بیشترین آن از تأثیر باکتری سودوموناس به‌دست آمد (Phukan *et al*., 2016). در گزارشی

عنوان شد که استفاده توأم باکتری‌های افزاینده رشد می‌تواند رابطه هم‌افزایی و تشدیدکنندگی برقرار نماید که منجر به افزایش اثرات مفید آن‌ها در رشد گیاه و در نهایت تولید محصول بیشتر می‌شود (Nezarat & Gholami, 2009). همچنین Ahmed و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، سبب کاهش برداشت اضافی عناصر معدنی از خاک در بستر تولید گوجه‌فرنگی می‌شوند، از این‌رو، این ریزموجودات خاک‌زی به‌عنوان یک راهکار در تولید زراعی مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌نظر می‌رسد کودهای زیستی با توجه به نقش آن‌ها در پایداری اکوسیستم‌های خاکی، زمینه جذب بهینه عناصر غذایی را فراهم آورده و سبب افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی شده‌اند.

طول و عرض میوه

بیشترین عرض میوه (۱/۴۶ سانتی‌متر) از تأثیر کاربرد مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر با روش تغذیه برگی به‌دست آمد و کمترین آن (۰/۸۷۷ سانتی‌متر) در شاهد و روش مصرف تلقیح بذر و محلول پاشی مشاهده شد (جدول ۳). طول میوه تحت تأثیر هیچ یک از تیمارهای آزمایشی معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج مطالعه Rezvani Moghadam و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که کاربرد نیتروکسین سبب افزایش معنی‌دار طول و قطر سوخک به‌مقدار ۱۳ و ۸ درصد نسبت به شاهد در گیاه سیر (*Allium sativum*) شد. به‌نظر می‌رسد تأثیر هورمونی القا شده در گیاه توسط باکتری‌های افزاینده رشد سبب ایجاد تغییراتی در مورفولوژی میوه شده باشد.

وزن تر و خشک میوه

نتایج برهمکنش نحوه مصرف در کود زیستی نشان داد که دامنه وزن تر میوه بین ۰/۶۶۳ تا ۳/۱۶ گرم و دامنه وزن خشک میوه نیز از ۰/۴۹۶ تا ۱/۷۴ گرم در میوه متغیر بود. در هر دو صفت مورد بررسی، شاهد کمترین و تیمار مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر بیشترین مقدار را داشت. آنچه قابل‌توجه بود این که در تمام تیمارهایی که در آن‌ها وزن تر در رتبه اول قرار داشت، وزن خشک هم همان روند را نشان داد. با این‌حال در نحوه مصرف ترکیب تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی، مقدار وزن خشک میوه کمتر از ۱ گرم بود، در صورتی‌که در دو روش مصرف تغذیه برگی و مصرف خاکی، تنها در شاهد مقدار وزن خشک میوه کمتر از ۱ گرم مشاهده شد و در بقیه تیمارهای کود زیستی، مقدار وزن خشک میوه بیشتر از ۱ گرم مشاهده شد (جدول ۳).

بررسی‌ها نشان می‌دهد میکروارگانیسم از طریق ترشح ترکیباتی به رشد هم کمک نمایند در نتیجه سبب افزایش ترکیباتی مانند اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و فاکتورهای رشد در محیط می‌گردد. از طرفی طی فرآیند معدنی شدن که معمولاً به‌وسیله آنزیم‌های مترشحه از گونه‌های مختلف باکتری‌های محیط ریشه اتفاق می‌افتد مولکول‌های بزرگ به واحدهای سازنده و سپس این واحدهای سازنده به یون‌های منفرد شکسته شده و شرایط را برای جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را فراهم می‌آورند (Lakzian *et al*., 2004) و انتظار افزایش رشد و نمو را به‌دنبال دارد و این موضوع در تأثیر سینرژیستی دو نوع کود نیتروکسین+ بیوفسفر در افزایش وزن تر میوه نسبت به شاهد مشاهده می‌شود. نتایج مطالعه Amiri و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که در گوجه‌فرنگی کاربرد مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر بعد از ترکیب کود شیمیایی و کود مرغی، وزن میوه در بوته بیشتری را تولید کرد که اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی و مرغی نداشت با این‌حال با استفاده جداگانه از این دو نوع کود زیستی، مقدار وزن میوه در بوته بیشتری به‌دست آمده بود. در همین آزمایش، آن‌ها اظهار داشتند که شاخص کلروفیل در مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر، ۴ درصد بیشتر از شاهد بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که آهن یک کوفاکتور حیاتی در بسیاری از فرآیندها همانند فتوسنتز است. باکتری‌های گروه سودوموناس می‌توانند از طریق تولید سیدروفورها از تکثیر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا که آهن سه ظرفیتی (Fe^{+3}) را در اطراف ریشه به‌صورت باندهای کلاته شده درمی‌آورند جلوگیری کرده و این سیدروفورها با آهن سه ظرفیتی باند شده و کمپلکسی را در سطح سلول باکتری به‌نام سیدروفور- فریک تولید

کرده و این کمپلکس در داخل سیتوپلاسم، آهن سه ظرفیتی را آزاد و یون آهن دو ظرفیتی را تولید می‌کند و سلول‌های گیاهی از این منبع سیدروفور باکتری‌ها به‌عنوان منبع آهن استفاده می‌کنند (Mehnaz, 2013). بنابراین افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی ناشی از فراهم شدن اجزای آن، منجر به تولید آسیمیلات لازم شده و در نتیجه در نحوه انتقال مواد به بخش زایشی، ترجیحی به‌وجود می‌آید. بر این اساس سینک (محل مصرف) میوه، قابلیت پذیرش بیشتری پیدا کرده و وزن تر و خشک آن افزایش می‌یابد.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش روش مصرف و کود زیستی بر برخی صفات خصوصیات میوه گوجه‌فرنگی
Table 3- Mean comparison of interaction of application method and biofertilizer on some fruit triats of Tomato plant

