نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۷، ص. ۵۷۲-۵۵۹

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 3, Jul.-Agu. 2018, p. 559-572

تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد، هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل ذرت در شرایط کمبود پتاسیم

مهدیه لیلاسی مرند[۱]- محمدرضا ساریخانی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۳۰

چکیده

پتاسیم از عناصر ضروری گیاهان بوده که نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان داشته و آزادسازی زیستی آن از طریق باکتری‌های آزادکننده پتاسیم مورد توجه است. این آزمایش با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های مختلف بر تأمین پتاسیم و رشد رویشی گیاه ذرت انجام گرفت. در این تحقیق، ۱۰ جدایه باکتری همراه با تیمارهای کودی (سولفات پتاسیم به میزان ۵۰٪ و ۱۰۰٪ توصیه کودی) و تیمار شاهد (بدون تلقیح باکتری و کود) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد به جز وزن خشک ریشه، وزن تر کل و قطر ساقه، بقیه پارامترها متأثر از تیمارهای آزمایش بودند. بیش‌ترین مقادیر به‌دست آمده از ارتفاع گیاه و وزن تر و خشک اندام هوایی، به ترتیب برابر با ۱۰۰/۸سانتی‌متر، ۲۶۵/۶ و ۴۴/۴ گرم، در تیمار کودی ۵۰٪ مشاهده شد. بیش‌ترین وزن تر ریشه (۱۸۷/۲ گرم) در تیمار باکتری *Pseudomonas* sp. Az-8، بیش‌ترین وزن خشک کل (۶۸/۶ گرم) در تیمار باکتری *Enterobacter* sp. S16-3 و بالاترین میزان شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای (به ترتیب ۹/۶ و ۰/۰۹۷) در تیمار تلقیح شده با *Azotobacter chroococcum* 14SP2-1 مشاهده شد. آنالیز عناصر در بافت گیاهی نشان داد که بیش‌ترین مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه را به ترتیب در تیمار ۱۰۰٪ توصیه کودی (۱۰۷۷/۳ میلی‌گرم بر وزن اندام هوایی) و *Pseudomonas* sp. Az-8 (۴۲۱/۴ میلی‌گرم بر وزن ریشه) به دست آمد. با در نظر گرفتن مقدار پتاسیم جذب شده و وزن خشک کل، باکتری‌های *Pseudomonas* sp. Az-8، *A. chroococcum* 14SP2-1 و *Enterobacter* sp. S16-3 مؤثرتر بوده و می‌توان برای سایر آزمایشات پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: *انتروباکتر*، باکتری آزادکننده پتاسیم، پتابارور، تلقیح باکتری، کود زیستی

مقدمه

پتاسیم به همراه نیتروژن و فسفر یکی از سه عنصر ضروری برای رشد گیاه تلقی می‌شود و یکی از منابع تجدیدناپذیر هست و در بین عناصر غذایی اصلی معمولاً فراوان‌ترین عنصر در خاک به شمار می‌رود. این عنصر نقش‌های حیاتی در متابولیسم گیاه از قبیل فتوسنتز، انتقال موادی نظیر قندها و نشاسته در گیاه، تنظیم منافذ روزنه گیاهان، فعال‌سازی بیش از ۶۰ آنزیم، افزایش کیفیت محصول، افزایش مقاومت گیاه به آفات و بیماری‌ها دارد (۴۳ و ۳۵). در مورد تأثیر مستقیم و مهم پتاسیم بر روی شاخص‌هایی همچون کلروفیل و هدایت روزنه‌ای، مارشیول و همکاران (۲۶) اظهار داشتند که پتاسیم می‌تواند از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان کلروفیل، سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، فعالیت فتوسنتزی و انتقال مواد حاصل از فتوسنتز، باعث افزایش ماده خشک شود. در مطالعه‌ای دیگر اجیلا و همکاران (۱۲) بیان کردند مصرف مقادیر کافی از کود پتاسیم علاوه بر افزایش تولید ماده خشک و توسعه سطح برگ، تا حد زیادی از طریق کاهش پتانسیل اسمزی باعث نگهداری آب در بافت‌های گیاهی تحت شرایط تنش آبی می‌گردد، به طوری‌که منجر به پایداری فتوسنتز خالص، تعرق و هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی و شرایط بدون تنش خواهد شد.

عواملی که باعث ایجاد کمبود این عنصر شده، کشت گیاهان پرنیاز، کشاورزی متمرکز و نیز آبشویی، فرسایش و رواناب و جایگزین نشدن پتاسیم برداشت شده توسط گیاهان، می‌باشند (۴۰). میکروارگانیسم‌ها نقش مهمی را در تغییر و تبدیل عناصر غذایی از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس برای گیاهان ایفا می‌کنند.

۱ و ۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: (Email: rsarikhani@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.v32i3.69251

به طوری‌که به واسطه فعالیت آن‌ها مقدار مواد در دسترس و مغذی در خاک افزایش یافته و سبب افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود (۱۹). به‌کارگیری باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه مثل باکتری‌های آزادکننده پتاسیم یک راه حل پایدار در جهت تغذیه بهتر گیاه و تولید آن خواهد بود، لذا استفاده از باکتری‌های آزادکننده پتاسیم (۴)، یک روش امیدبخش برای افزایش پتاسیم قابل استفاده در خاک بوده و با کاربرد کودهای زیستی که حاوی آزادکنندگان پتاسیم هستند، نه تنها باروری خاک افزایش پیدا می‌کند بلکه باعث افزایش عملکرد محصولات، مقاومت در برابر بیماری‌ها و کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود (۴۲ و ۴۴).

نتایج مثبت استفاده از باکتری‌ها در تأمین نیاز پتاسیم گیاه و بهبود رشد گیاهان در مطالعات زیادی گزارش شده است. به عنوان مثال لین و همکاران (۲۱) گزارش کردند که در اثر تلقیح باکتری حل‌کننده سیلیکات *Bacillus mucilaginosus* به گیاه گوجه‌فرنگی، بیوماس به میزان ۱۲۵٪ و جذب پتاسیم و فسفر بیش از ۱۵۰٪ در مقایسه با شاهد افزایش یافت. پراجاپاتی و همکاران (۳۳) نیز در یک آزمایش گلدانی با تلقیح باکتری آزادکننده پتاسیم *E. hormaechei* و قارچ *Aspergillus terreus* به گیاه بامیه در خاکی با مقدار پتاسیم کم و در حضور فلدسپار، افزایش مقدار پتاسیم در گیاه بامیه را گزارش کردند. دردی‌پور و همکاران (۹) تأثیر *آزوسپیریلوم لیپوفروم* و *ازتوباکتر کروکوکوم* را بر آزادسازی پتاسیم خاک در کشت سویا بررسی کرده و مطالعات آن‌ها نشان داد که تلقیح باکتری بر پارامترهای رشد گیاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و گیاهان تلقیح شده با *ازتوباکتر* نسبت به گیاهان تلقیح شده با *آزوسپیریلوم* و تیمار بدون باکتری وزن خشک و غلظت پتاسیم بالاتری دارند. مدنی و همکاران (۲۳) تأثیر ۱۶ جدایه باکتری را بر رشد گوجه‌فرنگی در بستر شن و کانی موسکویت در شرایط استریل بررسی کردند. نتایج نشان از اثر جدایه‌های باکتریایی بر ارتفاع گیاه در پایان دوره، وزن تر و خشک ریشه، وزن خشک کل، غلظت و مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه گیاه بود. به طوری‌که بیش‌ترین میانگین به دست آمده برای مقدار پتاسیم جذب‌شده در میان جدایه‌ها مربوط به S10-3 با افزایش ۷۰٪ و S21-1 با افزایش ۴۰٪ نسبت به شاهد بوده و شناسایی مولکولی جدایه‌های برتر نشان داد که متعلق به جنس *سودوموناس* هستند. دیلمی‌راد و همکاران (۸) در پژوهشی ۵ جدایه میکروبی *Pseudomonas* spp. شامل S6-6، S10-3، S14-3، S19-1 و S21-1 را بر بهبود رشد و افزایش جذب پتاسیم گیاه گوجه‌فرنگی در خاک با پتاسیم پایین ولی با حضور ریزجانداران بومی (شرایط غیراستریل) بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد بیش‌ترین وزن تر و خشک بخش هوایی در تیمار مصرف پتاسیم ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (۵۰٪) به دست آمد و سطح ۱۰۰٪ فاکتور کودی باعث کاهش غلظت فسفر، کلسیم، منیزیم بخش هوایی و ریشه شد. بیش‌ترین غلظت پتاسیم بخش هوایی و مقدار پتاسیم ریشه در جدایه S14-3 به‌دست آمد. همچنین جدایه‌های S19-1 و S21-1 بیش‌ترین میانگین وزن خشک و مقدار پتاسیم ریشه را داشتند. خرمالی و همکاران (۲۰) در تحقیقی تأثیر ریزوسفر گیاه سورگوم و باکتری‌های *باسیلوس* را بر آزادسازی پتاسیم از کانی گلوکونیت بررسی کردند. مطالعات نشان داد در بسترهایی که محلول غذایی پتاسیم‌دار و محلول غذایی بدون پتاسیم دریافت کرده‌اند عمل هوادیدگی در جزء رس صورت گرفته است که این تغییر در تیمار محلول غذایی بدون پتاسیم بیش‌تر بوده است. هم‌چنین آن‌ها مشاهده نمودند که تامین پتاسیم و عدم افزودن آن اختلاف معنی‌داری بر وزن خشک گیاه نداشته است، که نشان‌دهنده برآورده شدن نیاز پتاسیمی گیاه از منبع گلوکونیت بوده است.

