ارزیابی رشد و جذب عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی با تلقیح جدایه‌های *سودوموناس* و سطوح معدنی پتاسیم

معصومه دیلمی‌راد[۱] ، محمدرضا ساریخانی[۲*] ، شاهین اوستان[۳]

تاریخ دریافت: ۹٤/۱۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۱۸

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- دانشیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- استاد علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسول مکاتبه: Email: rsarikhani@yahoo.com

چکیده

پتاسیم یکی از عناصر غذایی ضروری پرمصرف برای گیاهان است که نقش مهمی در رشد گیاه و همچنین کیفیت محصولات کشاورزی دارد. در این پژوهش توانایی پنج جدایه میکروبی *Pseudomonas* spp. از باکتری‌های آزادکننده پتاسیم شامل S6-6، S10-3، S14-3، S19-1 و S21-1 بر بهبود رشد و افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه گوجه‌فرنگی در خاک با پتاسیم قابل استفاده پایین (کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در گیلوگرم) و در شرایط غیراستریل و با حضور ریزجانداران بومی خاک بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. فاکتور اول شامل تلقیح باکتریایی (۵ جدایه و نمونه شاهد) و فاکتور دوم شامل سه سطح کود پتاسیمی بدون کود، ۵۰ درصد توصیه شده (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و ۱۰۰ درصد میزان توصیه شده (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک بخش هوایی (۵۳/٤۷ و ۷/٦۸ گرم در گلدان) با مصرف پتاسیم ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد و با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود کاهش پیدا کرد. اثر باکتری بر عملکرد، شاخص کلروفیل، جذب پتاسیم، غلظت فسفر، آهن، روی، منیزیم و کلسیم معنی‌دار بود. حداکثر میانگین وزن تر بخش هوایی در جدایه S6-6 (٥٤/٧٦ گرم در گلدان) مشاهده شد. جدایه‌های S14-3 (۱/۲ گرم در گلدان)، S19-1 (۱/۱۸ گرم در گلدان) و S21-1 (۱/۱٦ گرم در گلدان) دارای بیشترین میانگین وزن خشک ریشه و همچنین مقدار پتاسیم ریشه بودند. دو جدایه S21-1 و S14-3 به لحاظ تغذیه‌ای نسبت به سایر جدایه‌ها بهتر عمل کردند. بیشترین غلظت فسفر، آهن بخش هوایی و غلظت منیزیم و فسفر ریشه متعلق به S21-1 بود. S14-3 بیشترین غلظت منیزیم و فسفر بخش هوایی را داشت. جدایه‌های باکتری در سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم عملکرد بهتری داشتند و بیشترین میانگین وزن تر و خشک بخش هوایی متعلق به جدایه **S6-6** (٦۲/۰٦٦ و ۹/۲۰۳ گرم در گلدان) در سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم بود.

واژه های کلیدی: باکتری آزادکننده، پتاسیم، *سودوموناس*، گوجه‌فرنگی، میزان جذب

Evaluting the Nutrient Uptake and Tomato Growth by *Pseudomonads* Isolates and Mineral Potassium levels

Masumieh Deilamirad[1], Mohammad Reza Sarikhani[2*], Shahen Oustan[3]

Received: January 25, 2016 Accepted: April 6, 2016

1-Former MSc Student of Soil Biology and Biotechnology, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
2- Assoc. Prof. of Soil Biology and Biotechnology, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
3- Prof. Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
*Corresponding Author: rsarikhani@yahoo.com

Abstract

Potassium is an essential macronutrient for plants that plays many important roles in the plant growth and development as well as in the quality of crops. In this study the effect of five bacterial strains belong to *Pseudomonas* genus including S6-6, S10-3, S14-3, S19-1 and S21-1 were assessed on the growth and K uptake by tomato plant in the non-sterile soil with low available potassium (less than 200 mg.kg^{-1}). The experiment was conducted factorial based on CRD with three replications. The first factor consisted of bacterial inoculum (5 strains and control) and the second factor consisted of three levels of potassium fertilizer, 0 kg.ha^{-1}, 50% (150 kg.ha^{-1}) and 100% of the recommended amount (300 kg.ha^{-1}), respectively. The results showed that maximum amount of wet and dry weight was gained at 50% of K fertilizer, while with application of K (300 kg.ha^{-1}) fertilizer it was decreased. The main effects of bacteria were significant on yield, chlorophyll index, content of K, the concentration of P, Fe, Zn, Mg and Ca. The highest amount of wet and dry weight of shoot was obtained with S6-6 (54.76 g.pot^{-1} and 7.76 g.pot^{-1}). The highest amount of root dry weight was measured with S14-3 (1.2 g.pot^{-1}), S19-1 (1.17 g.pot^{-1}) and S21-1 (1.16 g.pot^{-1}). From the nutritional view of point two isolates, S21-1 and S14-3 were better than the other isolates. The highest concentration of shoot P, Fe and concentration of root Mg and P belonged to the S21-1. The highest concentration of shoot Mg and P was by the S14-3. All the bacterial strains at 50% level of K fertilizer (150 kg.ha^{-1}) had better yield and maximum wet and dry weight of shoot was measured with strain S6-6 (62.066 g.pot^{-1} and 9.203 g.pot^{-1}) at 150 kg.ha^{-1} level of K fertilizer.

Keywords: Potassium, Potassium Releasing Bacteria, *Pseudomonas*, Tomato, Uptake of Nutrients

مقدمه

پتاسیم نقش حیاتی در بسیاری از فرایندهای گیاه دارد و همچنین سبب بهبود کیفیت و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود. فعال‌سازی آنزیم‌ها، فتوسنتز، ساخت پروتئین و نشاسته، تنظیم فشار اسمزی، گسترش سلولی و غیره در گیاه در حضور یون پتاسیم صورت می‌گیرند (بی‌نام ۱۹۹۸). خاک‌های معدنی به طور معمول بین ۰/۰٤ تا ۳ درصد پتاسیم