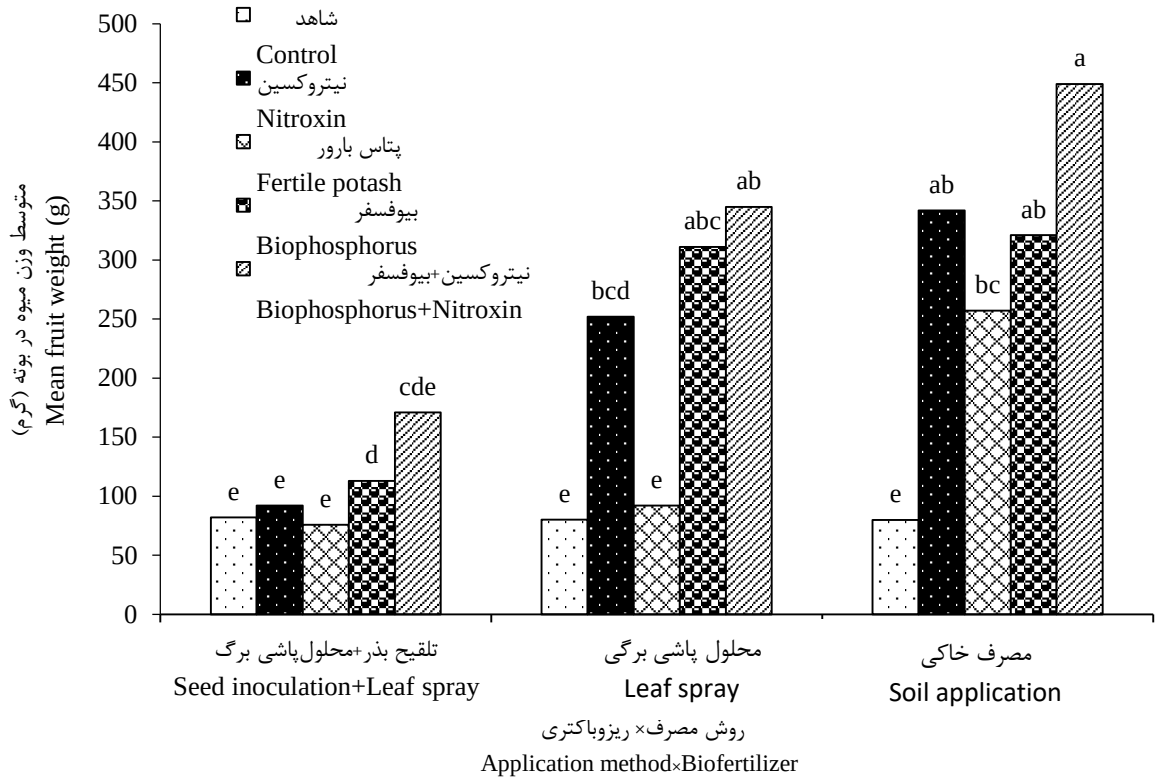
روش مصرف Application method	کود زیستی Biofertilizer	تعداد میوه در بوته No of fruit plant	وزن متوسط خشک یک میوه (گرم) Fruit dry weight (g)	وزن متوسط تر یک میوه (گرم) Fruit wet weight (g)	عرض میوه (سانتی‌متر) Fruit width (cm)	طول میوه (سانتی‌متر) Fruit length (cm)
تلقیح بذر+محلول‌پاشی برگ Seed inoculation+Leaf spray	شاهد Control	37.3^{c}	0.496^{cd}	0.633^{d}	0.877^{b}	1.31^{a}
	نیتروکسین Nitroxin	40.3^{c}	0.939^{abcd}	2.24^{abcd}	1.3^{ab}	2.04^{a}
	پتاس بارور Fertile potash	59^{bc}	0.903^{abcd}	1.31^{bcd}	1.07^{ab}	1.77^{a}
	بیوفسفر Biophosphorus	104^{ab}	0.865^{bcd}	2.5^{abc}	1.32^{ab}	2.08^{a}
	نیتروکسین+بیوفسفر Biophosphorus+Nitroxin	131^{a}	0.465^{d}	1.09^{cd}	1.04^{ab}	1.52^{a}
محلول‌پاشی برگ Leaf spray	شاهد Control	131^{a}	0.496^{cd}	0.633^{d}	0.877^{b}	1.31^{a}
	نیتروکسین Nitroxin	129^{a}	1.69^{ab}	1.94^{abcd}	1.39^{ab}	1.9^{a}
	پتاس بارور Fertile potash	120^{a}	1.12^{abcd}	1.52^{abcd}	1.2^{ab}	1.56^{a}
	بیوفسفر Biophosphorus	128^{a}	1.31^{abc}	2.15^{abcd}	1.35^{ab}	2.11^{a}
	نیتروکسین+بیوفسفر Biophosphorus+Nitroxin	138^{a}	1.44^{ab}	2.49^{abc}	1.46^{a}	2.12^{a}
مصرف خاکی Soil application	شاهد Control	131^{a}	0.496^{cd}	0.633^{d}	0.877^{b}	1.31^{a}
	نیتروکسین Nitroxin	143^{a}	1.42^{ab}	3.6^{ab}	1.36^{ab}	1.72^{a}
	پتاس بارور Fertile potash	144^{a}	1.15^{abcd}	2.64^{abc}	1.4^{ab}	2.15^{a}
	بیوفسفر Biophosphorus	137^{a}	1.11^{abcd}	1.62^{abcd}	1.13^{ab}	1.91^{a}
	نیتروکسین+بیوفسفر Biophosphorus+Nitroxin	145^{a}	1.74^{a}	3.16^{a}	1.4^{ab}	2.2^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند
Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan's test (P<0.05)

