

تأثیر باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم بر میزان جذب پتاسیم و برخی شاخص‌های رشدی گندم در شرایط گلخانه‌ای

اکبر قدم‌خانی^۱، نعیمه عنایتی‌ضمیر^۲ و مجتبی نوروزی‌مصیر^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۲ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز،

^۳ استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: پتاسیم یکی از عناصر غذایی پرنیاز و فراوان‌ترین کاتیون جذب‌شده در بیش‌تر گیاهان است. به‌دلیل عدم کاربرد متعادل کودهای شیمیایی، کمبود پتاسیم یکی از مشکلات در تولید محصول است. کمبود آن باعث خشکیدگی برگ و کاهش عملکرد دانه گندم می‌شود. بیش‌ترین مقدار پتاسیم در خاک به شکل غیرقابل دسترس برای گیاه است. برخی از باکتری‌های محرک رشد قادر به آزاد کردن پتاسیم از کانی‌های دارای پتاسیم و افزایش دسترسی آن برای گیاهان هستند. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم در بهره‌گیری گندم از پتاسیم خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در گلخانه با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش چهار سطح باکتری (شاهد بدون مایه‌زنی، مایه‌زنی با *انتروباکتر کلواسه*، مایه‌زنی با *سودوموناس* و مایه‌زنی با *هردو باکتری*) و دو سطح کود سولفات پتاسیم (صفر درصد و ۵۰ درصد نیاز کودی) بودند. طی دوره آزمایش شاخص‌هایی مانند ارتفاع گیاه و شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شد. در پایان دوره کشت، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و مقدار پتاسیم در ریشه، ساقه و دانه (پس از خاکستری‌گیری از اندام گیاه) به کمک فلیم‌فتمتر اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه (پنج بوته در گلدان) و مقدار جذب پتاسیم در دانه نیز محاسبه شد. هم‌چنین مقدار پتاسیم تبدلی خاک با استفاده از استات‌آمونیم اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: مقدار پتاسیم تبدلی خاک با کاربرد هر یک از باکتری‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داد. بیش‌ترین مقدار پتاسیم تبدلی خاک به‌ترتیب در حضور *انتروباکتر کلواسه*، مخلوط دو باکتری و سپس *سودوموناس* با افزایش ۱۵/۷، ۸ و ۵/۸ درصد نسبت به شاهد مشاهده شد. تأثیر تیمارهای باکتری بر مقدار شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته و وزن خشک ریشه در سطح یک درصد و بر مقدار وزن خشک ساقه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در حضور *انتروباکتر کلواسه* و مخلوط دو باکتری به‌ترتیب با ۱۴/۵ و ۴/۵۰ درصد افزایش نسبت به شاهد به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار غلظت پتاسیم در ریشه و ساقه به‌ترتیب با افزایش ۴۰/۵ و

* مسئول مکاتبه: n.enayatzamir@scu.ac.ir

۵۰/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد در حضور *انتروباکتر کلوسه* مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار غلظت و جذب پتاسیم دانه در حضور *انتروباکتر کلوسه* و پس از آن در حضور مخلوط دو باکتری مشاهده شد. نتیجه‌گیری: بیشینه تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در تیمار دارای *انتروباکتر کلوسه* نشان‌دهنده امکان استفاده از آن در کاهش مصرف کودهای شیمیایی پتاسیمی در راستای تولید بهینه محصول و کشاورزی پایدار است.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع، عملکرد، کلروفیل، کود، وزن خشک

مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر غذایی پر نیاز و فراوان‌ترین کاتیون جذب‌شده در بیش‌تر گیاهان است که نقش مهمی در رشد و استقرار آن‌ها دارد (۳۹). پتاسیم در فعالیت آنزیم‌ها، افزایش شادابی یاخته، افزایش فتوسنتز، کمک در جابجایی قند و نشاسته، کمک در جذب نیتروژن و برای ساخت پروتئین در گیاه نیاز است. پتاسیم در پر کردن دانه، عملکرد دانه، افزایش مقاومت به بیماری نقش داشته و افزون بر آن باعث افزایش پایداری گیاه در برابر تنش‌ها می‌شود (۲۳). در گیاهان کمبود پتاسیم باعث زرد شدن لبه برگ‌ها شده و به آن ظاهری سوخته می‌دهد. هم‌چنین می‌تواند باعث کندی رشد و توسعه ناقص ریشه شود (۱۹). این عنصر در خاک بیش‌تر به سه شکل، پتاسیم فراهم برای گیاه (محلول و تبادل)، پتاسیم میان‌لایه‌ای و پتاسیم درون‌ساختاری خاک، دیده می‌شود. در میان این سه ریخت پتاسیم در خاک، غلظت پتاسیم محلول خاک بسیار کم است (یک تا دو درصد از همه آن) و بخش بزرگی از پتاسیم (۹۸ درصد پتاسیم خاک) به گونه نامحلول در خاک است (۸). اگرچه کمبود پتاسیم مانند کمبود نیتروژن و فسفر گسترده نیست اما در بسیاری از خاک‌های کشاورزی که در آغاز از این عنصر غنی بودند با برداشت پی‌درپی گیاه، رواناب، آبشویی و فرسایش خاک با کمبود این عنصر روبرو شده‌اند (۲۷). بخش عمده پتاسیم در خاک در ساختمان کانی‌های پتاسیم‌دار مثل مسکویت، بیوتیت و