به طور کلی می‌توان گفت 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 (۳۲). اثرات مثبت باکتری‌های آزادکننده پتاسیم در گیاهان پنبه و کلزا (۴۱)، خیار و فلفل (۱۵)، سورگوم (۳)، گندم و ذرت (۴۶) و سودان گراس (۵ و ۶) گزارش شده است. با توجه به اهمیت عنصر پتاسیم در تغذیه گیاهان و تأثیر به‌سزای این عنصر در بهبود کیفیت و کمیت محصولات، این آزمایش گلدانی به منظور شناسایی گونه میکروبی موفق و کارآمد از بین گونه‌های میکروبی متعلق به جنس‌های *انتروباکتر*، *سودوموناس* و *ازتوباکتر*، در بهبود رشد گیاه ذرت و تأمین پتاسیم گیاه در یک خاک با کمبود پتاسیم، انجام شد. از طرفی به علت ضرورت استفاده از روش‌های زیستی در تأمین نیازهای غذایی گیاهان و در نهایت نیازهای غذایی جوامع بشری، این تحقیق گامی در جهت معرفی گونه باکتری کارآمد برای انجام آزمایشات بعدی است تا بتوان در صورت موفقیت آزمایش از آن در مراحل بعدی در تولید کود زیستی بهره جست. قابل ذکر است که تا کنون تنها یک برند تجاری کود زیستی پتاسیمی به نام پتابارور در کشور عرضه شده است که خود این مسأله نیاز به تحقیق در این زمینه را بیش‌تر آشکار می‌سازد.

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۰ جدایه باکتریایی در این آزمایش استفاده شدند که شامل *Azotobacter chroococcum*، *Enterobacter* sp. S16-3، 14SP2-1، *Pseudomonas* sp. 34A-2، *Pseudomonas* sp. Az-48، *Pseudomonas* sp. Az-8، S11-2 و 36A-2L تأمین شده از بانک میکروبی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز و جدایه‌های *Pseudomonas* sp. S19-1+S14-3 مورد استفاده در کود زیستی پتابارور (محصول شرکت زیست‌فناور سبز) و

جدایه *Bacillus* sp. 44-1 از بانک میکروبی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بوده‌اند. سوسپانسیون باکتریایی پس از کشت شبانه باکتری‌ها در ۳۰ میلی‌لیتر محیط کشت NB مایع به ۱۰ گرم حامل باگاس و پرلیت (۱:۱) که دارای رطوبت وزنی اولیه ۱۵٪ بود، افزوده شدند. خاک مورد استفاده در آزمایش از ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان نمونه‌برداری شد. در این خاک پتاسیم قابل استفاده در حد کفایت نیاز گیاه نبود (جدول ۱) اما منابع پتاسیم غیرتبادلی می‌توانست جوابگوی نیاز گیاه باشد. خاک پس از الک شدن، در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر استریل شد. بذرهای ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) مورد استفاده در آزمایش توسط اتانول ۱۰٪ (۳۰ ثانیه) و هیپوکلریت سدیم ۰/۵٪ (۱۰ دقیقه) ضدعفونی شدند (۱). بذور به طور کامل با سوسپانسیون باکتری که به حامل باگاس و پرلیت افزوده شده بود، آغشته شدند و در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی در عمق ۳ تا ۴ سانتی‌متری زیر سطح خاک کشت شدند. تعداد ۵ بذر در هر گلدان کشت شد و پس از جوانه زدن به ۲ بوته در هر گلدان تقلیل یافت. در طی رشد گیاه، رطوبت ۰/۸FC در گلدان‌ها تامین شد. آزمایش با در نظر گرفتن ۱۲ تیمار و ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. در این آزمایش، تیمارهای تلقیح شده با جدایه‌های باکتریایی همراه با تیمارهای کودی (بر اساس آزمون خاک به میزان ۵۰٪ و ۱۰۰٪ توصیه کودی از کود سولفات پتاسیم) و تیمار شاهد منفی (بدون تلقیح باکتری و بدون کود) مورد مقایسه قرار گرفتند. کود پتاسیمی مورد استفاده در تیمارهای کودی ۵۰٪ و ۱۰۰٪ سولفات پتاسیم به ترتیب به میزان ۳۸/۵ و ۷۶/۹ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم خاک بود (۲۴). لازم به ذکر است بقیه عناصر پرمصرف و کم‌مصرف به طور کامل بر اساس آزمون خاک (۲۴ و ۳۸) در گلدان‌ها تأمین شد (جدول ۲). آزمایش تا انتهای فاز رویشی و به مدت ۲ ماه به طول انجامید. در طی رشد پارامترهای ارتفاع گیاه، قطر ساقه، شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. ارتفاع گیاه از ابتدای طوقه تا انتهای بلندترین برگ گیاه مد نظر بود. قطر ساقه در بخش تقریباً برابر در همه بوته‌ها و در ارتفاع حدودی ۲ سانتی‌متر از ابتدای طوقه با کولیس اندازه‌گیری شد. شاخص کلروفیل برگ پس از رشد کامل برگ‌ها و در پایان دوره رشد با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech مدل C101) اندازه‌گیری شد. برای این منظور چهار برگ سالم و شاداب از هر گلدان انتخاب شد و پهن‌ترین بخش برگ میان انبرک دستگاه قرار گرفت سپس شاخص کلروفیل آن اندازه‌گیری شد. میانگین این قرائت‌ها در نهایت به عنوان شاخص کلروفیل برگ برای آن گلدان در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای، ابتدا دستگاه (Delta-T Device- Cambridge- UK) با شرایط رطوبتی گلخانه کالیبره شده و سپس قرائت از برگ‌های بالغ و سالم گیاه انجام گرفت. چهار برگ از هر گلدان انتخاب و میانگین مقادیر به عنوان شاخص هدایت روزنه‌ای آن گلدان گزارش شد.

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1- Results of physical and chemical properties of soil

FC (w/w)	CCE %	بافت خاک Soil texture	٪شن Sand	٪سیلت Silt	٪رس Clay	%OC	پتاسیم غیرتبادلی Non exchangeable potassium (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (mg/kg)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (mg/kg)	ECe (dS/m)	pH گل اشباع
12.57	2.58	Sandy Loam	69	13	18	0.16	410.86	198.07	3	1.4	7.56

جدول ۲- مقادیر کودهای مصرفی

Table 2- Recommended amounts of fertilizers

مقدار مورد نیاز در هر کیلوگرم خاک (میلی‌گرم) Required amount per kg of soil (mg)	کودهای مصرفی Fertilizers	عناصر Elements
266.6	Urea	N
116.6	TSP	P
160	EDDHA (6%)	Fe
30	$MnSO_4.4H_2O$	Mn
40	$ZnSO_4$	Zn
6	H_3BO_3	B
10	$CuSO_4.5H_2O$	Cu

پس از برداشت گیاه، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و همچنین وزن تر و خشک کل با ترازوی حساس توزین شد. برای خشک کردن گیاه، اندام هوایی و ریشه به طور جداگانه در پاکت‌های کاغذی به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس نمونه‌های خشک‌شده به روش ترسوزانی هضم شدند و پس از اندازه‌گیری غلظت پتاسیم به روش فلیم‌فتومتری در ریشه و اندام هوایی، مقدار پتاسیم در بافت گیاهی نیز محاسبه گردید (۴۹).

