نشریه دانش آب و خاک / جلد23 شماره2 صفحه‌های 245 تا 255/ سال 1392

# تأثیر شش سویه از باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم بر رشد و افزایش جذب پتاسیم در گیاه گوجه فرنگی

**جواد کشاورز زرجانی[1*]، ناصر علی اصغر زاد[2] و شاهین اوستان[3]**

تاریخ دریافت: 90/12/20 تاریخ پذیرش: 91/06/07

[1-] دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[2-] استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[3-] دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[*] مسئول مکاتبه: E-mail: Javad_Keshavarz37@yahoo.com

**چکیده**

پتاسیم یکی از عناصر غذایی ضروری پر مصرف برای گیاهان است که نقش مهمی در رشد و توسعه آن‌ها ایفا می‌کند. در این تحقیق توانائی شش سویه از باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم، شامل *Lysinibacillus fusiformis* سویه JK1 و پنج سویه از باکتری *Bacillus megaterium* (JK2، JK3، JK4، JK5 و JK6) بر بهبود رشد و افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه گوجه فرنگی در یک خاک لوم شنی با پتاسیم قابل استفاده 70 میلی گرم در کیلوگرم مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور آزمایشی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تیمارها شامل شش سطح سویه باکتری، تیمار کود پتاسیم (اضافه کردن کود پتاسه و بدون تلقیح با باکتری) و شاهد (بدون تلقیح با باکتری و فاقد کود پتاسه) بود. نتایج بررسی نشان داد که اثر تلقیح شش سویه نام برده بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار می‌باشد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه به ترتیب مربوط به سویه های JK4 و JK5 بود که تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها نداشت و نسبت به شاهد به ترتیب 23/97 و 52/23 درصد افزایش نشان داد. بیشترین غلظت و مقدار پتاسیم بخش هوایی مربوط به تیمار کود پتاسیم بود که با بقیه تیمارها دارای تفاوت معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد ) بود و نسبت به شاهد به ترتیب 69/88 و 88/06 درصد افزایش نشان داد. در بین سویه‌های مورد آزمایش بیشترین غلظت پتاسیم بخش هوایی مربوط به سویه‌های JK5 (17/10میلی گرم در گرم) و JK6 (17/10 میلی گرم در گرم) بود که نسبت به شاهد 32/04 درصد افزایش نشان داد و با JK1 تفاوت معنی‌داری نداشتند. همچنین بیشترین مقدار پتاسیم بخش هوایی مربوط به سویه JK6 بود که نسبت به شاهد 59/28 درصد افزایش داشت، که تفاوت معنی‌داری با سویه JK5 و JK1 نداشت. بیشترین غلظت و مقدار پتاسیم ریشه مربوط به تیمار کود پتاسیم بود که با بقیه تیمارها دارای تفاوت معنی‌دار بود. در بین سویه‌های مورد آزمایش بیشترین غلظت و مقدار پتاسیم ریشه مربوط به سویه JK4 بود.

**واژه‌های کلیدی** : *باسیلوس مگاتریوم*، باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم، پتاسیم، گوجه فرنگی، *لیزینی باسیلوس فوزیفورمیس*

# Effects of Six Strains of Potassium Releasing Bacteria on Growth and Potassium Uptake of Tomato Plant

**J keshavarz zarjani[1*], N Aliasgharzad[2] and SH Oustan[3]**

Received:11 March 2012 Accepted: 28 August 2012
[1-] Former M.Sc student, Dept. of Soil Sci., Univ. of Tabriz, Iran.
[2-] Prof., Dept. of Soil Sci., Univ. of Tabriz, Iran.
[3-] Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Univ. of Tabriz, Iran.
[*]Corresponding Author: Email: Javad_Keshavarz37@yahoo.com