وزن متوسط میوه در بوته

نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که به غیر از شاهد، کاربرد تمامی کودهای زیستی به‌صورت مصرف خاکی باعث افزایش قابل‌توجه وزن متوسط میوه در بوته شد، که این مورد در سایر تیمارها مشاهده نگردید. بیشترین وزن متوسط میوه در بوته (۴۴۹ گرم در بوته) از کاربرد مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر به‌دست آمد که در مقایسه با کاربرد همین نوع کود در دو نوع نحوه مصرف تغذیه برگی و تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی به‌ترتیب حدود ۲۳ و ۶۲ درصد وزن متوسط میوه در بوته بیشتری حاصل شد. هر چند در نحوه مصرف ترکیب تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی، وزن متوسط میوه در بوته کمتری به‌دست آمد اما در همین نحوه مصرف نیز کاربرد مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر، مقدار بیشتری را نشان داد (شکل ۴). بر اساس شکل ۴ مقدار افزایش وزن متوسط میوه در بوته در تیمار برهمکنش نحوه خاک مصرف و مخلوط دو کود نیتروکسین+ بیوفسفر چشمگیر بود.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌ها می‌توانند ترکیباتی را که به رشد دیگر میکروارگانیسم‌ها در خاک کمک کنند، را ترشح نمایند. آن‌ها می‌توانند پلی‌ساکاریدهایی که چسبندگی را افزایش می‌دهد و فاکتورهای رشد را تولید کرده و به محیط ترشح کنند. همچنین آن‌ها می‌توانند از طریق ترشح ویتامین‌ها، تجزیه پلی‌مرها و تبدیل ترکیبات نامحلول به محلول سوبسترای مفیدی را برای رشد گیاه فرهم آورند که سبب افزایش معنی‌دار رشد گردد (Lakzian *et al.*, 2004). نتایج مطالعه Le و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که استفاده از تغذیه خاکی با باکتری‌های افزاینده رشد، عملکرد گوجه‌فرنگی را افزایش می‌دهد. آن‌ها اظهار داشتند که بهبود توسعه ریشه سبب افزایش جذب مواد معدنی و افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی شده است. آن‌ها همچنین کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد را عامل افزایش فعالیت بیشتر گروه دیگری از باکتری‌ها مانند *B. megaterium* و *P. putida* در گوجه‌فرنگی دانستند که این باکتری‌ها از طریق تولید هورمون‌های گیاهی و فرآیندهای وابسته، با آزادسازی اتیلن سبب بهبود عملکرد در گوجه‌فرنگی شده است. نتایج مطالعه Ullah و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان داد که استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد سبب افزایش عملکرد می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۸۰ درصد ترشحات باکتری‌های محیط ریشه را ایندول استیک اسید که یک هورمون اکسین طبیعی در گیاه است، تشکیل می‌دهد. این هورمون در تکثیر سلولی و در جذب عناصر غذایی از خاک مؤثر است (Vessey, 2003). ایندول استیک اسید در تکثیر سلول‌ها و طویل شدن آن‌ها، تمایز سلول، افزایش توسعه آوندهای چوب و آبکش، تکثیر و رشد ریشه‌های جانبی، تشکیل رنگدانه‌های فتوسنتزی و فرآیند فتوسنتز، بیوسنتز متابولیت‌های متعدد و مقاومت به شرایط تنش نقش دارد (Spaepen & Vanderleyden, 2011). باکتری‌هایی همانند نیتروژنوباکتر، *P. fluorescens* و *B. subtilis* می‌توانند سیتوکینین و جیبرلین و یا یکی از آن‌ها را تولیدکنند(Kang*et al.*,2010). با این‌حال هورمون‌های گیاهی تولید شده از جمعیت میکروبی خاک به‌واسطه آستانه بازدارندگی و تحریک‌کنندگی پایین آن‌ها، تأثیری بیشتری بر رشد دارند و مواد مترشحه از این باکتری‌ها به‌دلیل آزادسازی خیلی‌کم و تدریجی، تأثیر چشمگیری بر افزایش رشد دارند (Glick *et al.*, 2007). از طرفی دیگر، کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه به‌صورت مصرف خاکی با ایجاد کلنی‌هایی در سطح ریشه، قدرت تکثیر بالا و رقابت با سایر میکروارگانیسم‌های خاک، تأثیر سودمندی بر رشد و متابولیسم گیاه دارد (Ahmed *et al.*, 2017). بنابراین افزایش وزن میوه در بوته را می‌توان به این خصوصیات آن‌ها نسبت داد.