فلدسپارها وجود دارد. بیش‌تر کانی‌های پتاسیم‌دار خاک که پتاسیم مورد نیاز گیاه را از طریق آزادسازی پتاسیم تأمین می‌کنند شامل بیوتیت، مسکویت، میکروکلین و ارتوکلاز می‌باشند (۳۲ و ۳۰). زمانی که پتاسیم محلول و تبدلی خاک به کم‌تر از حد کفایت گیاه کاهش می‌یابد، پتاسیم غیرتبدلی می‌تواند از بین لایه‌های کانی‌های رسی آزاد شود (۳۱). امروزه مصرف بالای کودهای شیمیایی برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه نمی‌تواند راهکار مناسبی برای افزایش بهره‌وری از خاک باشد، زیرا باعث افزایش هزینه‌ها، کاهش بهره‌وری از کود و آسیب رساندن به محیط زیست می‌شود (۳۷). کودهای شیمیایی پتاسیمی نسبت به سایر کودهای شیمیایی گران‌تر هستند. یکی از گزینه‌های جایگزین، استفاده و بهره‌وری کامل از ذخیره پتاسیم در خاک است. خاک دارای ذخایر غنی از پتاسیم است، اما در این میان تنها ۱/۲ درصد از آن می‌تواند به‌صورت مستقیم توسط گیاهان جذب شود (۱۶). تقریباً ۹۸-۹۰ درصد از پتاسیم خاک در مواد معدنی سیلیکاتی مانند فلدسپات‌ها و میکاها وجود دارد که پتاسیم آن‌ها به‌صورت آهسته آزاد می‌شود (۸). بعضی ریزجانداران در خاک قادر به آزاد کردن پتاسیم، از کانی‌های دارای پتاسیم از طریق تولید و ترشح اسیدهای آلی و تولید کلات به داخل محلول خاک می‌باشند (۳۳ و ۵). باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک دارند، این باکتری‌ها از

به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. فاکتورهای آزمایش شامل مایه‌زنی باکتری به خاک در چهار سطح [شاهد (B₁)، انتروباکتر کلواسه^۱ (B₂)، سودوموناس^۲ (B₃) و ترکیب انتروباکتر کلواسه و سودوموناس (B₄)] و فاکتور دوم به دلیل بالا بودن نسبی پتاسیم اولیه خاک (۲۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) شامل دو سطح کودی سولفات پتاسیم (صفر (F₁) و ۵۰ درصد (F₂) نیاز کودی) بود. نمونه خاک از مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت مرکب (۳۰-۰ سانتی‌متری خاک) تهیه و بعد از هوا خشک شدن برخی خصوصیات آن (جدول ۱) شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۲)، هدایت الکتریکی و pH خاک در عصاره ۱:۱ خاک: آب، مواد آلی به روش والکی و بلک، آهک به روش تیتراسیون، فسفر قابل دسترس به روش اولسن، پتاسیم قابل دسترس با استفاده از استات آمونیوم و نیتروژن به روش کجلدال تعیین گردیدند (۹). برای گندزدایی دانه‌ها و جلوگیری از آلودگی‌های میکروبی، بذرها برای ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار گرفته و سپس با آب مقطر سترون چندین بار شستشو داده شدند (۳۵). سویه‌های انتروباکترکلواسه و سودوموناس که در آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار از کارایی خوبی برخوردار بودند (۱۳) از کلکسیون میکروبی دانشگاه شهید چمران اهواز برای مایه‌زنی به خاک و بررسی تأثیر آن‌ها بر رشد و عرضه پتاسیم مورد نیاز گیاه انتخاب شدند. از کشت شبانه باکتری با کدورت بر اساس استاندارد مک‌فارلند معادل نیم‌مک‌فارلند (۱/۵*۱۰^۸ CFU/ml) به منظور مایه‌زنی به خاک استفاده شد. برای تامین عناصر نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاه، کوددهی بر اساس آزمون خاک و توصیه‌های

طریق تولید هورمون‌های رشد، افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول فسفر و پتاسیم از طریق تولید اسیدهای آلی و معدنی، تولید سیدروفور و افزایش حلالیت آهن و روی و تولید آنزیم ACC-دآمیناز مؤثر در کاهش اثرات سوء اتیلن تنشی، به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند (۷). تأثیر *Bacillus mucilaginosus* بر افزایش جذب پتاسیم در خاک حاوی ایلیت و افزایش وزن خشک ریشه و ساقه بادمجان گزارش شده است (۱۱). باکتری‌های انحلال‌کننده پتاسیم نامحلول مانند *Bacillus edaphicus* و *Bacillus mucilagenosus* از جمله ریزجانداران مورد استفاده در تهیه کودهای زیستی است (۱۱). وسی (۲۰۰۳) گزارش نمود باکتری‌های محرک رشد گیاه، نقش زیادی در جذب مواد غذایی در گیاه دارند و می‌توانند عناصر را از شکل نامحلول به گونه فراهم درآورند (۳۶). بنابراین بهره‌گیری از ریزجانداران آزادکننده پتاسیم یک روش امیدبخش برای افزایش پتاسیم قابل بهره‌گیری در خاک خواهد بود. با توجه به این‌که گندم از محصولات بسیار مهم و استراتژیک کشور است، هر تلاشی برای افزایش عملکرد آن می‌تواند کمک شایانی به توسعه اقتصاد کشور نماید. تغذیه مناسب گندم نقش اساسی در عملکرد این گیاه دارد و در صورتی که نقصان در فراهمی هر یک از عناصر غذایی اصلی مورد نیاز گندم وجود داشته باشد می‌تواند به‌طور مستقیم سبب افت عملکرد گندم گردد (۱۸). این پژوهش با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد با ویژگی انحلال‌کنندگی پتاسیم در افزایش جذب پتاسی متوسط گیاه گندم و عملکرد آن انجام شد.