دارند (اسپارکس و هانگ ۱۹۸۵). مهم‌ترین منابع پتاسیم در خاک‌های معدنی، آلومینوسیلیکات‌های اولیه شامل فلدسپارها و میکاها می‌باشند. پتاسیم در خاک به چهار شکل وجود دارد: محلول (۱ تا ۲ درصد)، تبادلی، غیرتبادلی یا تثبیت شده (۱ تا ۱۰ درصد) و پتاسیم ساختمانی (۹۰ تا ۹۸ درصد). پتاسیم محلول شکلی از پتاسیم خاک می‌باشد که مستقیماً توسط گیاهان و میکروب‌ها قابل جذب می‌باشد و بیشتر از بقیه شکل‌ها در معرض آب‌شویی قرار دارد (هبی و همکاران ۱۹۹۰). پتاسیم تثبیت شده یا غیرتبادلی بین ورقه‌های تتراهدرال مجاور، در میکاهای دی اکتاهدرال و تری اکتاهدرال و ورمیکولایت نگه‌داری می‌شود و در اکثر موارد به میزان متوسط تا ضعیف، قابل جذب برای گیاه است (سرینواسا ۲۰۰۰). بخش عمده پتاسیم در خاک در ساختمان کانی‌های پتاسیم‌دار وجود دارد. پتاسیم ساختمانی به کندی آزاد می‌شود. با این حال آزادسازی پتاسیم ساختمانی وابسته به مقدار پتاسیم در شکل‌های دیگر و درجه هوازدگی میکاها و فلدسپارهای دارای پتاسیم می‌باشد (اسپارکس ۱۹۸۷). بنابراین برای تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، پتاسیم محلول و تبادلی باید از طریق اضافه کردن کودهای شیمیایی و یا از طریق آزاد شدن پتاسیم تثبیت شده و هوازدگی کانی‌های پتاسیم‌دار تأمین گردد (اسپارکس و هانگ ۱۹۸۵).

برخی از میکروارگانیسم‌های موجود در خاک از طریق تولید و ترشح اسیدهای آلی و تولید کلات قادر به آزاد کردن پتاسیم از کانی‌های حاوی پتاسیم مثل میکا، ایلایت و ارتوکلاز می‌باشند (بنت و همکاران ۱۹۹۸). تلقیح باکتری‌های سیلیکاتی یا آزادکننده پتاسیم می‌تواند فسفر و پتاسیم قابل استفاده در خاک را از طریق تولید اسیدهای آلی و سیدروفور و دیگر مواد محرک رشد گیاه افزایش داده و منجر به جذب بیشتر این دو عنصر توسط گیاه شود (پارک و همکاران ۲۰۰۳). لین و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که در اثر تلقیح باکتری حل کننده سیلیکات (*B. mucilaginosus*) با گیاه گوجه‌فرنگی، بیومس به میزان ۱۲۵٪ و جذب پتاسیم و فسفر بیش از ۱۵۰٪ در مقایسه با شاهد افزایش یافت. پراجاپاتی و همکاران (۲۰۱۳) در یک آزمایش گلدانی با تلقیح باکتری آزادکننده پتاسیم *Enterobacter hormaechei* و قارچ *Aspergillus terreus* به گیاه بامیه (*Ablemoscus esculantus*) در خاکی با مقدار پتاسیم کم و در حضور فلدسپار گزارش کردند که مقدار پتاسیم در گیاه بامیه افزایش پیدا کرد. در مطالعه انجام گرفته توسط کشاورز و همکاران (۱۳۹۱) مشاهده شد که تلقیح گیاه گوجه‌فرنگی با هر شش جدایه از باکتری‌های آزادکننده پتاسیم (متعلق به جنس *Bacillus*) در خاک لوم شنی با پتاسیم پایین منجر به جذب بیشتر پتاسیم در مقایسه با شاهد شد. رشد گیاه در اثر تلقیح با هر یک از این شش جدایه به‌طور قابل توجهی افزایش پیدا کرد و این افزایش حتی بیشتر از تیمار پتاسیم بود، و این نشان می‌دهد که علاوه بر تأثیر این جدایه‌ها بر آزادسازی پتاسیم و ترکیبات دیگر، مواد محرک رشد گیاه ممکن است توسط این باکتری‌ها تولیدشده و در رشد گیاه مؤثر واقع شوند. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) مثل باکتری‌های آزادکننده پتاسیم و فسفر به عنوان کود بیولوژیکی یک راه حل پایدار در جهت تغذیه بهتر گیاه و تولید آن خواهد بود (وزی، ۲۰۰۳). بهره‌گیری از باکتری‌های آزادکننده پتاسیم به عنوان کودهای زیستی روشی برای تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه در خاک‌های با پتاسیم قابل جذب پایین است. با این توضیح در این آزمایش به ارزیابی توان برخی از جدایه‌های متعلق به جنس سودوموناس (شامل S6-6، S10-3، S14-3، S19-1 و **S21-1**) بر رشد و تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه گوجه‌فرنگی و برخی عناصر غذایی دیگر از جمله فسفر، آهن، روی، منیزیم و کلسیم پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش سال ۱۳۹۲ در فاز گلخانه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در منطقه کرکج به منظور بررسی اثر تیمار باکتری و جایگزین شدن بخشی از کود شیمیایی بوسیله جدایه‌های باکتری جهت تأمین نیاز پتاسیمی و بهبود رشد یک رقم محلی از گیاه گوجه‌فرنگی انجام گرفت. همچنین به‌علت دارا بودن ویژگی‌های محرک رشدی این جدایه‌ها برخی از عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن، روی، کلسیم و منیزیم در بافت گیاهی اندازه گیری شد. تعداد ۵ جدایه باکتریایی از بانک میکروبی گروه علوم خاک در این پژوهش مورد استفاده قرارگرفت. این جدایه‌ها عبارتند از S6-6، S10-3، S14-3، S19-1، S21-1 که همگی متعلق به جنس *Pseudomonas* بوده که به عنوان باکتری‌های آزادکننده پتاسیم جداسازی و شناسایی شده‌اند. لازم به ذکر است که جداسازی و غربالگری این جدایه‌ها در محیط الکساندروف انجام شده است و بعد از آزمایشات اولیه جدایه‌های فوق از میان ۱۳۸ جدایه انتخاب شده‌اند (ساریخانی و همکاران ۲۰۱٦).