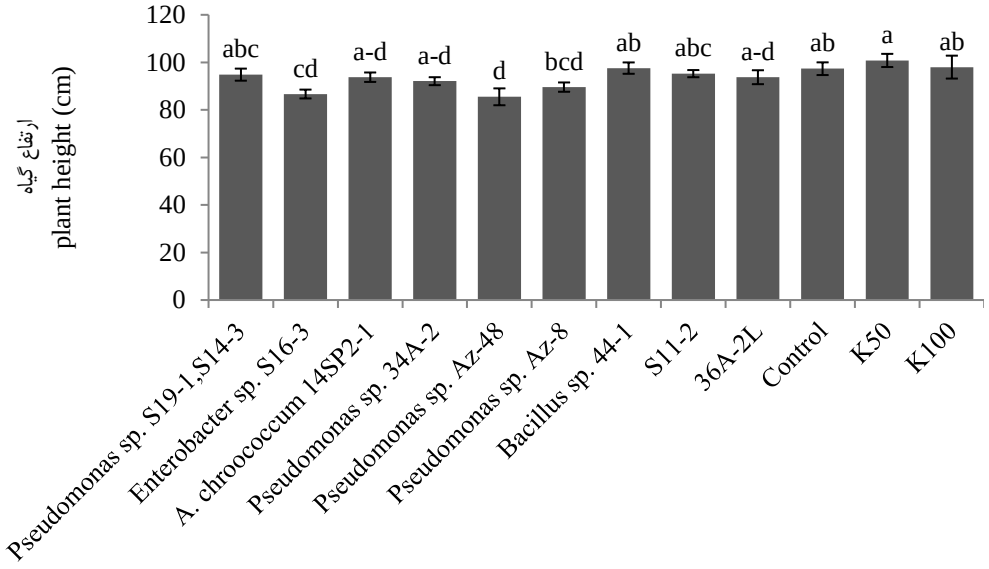
نتایج

ارتفاع گیاه و قطر ساقه

ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت و بالاترین ارتفاع گیاه در تیمار کودی ۵۰٪ به مقدار ۱۰۰/۸ سانتی‌متر به دست آمد، این تیمار هر چند در مقایسه با نمونه شاهد ۳/۵٪ افزایش نشان داد اما در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱). اگر چه در بین تیمارهای باکتریایی بالاترین ارتفاع در تیمار *Bacillus* sp. 44-1 به دست آمد اما با تیمارهای کنترل کودی و تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت و عدم وجود اختلاف معنی‌دار در همه تیمارهای باکتریایی (به جز *Pseudomonas* sp. Az-48 و *Enterobacter* sp. S16-3) با تیمارهای ۵۰٪، ۱۰۰٪ و شاهد بدون تلقیح نیز مشاهده شد. پارامتر قطر ساقه تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده قرار نگرفت. ارتفاع گیاه و قطر ساقه شاخص‌هایی از رشد رویشی گیاه هستند که افزایش هرکدام از این شاخص‌ها در اثر تلقیح با باکتری نشان از مؤثر بودن تلقیح می‌باشد و در تیمارهایی از آزمایش که تأمین عناصر غذایی در حد مطلوب بوده، با افزایش نسبی شاخص‌های رشد رویشی مواجه خواهیم شد. این صفات رشدی به صورت معنی‌دار متأثر از تیمارهای باکتریایی نبودند و به نظر با در نظر داشتن سایر صفات اندازه‌گیری شده در آزمایشات بایستی قضاوت نمود. در آزمایش شیخ‌علی‌پور و همکاران (۳۹) نیز قطر ساقه و طول ساقه متأثر از باکتری‌های *سودوموناس* مورد استفاده در آزمایش نبود. ولی نتایج متفاوت در آزمایشات مختلف به چشم می‌خورد به عنوان مثال نتیجه آزمایش رخزادی و همکاران (۳۷) نشان داد وجود باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* در ترکیب مایه‌های تلقیح، نقش مؤثری در افزایش ارتفاع بوته داشته است. ظفر و همکاران (۵۰) هم بیان کردند بر اثر تلقیح عدس با باکتری‌های افزاینده رشد میزان طول ساقه ۴۹٪ نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد.

شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای

شاخص کلروفیل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و از میان جدایه‌ها بالاترین میزان کلروفیل در تیمار باکتری *A. chroococcum* 14SP2-1 بوده که برابر با ۹/۶ می‌باشد و با افزایش ۸۰٪ نسبت به شاهد بدون تلقیح و مصرف کود، دارای اختلاف آماری معنی‌دار با آن است (شکل ۲). هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بوده و بالاترین هدایت روزنه‌ای نیز در تیمار باکتری *A. chroococcum* 14SP2-1 برابر با ۰/۰۹۷ به دست آمد (شکل ۳).



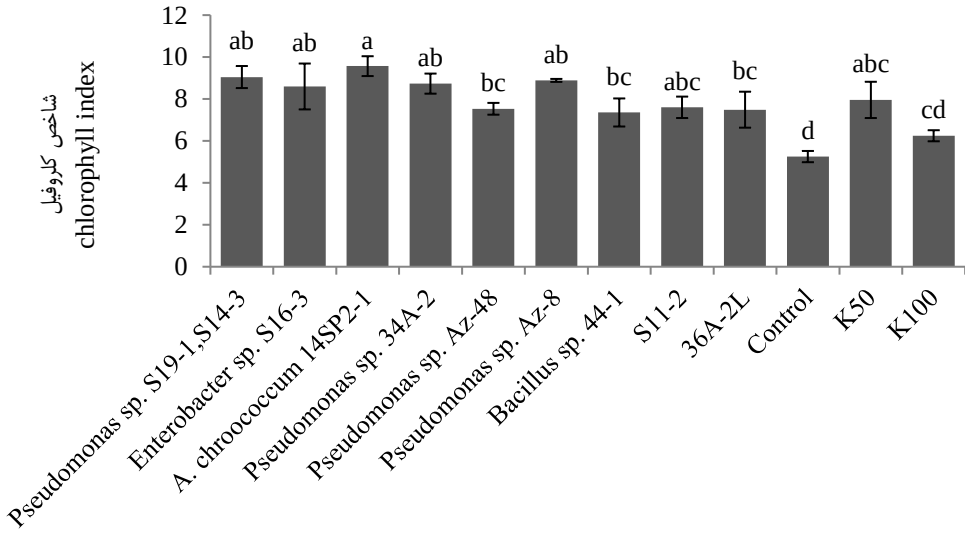
شکل ۱- تأثیر تیمارهای آزمایش بر ارتفاع گیاه