شکل ۴- تأثیر برهمکنش نحوه مصرف و کود زیستی بر وزن متوسط میوه در بوته گوجه‌فرنگی

Figure 4- Effect of interaction of application method and biofertilizer on moderate fruit weight in Tomato plant

نتایج صفات فیزیولوژی

فتوسنتز

نتایج برهمکنش داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار فتوسنتز (۲/ ۱۸ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) از تأثیر کود تلفیقی نیتروکسین+ بیوفسفر به تلقیح بذری به همراه تغذیه برگی حاصل شد که نسبت به شاهد حدود ۶۹/۵ درصد مقدار فتوسنتز افزایش داشت. لازم به ذکر است که در روش تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی هم تیمار نیتروکسین و هم تیمار پتاس بارور با تیماری که بیشترین مقدار فتوسنتز را داشت، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کمترین مقدار فتوسنتز از نحوه مصرف کود به‌صورت محلول پاشی و از کاربرد تیمار پتاس بارور حاصل شد که حتی از مقدار شاهد نیز در همان روش مصرف کمتر بود. در هر سه نحوه مصرف کود زمانی که از تیمار تلفیقی نیتروکسین+ بیوفسفر استفاده شد مقدار فتوسنتز بیشتری مشاهده گردید (جدول ۴).

نتایج مطالعه Alves و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که مقدار فتوسنتز گیاه گوجه‌فرنگی در شاهد حدود ۲ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه بود که با اعمال کودهای آلی با ۳۲۰ درصد افزایش به‌مقدار ۶/۲۵ میکرومول دی‌اکسید کربن در مترمربع در ثانیه رسید. در مطالعه دیگری Berova و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که استفاده از کودهای زیستی زمانی که در مقدار مناسب قبل و بعد از کاشت فلفل (*Capsicum annuum* L.) استفاده شد سبب افزایش مقدار فتوسنتز خالص حدود ۳۱ درصد نسبت به شاهد شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که باکتری‌های تشکیل‌دهنده این نوع کودها خصوصا نیتروژنوباکتر از گروه باکتری‌های آزادزی و تثبیت‌کننده نیتروژن هستند و به گونه‌ای در تأمین نیتروژن خاک نقش قابل‌توجهی دارند. حضور زیاد این باکتری‌ها سبب افزایش میزان تثبیت نیتروژن، دفع آمونیوم، تولید تقویت‌کننده‌های رشد و ویتامین‌ها، تولید سیدروفورها و تولید ترکیبات ضد قارچ و آنتی‌بیوتیک

دارند (Babalola, 2010). بنابراین به‌نظر می‌رسد حضور باکترهای نیتروژنوباکتر و سودوموناس در ترکیبات دو کود نیتروکسین+ بیوفسفر سبب افزایش تسهیل انجام فرآیند فتوسنتز شده و در واقع مواد لازم برای انجام این فرآیند به سهولت در دسترس واکنش‌های فتوسنتزی قرار گرفته است.

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش روش مصرف و کود زیستی بر صفات فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی

Table 4- Mean comparison of interaction of application method and biofertilizer on some physiological triats of Tomato plant

روش مصرف Application method	کود زیستی Biofertilizer	محتوای کلروفیل Chlorophyll content	سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate (CO_2 (میکرومول برمترمربع در ثانیه) ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای Ci (میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه) ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$)	لیکوپن Lycopene	ویتامین ث vitamin C
					میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم میوه $mg\ 100\ g^{-1}$fruit weight	
تلقیح بذر+ محلول‌پاشی برگ Seed inoculation+Leaf spray	شاهد Control	30.4^{b}	5.54^{def}	8.36^{bcdef}	2.24^{cd}	22.5^{b}
	نیتروکسین Nitroxin	32.1^{b}	12.6^{abc}	6.07^{def}	2.56^{bcd}	34.5^{ab}
	پتاس بارور Fertile potash	32.6^{b}	12.4^{abc}	6.06^{ef}	4.10^{b}	32.0^{ab}
	بیوفسفر Biophosphorus	35.2^{b}	7.37^{bcdef}	5.70^{ef}	5.14^{bcd}	33.6^{ab}
	نیتروکسین+بیوفسفر Biophosphorus+Nitroxin	56.2^{a}	18.2^{a}	20.0^{a}	2.02^{d}	36.7^{ab}
محلول‌پاشی برگ Leaf spray	شاهد Control	29.6^{b}	5.98^{cdef}	7.36^{bcdef}	3.46^{bcd}	23.8^{b}
	نیتروکسین Nitroxin	35.6^{b}	4.72^{def}	8.63^{bcdef}	6.68^{a}	32.3^{ab}
	پتاس بارور Fertile potash	55.1^{a}	2.62^{f}	6.96^{bcdef}	2.71^{bcd}	34.5^{ab}
	بیوفسفر Biophosphorus	36.4^{b}	3.78^{ef}	9.70^{bcdef}	2.06^{d}	37.0^{ab}
	نیتروکسین+بیوفسفر Biophosphorus+Nitroxin	42.4^{ab}	12.5^{ab}	4.70^{f}	4.01^{bc}	36.7^{ab}
مصرف خاکی Soil application	شاهد Control	30.5^{b}	7.58^{bcdef}	11.70^{bcde}	1.77^{d}	23.1^{b}
	نیتروکسین Nitroxin	32.6^{b}	8.51^{bcdef}	12.70^{bcd}	7.69^{a}	57.7^{a}
	پتاس بارور Fertile potash	38^{b}	10.9^{bcd}	12.90^{bc}	2.23^{cd}	45.2^{ab}
	بیوفسفر Biophosphorus	37.9^{b}	9.30^{bcde}	13.40^{b}	2.70^{bcd}	23.0^{b}
	نیتروکسین+بیوفسفر Biophosphorus+Nitroxin	38^{b}	8.03^{bcdef}	11.00^{bcde}	2.67^{bcd}	45.5^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan's test (P<0.05)