جدایه‌های باکتری مورد استفاده در محیط NB (OD= ۰/۸، معادل با جمعیت CFU/ml ۲/۳×۱۰^۸) مایع کشت داده شدند. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. کشت در گلدان‌های ۲ کیلوگرمی با ۱۰ بذر ضد عفونی نشده انجام شد. بر اساس آزمون خاک، مقادیر کافی **P** (به شکل سوپر فسفات تریپل ۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) و **N** (از منبع اوره به مقدار ۱۷۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) به ازاء هر گلدان به صورت محلول اضافه شد که این مقادیر به ترتیب معادل ۲۰۰ و ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین برای پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم، سه سطح کودی K0 (بدون پتاسیم)، K1 (۵۰ درصد توصیه کودی، معادل ۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات پتاسیم) و K2 (۱۰۰ درصد توصیه کودی، معادل ۷٦ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات پتاسیم) در نمونه خاک در نظر گرفته شد (ملکوتی و غیبی ۲۰۰۰)، این مقادیر به ترتیب معادل با ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند. هر گلدان با ۱۰ میلی‌لیتر مایه تلقیح باکتریایی با OD= ۰/۸ (۱ میلی‌لیتر به ازای هر بذر) بر اساس طرح آزمایشی تلقیح شد. برای حصول اطمینان از کلنیزاسیون باکتری در ریزوسفر گیاه، بعد از حدود یک ماه مجدداً تلقیح میکروبی انجام شد. آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر در حد رطوبت FC ۰/۸ از طریق توزین صورت پذیرفت. بعد از جوانه‌زنی بذور تعداد چهار گیاه سالم و یکدست در هر گلدان نگه‌داشته شده و بقیه از گلدان خارج شدند. در پایان دوره رشد (۳ ماه تا زمان گلدهی) پارامترهای رشدی (نظیر وزن تر و خشک، شاخص کلروفیل برگ، غلظت پتاسیم، فسفر، آهن، روی، منیزیم و کلسیم) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ، برگ‌های بالغ و شاداب از هر گیاه انتخاب و میزان کلروفیل آن با دستگاه کلروفیل‌سنج (مدل CL-01 Hansatech، ساخت کشور انگلستان) در دو طول موج ٦۲۰ و ٦٤۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میانگین داده‌های دستگاه کلروفیل‌سنج به عنوان شاخص کلروفیل هر گلدان در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری غلظت پتاسیم، فسفر، آهن، روی، منیزیم و کلسیم بافت‌های گیاهی با توزین نیم گرم از ماده خشک از روش هضم با اسید نیتریک غلیظ ٦۵٪. استفاده شد (والینگ و همکاران ۱۹۸۹ و راوول ۱۹۹٤). غلظت عناصر پس از رقیق ساختن عصاره اصلی نمونه‌های هضم شده، پتاسیم از روش جونز (۲۰۰۱) با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر(مدل ٤۱۰، ساخت شرکت Corning انگلستان) و فسفر بافت‌های گیاهی از روش اولسن و سامرز (۱۹۸۲) در طول موج ٤۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتو متر (PD- 303، ساخت شرکت اپل ژاپن) اندازه گیری شد. غلظت آهن، روی، منیزیم و کلسیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل AA-6300، ساخت شرکت ژاپن تعیین شد (والینگ و همکاران ۱۹۸۹). تجزیه واریانس‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه

۲۲ و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام گردید. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار **Excel** انجام شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای

بافت خاک	کربن آلی (٪)	آهک (٪)	pH	EC (dS/m)	K قابل دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم)	P قابل دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم)	Fe قابل دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم)	Zn قابل دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم)
لوم شنی	۰/۱٦٦	۲/۸۵	۷/۵٦	۰/۲۹	۱۹۸/۰۷	۳	۱/۳۱	۱/۷۲

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل

تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی کود و اثر متقابل کود و باکتری غیر معنی‌دار، اما اثر اصلی باکتری در سطح پنج درصد معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد جدایه S21-1 (۸/٤۱) دارای بیشترین مقدار کلروفیل است و با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار دارد (جدول ۳). با توجه به اینکه جدایه‌های مورد استفاده در این آزمایش توانایی تولید سیدروفور و اکسین را دارند (دیلمی‌راد ۲۰۱۵) و باعث افزایش غلظت آهن و منیزیم در گیاه شدند می‌توان این‌گونه توجیه کرد که افزایش شاخص کلروفیل در جدایه‌ها به علت جذب بیشتر آهن، منیزیم و ساخته شدن کلروفیل در گیاه است. رسولی صدقیانی و همکاران (۲۰۰٦) گزارش کردند که مقدار کلروفیل با آهن همبستگی مثبت دارد. سودوموناس‌ها باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل در گیاه ذرت شدند (کاوینو و همکاران ۲۰۱۰).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر کود و باکتری بر برخی از پارامترهای رشدی و تغذیه‌ای گوجه‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		شاخص کلروفیل	وزن تر هوایی	وزن خشک هوایی	وزن خشک ریشه	غلظت پتاسیم بخش هوایی	مقدار پتاسیم ریشه	غلظت فسفر بخش هوایی	غلظت فسفر ریشه
کود	۲	۰/۲۳۲ ns	۲۰۳/۸٤۷**	۵/۱۳۰**	۰/۱۹۵ **	٤۷/۹۸۵ **	۵/۹۱۸ ns	۰/۰۸۸ **	۸/٦۵۵ **
باکتری	۵	٤/۸٤۷*	۸۹/۱٦۳ **	۱/۵۱۵ **	۰/۱٤۱ **	۱۰/٦۲٦ *	۷۷/٦٤۱ **	۱/۰۷۲ **	۰/۱٦ **
کود × باکتری	۱۰	۱/۱٤٦ ns	۵٦/٦۹۸ **	۱/۵٦۲ **	۰/۰۷۹ **	۱٤/٦۹ **	۲۳/۹٤٤ **	۰/۱٦۳ **	۱/۲۹۵ **
خطای آزمایشی	۳٤	۱/٤۲٦	۷/۵۱۳	۰/۲۹۹	۰/۰۲۲	۳/۸۹۱	۷/۸۲۱	۰/۰۰٦	۰/۰۱٦
C.V. (٪)		۱۸/۳۹	۱۱/٤	۱۲/۹	۲۰/۷۱	۱۲/۸٦	۲۱/۹	۱۳/۵۱	۱۲/۱۷

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

وزن تر و خشک بخش هوایی

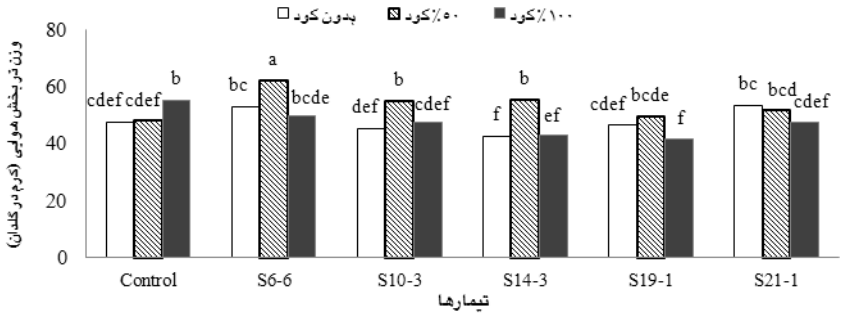
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که وزن تر و خشک بخش هوایی در سطح یک درصد متأثر ازتیمار باکتری و کود و اثرات متقابل آن‌ها بود. در تیمار کودی بیشترین وزن تر و خشک (۵۳/٤۷ و ۷/٦۸ گرم در گلدان) در سطح کودی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد و در سطح کودی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش وزن تر و خشک گیاه دیده شد. در مورد تیمار باکتری حداکثر وزن تر و خشک در جدایه S6-6 (۵٤/۷٦ و ۷/۷٦ گرم در گلدان) مشاهده شد که به ترتیب نسبت