Figure 1- Effect of treatments on plant height

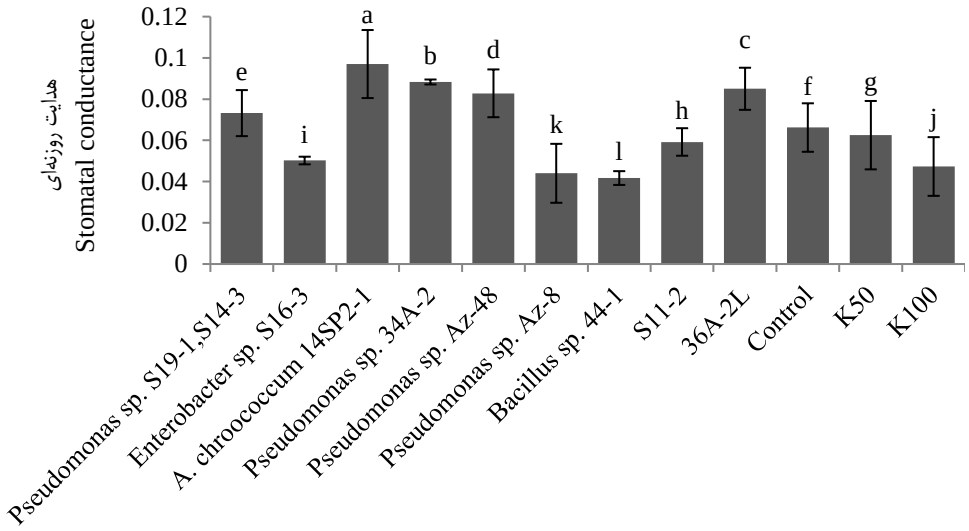
روزنه‌های هوایی نقش اساسی در روابط آبی و فتوسنتز گیاه دارند و عکس العمل آن‌ها به شرایط مختلف از عوامل اساسی مؤثر در رشد، نمو و تولید محصولات زراعی و باغی است و ثابت شده که افزایش تنش‌ها می‌تواند هدایت روزنه‌ای را تحت تأثیر قرار دهد (۱۶). صفاتی چون شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای نشان‌دهنده وضعیت فتوسنتزی گیاه هستند که با وجود شرایط بهتر تغذیه‌ای گیاه می‌توانند مقادیر بالاتری را به خود اختصاص دهند. همان‌طور که مشاهده شد، جدایه 14SP2-1 که باکتری *ازتوباکترکروکوکوم* می‌باشد، از نظر هر دو پارامتر برتر از بقیه تیمارها بوده هر چند با برخی از جدایه‌ها در یک گروه آماری قرار دارد. به نظر این برتری می‌تواند به توان تثبیت نیتروژن این باکتری مربوط باشد. این جدایه به عنوان باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن با تأمین نیتروژن اثر مستقیمی بر شاخص کلروفیل گیاه داشته است و علاوه بر آن می‌توان افزایش هدایت روزنه‌ای را به جذب و انتقال پتاسیم و تغییرات هورمونی که در نتیجه تلقیح این باکتری حاصل شده است، مربوط دانست. همین نتیجه در مطالعه حاجی‌بلند و همکاران (۱۴) نیز دیده شد و گزارش شد که افزایش مقدار کلروفیل و انتقال بیش‌تر پتاسیم به اندام هوایی در گیاهان تلقیح شده با *ازتوباکتر* را به اثر احتمالی هورمونی مانند سیتوکینین نسبت دادند که ضمن تحریک رشد ریشه، پس از انتقال به اندام هوایی، عامل افزایش کلروفیل و نیز هدایت یون‌های ضروری به اندام هوایی است. احتمالاً همین علت در آزمایش حاضر نیز صادق است. از طرف دیگر با حضور باکتری‌های محرک رشد، افزایش رشد گیاه با ترشح هورمون‌های رشد (ایندول استیک اسید و سیتوکینین) و به دنبال آن افزایش تقسیم سلولی و توسعه ریشه، افزایش میزان کلروفیل و به دنبال آن افزایش فتوسنتز در گیاه می‌تواند اتفاق بیفتد (۴۸، ۲ و ۴۵). کاوینو و همکاران (۱۷) هم بیان کردند سودوموناس‌ها می‌توانند باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل در گیاه ذرت شوند. نتیجه آزمایش دیلمی‌راد و همکاران (۸) نیز نشان داد اثر اصلی کود، اثر متقابل باکتری و کود بر شاخص کلروفیل غیرمعنی‌دار بوده در حالی‌که اثر اصلی باکتری در سطح ۵٪ بر آن مؤثر واقع شد.

وزن تر و خشک اندام هوایی

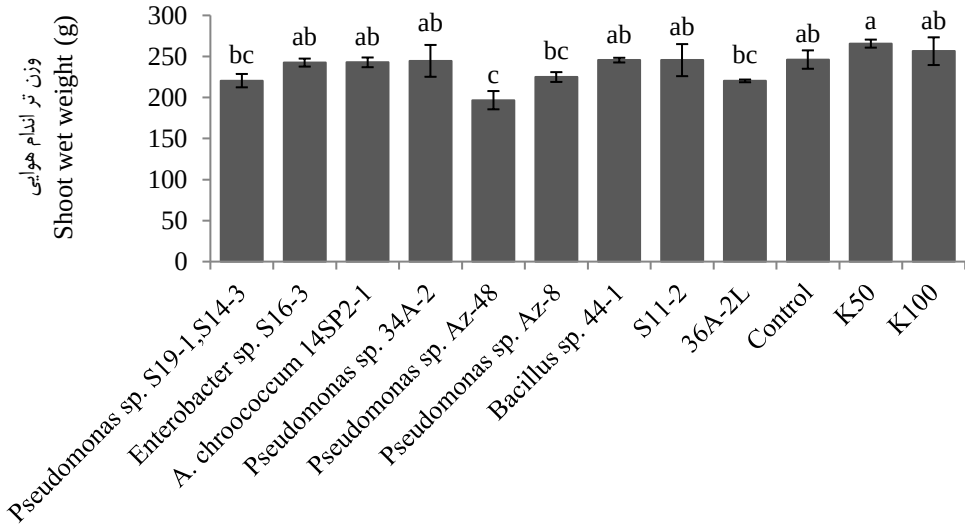
تجزیه واریانس نتایج نشان داد وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال ۵٪ و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪ متأثر از تیمارهای آزمایش بودند. مقایسه میانگین نتایج نشان داد در هر دو صفت، بالاترین میانگین‌ها در در تیمار کودی ۵۰٪ و تیمار کودی ۱۰۰٪ به دست آمد هر چند با برخی از تیمارهای دیگر در یک کلاس آماری قرار داشتند. در مورد وزن تر و خشک اندام هوایی تیمار کودی ۵۰٪ با مقادیر وزنی برابر با ۲۶۵/۶ و ۴۴/۴ گرم به ترتیب افزایش ۴٪ و ۵٪ نسبت به شاهد نشان داده است اما نسبت به شاهد دارای اختلاف آماری معنی‌دار نبودند (شکل ۴ و ۵). نتیجه حاصل از وزن تر و خشک اندام هوایی نشان می‌دهد، در تیمارهای کودی که احتمالاً پتاسیم در دسترس برای گیاه بیش‌تر بوده، این امر سبب افزایش رشد اندام هوایی شده است. مشابه همین نتیجه در مطالعه استادی جعفری و همکاران (۳۱) مشاهده شد و تأیید کردند با افزایش سطوح کودی بر میزان وزن خشک اندام هوایی به میزان معنی‌داری افزوده شده است.



شکل ۲- تأثیر تیمارهای آزمایش بر شاخص کلروفیل
Figure 2- Effects of treatments on chlorophyll index



شکل ۳- تأثیر تیمارهای آزمایش بر هدایت روزنه‌ای
Figure 3- Effect of treatments on stomatal conductance

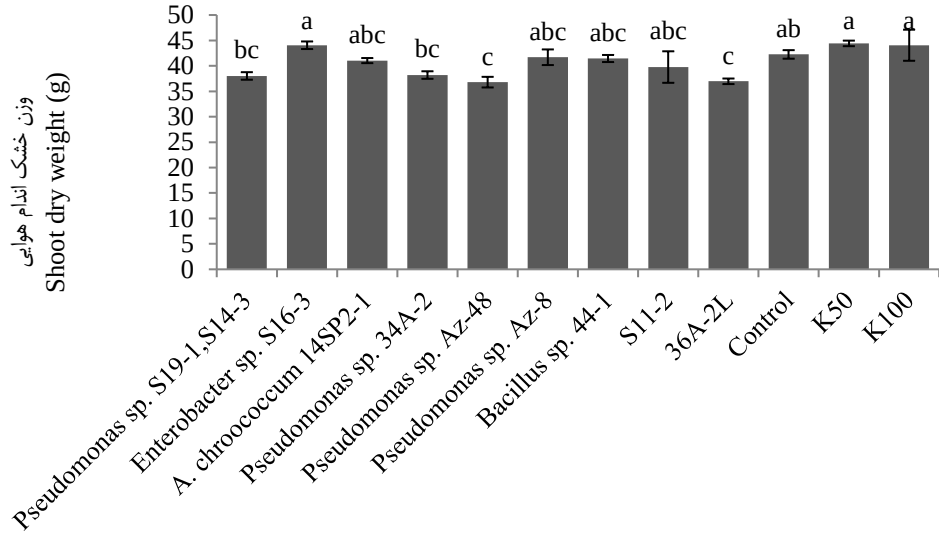


شکل ٤- تأثیر تیمارهای آزمایش بر وزن تر اندام هوایی
Figure 4- Effects of treatments on shoot wet weight

در بین تیمارهای باکتریایی و باتوجه به صفت مهمی نظیر وزن خشک بخش هوایی، تلقیح گیاه با جدایه S16-3 وزن خشک بیش‌تری را سبب شده بود هر چند این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود. در برخی موارد حتی تلقیح برخی تیمارهای باکتری باعث کاهش وزن خشک هوایی در مقایسه با شاهد بدون تلقیح شدند که شاید این موضوع به اثرات رقابتی آن با گیاه مربوط باشد. نتیجه آزمایش ظفر و همکاران (۵۰) نشان داد وزن تر و خشک ساقه عدس با تلقیح باکتری‌های افزاینده رشد به ترتیب ۳۳ و ۲۴٪ نسبت به شاهد افزایش یافتند. کشاورز زرجانی و همکاران (۱۸) گزارش کردند که اثر تلقیح شش سویه (یک سویه *Lysinibacillus fusiformis* و ۵ سویه از *B. megaterium*) بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار می‌باشد.