هدایت روزنه‌ای

نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که استفاده از نحوه تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی و استفاده از تلفیق دو نوع کود زیستی نیتروکسین+ بیوفسفر بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای (۲۰ میلی‌مول در مترمربع در ثانیه) را داشت که نسبت به شاهد در همین نوع نحوه مصرف حدود ۵۸ درصد مقدار هدایت روزنه‌ای بیشتر بود و کمترین مقدار این صفت از تیمار نحوه مصرف محلول پاشی برگی و کاربرد تیمار کودی نیتروکسین+ بیوفسفر حاصل شد. تغییرات این صفت با توجه به تیمارهای اضافه شده و نحوه مصرف آن‌ها روند متفاوتی را نشان داد به‌طوری‌که در نحوه مصرف خاک مصرف و تلقیح به‌علاوه تغذیه برگی کاربرد تیمار تلفیقی نیتروکسین+ بیوفسفر نسبت به سایر تیمارها مقادیر بیشتری را داشت

ولی در نحوه مصرف محلول پاشی برگی این مورد مشاهده نشد (جدول ۴).

نتایج مطالعه Abd El-Gleel Mosa و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد زمانی که کودهای زیستی حاوی باکتری‌های *Pseudomonas fluorescens* و *B. subtilis* به محیط رشد آلی اضافه می‌شوند مقدار فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای به‌طور مؤثری افزایش می‌یابد. آن‌ها اظهار داشتند که این باکتری‌ها در محیط ریشه می‌تواند از طریق افزایش آزادسازی عناصر نیتروژن، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در محیط ریشه زمینه جذب و انتقال آن‌ها را به محل انجام فتوسنتز، سبب افزایش مقدار فتوسنتز و عملکرد گیاه را به‌دنبال داشته باشد. در مطالعه دیگری Seema و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که استفاده از باکتری‌های محرک رشد گروه *Bacillus* sp. به‌صورت خاک مصرف و محلول‌پاشی برگی بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای (۰/۶۰۶ میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه ثانیه) را در گیاه توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) داشت. به‌نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد قادر باشند از طریق تقویت سیگنال‌های ارسالی به قسمت‌های هوایی گیاه در احساس شرایط محیط ریشه نقش مثبت داشته و در این مورد با در دسترس قرار دادن بیشتر کاتیون‌های غذایی به‌ویژه پتاسیم سبب افزایش باز شدن دهانه روزنه و هدایت روزنه‌ای شده‌اند.

شاخص کلروفیل

بیشترین و کمترین مقدار شاخص کلروفیل از نحوه مصرف تلقیح بذر به همراه تغذیه برگی به‌مقدار ۵۶/۲ و کمترین مقدار آن از تیمار شاهد و در روش تغذیه برگی با مقدار ۲۹/۶ حاصل شد. در روش مصرف خاکی تیمارهای کودی تمام داده‌های شاخص مقدار کلروفیل در یک گروه آماری قرار داشتند و اختلاف معنی‌داری با هم از این نظر نداشتند (جدول ۴). در مطالعه El-Sayed و همکاران (۲۰۱۴) مشخص شد که کاربرد کودهای آلی با کودهای زیستی (نیتروژنوباکتر و باسیلوس) در ۹۵ روز بعد از کاشت در دو سال آزمایش تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل در سیب‌زمینی ندارد. به‌نظر می‌رسد باکتری‌های گروه آزادکننده فسفر سبب افزایش تحریک تثبیت بیشتر نیتروژن در خاک شده باشند. از طرفی امکان استفاده از نیتروژن آزاد شده توسط دیگر باکتری‌های همزیست نیز وجود دارد که در مجموع باعث بهبود جذب بیشتر نیتروژن در گیاه شده و مقدار کلروفیل افزایش یافته است (Belnap, 2003).

ویتامین ث

بیشترین مقدار ویتامین ث از نحوه مصرف خاکی کود زیستی نیتروکسین و با مقدار ۵۷/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه به‌دست آمد و کمترین مقدار آن (۲۲/۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه) از شاهد و در نحوه مصرف تلقیح به همراه تغذیه برگی حاصل شد. لازم به ذکر است که در تمامی تیمارهای نحوه مصرف شاهد کمترین مقدار ویتامین ث را داشت و سایر تیمارهای تلفیقی اگرچه از نظر عددی با هم تفاوت داشتند ولی از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. دامنه غیرمعنی‌داری مقدار ویتامین ث از ۵۵/۷ تا ۲۳/۸ بین عامل‌های آزمایش متفاوت بود (جدول ۴).

نتایج مطالعه Seema و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که استفاده از نحوه مصرف محلول‌پاشی برگی و کود زیستی حاوی باکتری‌های گروه باسیلوس مقدار ویتامین ث حدود ۵۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه بود که پس از تیمار شاهد بیشترین مقدار را داشت. در آزمایش فوق کمترین مقدار ویتامین ث از مصرف خاکی کود زیستی حاوی باکتری *Bacillus licheniformis* حاصل شد. به‌نظر می‌رسد کودهای زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفر از طریق در اختیار قرار دادن فسفر برای جذب در گیاه زمینه را برای فعال شدن آنزیم‌هایی که در سنتز ویتامین ث نقش دارند، فراهم شده و با جذب فسفر بیشتر فعالیت این آنزیم‌ها نیز بیشتر شده و در نتیجه سبب افزایش مقدار ویتامین ث در گوجه‌فرنگی شده است (Alizadeh Oskuei *et al.*, 2005).