مواد و روش‌ها

تأثیر باکتری‌های قادر به آزادسازی پتاسیم بر روی صفات کمی و کیفی گندم رقم چمران در گلخانه

1- *Enterobacter cloacae* strain Rhizo_33

2- *Pseudomonas* sp. strain Rhizo_9

اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک اندام هوایی گیاه در پایان فصل رشد، اندام هوایی گندم از سطح خاک جدا و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون، خشک و سپس توسط ترازو با دقت دو رقم اعشار توزین شد. در انتهای مرحله رسیدگی، پتاسیم اندام هوایی (ساقه و دانه) و ریشه بعد از هضم خشک نمونه‌ها توسط دستگاه فلیم‌فتومتر قرائت گردید. عملکرد (۵ بوته در گلدان) و مقدار جذب پتاسیم در دانه (حاصل‌ضرب عملکرد در غلظت پتاسیم) نیز محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و مقایسه مقادیر میانگین‌ها به وسیله آزمون توکی انجام و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

کودی برای گیاه گندم انجام شد، که به ترتیب از منابع کود اوره (۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده گردید (۱۵). در گلدان‌های شش کیلوگرمی ۱۰ عدد بذر کشت شد که پس از اطمینان از جوانه‌زنی به ۵ عدد بذر در گلدان کاهش یافت. گلدان‌ها در گلخانه با محدوده دمای ۱۸ تا ۲۷ درجه سلسیوس و با رطوبت نسبی رطوبت ۴۵ تا ۸۵ در شبانه‌روز، با متوسط ۱۲ ساعت روشنایی نگهداری شدند. درصد خاک گلدان‌ها طی دوره آزمایش از طریق وزنی تقریباً در حد ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) نگه داشته شد. طی دوره آزمایش شاخص‌هایی مانند ارتفاع گیاه و شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD-502

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Some chemical and physical properties of soil.

مقدار Value	ویژگی Properties (unit)
7.3	pH
3.5	Electrical conductivity (dS m ⁻¹)
0.07	نیترژن Nitrogen (%)
7.1	فسفر قابل جذب Available phosphorus (mg kg ⁻¹)
0.71	ماده آلی Organic matter (%)
290	پتاسیم قابل تبادل Exchangeable potassium (mg kg ⁻¹)
Clay Loamy	بافت خاک Soil Texture
1.33	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (gr cm ⁻³)
11.23	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity (Cmol kg ⁻¹)
38	کربنات کلسیم Calcium carbonate equivalent (%)

نتایج و بحث

پتاسیم تبادلی خاک بود اما تأثیر سطوح کودی بر مقدار پتاسیم تبادلی خاک معنی‌دار نبود (جدول ۲).

تأثیر تیمارها بر مقدار پتاسیم تبادلی خاک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر سویه‌های مورد آزمایش در سطح احتمال یک درصد بر مقدار

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر پتاسیم تبادلی خاک.

Table 2. Analysis of Variance for experimental treatments effects on soil exchangeable potassium.

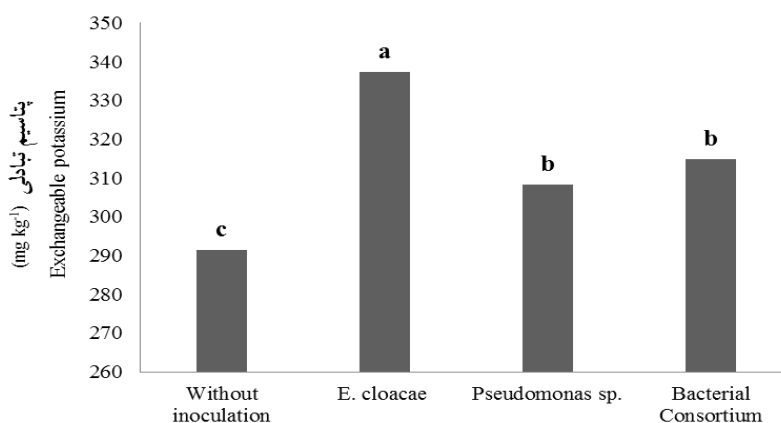
پتاسیم تبادلی Exchangeable potassium	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
47.2 ^{ns}	1	کود Fertilizer
2161.7**	3	باکتری Bacteria
29.5 ^{ns}	3	باکتری × کود Bacteria×Fertilizer
65.8	16	خطا Error
2.59	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری.

**، * and ^{ns} respectively significant at 1%, 5% and non-significant.

اسیدهای آلی نسبت داد (۱۷). با تولید اسیدهای آلی pH محیط کاهش و انحلال پتاسیم نامحلول افزایش می‌یابد (۱۱). نتایج بیون و ساواج (۱۹۸۹) نشان داد افزایش اگزالیک‌اسید انحلال فلدسپار حاوی پتاسیم را افزایش می‌دهد (۲). طبق گزارش چن و همکاران (۲۰۰۰) نقش اگزالیک‌اسید بر افزایش انحلال سنگ‌ها و کانی‌ها متأثر از حضور یون‌های هیدروژن و تشکیل کمپلکس کاتیونی است. در حضور یون‌های هیدروژن، کاتیون‌های ساختاری از کانی رها شده و کمپلکس کاتیون با اسید آلی مانند اگزالیک اسید که دارای گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل در موقعیت اورتو هستند، تشکیل می‌شود. تغییر دانسیته الکترون کانی با تشکیل پیوند کاتیون با اسید آلی، آن را نسبت به هیدرولیز حساس‌تر می‌نماید (۳).

آزمون میانگین اثر ساده باکتری بر مقدار پتاسیم تبادلی خاک در شکل ۱ نشان داده شده است. مقدار پتاسیم تبادلی خاک با کاربرد هر یک از تیمارهای باکتری نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند. بیش‌ترین مقدار پتاسیم تبادلی در حضور *انتروباکتر کلواسه* و پس از آن به ترتیب در تیمار دارای مخلوط دو باکتری و تیمار دارای *سودوموناس* مشاهده شد (شکل ۱). هر کدام از تیمارهای باکتری شامل *انتروباکتر کلواسه*، مخلوط دو باکتری و *سودوموناس* به ترتیب باعث افزایش ۱۵/۷، ۸/۰۰ و ۵/۸۰ درصد مقدار پتاسیم تبادلی خاک نسبت به شاهد (بدون حضور باکتری) شدند. افزایش میزان انحلال پتاسیم در حضور باکتری‌های انحلال‌کننده پتاسیم را می‌توان به توانایی این باکتری‌ها در تولید



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر باکتری بر پتاسیم تبادلی خاک.