**Abstract**

Potassium availability in soil is an important criterion for plant growth and yield production. In this study the ability of six strains of potassium releasing bacteria including *Lysinibacillus fusiformis* (JK1) and five strains of *Bacillus megaterium* (JK2, JK3, JK4, JK5 and Jk6) On growth and potassium uptake of tomato plants was investigated in a sandy loam soil with 70 mg $kg^{-1}$ available-K. An experiment based on completely randomized design with four replications was conducted under greenhouse conditions. Treatments consisted of six strains of bacteria, K- fertilizer treatment (+K and -bacteria) and control (- K and - bacterial). The results showed that the effect of six bacterial strains inoculum on dry weight of shoot and root in treatment of bacteria was significant ($P<0.05$). The highest amounts of dry weights shoot and root were accounted for JK4 and JK5 which in comparsion with the non-bacterial control showed 23.97 and 52.23% increments, respectively, while their difference with other strains were not significant. The highest concentration and content of potassium in shoot was calculated for K treated and non-bacterial plants that was significantly different from other treatments ($P<0.01$), which compared to the non-bacterial control showed 69.88 and 88.06 % increase, respectively. Among the strains tested here the highest concentration of shoot potassium was belong to the strains JK5 (17.10 mg $g^{-1}$) and JK6 (17.10 mg $g^{-1}$) that compared to the non-bacterial control showed 32.04 % increase and showed no significant difference with JK1. Also the highest content of shoot potassium was obtained with strain JK6 that compared to the non-bacterial control showed 59.28 % increase and showed no significant difference with JK5 and JK1. The highest concentration and content of root potassium was related to K treated and non-bacterial plants that showed significant difference with other strains. Among the strains tested the highest concentration and content of root K was related to strain JK4.

**Keywords**: *Bacillus megaterium*, *Lysinibacillus fusiformis*, Potassium, Potassium releasing bacteria, Tomato

**مقدمه**

پتاسیم یکی از عناصر غذایی ضروری پر مصرف و فراوان‌ترین کاتیون جذب شده در بیشتر گیاهان است که نقش مهمی در رشد و توسعه آن‌ها ایفا می‌کند. پتاسیم در فعالیت آنزیم‌ها، حفظ تورژسانس سلول، افزایش فتوسنتز، کمک در انتقال قند و نشاسته، کمک در جذب نیتروژن و برای سنتز پروتئین ضروری است. علاوه بر متابولیسم گیاه، پتاسیم باعث بهبود کیفیت محصول می‌شود زیرا پتاسیم در پر کردن دانه، وزن دانه، افزایش مقاومت به بیماری نقش داشته و علاوه بر آن منجر به افزایش مقاومت گیاه در مقابل استرس‌ها می‌شود (طباطبائی 1388). این عنصر به طور عمده در سه شکل مختلف در خاک وجود دارد که شامل پتاسیم قابل استفاده، تثبیت شده و پتاسیم موجود در مواد معدنی خاک می‌باشد. در بین سه شکل مختلف پتاسیم در خاک، غلظت پتاسیم موجود در محلول خاک معمولا بسیار کم است (1 ٪ تا 2 ٪ از کل) و بخش عمده پتاسیم (98٪) به صورت نامحلول در خاک، سنگ و مواد معدنی است (گلدشتاین 1994). اگر چه کمبود پتاسیم مثل کمبود نیتروژن و فسفر گسترده نیست اما بسیاری از خاکها که در ابتدا از نظر این عنصر غنی بودند به علت برداشت متوالی محصول، رواناب، آبشویی و فرسایش خاک با کمبود این عنصر مواجه شده‌اند (شنگ و هانگ 2002). لذا به منظور 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 حاوی پتاسیم (مثل میکا و فلدسپار) تأمین گردد (اسپارکس و هانگ، 1985). الکساندروف و همکاران (1967) نشان دادند که *Bacillus mucilaginosus* قادر به آزادسازی پتاسیم، سیلیسیم و آلومینیوم از مواد معدنی نامحلول می‌باشد. لی (1994) ایزوله‌های مختلفی از باکتری‌ها را از خاک، سنگ و نمونه‌های معدنی جدا کرد. در بین باکتری‌های جدا شده ایزوله MCRCP1 به طور معنی-داری قادر به آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار بود که بر اساس خصوصات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تشخیص داده شد که این ایزوله *B. mucilaginosus* بود. هو و همکاران (2006) دو سویه از باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم را از خاک جداسازی کردند. این دو سویه به طور معنی‌داری قادر به آزادسازی پتاسیم از کانی پتاسیم‌دار موجود در محیط کشت الکساندروف بودند. خصوصیات فنوتیپی و فیلوژنتیکی این سویه‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند در نهایت مشخص شد که این دو سویه متعلق به باکتری *B.mucilaginosus* (KNP413 و KNP414) می‌باشند و سویه KNP414 در آزادسازی پتاسیم موثرتر از سویه KNP413 بود. ساگمارن و جانارتانم (2007) باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم را از خاک، سنگ‌ها و نمونه‌های معدنی جداسازی کردند و تأثیر این باکتری‌ها را در آزادسازی پتاسیم از ارتوکلاز، میکروکلین و میکای مسکوویت مطالعه کردند. در بین ایزوله‌ها *B. mucilaginosus* بیشترین آزادسازی پتاسیم را داشت و در بین کانی‌های پتاسیم‌دار بیشترین مقدار پتاسیم آزاد شده مربوط به میکای مسکوویت بود. تحقیقات انجام شده توسط محققین نشان داد که بعضی میکروارگانیسم‌های موجود در خاک از طریق تولید و ترشح اسیدهای آلی و همچنین تولید کلات قادر به آزاد کردن پتاسیم، از کانی‌های حاوی پتاسیم مثل میکا، ایلایت و ارتوکلاز می‌باشند (گرادیو 1987؛ فردریچ و همکاران 1991؛ بنت همکاران 1998؛ شنگ و همکاران 2008). لذا، استفاده از باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم[1] (زهرا و همکاران 1984 و بارکر و همکاران 1998) یک روش امیدبخش برای افزایش پتاسیم قابل استفاده در خاک خواهد بود. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی اثر شش سویه از باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم، روی