به شاهد ۹/۱۷ و ۷/۰۳ افزایش نشان داد (جدول ۳). در اثرات متقابل کود و باکتری جدایه **S6-6** در سطح کودی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) حداکثر وزن تر و خشک بخش هوایی (۶۲/۰۶ و ۹/۲ گرم در گلدان) را داشت. جدایه های S14-3، S19-1 و S21-1 در سطح (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) پتاسم باعث کاهش وزن خشک شدند (شکل ۱ و ۲). همانگونه که در شکل‌های ۱ و۲ مشاهده می‌شود در سطح دوم کودی پتاسیم و در حضور همه جدایه‌ها مقادیر وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه نسبت به شاهد افزایش داشته است که میانگین وزن تر در جدایه‌های S6-6، S14-3 و S10-3 با شاهد اختلاف آماری معنی‌دار و درجدایه‌های S21-1 و S19-1 با شاهد در یک گروه آماری قرار دارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی از پارامترهای رشدی و تغذیه‌ای گوجه‌فرنگی تحت اثر تیمارهای کود و باکتری

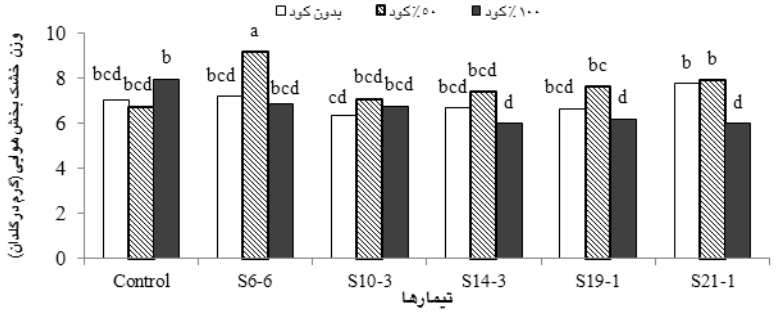
اثر اصلی	سطح	شاخص کلروفیل	وزن تر بخش هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک بخش هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	غلظت پتاسیم بخش هوایی (میلی‌گرم در گرم)	مقدار پتاسیم ریشه (میلی‌گرم در گلدان)	غلظت فسفر بخش هوایی (میلی‌گرم در گرم)	غلظت فسفر ریشه (میلی‌گرم در گرم)
کود	بدون کود	٦/٩٥ a	٤٧/٩٩ b	٦/٩٤ b	١/١٥ a	٢٠/٧٢ c	١٩/١٤ a	٢/٨٣٥ a	٨/٢٥ b
	٥٠٪ کود	٧/٠٨ a	٥٣/٤٧ a	٧/٦٨ a	١/٣٢ a	٢٢/١٣١ b	١٩/٤٤ a	٢/٦٩٦ c	٨/٣٣ b
	١٠٠٪ کود	٦/٨٨ a	٤٧/٣٥ b	٦/٦٤ b	٠/٩٦ b	٢٣/٩٧٥ a	١٨/٣٣ a	٢/٧٥٩ b	٨/٤٤ a
باکتری	شاهد	٦/٦٨ b	٥٠/١٦ b	٧/٢٥ ab	١ b	٢٢/٧٦ a	١٧/٩٤ b	٢/٤١٦ d	٧/٨٠٥٣ d
	S6-6	٦/٤٦ b	٥٤/٧٦ a	٧/٧٦ a	١/٠٢ b	٢٠/٣٥٥ b	١٤/٥٢ c	٢/٢٩٧ e	٧/٤١ e
	S10-3	٦/٧٥ b	٤٩/١٣ bc	٦/٧٤ b	٠/٩٠ b	٢٢/٣١ ab	١٧/٠٩ bc	٢/٧٦٦ c	٨/٠٩٧ c
	S14-3	٦/٨٥ b	٤٦/٩٣ cd	٦/٦٩ b	١/٢٢ a	٢٣/٦٣ a	٢٠/٧٣ a	٣/١٢ a	٧/٨٩ d
	S19-1	٦/٤٦ b	٤٥/٨٧d	٦/٨٤ b	١/١٨ a	٢٢/٥٤ a	٢١/٧٩ a	٢/٨٧ b	٨/٧١ b
	S21-1	٨/٤١ a	٥٠/٧٦ b	٧/٢٣ ab	١/١٦ a	٢٢/٠٤ ab	٢١/٧٤ a	٣/١٠٢ a	١٠/١٤ a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۱- ترکیب تیماری باکتری و کود پتاسیم برای وزن تر هوایی گوجه‌فرنگی

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال یک درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۲- ترکیب تیماری باکتری و کود پتاسیم برای وزن خشک هوایی گوجه‌فرنگی

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال یک درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

همانطور که مشاهده می‌شود بیوماس گیاهی متأثر از سطوح کودی پتاسیم بود اما بر خلاف انتظار بیشترین میانگین در سطح کود (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) به دست نیامد بلکه در (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) کود پتاسیم مشاهده شد. به نظر عامل دیگری در رشد گیاه تأثیر گذار بوده است. اما با نگاهی به وضعیت تغذیه عناصر به ویژه پتاسیم (جدول ۳) روند افزایشی غلظت پتاسیم بخش هوایی و ریشه گیاه در سطوح کودی دیده می‌شود و بیشترین مقادیر در تیمار ۱۰۰٪ کودی به دست آمده است، این موضوع می‌تواند گویای این مطلب باشد که عاملی به جز عنصر پتاسیم رشد عمومی گیاه را محدود ساخته است. گیاه در خاک با پتاسیم زیاد، پتاسیم بیشتری جذب می‌کند این در حالی است که میزان افزایش در وزن خشک الزاماً از این قاعده پیروی نمی‌کند (سوراپنین و همکاران، ۲۰۰۲). در مورد جدایه‌های باکتری بعلت عدم استریل بودن خاک و اثر متقابل جدایه‌ها با سطوح کودی افزایش چشمگیر در وزن خشک هوایی مشاهده نشد. بیشترین وزن خشک مربوط به جدایه S6-6 در تیمار ۵۰٪ توصیه کودی بود. تالشی و اصولی (۲۰۱۱) گزارش کردند که کودهای زیستی به تنهایی تأثیری بر عملکرد دانه دو رقم برنج نداشتند، بلکه تلقیح این ریزجانداران همراه با کودشیمیایی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد شد.

وزن خشک ریشه

اثر اصلی تیمار کود و باکتری و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تیمار کودی (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) باعث کاهش وزن خشک ریشه شد (جدول ۳). جدایه‌های S14-3، S19-1 و S21-1 به ترتیب (۱/۲۲، ۱/۱۸ و ۱/۱۶ گرم در گلدان) بیشترین وزن خشک ریشه را دارا بودند که با شاهد اختلاف آماری معنی‌دار داشتند (جدول ۳). افزایش در وزن خشک ریشه توسط جدایه‌های باکتری را می‌توان به تولید مواد محرک رشد گیاه توسط باکتری نسبت داد که این امر باعث توسعه رشد ریشه و در نتیجه جذب بهتر آب و عناصر غذایی از خاک می‌شود. رانگ چانگ و همکاران (۱۹۹۵) نیز گزارش کردند که باکتری‌های سیلیکاتی در طی فعالیت حیاتی خود می‌توانند مواد محرک رشد گیاه تولید کنند.