Figure 1. Mean comparison of bacterium effect on soil exchangeable potassium. Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05).

شده گزارش شده (*P. mucilaginosus MCRCp1*) است (۳۴). باکتری‌های محرک رشد ممکن است اثرات مفید خود را در جذب مواد غذایی و رشد گیاه از طریق سازوکارهای گوناگونی مانند تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی، سیدروفورها و تغییر شکل عناصر غذایی مثل فسفر، پتاسیم و آهن نشان دهند (۲۸).

تأثیر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گیاه: جدول ۳ تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر کلروفیل، ارتفاع، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و عملکرد را نشان می‌دهد.

شنگ و هی (۲۰۰۶) گزارش نمودند *Bacillus edaphicus* با ترشح پلی‌ساکاریدها و اسیدهای آلی مقدار پتاسیم آزاد شده از کانی ایلیت و فلدسپار را افزایش داد. آن‌ها در یک آزمایش گلدانی این باکتری را به خاک تحت کشت گندم که حاوی پتاسیم قابل‌استفاده کمی بود، مایه‌زنی کردند. نتایج آن‌ها افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی گندم را نسبت به شاهد نشان داد (۲۶). افزایش محتوای پتاسیم و فسفر خاک، درصد روغن دانه بادام‌زمینی و عملکرد بوته تحت تأثیر باکتری حل‌کننده پتاسیم

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم.

Table 3. Variance Analysis of the treatments effect on some characteristics of wheat.

عملکرد دانه Grain yield	وزن خشک خوشه Cluster dry weight	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	ارتفاع بوته Plant height	کلروفیل Chlorophyll	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
0.05 ^{ns}	1.12 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.375 ^{ns}	14.6**	1	کود Fertilizer
0.6**	1.82*	2.3*	0.17**	11.04**	15.0**	3	باکتری Bacterium
0.04 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.007 ^{ns}	1.40 ^{ns}	0.56 ^{ns}	3	باکتری × کود Bacterium × Fertilizer
0.01	0.51	0.73	0.004	0.50	0.37	16	خطا Error
2.88	10.50	15.4	9.7	0.95	2.72		ضریب تغییرات Coefficient of variation

ns و * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و عدم معنی‌داری.

** , * and ^{ns} respectively significant at 1%, 5% and non-significant.

پروتئین در گندم و ذرت را گزارش نمودند. هم‌چنین نتایج آن‌ها نشان‌دهنده افزایش مقدار کلروفیل در تیمار دارای پتاسیم همراه با مایه‌زنی باکتری نسبت به شاهد بود (۳۲). باکتری‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر دارای توان تثبیت نیتروژن و افزایش فراهمی این عنصر برای گیاه هستند (۱۰) با تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه افزایش شاخص کلروفیل امکان‌پذیر است. باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توانند با تولید هورمون‌های مختلف رشد مانند اسید ایندول استیک، سیتوکینین و اتیلن و تأثیر بر هوادیدگی کانی‌ها و رهاسازی عناصر سبب تحریک تشکیل ریشه‌های جانبی شوند (۴).

اثر ساده تیمارها بر کلروفیل در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیش‌ترین مقدار کلروفیل در سطح کودی F_2 (۷/۱۵ درصد افزایش) به‌دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین بیش‌ترین مقدار کلروفیل گیاه در حضور *انتروباکتر کلوسه* و مخلوط دو باکتری به‌ترتیب با ۱۵/۰ و ۴/۱۰ درصد افزایش نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد (جدول ۴). پتاسیم شدت فتوسنتز و سرعت انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به بافت ذخیره‌ای از طریق آوند آبکشی را افزایش می‌دهد و به دنبال آن نقش مهمی در توسعه کلروفیل دارد (۱۴). سینگ و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر *ازتوباکتر کروکوکوم*، *باسیلوس موسیلاژنز* و *ریزوبیوم* بر انحلال پتاسیم میکا و افزایش جذب پتاسیم، افزایش زیست‌توده و

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم.

Table 4. Compare the average of main effect of treatments on some characteristics of wheat.

عملکرد دانه Grain yield	وزن خشک خوشه Cluster weight	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	ارتفاع بوته Plant height (cm)	کلروفیل Chlorophyll	ویژگی Property تیمارها Treatments
(g pot ⁻¹)						
4.65 ^a	7.05 ^a	5.60 ^a	0.74 ^a	74.2 ^a	21.8 ^b	F ₁
4.60 ^a	6.60 ^a	5.60 ^a	0.70 ^a	74.5 ^a	23.4 ^a	F ₂
4.40 ^{bc}	6.30 ^b	4.80 ^a	0.50 ^d	73.5 ^{bc}	21.6 ^{bc}	B ₁
5.05 ^a	7.60 ^a	5.95 ^a	0.90 ^a	76.1 ^a	24.8 ^a	B ₂
4.35 ^c	6.70 ^{ab}	5.20 ^a	0.65 ^c	73.1 ^c	21.4 ^c	B ₃
4.60 ^b	6.80 ^{ab}	6.20 ^a	0.80 ^b	74.7 ^b	22.5 ^b	B ₄

آن در گیاه افزایش یافته و ارتفاع گیاه در حضور باکتری بیش‌تر از گیاهان کشت‌شده در نبود باکتری بود. پتاسیم از عناصر پرنیاز بوده و می‌تواند ارتفاع بوته را افزایش دهد (۱۰). مطالعات مختلف تأثیر مثبت مایه‌زنی با *آزوسپریلیوم* بر ارتفاع بوته، اندازه برگ، طول و حجم ریشه و میزان ماده خشک در انواع مختلفی از غلات را نشان دادند (۳۷ و ۲۰). رمانوم و

تأثیر باکتری بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین ارتفاع گیاه در حضور *انتروباکتر کلوسه* و پس از آن مخلوط دو باکتری به‌ترتیب با ۳/۶ و ۱/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۴). مایه‌زنی باکتری به خاک سبب افزایش مقدار پتاسیم تبادل‌ی خاک (شکل ۲) شد. با افزایش پتاسیم تبادل‌ی خاک، مقدار جذب