[1] Potassium releasing bacteria

جذب پتاسیم و رشد گیاه گوجه فرنگی در شرایط گلخانه‌ای بود.

## مواد و روش‌ها

### نمونه‌برداری خاک

جهت انجام آزمایش گلخانه‌ای در خرداد ماه 1390 از ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، یک خاک لوم شنی با پتاسیم قابل استفاده کمتر از 100 میلی‌گرم در کیلوگرم انتخاب نموده و از عمق 20–0 سانتی‌متری نمونه‌برداری و پس از هوا خشک کردن و مخلوط کردن کامل، از الک 4 میلی‌متری عبور داده شد. دو کیلوگرم از خاک مذکور پس از عبور از الک دو میلی‌متری جهت اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیائی مورد استفاده قرار گرفت (جدول 1).

### سویه‌های باکتری

ایزوله‌های مختلفی از باکتری‌ها از اراضی استان آذربایجان شرقی جدا شدند. نتایج اولیه آزمایشگاهی نشان داد که در بین ایزوله‌های جدا شده شش ایزوله به طور معنی‌داری قادر به آزادسازی پتاسیم از محیط کشت مایع حاوی نمونه‌های خاک، مسکوویت و بیوتیت شدند (کشاورز زرجانی 1390). ایزوله‌های نام برده با مشاهدات میکروسکوپی، آزمون‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیائی و توالی‌یابی 16S rDNA شناسائی شدند. این باکتری‌ها شامل *Lysinibacillus fusiformis* سویه JK1 و پنج سویه از باکتری *Bacillus megaterium* (JK2، JK3، JK4، JK5 و JK6) بودند (کشاورز زرجانی 1390). بنابراین باکتری‌های نام برده در یک آزمایش گلدانی جهت تأثیرشان در آزادسازی پتاسیم و رشد گیاه گوجه فرنگی مورد بررسی قرار گرفتند.

### کشت گلدانی گوجه فرنگی و اعمال تیمارهای باکتری

سویه‌های نام برده که در آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار از کارآیی خوبی برخوردار بودند برای تلقیح به خاک و بررسی تأثیر آنها در رشد و تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه انتخاب شدند. آزمایش گلخانه‌ای در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل شش سطح سویه باکتری، تیمار کود پتاسیم (اضافه کردن کود پتاسه و بدون تلقیح با باکتری) و شاهد (بدون تلقیح با باکتری و فاقد کود پتاسه) بود. کودهای شیمیائی اوره، سوپرفسفات تریبل و سولفات پتاسیم به عنوان منبع نیتروژن، فسفر و پتاسیم استفاده شدند این شش سویه باکتری، در محیط کشت A (فاقد آگار) تکثیر شده و سوسپانسیون باکتریائی با OD=0/7 در λ= 600 (جمعیت حدود $10^8$ cfu $ml^{-1}$) به دست آمد. محیط کشت A شامل: پپتون 5 گرم، عصاره گوشت 3 گرم، کلرید سدیم 5 گرم، آب مقطر 1000 میلی‌لیتر، pH=7/4 (ساگمارن و جنارتانم 2007).