وزن تر و خشک ریشه

اثر تیمارهای آزمایش بر پارامتر وزن تر ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود هر چند در بین تیمارهای باکتریایی مورد استفاده در این آزمایش اختلاف اماری مشاهده نشد اما بالاترین میانگین وزن ریشه در تیمار باکتری *Pseudomonas* sp. Az-48 و برابر با ۱۸۷/۲ گرم بوده که با افزایش ۵۰٪ نسبت به شاهد با آن دارای اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشد (شکل ۶).

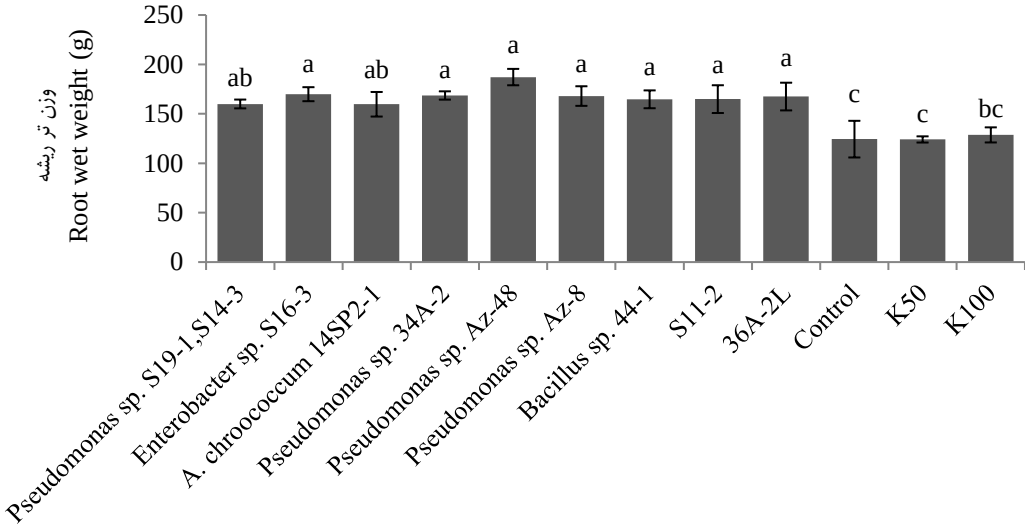


شکل ۵- تأثیر تیمارهای آزمایش بر وزن خشک اندام هوایی
Figure 5- Effects of treatments on shoot dry weight

اما وزن خشک ریشه متأثر از تیمارهای آزمایش قرار نگرفت. وزن تر بالاتر ریشه هر چند نشان از بهتر بودن شرایط لنگرگاهی گیاه است اما دلیل قطعی بر تغذیه بهتر گیاه نخواهد بود. چون ریشه‌های مویی‌تر علی‌رغم جذب بهتر آب و عناصر غذایی، وزن کمتری را به خود اختصاص می‌دهند. در این تحقیق هم مشخص شد در تیمارهایی مانند باکتری *Pseudomonas* sp. Az-48 که وزن ریشه بالایی داشته کم‌ترین وزن اندام هوایی را داشته و تیماری مانند تیمار کودی ۵۰٪، با دارا بودن بیش‌ترین وزن اندام هوایی که از نظر تغذیه‌ای و ارتفاع نیز در وضعیت خوبی است، کم‌ترین وزن ریشه را دارد و تمام این اختلافات به دلیل نوع و شرایط توسعه ریشه‌ای متفاوت در گیاهان می‌باشد. احتمالاً هورمون‌های رشد، تراکم ریشه و ریشه‌های مویین را زیاد کرده و از این طریق بر جذب بیش‌تر عناصر غذایی به خصوص عناصر پرمصرف مانند فسفر و پتاسیم اثر می‌گذارد (۷). می‌توان بیان کرد افزایش رشد ریشه و گسترش تارهای کشنده توسط هورمون‌های محرک رشد موجب افزایش جذب مواد غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد ذرت می‌شود (۲۸). مانسک و همکاران (۲۵) دریافتند که استفاده از مایه تلقیح *ازتوباکتر* با افزایش طول و تراکم ریشه‌ها سبب افزایش کارایی مصرف نیتروژن و فسفر و میزان عملکرد دانه گندم شد.

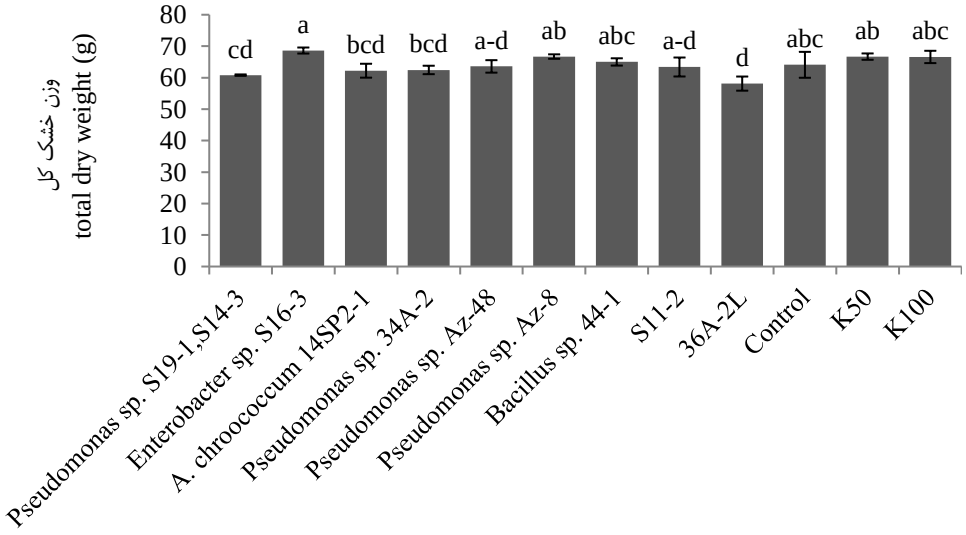
وزن تر و خشک کل

تجزیه واریانس نتایج نشان داد، بین تیمارهای آزمایش از نظر وزن تر کل اختلاف آماری معنی‌دار وجود ندارد ولی وزن خشک کل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و بالاترین میانگین وزن خشک کل متعلق به تیمار باکتری *Enterobacter* sp. S16-3 بوده و برابر با ۶۸/۶ گرم می‌باشد که نسبت به شاهد بدون تلقیح و بدون مصرف کود افزایش ۷٪ را داشته است اما با آن در یک گروه آماری قرار گرفت. پس از این باکتری، باکتری *Pseudomonas* sp. Az-8، تیمارهای کودی ۵۰٪ و ۱۰۰٪ بهتر عمل کرده و وزن بالاتری داشتند هر چند همگی آن‌ها در یک کلاس آماری قرار گرفتند (شکل ۷). کمترین وزن خشک کل با کاهش ۹/۳٪ و اختلاف آماری معنی‌دار نسبت به شاهد در تیمار باکتری 36A-2L به‌دست آمد. توجه به صفت مهمی نظیر وزن خشک کل گیاه معیاری در انتخاب باکتری‌ها در آزمون‌های گلدانی است. اثر کاهشی معنی‌دار برخی از باکتری‌ها نظیر جدایه 36A-2L در کاهش این پارامتر می‌تواند به برهمکنش منفی آن با گیاه یا عدم سازگاری باکتری‌ها در ریزوسفر گیاه مربوط باشد. کما اینکه دلیل انتخاب این باکتری‌ها در ازمایش گلدانی به خاطر برتری نسبی آن‌ها در آزمایشات درون‌شیشه‌ای سنجش آزادسازی پتاسیم بوده است و این خود نشان می‌دهد که صرفاً اتکا به نتیجه یک مطالعه نمی‌تواند برای انتخاب یا رد باکتری مفید باشد. پس از این تیمارهای باکتریایی، تیمارهای کودی وزن خشک کل بالاتری داشته‌اند. علت برتری باکتری‌ها نسبت به تیمارهای سطوح کودی احتمالاً می‌تواند مربوط به مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم باکتری‌ها به‌خصوص تولید فیتوهورمون‌های گیاهی مربوط باشد که می‌توانند در افزیش رشد و عملکرد گیاهان موثر باشند (۳۶).