غلظت پتاسیم بخش هوایی

اثر اصلی باکتری در سطح پنج درصد و اثر اصلی کود و اثر متقابل کود و باکتری بر غلظت پتاسیم بخش هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر اصلی کود نشان داد که با افزایش سطح کودی غلظت پتاسیم نیز افزایش پیدا کرد و در تیمار ۱۰۰٪ کودی (۲۳/۹۷ میلی‌گرم در گرم) بیشترین غلظت و در تیمار بدون کود کمترین غلظت پتاسیم بخش هوایی به دست آمد، و همچنین هر سه سطح کودی با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند. در

تیمارهای باکتری جدایه S14-3 (۲۳/٦۳ میلی‌گرم در گرم) بیشترین غلظت پتاسیم را داشت که با جدایه **S6-6** (۲۰/۳۵ میلی‌گرم در گرم) اختلاف آماری معنی‌دار داشت و با شاهد (۲۲/۷٦ میلی‌گرم در گرم) و بقیه جدایه‌ها در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۳).

مقدار پتاسیم ریشه

تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثر اصلی کود غیرمعنی‌دار و اثر اصلی باکتری و اثر متقابل کود و باکتری در سطح یک درصد معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم ریشه مربوط به جدایه‌های S21-1، S14-3 و S19-1 است که با سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌دار داشتند و به طور متوسط نسبت به شاهد ۱۹/٤٪ افزایش نشان دادند (جدول ۳).

با نگاهی به مقایسه میانگین اثر باکتری‌ها در (جدول ۳) مشاهده می‌شود که بالاترین غلظت پتاسیم بخش هوایی در جدایه S14-3 و مقدار پتاسیم ریشه در جدایه‌های S19-1، S21-1 و S14-3 بدست آمد که معرف کارایی این جدایه‌ها در حضور جدایه‌های بومی خاک می‌باشد. باید به این نکته توجه داشت که این آزمایش در شرایط خاک غیر استریل انجام گرفت و بسیاری از آزمایشات گلدانی با حذف گونه‌های بومی خاک به انجام می‌رسد. این آزمایش برای در نظر گرفتن توان رقابتی باکتری‌های مورد استفاده با گونه‌های بومی خاک بدین صورت طرح ریزی شد. در آزمایشی که مدنی (۲۰۱۵) در بستر شن و میکای استریل با برخی از جدایه‌های فوق به انجام رساند، غلظت و مقدار پتاسیم بافت گیاهی در جدایه S10-3 به ترتیب (۱٤/۳ میلی‌گرم در گرم) و(۷۸/٦۸ میلی‌گرم در گلدان) افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. در آزمایشی که کشاورز زرجانی و همکاران (۲۰۱۲) در شرایط استریل انجام دادند، مقدار کل پتاسیم جذب شده توسط بخش هوایی و ریشه در تیمارهای باکتریایی نیز نسبت به شاهد بدون باکتری به طور معنی‌داری افزایش یافت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در سطوح کود پتاسیم (صفر ، ۵۰٪ و ۱۰۰٪) جدایه‌های باکتری باعث افزایش جذب و غلظت پتاسیم نسبت به شاهد شده‌اند. در سطح بدون کود، افزایش غلظت و مقدار پتاسیم را می‌توان اینگونه توجیه کرد: این باکتری‌ها با تخریب کانی‌های حاوی پتاسیم، این عنصر را از کانی آزاد کرده و به شکل قابل استفاده برای گیاه در می‌آورند. مکانیسم تجزیه سیلیکات‌ها بر حسب نوع باکتری تجزیه‌کننده متفاوت خواهد بود. ولی اساساً این فرایند در نتیجه تأثیر فرایندهای متابولیک این باکتری‌ها روی کانی‌ها انجام می‌شود. باکتری‌های به کار برده شده در این آزمایش رشد سریع داشته و همچنین قادر به تولید مواد لزج و لعابی بودند. شاید این مواد لزج، مواد پلی ساکاریدی باشند که توسط باکتری ترشح شده، بر اساس کارهای تحقیقاتی که دیگر محققان انجام داده اند (ولچ و همکاران ۱۹۹۹)، گفته شده پلی ساکاریدها (مثل اسیدهای اورنیک) مواد لعابی و لزجی می‌باشند که دارای عوامل کربوکسیلی (COOH) و فنلی(C_6H_6O) هستند که فنل و کربوکسیل موجود در پلی ساکاریدها با عناصر موجود در سیلیکات‌ها واکنش داده و تشکیل پیوندهای پیچیده‌ای می‌دهند که منجر به آزاد شدن عناصر از شبکه کریستالی شده و باعث انتقال آنها به داخل محلول خاک می‌شوند همچنین باکتری‌های سیلیکاتی بازدهی یا قابلیت دسترسی کودهای پتاسیمی را برای گیاه افزایش می‌دهند. رانگ چانگ و فنتینگ (۱۹۹۵) گزارش کردند که مصرف سولفات پتاسیم در خاک تلقیح شده با باکتری سیلیکاتی، باعث می شود که میزان تثبیت پتاسیم بعد از سه روز ۲۱٪ و بعد از ده روز ۳۷٪ کمتر از شاهد باشد.

غلظت فسفر بخش هوایی و ریشه

تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی کود و باکتری و اثر متقابل کود و باکتری در سطح یک درصد بر غلظت فسفر بخش هوایی و ریشه معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد غلظت فسفر بخش

هوایی در هر سه سطح کودی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارد و بیشترین غلظت فسفر در تیمار بدون کود (۲/۸۳۵ میلی‌گرم در گرم) و کمترین غلظت آن در تیمار ۵۰٪ کودی (۲/٦۹٦ میلی‌گرم در گرم) بدست آمد. به نظرمی‌رسد کاهش غلظت فسفر در این سطح کودی بعلت بیومس بدست آمده و اثر رقت و افزایش رشد و نمو گیاه باشد. آلدانا (۲۰۰۵) نیز گزارش کرد که افزایش غلظت پتاسیم درمحلول غذایی باعث کاهش غلظت فسفر در برگ فلفل شد. در تیمار باکتری، جدایه‌های S14-3 و S21-1 (۳/۱۲ و ۳/۱۰ میلی‌گرم در گرم) بیشترین مقدار غلظت فسفر بخش هوایی و همچنین S21-1 (۱۰/۱٤ میلی‌گرم در گرم) حداکثر غلظت فسفر ریشه را دارا بودند که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشتند. کمترین غلظت فسفر بخش هوایی و ریشه به ترتیب مربوط به جدایه S6-6 (۲/۹۷ و ۷/٤۱ میلی‌گرم در گرم) بود (جدول ۳).