یافت؛ آن‌ها یکی از دلایل افزایش عملکرد این گیاهان را به افزایش جذب آب در گیاه نسبت دادند (۱). تأثیر سطوح باکتری بر وزن خوشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود اما تأثیر سطوح کودی بر وزن خوشه معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار وزن خوشه به‌ترتیب در حضور *انتروباکترکلواسه*، مخلوط دو باکتری و *سودوموناس* با ۲۱/۰، ۸/۴۵ و ۶/۵۰ درصد افزایش نسبت به شاهد به‌دست آمد (جدول ۴). تأثیر سطوح باکتری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما تأثیر سطح کودی بر عملکرد دانه معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیش‌ترین عملکرد دانه در حضور *انتروباکترکلواسه* و مخلوط دو باکتری به‌ترتیب با ۱۴/۵ و ۴/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد به‌دست آمد (جدول ۴). جرجیس (۲۰۰۶) گزارش نمود که استفاده از *Bacillus spp.* در خاک تحت کشت گندم همراه با افزایش مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه باعث افزایش عملکرد گندم می‌شود (۶). افزایش درصد جوانه‌زنی، ارتفاع بوته، عملکرد و جذب پتاسیم توسط گیاه تنباکو در شرایط گلخانه‌ای تحت تأثیر گونه‌های مختلف *انتروباکتر کلواسه* به‌واسطه تجزیه مواد معدنی سیلیکاتی به پتاسیم قابل جذب برای گیاه از طریق ترشح مواد فعال گزارش شده است (۳۶).

تأثیر تیمارها بر غلظت و جذب پتاسیم توسط گیاه:
نتایج تجزیه واریانس غلظت و جذب پتاسیم در ریشه، ساقه و دانه گندم در جدول ۵ نشان داده شده است. تأثیر باکتری بر غلظت و جذب پتاسیم در ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد اما تأثیر سطوح کودی بر میزان غلظت و جذب پتاسیم در ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۵).

چاندرا (۲۰۰۵) در یک آزمایش مزرعه‌ای افزایش قابل‌توجه ارتفاع بوته و جذب پتاسیم برای بادمجان، به‌دلیل مایه‌زنی با باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (*Frateuria aurantia*) نسبت به شاهد را گزارش کردند (۲۳). آزمون میانگین تأثیر باکتری بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین وزن خشک ریشه به‌ترتیب در حضور *انتروباکترکلواسه*، مخلوط دو باکتری و پس از آن در حضور *سودوموناس* با ۷۵/۵، ۳۴/۴ و ۲۲/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد به‌دست آمد (جدول ۴). حضور این باکتری‌ها باعث افزایش جذب عناصر غذایی پرنیاز مانند پتاسیم و در نتیجه افزایش رشد ریشه و میزان وزن خشک آن می‌شود. پارمار (۲۰۱۰) گزارش نمود که مایه‌زنی باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم باعث افزایش ۵۱/۵ درصدی وزن خشک ریشه گندم، ۶۰ روز پس از کاشت در خاک شد (۲۱). باکتری‌های ریزوسفری از راه ساخت هورمون‌های رشد، افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول فسفر و پتاسیم، تولید اسیدهای آلی و معدنی، سیدروفور و در نتیجه افزایش حلالیت آهن و روی و هم‌چنین تولید آنزیم ACC-دآمیناز مؤثر در کاهش اثرات سوء اتیلن تنشی، به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند (۵). هر دو باکتری مورد استفاده در پژوهش حاضر دارای توان انحلال‌کنندگی پتاسیم بوده و باکتری *انتروباکترکلواسه* دارای توان تولید هورمون اکسین نیز است (۱۰). بنابراین در تمام صفات اندازه‌گیری شده تأثیر *انتروباکتر کلواسه* بیش‌تر بود. افزایش محتوای آب نسبی برگ‌ها می‌تواند منجر به افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه افزایش وزن زیتوده گیاهی شود. نتایج باسیلیو و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که وزن خشک ریشه و برگ و ارتفاع گیاه در گندم مایه‌زنی‌شده با باکتری محرک رشد افزایش

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر غلظت و جذب پتاسیم در گندم.

Table 5. Analysis of variance of the treatments effect on concentration and uptake of potassium in wheat.

پتاسیم جذب‌شده در دانه Grain K uptake	غلظت پتاسیم دانه Grain K concentration	پتاسیم جذب‌شده در ساقه Shoot K uptake	غلظت پتاسیم ساقه Shoot K concentration	پتاسیم جذب‌شده در ریشه Root K uptake	غلظت پتاسیم ریشه Root K concentrations	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
0.40 ^{ns}	29374*	2071 ^{ns}	73435369	0.00006 ^{ns}	52220 ^{ns}	1	کود Fertilizer
59.60**	604769**	10510**	139315655**	0.93**	272708**	3	باکتری Bacterium
4.40**	41947**	609 ^{ns}	2719820 ^{ns}	0.01 ^{ns}	9670 ^{ns}	3	باکتری × کود Bacterium × Fertilizer
0.60	3626	609	2719831	0.02	18857	16	خطا Error
3.01	1.09	15.8	5.90	14.3	10.15		ضریب تغییرات Coefficient of variation

^{ns}، * و ^{**} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و عدم معنی‌داری.

**، * and ^{ns} respectively significant at 1%, 5% and non-significant.

بر غلظت و جذب پتاسیم ساقه در سطح احتمال یک درصد و تأثیر سطوح کودی بر میزان غلظت پتاسیم در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بیش‌ترین غلظت پتاسیم ساقه به ترتیب در حضور *انتروباکترکلواسه*، مخلوط دو باکتری و پس از آن در حضور *سودوموناس* با ۵۰/۹، ۳۳/۳ و ۱۷/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد و بیش‌ترین پتاسیم جذب شده در ساقه به ترتیب در حضور *انتروباکترکلواسه*، مخلوط دو باکتری و پس از آن در حضور *سودوموناس* به دست آمد (جدول ۶). بیش‌ترین غلظت پتاسیم ساقه در سطح کودی F₂ با ۱۳/۴ درصد افزایش نسبت به سطح کودی F₁ مشاهده شد (جدول ۶).