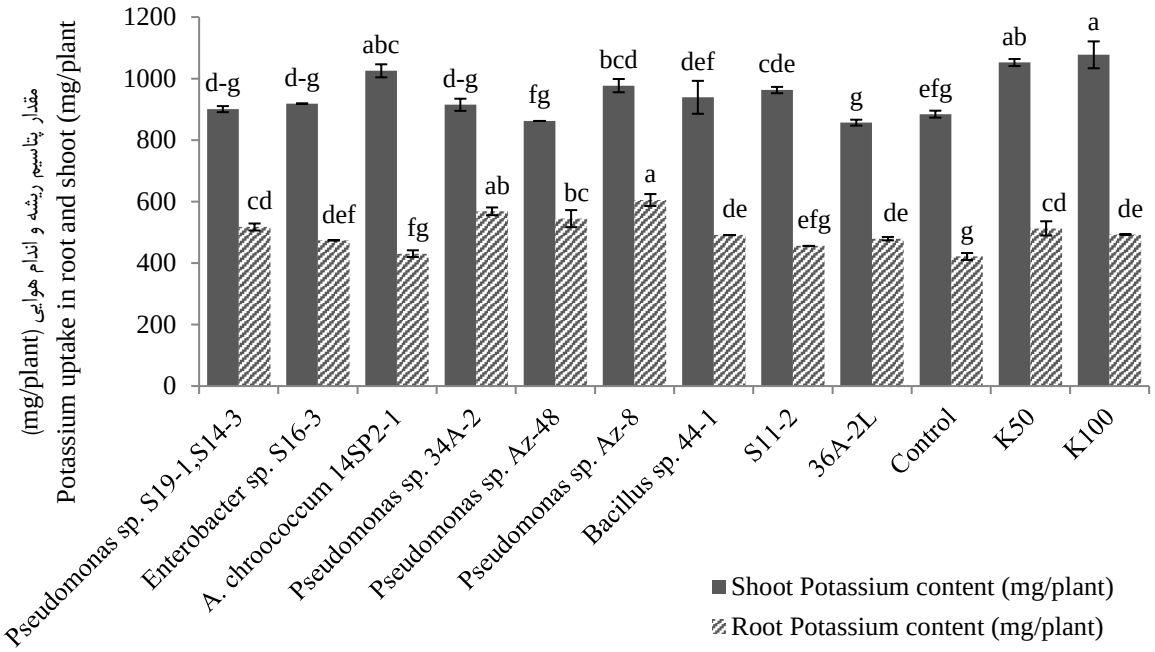


شکل ٦- تأثیر تیمارهای آزمایش بر وزن تر ریشه
Figure 6- Effects of treatments on root wet weight

گریندلر و همکاران (۱۳) نیز علت افزایش عملکرد در سیستم‌های تغذیه‌ای ارگانیک را به کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و ساختمان گرانوله‌ای خاک، افزایش فعالیت‌های میکروبی- آنزیمی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در کلوئیدهای خاک بیان کردند. سوگوماران و جانارتانام (۴۷) و لیو و همکاران (۲۲) بیش‌ترین میزان آزادسازی پتاسیم را در باکتری‌های *سودوموناس* و *باسیلوس* عنوان کردند. رحمتی خورشیدی و اردکانی (۳۴) در مورد تأثیر باکتری *سودوموناس* و *آزوسپیریلوم* بر عملکرد برنج طارم نشان دادند که بیش‌ترین عملکرد برنج در تلقیح باکتری *سودوموناس* به دست می‌آید. اگامبربردیوا و هوفلیخ (۱۱) هم نشان دادند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌تواند موجب افزایش رشد گیاه و افزایش مقدار پتاسیم در اجزای گیاه گندم شود. نتیجه آزمایش مرادی و همکاران (۲۹) که به منظور بررسی اثربخشی تعدادی جدایه باکتری در ریشه‌زایی و رشد عمومی گیاه ذرت انجام شد و تمام عناصر مورد نیاز گیاه از طریق محلول غذایی هوگلند تأمین شده بود، حاکی از این بود که بیش‌ترین وزن خشک ریشه در جدایه *Pseudomonas* sp. Az-8 و بیش‌ترین وزن خشک کل بوته در جدایه *Pseudomonas* sp. Az-8 مشاهده شد. آن‌ها این افزایش را به تولید اکسین در این باکتری‌ها نسبت دادند.



شکل ۷- تأثیر تیمارهای آزمایش بر وزن خشک کل
Figure 7- Effects of treatments on total dry weight



شکل ۸- تأثیر تیمارهای آزمایش بر مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه
Figure 8- Effects of treatments on root and shoot potassium content

مقدار پتاسیم ریشه و اندام هوایی

تجزیه واریانس نتایج مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه نشان داد هر دو پارامتر در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بالاترین میانگین مقدار پتاسیم اندام هوایی مربوط به تیمار کودی ۱۰۰٪ و سپس ۵۰٪ به ترتیب برابر با ۱۰۷۷/۳ و ۱۰۵۲/۳ میلی‌گرم بر وزن اندام هوایی بوده که با اختلاف آماری معنی‌دار، افزایش نسبی ۲۰/۴٪ نسبت به شاهد بدون تلقیح و بدون مصرف کود داشت و کمترین مقدار پتاسیم اندام هوایی که در تیمار باکتری 36A-2L مشاهده شد و کاهش ۲۰/۴٪ نسبت به شاهد نشان داد اما با آن در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۸). بالاترین مقدار پتاسیم ریشه در تیمار باکتری *Pseudomonas* sp. Az-8 با افزایش معنی‌دار ۴۳/۵٪ نسبت به شاهد برابر با ۶۰۵/۱ میلی‌گرم بر وزن ریشه بوده است و کمترین مقدار پتاسیم ریشه در تیمار شاهد برابر با ۴۲۱/۴ میلی‌گرم بر وزن ریشه به دست آمد (شکل ۸).

همانطور که از نتایج به‌دست آمده است در تیمارهای کودی ۱۰۰٪ و ۵۰٪ با دسترسی آسان گیاه به مقدار کافی پتاسیم مقدار جذب پتاسیم نیز در اندام هوایی افزایش پیدا کرده است. اما در بین تیمارهای باکتریایی، *Pseudomonas* Az-8 و *A. chroococcum* 14SP2-1 شرایط بهتری نسبت به بقیه باکتری‌ها داشته‌اند. تفاوتی که تیمار *سودوموناس* و *ازتوباکتر کروکوکوم* دارند مربوط به توان انتقال آن‌ها می‌باشد به طوری‌که 14SP2-1 مقدار بالایی از پتاسیم جذب شده را به اندام هوایی انتقال داده ولی Az-8 بیش‌تر در ریشه‌ها تجمع داده است. از دلایل این موضوع می‌توان به افزایش اسیدیته خاک و عدم تثبیت پتاسیم در حضور میکرواورگانیسم‌ها اشاره کرد که می‌تواند از عوامل افزایش دسترسی این عنصر در خاک و به تبع آن جذب بیش‌تر آن توسط گیاه باشد. مینا و همکاران (۲۷) افزایش میزان حلالیت پتاسیم در اثر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد را ۸۴/۸– ۱۲۷/۹ درصد نسبت به شاهد بیان کردند. مرادی و همکاران (۳۰) توان رهاسازی پتاسیم جدایه‌های آزمایش را با بهره‌گیری از محیط کشت الکساندروف مایع مورد ارزیابی قرار دادند. بالاترین میزان پتاسیم آزادشده با افزایش ۲۰٪ نسبت به شاهد، متعلق به جدایه Az-8 بود و به طور متوسط میزان آزادکنندگی از کانی بیوتیت ۸۲٪ بیش‌تر از موسکویت مشاهده شد. آنالیز عناصر گیاهی در بافت خشک نیز نشان داد جدایه Az-48 بیش‌ترین مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن را جذب نموده است (۲۹). نتیجه آزمایش ابراهیمی و همکاران (۱۰) نیز نشان داد بالاترین توان آزادسازی پتاسیم در جدایه 44SP-2 از میکای بیوتیت و 35SP-2 از میکای موسکویت بود. در این میان برخی از جدایه‌ها نه تنها در افزایش پتاسیم محلول کارایی نداشتند بلکه پتاسیم رها شده در محیط کشت را نیز در ساختار زیست توده خود جذب نموده و سبب کاهش پتاسیم محلول در محیط کشت در برابر نمونه شاهد شدند.