لیکوپن

نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار لیکوپن (۷/۶۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم میوه) از تیمار نحوه خاک مصرف کود نیتروکسین به‌دست آمد که

نسبت به شاهد در همین گروه حدود ۷۴ درصد بیشتر بود. کمترین مقدار لیکوپن (۱/۷۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم میوه) نیز در شاهد در همین روش مصرف دست آمد. با مراجعه با داده‌های جدول ۴ مشاهده می‌شود که استفاده از کود نیتروکسین در دو نحوه مصرف خاکی و تغذیه برگی مقدار لیکوپن بیشتری داشت.

گوجه‌فرنگی منبع عمده کاروتنوئیدی به‌نام لیکوپن است که ظرفیت بالایی برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن که طی واکنش‌های اکسیداسیون و احیا در سلول تولید می‌شود، داشته و یکی از شاخص‌های کیفی گوجه‌فرنگی مقدار لیکوپن در آن است (Toor & Savage, 2005). نتایج مطالعه Shaikh Alipour و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که تیمار استفاده از باکتری‌های آزادکننده پتاس با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و نیز تیمار تلفیقی باکتری‌های آزادکننده پتاس، حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن به‌ترتیب مقدار لیکوپن آن‌ها ۳۹/۴۶ و ۳۸/۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نسبت به شاهد حدود ۴۵ درصد افزایش داشت. آن‌ها اظهار داشتند که مقدار پتاسیم از طریق فعال‌سازی برخی آنزیم‌ها نقش مثبتی در متابولیسم گیاه داشته و در کنار سایر باکتری‌ها به افزایش کیفیت گوجه‌فرنگی کمک می‌کند. نتایج مطالعه Singh و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد زمانی که از کودهای حاوی نیتروژنوباکتر و سودوموناس با ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده کود شیمیایی ماکرو استفاده شد در هر دو سال آزمایش (۲۰۱۲-۲۰۱۱) بیشترین مقدار لیکوپن (۲/۶۹ و ۲/۶۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) به‌دست آمد که نسبت به تیمار کود شیمیایی ماکرو تنها حدود ۱۶ درصد افزایش داشت اما زمانی که همین باکتری‌ها با ۷۵ درصد کود شیمیایی ماکرو توصیه شده به‌کار برده شده بود مقدار افزایش نسبت به تیمار بدون باکتری حدود ۷ درصد افزایش داشت. بررسی‌ها نشان داده است که میزان افزایش لیکوپن با مقدار افزایش نیتروژن همبستگی مثبتی دارد (Kobryn & Hallmann, 2004). به‌نظر می‌رسد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات موجود در کودهای زیستی در مسیر سنتز لیکوپن آنزیم‌های درگیر در سنتز آن را فعال کرده و سبب افزایش مقدار لیکوپن شده است (de Pascale *et al*., 2008).

نتیجه‌گیری کلی

افزایش تنوع در میکروارگانیسم‌های خاک، منجر به بالا رفتن خاصیت حاصلخیزی و باروری خاک می‌شود. در روش مصرف خاکی، به‌دلیل مهیا بودن اسیدیته، دما، شرایط اکسیداسیون و احیا، مواد معدنی، کربن آلی به‌عنوان منبع انرژی و آب فعالیت‌های متابولیسمی باکتری‌ها بهبود یافته که منجر به آزادسازی عناصر غذایی حاصل از تجزیه بقایای گیاهی و تبدیل آن‌ها به اجزای پیوسته خاک می‌شود. از طرفی چرخه‌های میکروبی سبب تغییر شکل عناصر بین مخازن آلی و غیرآلی و اشکال محلول و نامحلول آن‌ها می‌شود. بنابراین راه‌اندازی مکانیسم‌های محلول‌سازی عناصر به‌وسیله جمعیت میکروبی (در قالب استفاده از کودهای زیستی) سبب افزایش دسترسی عناصر و فاکتورهای مؤثر در رشد گیاه می‌شود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که استفاده از مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر به‌صورت مصرف خاکی، بیشترین ارتفاع بوته (۱۷۶ سانتی‌متر) و وزن متوسط میوه در بوته (۴۴۹ گرم در بوته) داشت و نیز استفاده از مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر نسبت به شاهد به‌ترتیب حدود ۵۲ درصد وزن خشک بوته بیشتری را تولید کرد. بنابراین در مجموع می‌توان نتیجه گرفت استفاده از کودهای زیستی تلفیقی (مانند مخلوط نیتروکسین+ بیوفسفر) به‌صورت مصرف خاکی از طریق افزایش در صفات مورفولوژیکی و وزن میوه در بوته، سبب افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی شده است.