بیش‌ترین غلظت پتاسیم در ریشه به ترتیب در حضور *انتروباکترکلواسه*، مخلوط دو باکتری و *سودوموناس* با ۴۰/۵، ۲۴/۳ و ۵/۴۰ درصد افزایش نسبت به شاهد و بیش‌ترین پتاسیم جذب‌شده در ریشه در حضور *انتروباکترکلواسه*، مخلوط دو باکتری و پس از آن در حضور *سودوموناس* با ۱۴۷، ۷۸/۷ و ۲۷/۸۶ درصد افزایش نسبت به شاهد به دست آمد (جدول ۶). باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم با افزایش مقدار پتاسیم تبادل‌ی خاک (شکل ۱) موجب دسترسی بیش‌تر گیاه به پتاسیم و افزایش غلظت و جذب پتاسیم در ریشه می‌شوند. افزایش میزان انحلال پتاسیم به واسطه باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم موجب دسترسی بهتر گیاه و جذب آن است (۳۸). تأثیر باکتری

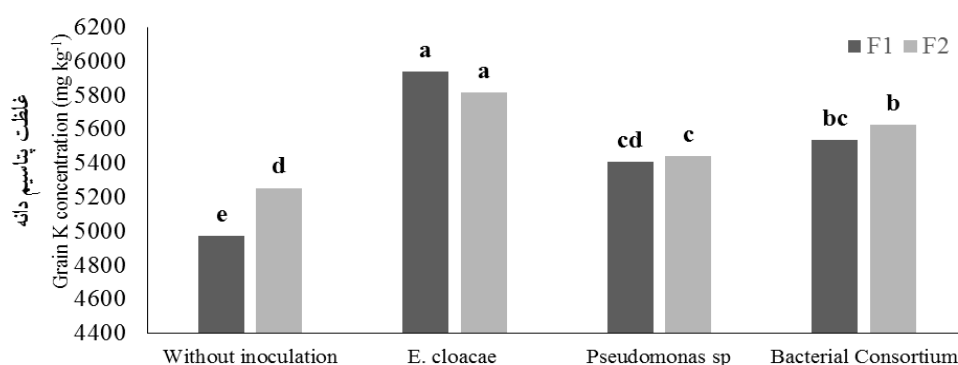
جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارها بر غلظت و جذب پتاسیم در گندم.

Table 6. Compare the average of main effect of treatments on concentration and uptake of potassium in wheat.

پتاسیم جذب شده در ساقه Shoot K uptake	غلظت پتاسیم ساقه Shoot K concentration	پتاسیم جذب شده در ریشه Root K uptake	غلظت پتاسیم ریشه Root K concentration	ویژگی Property تیمارها Treatments
(mg pot ⁻¹)				
146 ^a	26044 ^b	1 ^a	1306 ^a	F ₁
165 ^a	29542 ^a	1 ^a	1399 ^a	F ₂
107 ^b	22156 ^d	0.60 ^c	1150 ^c	B ₁
198 ^a	33429 ^a	1.50 ^a	1617 ^a	B ₂
135 ^b	26044 ^c	0.80 ^c	1212 ^{bc}	B ₃
182 ^a	29542 ^b	1.10 ^b	1430 ^{ab}	B ₄

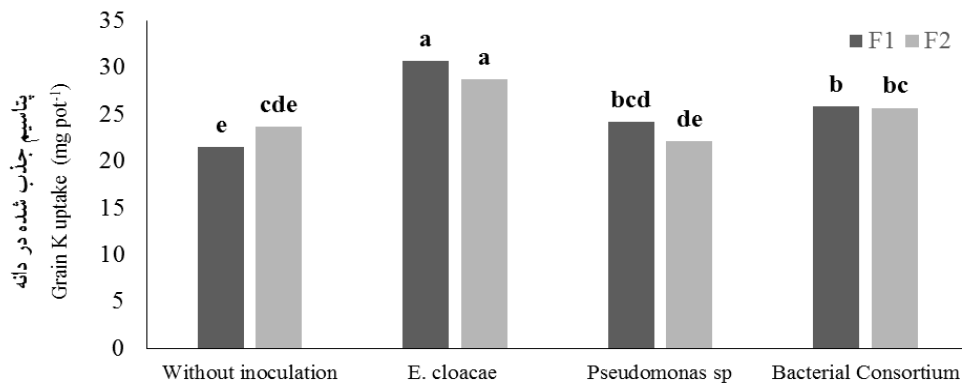
آزمایش گلدانی به ترتیب افزایش ۱۹-۲۴ درصد و ۲۱-۱۹ درصدی در وزن خشک ریشه و اندام هوایی را گزارش کردند. هم‌چنین غلظت پتاسیم در پنبه ۳۱-۳۴ درصد و در کلزا ۲۸-۳۱ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (۲۵). سینگ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش نمودند افزایش پتاسیم در گیاه ممکن است به دلیل تحریک رشد ریشه و یا طویل شدن تارهای کشنده توسط ریزجانداران باشد (۲۹). افزایش جذب پتاسیم می‌تواند با استفاده کم‌تر از کودهای شیمیایی و با استفاده از باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به دست آید (۲۱).

اثرات متقابل سطوح باکتری و کود بر غلظت و جذب پتاسیم دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم سبب افزایش غلظت پتاسیم دانه نسبت به شاهد شده‌اند (شکل ۲). بیش‌ترین مقدار پتاسیم جذب شده دانه در حضور *انتروباکترکلواسه* مشاهده شد (شکل ۳). نتایج به دست آمده از تأثیر باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم بر مقدار وزن خشک ریشه (جدول ۳) نشان‌دهنده افزایش و تحرک طول ریشه و جذب بیش‌تر پتاسیم توسط گندم بوده است. شنگ (۲۰۰۵) با مایه‌زنی *Bacillus edaphicus* به خاک تحت کشت پنبه و کلزا در یک



شکل ۲- مقایسه میانگین غلظت پتاسیم دانه در تیمارهای آزمایش.