نتیجه‌گیری

با توجه به مجموع نتایج به دست آمده از این مطالعه و در نظر

گرفتن صفاتی نظیر وزن خشک کل، مقدار پتاسیم بافت گیاهی، شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای، برخی از تیمارهای باکتریایی مورد استفاده در این تحقیق را می‌توان برای ازمایشات بیش‌تر پیشنهاد نمود. جدایه‌های *Azotobacter chroococcum* 14SP2-1، *Pseudomonas* sp. Az-8 و *Enterobacter* sp. S16-3 به دلیل برتری نسبی آن‌ها در مقایسه با شاهد بدون تلقیح و بدون کود در صفات فوق‌الذکر پیشنهاد می‌شوند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح پژوهشی می‌باشد که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا گردیده است.

منابع

1- Arzanesh M.H., Alikhani H.A., Khavazi K., Rahimian H.A., and Miransari M. 2011.Wheat growth enhancement by *Azospirillum* sp. under drought stress. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 27: 197-205.

2- Aseri G.K., Jain N., Panwar J., Rao A.V., and Meghwal P.R. 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. Scientia Horticulturae, 117: 130–135.

3- Badr M.A., Shafei A.M., and El-Deen S.H.S. 2006. The dissolution of K and P-bearing minerals by silicate dissolving bacteria and their effect on sorghum growth. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2(1): 5-11.

4- Barker W.W., Welch S.A., Chu S., and Banfield J.F. 1998. Experimental observations of the effects of bacteria on aluminosilicate weathering. American Minerals, 83:1551–1563.

5- Basak B.B., and Biswas D.R. 2008. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginous*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers) grown under two Alfisols. Plant Soil, 317: 235-255.

6- Basak B.B., and Biswas D.R. 2010. Coinoculation of potassium solubilizing and nitrogen fixing bacteria on solubilization of waste mica and their effect on growth promotion and nutrient acquisition by a forage crop. Biology and Fertility of Soils, 46: 641-648.

7- Broughton W.J., and Ouler S. 1986. Nitrogen fixation. volume 4: Mollecular Biology. Clarendon press, Oxford.

8- Deilamirad M., Sarikhani M.R., and Oustan Sh. 2016. Evaluating the nutrient uptake and tomato growth by *Pseudomonads* isolates and mineral potassium levels. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 26(4): 144-156. (In Persian with English abstract)

9- Dordipour E., Farshadirad A., and Arzanesh M.H. 2010. Effect of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum lipoferum* on the release of soil potassium in pot culture of soybean (*Glycine max* var. Williams). Journal of Agroecology, 2(4): 593-599. (In Persian)

10- Ebrahmi M., Safari Sinegani A.A., Sarikhani M.R., Mohammadi S.A., and Aliasgharzad N. Isolation, identification, and determination of plant growth promoting properties of Azotobacteria isolated from soil samples North-west of Iran under different land usage. (In press)

11- Egamberberdiyeva D., and Hoflich G. 2003. Influence of growth-promoting bacteria on the growth of wheat indifferent soils and temperatures. Soil Biology and Biochemistry, 35: 973-978.

12- Egilla N., Davies F.T., and Boutton T.W. 2005. Drought stress influence leaf water content, photosynthesis, and water use efficiency of *Hibiscus rosasinensis* at three potassium concentrations. Biomedical and Life Science, 43 (1): 135-140.

13- Gryndler M., Sudova R., and Rydlova J. 2008. Cultivation of high biomass crops on mine spoil banks: Can microbial inoculation compensate for high doses of organic matter?. Bioresource Technology, 99: 6391‑6399.

14- Hajeeboland R., Asgharzadeh N., and Mehrfar Z. 2004. Ecological study of *Azotobacter* in two pasture lands of the North-west Iran and its Inoculation effect on Growth and mineral nutrition of wheat (*Triticum aestivum* L.cv. omid) plants. Journal of Water and Soil Science, 8(2): 27-90. (In Persian with English abstract)

15- Han H.S., Supanjani D., and Lee K.D. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant, Soil and Environment, 52: 130-136.

16- Jiang Q., Roche D., Monaco A., and Hole D. 2006. Stomatal conductance is a key parameter to assess limitations to photosynthesis and growth potential in barley genotypes. Plant Biology, 8(4): 515-521.

17- 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.

18- 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 with English abstract)
19- Keshavarz Zarjani J., Aliasgharzad N., Oustan S., Emadi M., and Ahmadi A. 2013. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian soils. Archives of Agronomy and Soil Science, 59(12): 1713-1723.
20- Khormali F., Dordipour E., Amini A., Ghorbani R., and Ajami M. 2011. Analysis of the indigenous Glauconitic sandstone for its K supplying power and investigating its chemical and biological weathering by mineralogical and microscopic studies. Research Report. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, 46p. (In Persian)
21- Lin Q. M., Rao Z.H., Sun Y.X., Yao J., and Xing L.J. 2002. Identification and practical application of silicate – dissolving bacteria. Agricultural Science in China, 1: 81-85.
22- Liu W., Xu X., Wu X., Yang Q., Luo Y., and Christie P. 2006. Decomposition of silicate minerals by *Bacillus mucilaginosus* in liquid culture. Environmental Geochemistry and Health, 28: 133-140.
23- Madani O., Sarikhani M.R., and Oustan S. 2015. Inoculation effects of potassium releasing bacteria on K nutrition of tomato in sand-muscovite medium and identification of efficient isolates, 26(1): 259-271. (In Persian with English abstract)
24- Malakouti M.J., and Gheibi M.N. 1988. Determine the Critical Nutrients Strategic and Proper Fertilizer Recommendations in the Country. Publication of Agricultural Education, Training and Equipping the Human Resources Department of Tat, The Ministry of Agriculture, Karaj, Iran.
25- Manske G.B., Luttger A., Behi R.K., Vlek P.G., and Cimmit M. 2000. Enhancement of *mycorhiza* (VAM) infection, nutrient efficiency and plant growth by *Azotobacter chroocuccum* in wheat. Plant Breeding, 13: 78-83.
26- Marchiol L., Letia L., Marti M., Pperssotti A., and Zerbi G. 1996. Physiological responses of two soybean cultivars to cadmium. Journal of Environmental Quality, 25: 562-566.
27- Meena V.S., Maurya B.R., and Verma J.P. 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance K+ availability in agricultural soils. Microbiological Research, 169: 337–347.
28- Mirza M.S., Rasul G., Mehnazs Ladha J.K., Ali S., and Malik K.A. 2000. Beneficial effects of inoculated nitrogen-fixing bacteria on rice. Pp: 191–204. In: Ladha J.K., and Reddy P.M. (eds). The quest for nitrogen fixation in rice. International Rice Research Institute, India.
29- Moradi Sh., Sarikhani M.R., and Aliasgharzad N. 2016. The effect of some bacterial isolates on root growth and nutrient uptake in corn (*Zea mays* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 26(4): 34-47. (In Persian with English abstract)
30- Moradi Sh., Sarikhani M.R., and Aliasgharzad N. 2017. Assessment of potassium releasing ability of some bacterial isolates in in-vitro condition and identification of efficient isolates. Iranian Journal of Soil and Water Research. 48(2): 385-395. (In Persian)
31- Ostadi Jaafari A., Rezvani Moghaddam P., and Ghorbani R. 2012. Study of beneficial levels and effect of *Azotobacter spp.* And *Azospirillum spp.*. Iranian Journal of Field Crops Research, 10(2): 277-283. (In Persian)
32- Park M., Singvilay D., Seok Y., Chung J., Ahn K., and Sa T. 2003. Effect of phosphate solubilizing fungi on 'P' uptake and growth of tobacco in rock phosphate. Soil Science and Fertilizer, 36: 233-238.
33- Prajapati K., Sharma M.C., and Modi H.A. 2013. Growth promoting effect of potassium solubilizing microorganisms on *Abelmoscus esculantus*. International Journal of Agriculture Sciences, 3(1): 181-188.
34- Rahmati khorshidi Y., and Ardakani M.R. 2011. Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa*) to *Pseudomonas flouresence* and *Azospirillum lipoferum* under different nitrogen levels. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 10: 387-395. (In Persian)
35- Read J.J., Reddy K.R., and Jenkins H.N. 2006. Yield and quality of upland cotton as influenced by nitrogen and phosphorus. European Journal of Agronomy, 24: 282-290.
36- Reddy G.S.N., Prakash J.S.S., Matsumoto G.I., Stackebrandt E., and Shivaji S. 2002. *Arthrobacter roseus* sp. nov., a psychrophilic bacterium isolated from an Antarctic cyanobacterial mat sample. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 52: 1017–1021.
37- Rokhzady A. 2008. Effects of inoculation *Azotobacter* and *Mezorhizobioum* on growth and yield of chickpea, Ph.D. thesis, Agronomy-Crop Physiology, Islamic Azad University, Science and Research unit. (In Persian with English abstract)
38- Sadeghi S., Ostan S., Najafi N., Valizadeh M., and Monirifar H. 2017. Effects of Cadmium and Zinc interactions on growth and chemical composition of Corn (*Zea mays* cv. single cross). Journal of Water and Soil, 31(2): 460-477.
39- Sheikh Alipour P., Bolandnazar S.A., Sarikhani M.R., and Irani F. 2016. Effect of some isolates of *Pseudomonas* vaccination on growth and nutrient uptake of tomato under field condition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 26(1): 100-117. (In Persian with English abstract)