سپاسگزاری

از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- Abd El-Gleel Mosa, W. F., Sas Paszt, L., Frac, M., Trzcinski, P., Treder, W. & Klamkowski, K. (2018). The role of biofertilizers in improving vegetative growth yield and fruit quality of Apple. *Horticulture Science*, 45, 173-180.
- Ahmad, N., Sarfraz, M., Farooq, U., Arfan-ul-Haq, M., Zaighum Mushtaq, M. & Azhar Ali, M. (2015). Effect of potassium and its time of application on yield and quality of Tomato. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5, 1-4.
- Ahmed, A., Zaidi, A., Khan, M. S., Rizvi, A., Saif, S. & Shahid, M. (2017). Perspectives of plant growth promoting rhizobacteria in growth enhancement and sustainable production of Tomato. In: A. Zaidi & M. Saghir Khan (Eds.), *Microbial strategies for vegetable production*. (pp. 125-151.) Springer Science.
- Ahirwar, N. K., Gupta1, G., Singh, V., Rawlley, R. K. & Ramana, S. (2015). Influence on growth and fruit yield of Tomato plants by inoculation with *Pseudomonas fluorescence* (SS5): possible role of plant growth promotion. *International Journal Current Microbiology Applied Sciences*, 4, 720-730.
- Ali, M. A., Ilyas, F., Arshad, M., Hussain, S., Iqbal, M., Ahmad, S., Saboor, A., Mustafa, G. & Ahmed, N. (2019). Microbial inoculation of seeds for better plant growth and productivity. In: M. Hasanuzzaman (Ed.), *Priming and pretreatment of seeds and seedlings.* (pp. 523-550). Springer, Singapore.
- Alizadeh Oskuei, P., Aliasgharzad, N. & Baghban, S. (2005). The effect of VA mycorrhiza on yield and vietemin C content of Tomato. J*ournal of Aricultural Science and Natural Resource*, 12(6), 218-228. (In Persian)
- Almaghrabi, O. A., Massoud, S. & Abdelmoneim, T. S. (2013). Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on Tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. *Saudi Journal Biology Science*, 20, 57-61.
- Alves, J. de M., de Lima, A. S., de Mesquita, E. F., Maia Jr, S. de O., Ferreira, R. de S., de Salvia, F. L. & Santos, J. M. (2018). Gas exchange and chlorophyll content in Tomato grown under different organic fertilizers and biofertilizer doses. *African Journal of Agricultural Research*, 13, 2256-2262.
- Amiri, M. B., Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M. & Jahan, M. (2015). Effect different nutrition sources on quantity and quality of Tomato (*Lycopersicom esculentum* Mill.) in agroecologic arrangement. *Journal of Horticultural Science*, 29, 216-231. (In Persian)
- Babalola, O. O (2010). Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnology Letters*, 32, 1559-1570.
- Belnap, J. (2003). Factors influencing nitrogen fixation and nitrogen release in biological soil crusts. In J. Belnap & O. L. Lange (Eds.), Biological soil crusts: structure, function, and management. (pp. 241-261). Springer-Verlag.
- Bellishree, K., Ganeshan, G., Ramachandra, Y. L., Rao, A. S. & Chethana, B. S. (2014). Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of Tomato. *Intetnation Journal of Recent Scientific Research*, 5, 1437-1443.
- Berova, M., Karanatsidis, G., Sapundzhieva, K. & Nikolova, V. (2010). Effect of organic fertilization on growth and yield of Pepper plants. *Folia Horticulturae*, 22, 3-7.
- Bolandnazar, S., Karimi, K. & Sarikhani, M. R. (2019). Effect of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and Arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on physiological traits of Tareh Irani (*Allium ampeloprasum* L.). *Agriculture Science and Sustainable Production*, 29, 121-136. (In Persian)
- Chandrasekar, B. R., Ambrose, G. & Jayabalan, N. (2005). Influence of biofertilizers and nitrogen source level on the growth and yield of *Echinochola frumentacea* (Roxb.) Link. *Journal of Agricultural Technology*, 1, 223-234.
- Delfin, E. F., Rodriguez, F. M. & Paterno, E. S. (2015). Biomass partitioning, yield,

nitrogen and phosphorus uptake of PGPR inoculated Tomato under field condition. *Philippine Journal of Crop Science*, 40, 59-65.

- de Pascale, S., Tamburrino, R., Maggio, A., Barbieri, G., Fogliano, V. & Pernice, R. (2008). Effects of nitrogen fertilization on the nutritional value of organically and conventionally grown Tomatoes. *Acta Horticulturae*, 700, 107-110
- El-Sayed, S. F., Hassan, H. A., El-Mogy, M. M. & Abdel-Wahab, A. (2014). Growth, yield and nutrient concentration of Potato plants grown under organic and conventional fertilizer systems. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 14, 636-643.
- Glick, B. R, Todorovic, B., Czarny, J., Cheng, Z., Duan, J. & Mcconkey, B. J. (2007). Promotionof plant growth by bacterial ACC deaminase. *Critical Review Plant Science*, 26, 227-242.
- Guo, J. H., Qi, H. Y., Guo, Y. H., Ge, H. L., Gong, L. Y., Zhang, L. X. & Sun, P. H. (2004). Biocontrol of Tomato wilt by plant growth promoting rhizobacteria. *Biological Control*, 29, 66-72.
- Gutpa, G., Parihar, S. S., Ahivar, N. k., Senhi, S. K. & Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 7, 96-102.
- Hassan, W., David, J. & Bashir, F. (2014). ACC-deaminase and/or nitrogen-fixing rhizobacteria and growth response of Tomato. *Journal of Plant International*, 9, 869-882.
- Jackson, M. L. & Luo, J. N. (1986). Potassium-release mechanism on drying soils: nonexchangeable to exchangeable potassium by protonation of micas. *Soil Science*, 141, 225-229.
- Jahan, M., Amiri, M. B. & Ahiaei, H. R. (2012). Nutrient uptake and utilization efficiency by biological fertilizers in a low input farming system. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10, 435-447. (In Persian)
- Kalantari Khandani, S., Koocheki, A. & Nasiri Mahallati, M. (2012). The effects of biological fertilizers on growth indices, yield and yield components of Sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agroecology*, 2, 77-88. (In Persian)
- Kang, B. G., Kim, W. T., Yun, H. S. & Chang, S. C. (2010). Use of plant growth-promoting rhizobacteria to control stress responses of plant roots. *Plant Biotechnology Reports*, 4, 179-183.
- Kobryn, J. & Hallmann, E. (2004). The effect of nitrogen fertilization on the three Tomato types cultivated on rockwool. *Acta Horticulturae*, 691, 341-348.
- Lakzian, A., Sheibani, S., Bahadorian, M. & Shaddel, L. (2004). *Soil microbiology*. Sokhan Gostar Publication. Iran. (In Persian)
- Le, T. N., Pek, Z., Takacs, S., Nemenyi, A. & Helyes, L. (2018). The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on yield, water use efficiency and Brix Degree of processing Tomato. *Plant Soil Environment*, 64, 523-529.
- Maheshwari, D. K. (2015). *Bacterial metabolites in sustainable agroecosystem*. Springer International Publishing AG Switzerland.
- Malakouti, M. J. & Gheybi, M. N. (1997). *Determining the critical range of elements of strategic products and correct fertilizer recommendations in the country*. Agricultural Education Press, Iran. (In Persian)
- Mehnaz, S. (2013). Secondary metabolites of Pseudomonas aurantiaca and their role in plant growth promotion. In: N. K. Arora (Ed.), *Plant microbe symbiosis: fundamentals and advances*. (pp. 373-394.) Springer, India.
- Mehta, P., Walla, A., Kulshrestha, S., Chauhan, A. & Shirkot, C. K. (2014). Efficiency of plant growth-promoting P-solubilizing *Bacillus circulans* CB7 for enhancement of Tomato growth under net house conditions. *Journal of Basic Microbiology*, 53, 1-12.
- Meena, V. S., Verma, J. P. & Meena, S. K. (2015). Towards the current scenario of nutrient use efficiency in crop species.