Figure 2. Means comparison of grain potassium concentration in the experimental treatments. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$).



شکل ۳- مقایسه میانگین جذب پتاسیم دانه در تیمارهای آزمایش.

Figure 3. Means comparison of grain potassium uptake in the experimental treatments. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$).

پتاسیم جذب‌شده در گیاه در پیامد مایه‌زنی با سویه‌ها نیز متفاوت بود. به‌طورکلی صفات کمی و کیفی گندم در تیمارهای دارای باکتری بیش‌تر بود، که می‌توان به تأثیر باکتری‌های محرک رشد در آزادسازی و قابل دسترس کردن عناصر و تحریک ریشه‌زایی و به دنبال آن جذب بیش‌تر عناصر غذایی پی برد. از آنجایی‌که مقدار کانی‌های دارای پتاسیم در استان خوزستان بالا است و این کانی منبع سرشاری از پتاسیم برای گیاه است، می‌توان از این سویه‌ها در راستای کاهش کاربرد کود پتاسیمی بهره‌گیری نمود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان بیان نمود که گیاه گندم در شرایط تغذیه‌ای بدون پتاسیم در حضور باکتری توانسته است از پتاسیم نامحلول خاک بهره‌گیری کند. پژوهش انجام شده نشان داد که مایه‌زنی هر دو سویه به ریشه گیاه گندم حتی در صورت عدم بهره‌گیری از پتاسیم، باعث جذب بیش‌تر پتاسیم در مقایسه با شاهد شد. رشد گیاه در حضور هر یک از این دو سویه به گونه چشم‌گیری افزایش پیدا کرد. چون توان آزادسازی پتاسیم در میان سویه‌های آزمایش‌شده ناهمانند بود بنابراین مقدار

منابع

- Bacilio, M., Rodriguez, H., Moreno, M., Hernandez, J.P., and Bashan, Y. 2004. Mitigation of salt stress in wheat seedlings by a gfp-tagged *Azospirillum lipoferum*. Biol. Fertil. Soils. 40: 3. 188-193.
- Bevan, J., and Savage, D. 1989. The effect of organic acids on the dissolution of K-feldspar under conditions relevant to burial diagenesis. Mineral. Mag. 53: 415-425.
- Chen, J., Blume, H., and Lothar, B. 2000. Weathering of Rocks Induced by Lichen Colonization: A Review. Catena. 39: 121-146.
- Egamberdiyeva, D., and Höflich, G. 2003. Influence of growth-promoting bacteria on the growth of wheat in different soils and temperatures. Soil Biol. Biochem. 35: 7. 973-978.
- Friedrich, S., Platonova, N.P., Karavaiko, G.I., Stichel, E., and Glombitza, F. 1991. Chemical and microbiological solubilization of silicates. Acta Biotechnol. 11: 3. 187-196.
- Girgis, M.G.Z. 2006. Response of wheat to inoculation with phosphate and potassium mobilizers and organic amendment. Annals of Agricultural Science (Cairo). 51: 1. 85-100.

7. Glick, B.R. 2004. Bacterial ACC deaminase and the alleviation of plant stress. *Adv. Appl. Microbiol.* 56: 291-312.
8. Goldstein, A. 1994. Involvement of the quinoprotein glucose dehydrogenase in the solubilization of exogenous phosphates by gram-negative bacteria. P 197-203, In: A. Torriani-Gorini, E. Yagil and S. Silver (Eds.), *Phosphate in Microorganisms: Cellular and Molecular Biology*. ASM Press, Washington, DC.
9. Gupta, P.K. 2004. *Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis*. Agrobios (India), 438p.
10. Haghghi, H., Sam Daliri, M., Mobaser, H.R., and Abbas Moosavi, A. 2011. Effect of different nitrogen and potassium fertilizer levels on quality and quantity yield of flue-cured tobacco (Coker 347). *World J. Appl. Sci.* 15: 941-946.
11. Han, H.S., and Lee, K.D. 2005. Phosphate and potassium solubilizing bacteria effect on mineral uptake, soil availability and growth of eggplant. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 1: 2. 176-180.
12. Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis, Part 1: physical and mineralogical methods*. Soil Science Society of America, Madison, WI.
13. Lamizadeh, E., Enayatizamir, N., and Motamedi, H. 2016. Isolation and identification of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) from the rhizosphere of sugarcane in saline and non-saline soil. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 5: 10. 1072-1083.
14. Lin, D., Huang, D., and Wang, S. 2004. Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture. *Sci. Hort.* 102: 53-60.
15. Malakouti, M.J., and Gheibi, M.N. 2000. Determination of critical levels of nutrients in soil, plant and fruit for the quality and yield improvements in strategic crops of Iran. High Concoil for Appropriate Use of Pesticides and Chemical Fertilizers, Ministry of Agriculture, 92p. (In Persian)
16. Malinovskaya, I.M., Kosenko, L.V., Votselko, S.K., and Podgorskii, V.S. 1990. Role of *Bacillus mucilaginosus* polysaccharide in degradation of silicate minerals. *Microbiology.* 59: 1. 49-55.
17. Maurya, B.R., Meena, V.S., and Meena, O.P. 2014. Influence of Inceptisol and Alfisol's potassium solubilizing bacteria (KSB) isolates on release of K from waste mica. *Vegetos.* 27: 1. 181-187.
18. Mirzashahi, K., Asadi, R.H., Khavazi, K., and Afshari, M. 2013. Effect of two kinds of biofertilizers on irrigated wheat yield in the north of Khuzestan. *Iran. J. Soil Res.* 27: 2. 159-168. (In Persian)
19. Munson, R.D. 1985. *Potassium in agriculture*. American Society of Agronomy, Pp: 754-794.
20. Okon, Y. 1985. *Azospirillum* as potential inoculants for agriculture. *Trends Biotechnol.* 3: 223-228.
21. Parmar, P. 2010. Isolation of potassium solubilizing bacteria and their inoculation effect on growth of wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). M.Sc. Thesis. Microbiology, CCS Haryana Agricultural University, Hisar, India.
22. Pettigrew, W.T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiol. Plant.* 133: 4. 670-681.
23. Ramarethinam, S., and Chandra, K. 2005. Studies on the effect of potash solubilizing/mobilizing bacteria *Frateuria aurantia* on brinjal growth and yield. *Pestology.* 11: 35-39.
24. Shanware, A.S., Kalkar, S.A., and Trivedi, M.M. 2014. Potassium solubilizes: occurrence, mechanism and their role as competent biofertilizers. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 3: 622-629.
25. Sheng, X.F. 2005. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium releasing strain of *Bacillus edaphicus*. *Soil. Biol. Biochem.* 37: 1918-1922.
26. Sheng, X.F., and He, L.Y. 2006. Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild-type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. *Can. J. Microbiol.* 52: 1. 66-72.
27. 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: 6. 662-666.