با نگاهی به مقایسه میانگین بین جدایه‌ها (جدول ۳) از نظر غلظت و مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه توانایی جدایه S21-1 و S14-3 در تأمین این عنصر برای گیاه گوجه‌فرنگی به خوبی مشخص می‌شود. این مطلب حاکی از اثربخشی خوب دو جدایه فوق در تأمین فسفر حتی در حضور جدایه‌های بومی خاک است. سویه‌های مربوط به جنس *Pseudomonas*، *Bacillus* و *Rhizobium* توانایی چشمگیری در انحلال فسفات نامحلول دراند (رودریگرز و فراگا ۱۹۹۹). که با تولید اسیدهای آلی و معدنی و همچنین تولید آنزیم فسفاتاز باعث انحلال فسفات‌های نامحلول می‌شوند (رودیگرز و همکاران ۲۰۰٦). افضل و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند تلقیح باکتری *سودوموناس* باعث افزایش ۳۸ درصدی غلظت فسفر در عدس شده است.

غلظت آهن بخش هوایی

تجزیه واریانس (جدول ٤) نشان داد که اثر اصلی کود غیر معنی‌دار و اثر متقابل کود و باکتری و اثر اصلی باکتری بر غلظت آهن بخش هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار است. جدایه‌های S21-1 و S19-1 (۱۵۹/٦۸ و ۱۵۹/٦۱ میکروگرم در گرم) بیشترین غلظت آهن بخش هوایی را داشتند که با سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌دار داشتند (جدول ٥). جدایه S21-1 و S19-1 باعث افزایش غلظت آهن در بخش هوایی نسبت به شاهد شدند. که آن را می‌توان اینگونه توجیه کرد که جدایه‌ها با تولید اسیدهای آلی و کاهش pH و همچنین تولید سیدروفور باعث افزایش جذب و غلظت آهن در بخش هوایی و ریشه شده‌اند. پراشان و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند سودوموناس‌ها توانایی تولید سیدروفور و افزایش سطح آهن گیاه را دارند.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر کود و باکتری بر برخی از عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		غلظت آهن بخش هوایی	غلظت روی بخش هوایی	غلظت روی ریشه	غلظت منیزیم بخش هوایی	غلظت منیزیم ریشه	غلظت کلسیم بخش هوایی
کود	۲	۱٤/۰۰۷ ns	۳۳٤/٤۳۲ **	٤۲٥۱/۰٦۷ **	۰/۲۱۱ **	۰/۳۱۱ **	٥/۰٥۸ **
باکتری	۹	٥۷٥۸/٤٦٥ **	۱٥٥/٤۹٥ *	۸٥۷٥/٥۹۲ **	۰/۰٦۳ *	۱/۰۲۱ **	۳/۲۲٤ **
کود × باکتری	۱۸	٦۷٦/٥٥۰ **	٥۰۱/۱۷۸ **	۳۹۱۱/۱۷٦۰ **	۰/۱۷۳ **	۰/٥٤٥ **	۱/۰۱۳ ns
خطای آزمایشی	٥۸	۱۸۱/۲۷۰	٥۹/۲۹۲	۳۰۲/٦۰۲	۰/۰۱۹	۰/۰۲۲	۰/٦۳۳
C.V.(٪)		۲۲	۱۷/۷٥	۲۱/۰۷	۱۰/۹۲	۹/۷٥	٦/۱۱

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی ازعناصر غذایی در گوجه‌فرنگی تحت تیمارهای کود و باکتری

اثر اصلی	سطح	غلظت آهن بخش هوایی (میکروگرم در گرم)	غلظت روی بخش هوایی (میکروگرم در گرم)	غلظت روی ریشه (میکروگرم در گرم)	غلظت منیزیم بخش هوایی (میلی‌گرم در گرم)	غلظت منیزیم ریشه (میلی‌گرم در گرم)	غلظت کلسیم بخش هوایی (میلی‌گرم در گرم)
کود	بدون کود	۱۲۷/۲۱ a	٦٨/٥٨ b	۱۸٦/۹۱ b	۲/۳٥۹ a	٤/۸۸ a	۱۷/٥۲ a
	۵۰٪ کود	۱۲۹/۹۱ a	٦۹/٥٤ b	۲۱۱/۱۱ a	۲/۲۱۲ b	٤/۹۲ a	۱۷/٦۳ a
	۱۰۰٪ کود	۱۲۸/۹٦ a	۷٦/٤۲ a	۲۱٥/٤۱ a	۲/۱٤۷ b	٤/٦۷ b	۱٦/٦٦ b
باکتری	شاهد	۱۱۲/۳۷ b	٦٦/۹۸ b	۲۱٤/۱٤ b	۲/۱٤۹b	٤/۹٦ b	۱۷/٦۱٤ab
	S6-6	۱۰۰/۹٦ b	۷۲/٤۹ ab	۲٤۷/۰۳ a	۲/۲٥ ab	٤/٦۹ d	۱٦/۸۱ bc
	S10-3	۱۲۰/۲۷ b	۷۷/۲۸۰ a	۲۲۷/۳۱ b	۲/۲۹۷ ab	٤/۸٤ bc	۱٦/٦۱ c
	S14-3	۱۱٥/۲۹ b	۷٤/٦۸ ab	۱۷۰/٥۰ c	۲/۳۷۲ a	٤/۳۱ e	۱۷/۳۸ bc
	S19-1	۱٥۹/٦۱ a	۷۱/۷۸ ab	۱۷۰/۹ c	۲/۱۷۳ b	٤/۷۹ cd	۱٦/۹۸۳ bc
	S21-1	۱٥۹/٦۸ a	٦٦/۸٥ b	۱۹٦/۹ d	۲/۱۹۷ b	٥/۳٤ a	۱۸/۲۳٥ a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

غلظت روی در بخش هوایی و ریشه

تجزیه واریانس (جدول ٤) نشان داد که اثر اصلی باکتری در سطح پنج درصد و اثر اصلی کود و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر غلظت روی بخش هوایی معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار ۱۰۰٪ کودی (۷٦/٤۲ میکروگرم در گرم) بیشترین غلظت روی را داشت که با تیمار بدون کود و ۵۰٪ کود پتاسیمی اختلاف اماری معنی‌دار داشت. جدایه **S10-3** (۷۷/۲۸ میکروگرم در گرم) بیشترین غلظت روی را داشت که با شاهد و **S21-1** اختلاف آماری معنی‌دار داشت ولی با سایر تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۵).