40- Sheng X.F., and Huang W.Y. 2002. Study on the conditions of potassium release by strain NBT of silicate bacteria scientia. Agricultural Sinica, 35: 673-677.
41- Sheng X.F. 2005. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium releasing strain of *Bacillus edaphicus*. Soil Biology and Biochemistry, 37: 1918-1922.
42- Sheng X.F., He L.Y., and Huang W.Y. 2002. The conditions of releasing potassium by a silicate-dissolving bacterial strain NBT. Agricultural Sciences in China, 1: 662–666.
43- Tabatabaei S.J. 2009. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz, Iran.
44- Sindhu S.S., Dua S., Verma M.K., and Khandelwal A. 2010. Growth Promotion of Legumes by Inoculation of Rhizosphere Bacteria. Microbes for Legume Improvement. CCS Haryana Agricultural University, India.
45- Singh J.S., Pandey V.C., and Singh D.P. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. Agriculture, Ecosystems and Environment, 140: 339–353.
46- Singh G., Biswas D.R., and Marwah T.S. 2010. Mobilization of potassium from waste mica by plant growth promoting rhizobacteria and its assimilation by maize (*Zea mays*) and wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Nutrition, 33: 1236-1251.
47- Sugumaran P., and Janarthanam B. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. World Journal of Agricultural Sciences, 3: 350-355.
48- Vikram A., Hamzehzarghani H., Al-Mughrabi K.I., Krishnaraj P.U., and Jagadeesh K.S. 2007. Interaction between *Pseudomonas fluorescens* FPD-15 and *Bradyrhizobium* spp. in peanut. Biotechnology, 6: 292–298.
49- Waling I., Vark W.V., Houba V.G.J., and Van der lee J.J. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, The Netherland.
50- Zafar M., Abbasi M.K., Khan M.A., Khaliq A., Sultan T., and Aslam M. 2012. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth, nodulation and nutrient accumulation of lentil under controlled conditions. Pedosphere, 22: 848–859.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 3, Jul.-Agu. 2018, p. 559-572

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۷، ص. ۵۷۲-۵۵۹

Inoculation of Plant Growth Promoting Bacteria on Yield, Stomatal Conductance and Chlorophyll Index of Corn under Potassium Deficiency

M. Leylasi Marand[1]- M.R. Sarikhani[2*]

Received: 18-12-2017
Accepted: 20-05-2018

Introduction: Potassium is one of essential elements for plants and it is the most abundant nutrient on soil surface which is important factor on plant growth and development. Factors such as potassium fixation, erosion, run-off and leaching cause reduction in available potassium of soil. Microorganisms especially bacteria play important role in changing unavailable potassium to available form. Hence, such bacteria can be used for increasing available potassium in soil and consequently production and quality of crops. The K- releasing bacteria can be employed as a biofertilizer to provide plant nutrients in a sustainable approach.

Materials and Methods: In this study, 10 bacterial isolates including *Enterobacter* sp. S16-3, *Azotobacter chroococcum* 14SP2-1, *Pseudomonas* sp. 34A-2, *Pseudomonas* Az-48, *Psudomonas* Az-8, S11-2 and 36A-2L provided from soil biology laboratory, department of soil science, University of Tabriz, *Bacillus* sp. 44-1 provided from soil biology laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, and S19-1+ S14-3 isolated from Potabarvar biofertilizer produced by Green Biotech Company were used as a potassium biofertilizer. For this purpose, bacterial inoculant prepared in bagasse and perlite carrier was used to inoculate the disinfected seeds of corn (single cross 704). In this research, bacterial treatments were compared with chemical fertilizer treatments including K50 and K100, in these treatments based on soil test, 50% and 100% of fertilizer recommendation were used (equal to 0.115 g and 0.23 g potassium sulfate per pot, respectively). The experiment was conducted based on completely randomized design with three replications. Duration of this study was about 2 months. Parameters measured during growth were stem diameter, height, chlorophyll index and stomatal conductance and after harvesting, wet and dry weight of root, shoot wet and dry weight, total wet and dry weight.

Results and Discussion: The results showed that expect root dry weight, total wet weight and stem diameter, all parameters were significantly affected by the treatments. The highest plant height was observed for fertilizer treatment 50% (100.8 cm) with an increase of 3.5% compared to the negative control. As to bacterial isolates, highest height was measured in *Bacillus* sp. 44-1 (98.6 cm). Plant height and stem diameters are indicators of vegetative growth, these parameters can thus increase when plant can use soil nutrients more than others. *Enterobacter* sp. S16-3 had the maximum stem diameter and the lowest height. It can be due to decreased potassium nutrition and auxin and gibberellin transferred from root. The chlorophyll index and stomatal conductance were equal to 9.567 and 0.097, respectively, which were related to *A. chroococcum* 14SP2-1. These are the factors of photosynthesis parameters. Increase of these factors may be attributed to the hormone balance effects such as cytokinin which can expand root growth and absorbance of nutrients. *A. chroococcum* is one of plant growth promoting rhizobacteria which can provide more phytohormones and cause improved plant growth. Therefore, photosynthesis activities can be better. The highest wet weight (265.6 g) and shoot dry weight (44.4 g) were found at fertilizer treatments 50% and then 100% fertilizer recommendation, but in regards to bacterial isolates, *A. chroococcum* 14SP2-1 and *Pseudomonas* Az-8 had higher values as compared with the control. The maximum root dry weight was observed in *Pseudomonas* Az-48 (187.2 g). However, the lowest root weight was obtained at 50% fertilizer recommendation. Hence, this can be explained by the root developing types. The highest total dry weight was measured in *Enterobacter* sp. S16-3 (63.68 g) and *Pseudomonas* Az-8 and after these bacterial isolates, fertilizer treatments had better condition. Consequently, these bacteria had another effects on plants such phytohormones productions and enzymatic activities that chemical fertilizer did not have such influences. The highest average of shoot potassium content was observed at 100% fertilizer recommendation (1077.3 mg/plant).

Conclusions: The results showed that fertilizer treatments K50 and K100 had better conditions and pots with

1 and 2- Former M.Sc. Student and Associate Professor of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran
(*- Corresponding Author Email: rsarikhani@yahoo.com)

chemical fertilizer grew more than others in most plants. But some bacterial isolates showed comparable results relative to K50 and K100. These bacteria can affect plants with directly and indirectly mechanisms. Bacterial treatments such as *A. chroococcum* 14SP2-1 and *Pseudomonas* Az-8 improved growth parameters through solubilizing potassium and producing phytohormones. Hence, these isolates can be considered for further studies particularly under field condition.

Keywords: Biofertilizer, Bacterial inoculation, *Enterobacter*, K-releasing bacteria, Potabarvar