Journal of Cleaner Production, 102, 556-557.
- Mohammadpour Vashvaei, R., Ghanbari, A. & Fakheri, B. A. (2017). Effect of bio-fertilizers in combination with different rates of chemical fertilizers on the growth characters and sepals yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology*, 9, 276-295. (In Persian)
- Nezarat, S. & Gholami, A. (2009). The effect of co-inoculathon of *Azospirillum* and *Pseudomonas rhizobacteria* on nutrient uptake of Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, 1, 25-32.
- Phukan, A., Baruah, R., Sharma, P. & Gogoi, G. (2016). Plant growth promoting **r**hizobacteria (PGPR) in **e**nhancing the growth of Tomato (*Lycopersicon esculentum*). Advances in Life Sciences, 5, 6230-6233.
- Rezvani, H. T., Moradi, P. & Soltani, F. (2012). The effect of nitrogen fixation and phosphorus solvent bacteria on growth physiology and vitamin C content of *Capsicum annum* L. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3, 673-682. (In Persian)
- Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M. B., Norozian, A. & Ehyaee, H. R. (2015). Evaluation of two mycorrhiza species and nitroxin on yield and yield components of Garlic (*Allium sativum* L.) in an ecological agroecosystem. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13, 435-447. (In Persian)
- Seema, K., Mehta, K. & Singh, N. (2018). Studies on the effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth, physiological parameters, yield and fruit quality of Strawberry cv. Chandler. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7, 383-387.
- Shahzad, T., Ahmad, I., Choudhary, S., Muhammad, K. S. & Muhammad, N. K. (2014). DPPH free radical scavenging activity of Tomato, Cherry Tomato and Watermelon: lycopene extraction, purification and quantification. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6, 223-228.
- Shaikh Alipour, M., Bolandnazar, S. A., Sarikhani, M. R. & Panahandeh, J. (2018). Effect of application of biofertilizer on yield, quality and antioxidant capability on Tomato fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50, 621-632. (In Persian)
- Singh, S. K., Raturi, H. C. & Kumar, R. (2017). Effect of different mulches and biofertilizers on qualitative and quantitative attributes of Tomato. *Journal of Plant Development Sciences*, 9, 999-1005.
- Spaepen, S. & Vanderleyden, J. (2011). Auxin and plant-microbe interactions. *Cold Spring Harbor Perspective in Biology*, 3, a001438.
- Toor, R. K. & Savage, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of Tomatoes. *Food Research International*, 38, 487-494.
- Turan, M., Ataoglu, N. & Sahin, F. (2007). Effect of *Bacillus* FS-3 on growth of Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants and availability of phosphorus in soils. *Plant, Soil and Environment*, 53, 58-64.
- Vaikuntapu, P. R., Dutta, S., Samudrala, R. B., Rao, V. R. V. N., Kalam, S. & Podile, A. R. (2014). Preferential promotion of *Lycopersicon esculentum* (Tomato) growth by plant growth promoting bacteria associated with Tomato. *Indian Journal of Microbiology*, 54, 403-412.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255, 571-586.
- Ullah, A., Ashraf, M., Shahzad, S. M., Siddiqui, A. R., Piracha, M. A. & Suleman, M. (2016). Growth behavior of Tomato under drought stress in the presence of silicon and plant growth promoting rhizobacteria. *Soil Environment*, 35, 65-75.
- Zhang, F., Niu, J., Zhang, W., Chen, X., Li, C., Yuan, L. & Xie, J. (2010). Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. *Plant Soil*, 335, 21-34.
- Zaidi, A. & Khan, M. S. (2017). *Microbial strategies for vegetable production*. Springer International Publishing.