غلظت روی ریشه متأثر از کود، باکتری و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بود (جدول ٤). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطوح کودی غلظت روی ریشه افزایش پیدا کرد. تیمار ۱۰۰٪ کودی (۲۱٥/٤۱ میکروگرم در گرم) بیشترین غلظت را داشت که با تیمار ۵۰٪ کودی اختلاف آماری معنی‌داری نداشت ولی این دو سطح کودی با تیمار بدون کود اختلاف آماری معنی‌داری داشتند. جدایه S6-6 (۲٤۷/۳ میکروگرم در گرم) بیشترین غلظت روی ریشه را داشت که با سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌دار داشت و کمترین غلظت روی مربوط به تیمار **S21-1** (۷٦/٤۲ میکروگرم در گرم) بود (جدول ۵).

بررسی غلظت روی در بافت گیاهی حاکی از وجود رابطه سینرژیستی بین کاربرد کود پتاسیم و غلظت روی دارد (جدول ۵) و نشان‌دهنده اثر متقابل افزاینده دو عنصر روی و پتاسیم می‌باشد (بی‌نام ۱۹۹۸). به نظر می‌رسد جدایه‌های باکتری از طریق تولید اکسین و گسترش سیستم ریشه‌ای، تولید اسیدهای آلی و کاهش pH منجر به افزایش غلظت روی در بخش هوایی و ریشه شدند. دسیمین و همکاران (۱۹۸۸) نیز گزارش کردند که باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* با تولید اسیدهای آلی و کاهش pH منجر به افزایش انحلال روی شده و جذب آن را در گیاه افزایش می‌دهند.

غلظت منیزیم در بخش هوایی

تجزیه واریانس (جدول ٤) نشان داد که اثر اصلی باکتری در سطح پنج درصد و اثر اصلی کود و همچنین اثر متقابل کود و باکتری در سطح یک درصد بر غلظت منیزیم بخش هوایی معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار بدون کود (۲/۳۵۹ میلی‌گرم در گرم) بیشترین غلظت منیزیم را داشت و با دو سطح کودی دیگر اختلاف آماری معنی‌دار دارد. تیمار ۱۰۰٪ کودی (۲/۱٤۷ میلی‌گزم در گرم) کمترین غلظت منیزیم را داشت که با سطح ۵۰٪ کودی اختلاف آماری معنی‌دار نداشت. به علت رابطه آنتاگونیستی بین پتاسیم و منیزیم (بی‌نام، ۱۹۹۸)، با افزایش سطوح کود پتاسیم، غلظت منیزیم در گیاه کاهش یافت (جدول ٥). جدایه S14-3 (۲/۳۷۲ میلی‌گرم در گرم) بیشترین غلظت منیزیم را داشت و با شاهد (۲/۱٤۹ میلی‌گرم در گرم) که کمترین غلظت منیزیم را داشت اختلاف آماری معنی‌دار دارد (جدول ٥).

غلظت منیزیم در ریشه

تجزیه واریانس (جدول ٤) نشان داد که اثر اصلی کود و باکتری و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت منیزیم ریشه در تیمار ۵۰٪ کودی (٤/۹۲ میلی‌گرم در گرم) بود که با تیمار بدون کود اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و کمترین غلظت منیزیم مربوط به تیمار ۱۰۰٪ کودی (٤/٦۷ میلی‌گرم در گرم) است که با دو سطح کودی دیگر اختلاف آماری معنی‌داری دارد. جدایه S21-1 (٥/۳٤ میلی‌گرم در گرم) بیشترین غلظت منیزیم ریشه را داشت که با سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری داشت و کمترین غلظت منیزیم مربوط به جدایه **S14-3** (٤/۳۱ میلی‌گرم در گرم) است (جدول ٥).

به نظر می‌رسد جدایه‌های مورد استفاده در این آزمایش از طریق تولید متابولیت‌های کلات‌کننده باعث انحلال کانی‌ها و آزاد شدن عناصری از جمله منیزیم شده‌اند و همچنین گسترش سیستم ریشه‌ای منجر به افزایش جذب و غلظت منیزیم در گیاه شده‌اند. تلقیح بذر پنبه با *سودوموناس* منجر به افزایش جذب منیزیم شد (یائو، ۲۰۱۰). دارسون و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش منیزیم در گوجه‌فرنگی شده است.

غلظت کلسیم در بخش هوایی

تجزیه واریانس (جدول ٤) نشان داد که اثر اصلی کود و باکتری بر غلظت کلسیم بخش هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و اثر متقابل آن‌ها غیر معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار ۱۰۰٪ کودی کمترین غلظت کلسیم را داشت که با دو سطح ۵۰٪ و بدون کود اختلاف آماری معنی‌دار داشت. همانند منیزیم و پتاسیم بین کلسیم و پتاسیم یک رابطه آنتاگونیستی وجود دارد (بی‌نام ۱۹۹۸). جدایه S21-1 (۱۸/۲۳۵ میلی‌گرم در گرم) بیشترین غلظت کلسیم را داشت که با شاهد (۱۷/٦۱ میلی‌گرم در گرم) در یک گروه آماری قرار گرفت ولی با سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌دار داشت. کمترین غلظت کلسیم مربوط به جدایه **S10-3** بود (جدول ٥). یائو و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند تلقیح سودوموناس به پنبه سبب افزایش جذب کلسیم در گیاه شد.

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه در تیمار ۵۰٪ کود پتاسیم بدست آمد. سطح ۱۰۰٪ فاکتور کودی باعث کاهش غلظت فسفر، کلسیم، منیزیم، افزایش غلظت روی بخش هوایی و ریشه شد. بالاترین غلظت پتاسیم بخش هوایی و مقدار پتاسیم ریشه در جدایه S14-3 بدست آمد. همچنین جدایه‌های S19-1 و S21-1 بیشترین میانگین وزن خشک و مقدار پتاسیم

ریشه را داشتند که با شاهد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بودند. این نشان دهنده آزادسازی پتاسیم توسط جدایه‌های ذکر شده و همچنین بهبود رشد گیاه و توان رقابتی آن‌ها با جدایه‌های بومی خاک می‌باشد. جدایه‌های باکتری در سطوح کودی (صفر و ۵۰٪) عملکرد بهتری داشتند و بیشترین میانگین وزن خشک بخش هوایی متعلق به جدایه S6-6 در سطح ۵۰٪ کودی بود. شاخص کلروفیل در سطح ۵٪ متأثر از جدایه‌های باکتری بوده به صورتی که جدایه S21-1 بیشترین میزان کلروفیل را داشت. بیشترین غلظت فسفر بخش هوایی و ریشه، غلظت منیزیم ریشه متعلق به جدایه S21-1 بود و همچنین حداکثر غلظت آهن بخش هوایی را S21-1 و S19-1 دارا بودند. بیشترین غلظت روی بخش هوایی و ریشه به ترتیب متعلق به جدایه S10-3 و S6-6 بود. S14-3 بیشترین غلظت منیزیم و فسفر بخش هوایی را داشت. این نتایج حاکی از اثر بخشی جدایه‌های مورد استفاده در آزمایش در بهبود شرایط تغذیه‌ای برای گیاه گوجه‌فرنگی در حضور ریزجانداران بومی خاک می‌باشد. به نظر می‌رسد کاربرد ۵۰٪ کود پتاسیم به همراه جدایه‌های باکتری به لحاظ بهبود رشد و تغذیه بهتر قابل توصیه باشد.