خاک لوم شنی با پتاسیم قابل استفاده 70 میلی‌گرم در کیلوگرم (جدول 1) در گلدان‌های پلاستیکی با قطر 20 سانتی‌متر ریخته شدند (هر گلدان 2 کیلوگرم خاک) و سپس گلدان‌های حاوی خاک در دستگاه اتوکلاو در دمای 121 درجه سلسیوس، فشار یک اتمسفر و به مدت 30 دقیقه استریل شدند. بذر گوجه فرنگی از ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان تهیه گردید سپس با هیپوکلریت سدیم نیم درصد ضد عفونی سطحی شد و در پرلیت استریل کشت گردید و تا مرحله سه برگی با محلول غذایی رقیق و فاقد پتاسیم آبیاری شدند. سپس نشاها در گلدان‌های اصلی کشت شده (سه نشاء در هر گلدان) و یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتریائی به ازای هر نشاء به ناحیه ریشه اضافه شد. نیتروژن، پتاسیم و فسفر و عناصر کم مصرف با توجه به آنالیز خاک (جدول 1) و بر اساس توصیه کود پتاسیم برای گوجه فرنگی (خوگر و همکاران 1379) به صورت محلول در

آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شدند (پتاسیم فقط به تیمار کود پتاسیم فاقد سویه‌های باکتری اضافه شد). پس از استقرار گیاهان، در هر گلدان دو گیاه سالم و شاداب نگهداری شد. گلدان‌ها در شرایط کنترل شده اتاقک رشد (طول دوره روشنائی 12 ساعت، دمای اتاقک رشد در شب و روز به ترتیب2 ± 15 و2 ± 28 درجه سلسیوس و با نور فلورسنت 10000 – 8000 لوکس) قرار گرفتند و تا انتهای مرحله گلدهی نگهداری شدند. در پایان دوره رشد که نزدیک دو ماه طول کشید (زمان گلدهی) بخش هوائی و ریشه بطور جداگانه برداشت گردیدند. و سپس در پاکت کاغذی گذاشته و به داخل آون منتقل شده و در دمای 65 درجه سلسیوس به مدت سه روز خشک شدند. بعد از اتمام این مدت نمونه‌ها از آون خارج گردیدند و به کمک ترازوی حساس ( 0/01 ± گرم) وزن خشک آنها یاداشت گردید. آنگاه نمونه‌های گیاهی خشک شده بر اساس روش رایج آزمایشگاهی از نظر عنصر غذایی پتاسیم مورد تجزیه قرار گرفت. اندازه‌گیری پتاسیم اندام هوایی و ریشه با استفاده از آماده‌سازی نمونه‌ها به روش هضم با اسید انجام شد (طباطبایی 1388).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزارSPSS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید و نمودارها با نرم افزار Excel رسم شد.

## نتایج و بحث

### تأثیر تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه

تجزیه واریانس وزن خشک اندام هوایی و ریشه نشان می‌دهد که اثر سویه‌های مورد آزمایش بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول 2). مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه در جدول 3 نشان داده شده است. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی مربوط به سویه JK4 بود که نسبت به شاهد بدون باکتری 23/97 درصد افزایش نشان داد و تفاوت معنی‌داری با تیمار کود پتاسیم و سویه‌های JK1، JK2 ، JK3، JK5، JK6 نداشت. تمام تیمارها نسبت به شاهد دارای تفاوت معنی‌دار بودند ولی تیمار کود پتاسیم دارای کمترین وزن خشک بود و نسبت به شاهد بدون باکتری 10/87 درصد افزایش نشان داد.

بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به سویه JK5 بود که نسبت به شاهد 52/23 درصد افزایش نشان داد و با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تلقیح این شش سویه به خاکی که دارای کمبود پتاسیم قابل استفاده (70 میلی گرم در کیلوگرم) بود به طور قابل توجهی منجر به افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی شده است. ساگمارن و جانارتام (2007) باکتری‌های آزادکننده پتاسیم را از خاک جدا کرده و تأثیر آنها بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار موجود در خاک و همچنین رشد گیاه بادام زمینی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که باکتری *Bacillus mucilaginosus* MCRCP1 توانایی بالایی در آزاد-سازی پتاسیم از میکای مسکوویت داشت. و مقدار فسفر و پتاسیم قابل استفاده در خاک به طور چشمگیری افزایش یافت. همچنین وزن خشک ریشه، اندام هوائی و درصد روغن بر اثر این تلقیح به طور معنی‌داری افزایش یافت.

افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی نسبت به شاهد در اثر تلقیح با سویه‌های مورد آزمایش را می-توان به تولید و ترشح ترکیباتی مثل اسیدهای آلی، معدنی، پلی ساکاریدها و سیدروفور توسط این سویه‌ها نسبت داد که منجر به آزادسازی پتاسیم از ترکیبات نامحلول شده و به شکل قابل استفاده برای گیاه در آمده است. شنگ و همکاران (2008) گزارش کردند که تجزیه کانی‌های پتاسیم‌دار و آزادسازی پتاسیم توسط

*Bacillus globisporus* Q12 به علت تولید اسیدهای آلی می‌باشد. محققین گزارش کردند که *Bacillus megaterium* قادر به تولید سیدروفور می‌باشد (هنریچ و همکاران 2004، چاکرا بورتی و همکاران 2006 ). همچنین توانایی تجزیه سیلیکات‌ها توسط باکتری‌ها از طریق تولید و ترشح پروتون، اسیدهای آلی، سیدروفور و لیگاندهای آلی است (ولچ و همکاران 1999؛ لیرمان و همکاران 2000؛ روجرز و همکاران 2004). یکی دیگر از سازوکارهای افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوائی را می‌توان به تولید مواد محرک رشد گیاه مثل ایندول استیک اسید (IAA) و جیبرلین نسبت داد. چاکرا بورتی و همکاران (2006) و آرکانا (2007) گزارش کردند که باکتری‌های *Basillus sp* و *Bacillus megaterium* قادر به تولید IAA می‌باشند که این ترکیب تولید شده توسط باکتری می‌تواند منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی و عملکرد گردد. باکتری‌های سیلیکاتی در طی فعالیت‌های حیاتی خود می‌توانند مواد محرک رشد گیاه تولید کنند به طوری که با استفاده از کروماتوگرافی مایع با ترجیح بالا (HPLC) مشخص شده است که در محیط کشت باکتری مقدار زیادی جیبرلین و سایر مواد فعال کننده وجود دارد که محرک رشد گیاه می‌باشند (رانگ چانگ و فنیتنگ 1995).

**جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در این آزمایش**

| شن (%) | سیلت (%) | رس (%) | بافت | O.C (%) | EC ( dS/ m) | pH | جرم مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 77 | 13 | 10 | لومی شنی | 0/32 | 0/8 | 7/8 | 1/46 |

**ادامه جدول 1- غلظت قابل استفاده عناصر برای گیاه در خاک مورد استفاده در این آزمایش**

| P (mg/kg) | K (mg/kg) | Fe (mg/kg) | Zn (mg/kg) | Mn (mg/kg) | Cu (mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 70 | 1/05 | 0/5 | 1/7 | 0/3 |

**غلظت و مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه**

طبق جدول تجزیه واریانس (جدول 2) اثر هر شش سویه بر غلظت و مقدار پتاسیم بخش هوایی و ریشه معنی‌دار شد (در سطح احتمال یک درصد). مقایسه میانگین غلظت و مقدار پتاسیم بخش هوایی (جدول 3) نشان می‌دهد که بیشترین غلظت و مقدار پتاسیم بخش هوایی مربوط به تیمار کود پتاسیم (کنترل مثبت) بدون باکتری بود که با بقیه تیمارها دارای تفاوت معنی‌دار بود و نسبت به شاهد بدون باکتری به ترتیب 69/88 و 88/06 درصد افزایش نشان داد. در بین سویه‌های مورد آزمایش بیشترین غلظت پتاسیم بخش هوایی مربوط به سویه‌های JK5 و JK6 بود که نسبت به شاهد بدون باکتری 32/04 درصد افزایش نشان دادند و با JK1 تفاوت معنی‌داری نداشتند. همچنین در بین سویه‌های مورد آزمایش بیشترین مقدار پتاسیم بخش هوایی مربوط به سویه JK6 بود که نسبت به شاهد بدون باکتری 59/28 درصد افزایش داشت و تفاوت معنی‌داری با سویه‌های JK5 و JK1 نداشت ولی با بقیه تیمارها دارای تفاوت معنی‌دار بود. مقایسه میانگین غلظت پتاسیم ریشه در جدول 3 نشان داده شده است.

بیشترین غلظت و مقدار پتاسیم ریشه مربوط به تیمار کود پتاسیم بدون باکتری بود. در بین سویه‌های مورد آزمایش بیشترین غلظت پتاسیم ریشه مربوط به سویه JK4 بود و با JK2، JK5 و JK6 تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین بیشترین مقدار پتاسیم ریشه مربوط به سویه JK4 بود که با بقیه تیمارهای تلقیح شده تفاوت معنی‌داری نداشت. اعداد مربوط به مقادیر پتاسیم جذب شده به وسیله ریشه در مقایسه با اندام هوایی به دلیل داشتن زیست توده کمتر کاهش نشان داده است (جدول 3). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تلقیح این شش سویه به خاکی که پتاسیم قابل استفاده پایین داشت، به طور قابل توجهی منجر به افزایش غلظت و مقدار پتاسیم ریشه و اندام هوایی در گیاه گوجه فرنگی شد. افزایش غلظت و مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه در اثر تلقیح با باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم توسط محققین مختلفی گزارش شده است (بدر 2006، شنگ و همکاران 2008).