28. Sindhu, S.S., Dua, S., Verma, M.K., and Khandelwal, A. 2010. Growth promotion of legumes by inoculation of rhizosphere bacteria. P 195-235, In: M. Saghir Khan, J. Musarrat and A. Ziadi (Eds.), *Microbes for legume improvement*. Springer, Vienna.
29. Singh, G., Biswas, D.R., and Marwaha, 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.): a hydroponics study under phytotron growth chamber. *J. Plant Nutr.* 33: 8. 1236-1251.
30. Song, S.K., and Huang, P.M. 1988. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 2. 383-390.
31. Sparks, D.L., and Huang, P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium. Potassium in agriculture, Section II: Potassium in Soils. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Pp: 201-276.
32. Sparks, D.L. 1987. Potassium Dynamics in Soils. In: Stewart B.A. (Eds), *Advances in Soil Science*. *Advances in Soil Science*, Vol 6. Springer, New York, NY.
33. Sturz, A.V., and Christie, B.R. 2003. Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil Tillage Res.* 72: 2. 107-123.
34. Sugumaran, P., and Janarthanam, B. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. *WJAS.* 3: 3. 350-355.
35. Tale Ahmad, S., and Haddad, R. 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 47: 1. 17-27.
36. Vessey, F. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil.* 255: 2. 571-586.
37. Wani, S.P. 1990. Inoculation with associative nitrogen fixing bacteria: role in cereal grain production improvement. *Ind. J. Microbiol.* 30: 4. 363-393.
38. Zeng, X., Liu, X., Tang, J., Hu, S., Jiang, P., Li, W., and Xu, L. 2012. Characterization and potassium-solubilizing ability of *Bacillus Circulans* Z1-3. *Adv. Sci. Lett.* 10: 1. 173-176.
39. Zhang, C., and Kong, F. 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. *Appl. Soil Ecol.* 82: 18-25.



Effects of potassium solubilizing bacteria on potassium uptake and some growth indicators of wheat under greenhouse conditions

A. Ghadamkhani¹, *N. Enayatizamir² and M. Norouzi Masir³

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,

²Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,

³Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

Received: 06/17/2017; Accepted: 07/18/2017

Abstract

Background and Objectives: Potassium is one of the macronutrients and the most abundant absorbed cation in most plants. Due to the imbalanced fertilizer application, potassium deficiency is becoming one of the major constraints in crop production. Potassium deficiency will cause leaves dieback and grain yield reduction of wheat. The main part of potassium in soil is unavailable for plants. Some kinds of plant growth promoting bacteria are capable to increase the availability of nutrients for plants. Therefore, this study aimed to investigate the effect of potassium solubilizing bacteria to utilize soil potassium by wheat.

Materials and Methods: The factorial experiment was conducted in greenhouse conditions as a randomized complete design with three replications. Treatments consisted of four levels of bacteria (without inoculation (control), inoculation with *Enterobacter cloacae*, inoculation with *Pseudomonas* sp., inoculation with both *Enterobacter cloacae* and *Pseudomonas* sp.) and two levels of K₂SO₄ (0% and 50% of potassium requirement). During the experiment, some parameters such as plant height and chlorophyll index were measured. At the end of cultivation period, dry weight of root and shoots as well as potassium concentration of root, shoot and grain was determined using flame photometer after dry digestion. Grain yield (5 shrubs per pot) and potassium uptake in grain was also determined. Exchangeable potassium of soil was measured using ammonium acetate.

Results: Soil exchangeable potassium content increased significantly (P<0.01) in all bacterial treatments compared to control. The maximum amount of soil exchangeable potassium were observed in the presence of *Enterobacter cloacae*, both bacterium application and *Pseudomonas* sp. with 15.7%, 8% and 5.8% increment compared to the control, respectively. The effects of bacterial treatments were significant on chlorophyll content, plant height and root dry weight (P<0.01) and shoot dry weight (P<0.05). The maximum grain yield was recorded in the presence of *Enterobacter cloacae* and followed by the presence of both *Enterobacter cloacae* and *Pseudomonas* sp. with 14.5% and 4.5% increment compared to the control, respectively. The highest amount of potassium concentration of root and stem with 40.5% and 50.9% increment compared to the control was obtained in the presence of *Enterobacter cloacae*. The maximum grain potassium concentration and uptake were observed in the presence of *Enterobacter cloacae* which followed by the presence of both *Enterobacter cloacae* and *Pseudomonas* sp.

Conclusion: The obtained highest amount of all measured properties in the presence of *Enterobacter cloacae* in soil indicating the possibility of its application as proper alternative of chemical fertilizer to reach optimal production and sustainable agriculture.

Keywords: Chlorophyll, Dry weight, Fertilizer, Height, Yield

* Corresponding Author; Email: n.enayatizamir@scu.ac.ir