منابع مورد استفاده

Afzal AB, Ashraf M, Asad SA and Farooq M, 2005. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on phosphorus uptake, yield and yield traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in rainfed area. International Journal of Agriculture and Biology, *7*: 207-209.

Aldana ME, 2005. Effect of phosphorus and potassium fertility on fruit quality and growth of Tabasco pepper (*Capsicum frutescens*) in hydroponic culture. Doctoral dissertation, Louisiana State University.

Anonymus, 1998. Functions of Potassium in Plants. Better Crops with Plant Food, 3: 4-5.

Bennett PC, Choi WJ and Rogera JR, 1998. Microbial destruction of feldspars. Minerals Management, 8: 149–150.

Deilamirad M, 2015. Effect of potassium releasing Pseudomonads on K uptake and Tomato growth in two different soils. M.Sc. Thesis, Department of soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian).

Disimin CD, Sayer JA and Gadd GM, 1998. Solubilization of zinc phosphate by a strain of *Pseudomonase fluorescens* isolated from a forest soil. Biology and Fertility of Soils, 28: 87-94.

Dursun A, Ekinci MK and Donmez MF, 2010. Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.). Pakistan Journal of Botany, *42*: 3349-3356.

Haby VA, Russelle MD and Skogley EO, 1990. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. Soil testing and plant analysis, 3rd ed., SSSA Book Seri, 3, pp.181-227.

Jones BJrJ, 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, USA.

Kavino M, Harish S=, Kumar N, Saravanakumar D and Samiyappan R, 2010. Effect of chitinolytic PGPR on growth, yield and physiological attributes of banana (*Musa spp.*) under field conditions. Applied Soil Ecology, 45: 71–77.

Keshavarz Zarjani J, Aliasgharzad N and Oustan S, 2012. Effects of six strains of potassium releasing bacteria on growth and potassium uptake of tomato plant. Journal of Water and Soil Science, 23: 245-255. (In Persian).

Lin QM, Rao ZH, Sun YX, Yao J and Xing LJ, 2002. Identification and practical application of silicate – dissolving bacteria. Agricultural Sciences in China, 1: 81-85.

Madani O, sarikhani MR, and Oustan S, 2015. Effect of some bacterial potassium releasing isolates on growth and K uptake by Tomato and identification of efficient isolates. Proceedings of the 8th Cogress on Advances in Agricultural Research. University of Kurdestan, Iran. (In Persian).

Malakouti MJ and Gheibi MN, 2000. Determination of critical level of soil nutrient elements, plant and fruit. Research organization, Agricultural Extension and Education, Published by Amozesh, pp 56. (In Persian).

Olsen SR and Sommers LE, 1982. Phosphorus. P. 403-430. In: Page et al. (eds.) Methods of soil Analysis. Part Π. 2ed. ASA, SSSA, Madison .WI .USA.

Park M, SingvilayD, SeokY, ChungJ, Ahn K and Sat. 2003. Effect of phosphate solubilizing fungi on 'P' uptake and growth of tobacco in rock phosphate.Soil Science and Fertilizer, 36: 233-238.

Prajapati K, Sharma MC and Modi HA, 2013.Growth promoting effect of potassium solubilizing microorganisms on *Abelmoscus esculantus*. International Journal of Agriculture Sciences, 3(1): 181-188.

Prashan SD, Bhushan RC and Sudhir C, 2009. Sidrophoregenic *Acinetobacter calcoaceticus* isolated from wheat rhizosphere with strong PGPR activity. Malaysian Journal of Microbiology, 5(1): 6-12.

Rasouli Sadaghiani MH, Khavazi K, Rahimian H, Malakouti MJ and Asadi R, 2006. An evaluation of the potentials of indigenous fluorescent Pseudomonas of wheat rhizosphere for producing siderophore. Soil and Water Research Institute, Journal of Water and Soil Science, 20: 143-135. (In Persian).

Rodrigues H, Fraga R, Gonzalez T and Bashan Y, 2006. Genetic of phosphate solublization and its potential application for improving plant growth-promoting bacteria. Plant and Soil, 287: 15-21.

Rodriguez H and Fraga R, 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology advances, 17: 319-339.

Rongchang L and Fenyting L, 1995. International training course on biological fertilizer. Bodenk Boading, China, 11 -68.

Rowell DL, 1994. Soil Science: Method and Application. Longman Scientific and Technical, Wiley, UK.

Sandra B, Natarajan V and Hari K, 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane sugar yields. Field Crop Research, 77: 43-49.

Sarikhani MR, Ebrahimi M, Oustan Sh. Aliasgharzad N, Madani O. 2016. Isolation of potassium releasing bacteria from soil and assessment of its ability in potassium nutrition of Tomato. 2nd ICIEM, International Conference on Integrated Environmental Management for Sustainable Development. Oct. 27-30, Sosse, Tunisa.

Sparks DL and Huang PM, 1985. Physical chemistry of soil potassium. In: Munson R.D(Ed.), Potassium in Agriculture. Amatuer Softball Association (ASA), 201–276.

Sparks DL, 1987. Potassium dynamics in soils. Advances in Soil Science, 6: 1- 63.

Srinivasa Rao C, Rupa TR, Subba Rao A, Ramesh G and Bansal SK, 2000. Release kinetics of non-exchangeable potassium by different extracts from soils of varying mineralogy and depth. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37: 473-491.

Surapaneni A, Palmer AS, Tillman RW, Kirkman JH and Geregg PEH, 2002. The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand. Geoderma, 110: 191-204.

Taleshi K and Osoli N, 2011. Effective of phosphate biofertilizer on reducing use of chemical phosphate fertilizer and rice yield in Amol, iran. World Applied Sciences Journal, 12(8): 1314-1320.

Vessey F, 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Biomedical and Life Sciences. Plant and Soil, 255 (2): 571-586.

Waling I, Vark WV, Houba VJG and Van der lee JJ, 1989. Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures, Wageningen Agriculture University, Netherland.

Welch SA, Barker WW and Banfield JF, 1999. Microbial extracellular polysaccharides and plagioclase dissolution." Geochimica et Cosmochimica Acta, 63(9): 1405-1419.

Yao L, Wu Z, Zheng Y, Kaleem I and Li C, 2010. Growth promotion and protection against salt stress by Pseudomonas putida Rs-198 on cotton. European Journal of Soil Biology, 46(1): 49-54.