**جدول 2- تجزیه واریانس صفات مورد اندازه گیری در تیمارهای باکتریائی**

| منابع تغییرات | درجه آزادی (df) | وزن خشک اندام هوایی | وزن خشک ریشه | غلظت پتاسیم بخش هوایی | غلظت پتاسیم ریشه | مقدار پتاسیم بخش هوایی | مقدار پتاسیم ریشه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سویه باکتری | 7 | 0/885* | 0/576* | 37/108** | 79/24** | 1863/084** | 926/93** |
| خطا | 24 | 0/342 | 0/186 | 1/417 | 4/25 | 138/889 | 122/150 |
| ضریب تغییرات (%) | | 8/3 | 14/04 | 7/5 | 25/57 | 1/3 | 42/34 |

*و ** به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطوح احتمال 5 و 1 درصد می باشند.

توانایی این باکتری‌ها در افزایش پتاسیم قابل استفاده از خاک مذکور را می‌توان اینگونه توجیه کرد. این باکتری‌ها با تخریب کانی‌های پتاسیم‌دار، این عنصر را از کانی آزاد کرده و به شکل قابل استفاده برای گیاه در می‌آورند. مکانیسم تجزیه سیلیکات‌ها بر حسب نوع باکتری تجزیه کننده متفاوت خواهد بود. ولی اساساً این فرایند در نتیجه تأثیر فرایندهای متابولیک این باکتری‌ها روی کانی‌ها انجام می‌شود. در انتخاب اولیه باکتری‌ها در کشت درون شیشه‌ای، باکتری‌هایی انتخاب شدند که رشد سریع داشته و قادر به تولید مواد لزج و لعابی بودند سپس این باکتری‌ها به محیط کشت مایع حاوی مسکوویت یا بیوتیت اضافه شدند و این شش سویه به طور معنی‌داری قادر به آزادسازی پتاسیم بودند (کشاورز زرجانی 1390). محققین گزارش کردند که پلی ساکاریدها (مثل اسیدهای اورنیک) مواد لعابی و لزجی هستند که دارای عوامل کربوکسیلی (COOH) و فنلی($C_6H_6O$) می‌باشند 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 (ولچ و همکاران 1999). شاید این مواد لزج تولید شده توسط سویه‌های نام برده، مواد پلی ساکاریدی باشند که توسط این سویه‌ها تولید و ترشح شده و در آزادسازی پتاسیم مؤثر واقع شده است.

از شش سویه ذکر شده، پنج سویه مربوط به باکتری *B. megaterium* بود که نسبت به تیمار کود پتاسیم و سویه JK1 در افزایش وزن خشک مؤثرتر واقع شده بود. محققین گزارش کردند که این باکتری قادر به تولید ایندول استیک اسید (IAA) و سیدروفور می‌باشد که سیدروفور تولید شده می‌تواند با عناصر موجود در سطح کانی کمپلکس برقرار کند و در آزادسازی عناصری مثل فسفر، پتاسیم و آهن مؤثر واقع شود (هنریچ و همکاران 2004، چاکرا بورتی و همکاران 2006). بنابراین تجزیه کانی‌های پتاسیم‌دار و آزاد شدن پتاسیم در اثر این مکانیسم و یا سایر مکانیسم‌ها می‌تواند نقش مؤثری در افزایش پتاسیم قابل استفاده در خاک دارای کمبود این عنصر داشته باشد همچنین IAA تولید شده توسط این باکتری می‌تواند به عنوان یک ترکیب آلی محرک رشد گیاه عمل کند. درنتیجه افزایش پتاسیم قابل استفاده و همچنین تولید ترکیبات آلی محرک رشد گیاه مثل IAA می‌توانند در افزایش رشد گیاه نقش مؤثری ایفا کنند به طوری که تأثیر تلقیح باکتری‌های نام برده در افزایش وزن خشک بیشتر از همان خاک کود داده شده توسط تیمار کود پتاسیم بود و این نشان می دهد که باکتری‌ها نه تنها قادر به تأمین پتاسم مورد نیاز گیاه هستند بلکه با تولید ترکیباتی مثل IAA می توانند حتی مؤثرتر از تیمار کود پتاسیم در افزایش رشد گیاه عمل کنند هر چند که مقدار پتاسیم جذب شده توسط تیمار کود پتاسیم بیشتر از تیمارهای تلقیح شده توسط باکتری‌های نام برده بود. بدر (2006) در یک آزمایش مزرعه‌ای یک سویه از باکتری تجزیه کننده سیلیکات به نام *Bacillus cereus* را برای ارزیابی تأثیر تلقیح این سویه بر آزادسازی پتاسیم از فلدسپار در حضور کاه و کلش برنج و تأثیر کمپوست غنی شده با فلدسپار (F-compost) بر عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی استفاده کرد. نتایج نشان داد که پاسخ گیاه گوجه‌فرنگی به F- compost تلقیح شده با این سویه در یک خاک شنی به طور چشمگیری افزایش یافت و حتی تأثیر آن بیشتر از سولفات پتاسیم اضافه شده به همین خاک بود. در حالی که فلدسپار به تنهایی تأثیر نداشته و یا تأثیر کمی داشت. همچنین بسیاری از محققین گزارش کردند که وزن خشک ریشه، اندام هوایی و مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه در اثر تلقیح با باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم نسبت به شاهد بدون باکتری، به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (چاکرا بورتی و همکاران 2006، ساگمارن و جنارتانم 2007 ).

این اولین گزارشی است که نشان می‌دهد *Lysinibacillus fusiformis* سویهJK1 قادر به آزادسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی و تأمین پتاسیم قابل استفاده گیاه است اما توانایی *B. megaterium* برای آزادسازی پتاسیم از کانی میکا و تأمین پتاسیم گیاه مشخص شده است (هو و بایر 1996). با این حال بایستی عنوان نمود که مکانیسم‌های واقعی که سویه‌های مختلف *B. megaterium* و *Lysinibacillus fusiformis* می‌توانند پتاسیم را از کانی‌های پتاسیم‌دار آزاد نمایند و همچنین مواد محرک رشد گیاه که ممکن است از جانب باکتریهای فوق تولید و منجر به افزایش رشد گیاه شوند مورد بررسی قرار نگرفت و در مطالعات آتی باید بدان توجه نمود.

**جدول 3- مقایسه وزن خشک اندام هوایی و ریشه، غلظت و مقدار پتاسیم بخش هوایی و ریشه تیمارهای مورد آزمایش**

| تیمار | وزن خشک اندام هوایی(g/pot) | وزن خشک ریشه (g/pot) | غلظت پتاسیم بخش هوایی (mg/g) | غلظت پتاسیم ریشه (mg/g) | مقدار پتاسیم ریشه (mg/pot) | مقدار پتاسیم بخش هوایی (mg/pot) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| JK1 | 6/84ab | 3/16a | 15/72b | 6/07c | 19/51bc | 107/56bc |
| JK2 | 7/03a | 3/37a | 13/52c | 6/80bc | 23/46bc | 95/44cd |
| JK3 | 7/41a | 3/08a | 13/52c | 5/125c | 15/46bc | 99/94c |
| JK4 | 7/55a | 3/40a | 13/62c | 9/63b | 32/70bc | 102/54c |
| JK5 | 7/35a | 3/41a | 17/10b | 6/55bc | 22/31bc | 125/54b |
| JK6 | 7/25a | 3/21a | 17/10b | 7/32bc | 23/51bc | 123/90b |
| کود پتاسیم (کنترل مثبت) | 6/76ab | 3/20a | 22a | 18/40a | 60/45a | 148/65a |
| شاهد (کنترل منفی) | 6/097b | 2/24b | 12/95c | 4/55c | 11/46c | 79/04d |

تفاوت میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیست.

**نتیجه گیری کلی**

مطالعه انجام شده نشان داد که تلقیح هر شش سویه به ریشه گیاه گوجه فرنگی در خاک لوم شنی با پتاسیم قابل جذب پایین، منجر به جذب بیشتر پتاسیم در مقایسه با شاهد شد. رشد گیاه در اثر تلقیح با هر یک از این شش سویه به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرد و این افزایش حتی بیشتر از تیمار کود پتاسیم بود هر چند که مقدار پتاسیم گیاه در تیمار کود پتاسیم بیشتر از تیمارهای تلقیح شده توسط سویه‌های مورد آزمایش بود و این نشان می‌دهد که علاوه بر تأثیر این سویه‌ها بر آزادسازی پتاسیم، ترکیبات دیگری مثل مواد محرک رشد گیاه ممکن است توسط این باکتری‌ها تولید شده و در رشد گیاه مؤثر واقع شوند. چون پتانسیل آزادسازی پتاسیم بین سویه‌های مورد آزمایش متفاوت بود بنابراین مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه در اثر تلقیح با سویه‌ها نیز متفاوت بود. در این آزمایش چون هر شش سویه از نظر بهبود رشد و جذب پتاسیم توسط گیاه مؤثر واقع شدند می‌توان از این سویه‌ها پس از تایید در تحقیقات مزرعه ای در جهت کاهش مصرف کود پتاسه استفاده نمود.

**منابع مورد استفاده**

کشاورز زرجانی ج، 1390. جداسازی باکتری‌های آزادکننده پتاسیم از خاک و تاثیر آنها بر جذب پتاسیم توسط گیاه گوجه فرنگی. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

طباطبایی ج، 1388. اصول تغذیه معدنی گیاهان. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تبریز.

خوگر ز، ارشد ک و ملکوتی م ج، 1379. اثرات مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد گوجه فرنگی. مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران، نشریه فنی شماره 65. 21 صفحه.

Aleksandrov VG, Blagodyr RN and Iiiev IP, 1967. Liberation of phosphoric acid from apatite by silicate bacteria. Mikrobiolohichnyi Zhurnal (Kiev) 29: 111-114.

Archana DS, 2007. Studies on potassium solubilizing bacteria. M.Sc. Thesis, University of Agricultural Sciences, Dharwad.

Badr MA, 2006. Efficiency of K-feldspar combined with organic materials and silicate dissolving bacteria on tomato yield. Journal of Applied Sciences Research 2: 1191-1198.

Barker WW, Welch SA, Chu S and Banfield JF, 1998. Experimental observations of the effects of bacteria on aluminosilicate weathering. American Minerals 83:1551–1563.

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

Chakraborty U, Chakraborty B, Basnet M, 2006. Plant growth promotion and induction of resistance in Camellia sinensis by *Bacillus megaterium*. Journal of Basic Microbiology (JBM) 46: 186 – 195.

Friedrich S, Platonova NP, Karavaiko GI, Stichel E and Glombitza F, 1991. Chemical and microbiological soluiblization of silicates. Acta Biotechnologica 11: 187-196.

Goldstein AH, 1994. Involvement of the quino protein glucose dehydrogenase in the solubilization of exogeneous mineral phosphates by gram negative bacteria. Pp. 197-203. In: Torriani-Gorini A, Yagil E and Silver S, (eds.) Phosphate in Micro-Organisms: Cellular and Molecular Biology. Washington DC, ASM Press.

Groudev SN, 1987. Use of heterotrophic microorganisms in mineral biotechnology. Acta Biotechnologica 7: 299–306.

Heinrichs DE, Rahn A, Dale SE and Sebulsky MT, 2004. Iron transport systems in pathogenic bacteria: *Staphylococcus*, *Streptococcus*, and *Bacillus*. Pp. 387-401. In: crosa JH, Mey AR and payne SM, (eds.) Iron Transport in Bacteria. American Society of Agronomy. Wisconsin, DC.

Hu X and Boyer GL, 1996. Siderophore mediated aluminium uptake by *Bacillus megatherium* ATCC 19213. Applied and Environmental Microbiology (AEM) 62: 4044-4048.

Hu XF, Chen J and Guo JF, 2006. Two phosphate and potassium solubilizing bacteria isolated from Tiannumountain, Zhejiang, China. World Journal of Microbiology and Biotechnology 22: 983-990.

Li YF, 1994. The characteristics and function of silicate dissolving bacteria fertilizer. Soil and Fertilizer 2: 48-49.

Liermann LJ, Kalinowski BE, Brantley SL and Ferry JG, 2000. Role of bacterial siderophores in dissolution of hornblende. Geochimica et Cosmochimica Acta 64: 587- 602.

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

Rogers JR and Bennett PC, 2004. Mineral stimulation of subsurface microorganisms: release of limiting nutrients from silicates. Chemical Geology 203: 91-108.

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

Sheng XF and Huang WY, 2002. Study on the conditions of potassium release by strain NBT of silicate bacteria scientia. Agricultura Sinica 35: 673-677.

Sheng XF, Zhao F, He LY, Qiu G and Chen L, 2008. Isolation and characterization of silicate mineral solubilizing *Bacillus globisporus Q12* from the surfacees of weathered feldspar. Canadian Journal of Microbiology 54: 1064-1068.

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

Sugumaran P and Janarthanam B, 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. World Journal of Agricultural Science 3: 350-355.

Welch SA, Barker WW and Banfield JF, 1999. Microbial extra cellular polysaccharides and plagioclase dissolution. Geochimica et Cosmochimica Acta 63: 1405-1419.

Zahra MK, Monib M, Abdel A and Heggo A, 1984. Significance of soil inoculation with silicate bacteria. Control of Microbial Growth 139: 349–357.