نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هشتم، شماره چهارم، ۱۳۹۷
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفر بر جذب فسفر و برخی ویژگی‌های رشدی و تغذیه‌ای گندم

[*]مجتبی نوروزی‌مصیر[۱]، نعیمه عنایتی‌ضمیر[۲] و اکبر قدم‌خانی[۳]

[۱]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز،
[۳]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: زیست‌فراهمی و تحرک فسفر در مقایسه با دیگر عناصر غذایی ضروری، در بیش‌تر خاک‌ها کم‌تر است. اگرچه فسفر به شکل‌های آلی و غیرآلی در خاک‌ها فراوان است، اما اغلب عامل مهم یا حتی محدودکننده اصلی برای رشد گیاهان است. باکتری‌های حل‌کننده فسفات دارای توانایی تبدیل شکل نامحلول فسفر به شکل قابل‌دسترس می‌باشند. استفاده از این باکتری‌ها جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهند. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفر بر جذب فسفر و برخی ویژگی‌های گندم بود.

مواد و روش‌ها: آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح باکتری (شاهد، مایه‌زنی با *انتروباکتر کلوآسه R33*، مایه‌زنی با *سودوموناس R9* و مایه‌زنی با هر دو باکتری) و سه سطح کود سوپرفسفات تریپل (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی) بودند. طی دوره آزمایش ویژگی‌هایی مانند ارتفاع گیاه و شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شد. در پایان دوره کشت، وزن خشک ریشه، اندام هوایی و غلظت فسفر در ریشه، اندام هوایی و دانه پس از خاکسترگیری خشک به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر به روش زرد اندازه‌گیری شد. مقدار جذب فسفر در ریشه، اندام هوایی و دانه نیز محاسبه شد. همچنین مقدار فسفر قابل‌جذب در خاک پس از عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم اندازه‌گیری شد.

نتایج: نتایج نشان داد که اثر متقابل باکتری و کود بر مقدار pH و فسفر قابل‌جذب خاک معنی‌دار بود ($P<0/01$). کم‌ترین مقدار pH و بیش‌ترین مقدار فسفر قابل‌جذب خاک در تیمار دارای کاربرد هم‌زمان دو باکتری به همراه ۱۰۰ درصد نیاز کودی فسفر مشاهده شد. پیامد اثرات متقابل باکتری و کود بر شاخص کلروفیل، وزن خشک اندام هوایی و غلظت و جذب فسفر در ریشه، اندام هوایی و دانه در سطح یک درصد و تأثیر ساده باکتری بر ارتفاع، وزن خشک ریشه و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در حضور کاربرد هم‌زمان دو باکتری، سودوموناس و انتروباکتر کلوآسه به‌ترتیب با ۱۲/۷، ۷/۳۰ و ۷/۳۰ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار غلظت فسفر در ریشه و اندام هوایی در حضور کاربرد هم‌زمان دو باکتری و ۵۰ درصد نیاز کودی مشاهده شد. همچنین بیش‌ترین غلظت و جذب فسفر در دانه در تیمار کاربرد هم‌زمان دو باکتری و ۵۰ درصد نیاز کودی فسفر به‌ترتیب با ۳۱/٤ و ۵۸/٤ درصد افزایش نسبت به شاهد (۵۰ درصد نیاز کودی و بدون مایه‌زنی) به‌دست آمد.

[*] مسئول مکاتبه: m.norouzi@scu.ac.ir

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تیمارهای میکروبی قابلیت زیست‌فراهمی فسفر در خاک را برای جذب گندم افزایش داده‌اند. بیش‌تر مقدار ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در گیاه گندم در تیمار کاربرد هم‌زمان دو باکتری و ۵۰ درصد نیاز کودی بود. بنابراین استفاده از ریزجانداران میکروبی حل‌کننده فسفر می‌تواند تا حدودی نیاز کودی گیاه را برطرف و مقدار مصرف کودهای شیمیایی فسفره را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، غلظت، کود زیستی، کود شیمیایی

مقدمه

خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک عمدتاً آهکی و دارای pH بالا و ماده آلی پایین هستند، در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها با مشکل کمبود عناصر پرمصرف و کم‌مصرف روبه‌رو هستند (۲۰). فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی برای گیاهان است (۹). از وظایف مهم فسفر در گیاه تقسیم سلولی، انتقال انرژی، سنتز اسید نوکلئیک، فتوسنتز، تنفس، تولید قندها و نشاسته هستند (۱۲). اگرچه فسفر به مقدار فراوان در خاک‌ها به دو شکل آلی و معدنی یافت می‌شود اما در بیش‌تر خاک‌ها تحرک و فراهمی کمی دارد (۲۳). غلظت فسفر محلول در خاک معمولاً پایین و در حدود یک میلی‌گرم در کیلوگرم یا کم‌تر است (۳۱). مصرف زیاد کودهای فسفره در خاک منجر به تجمع آن در خاک می‌شود، زیرا به‌طور متوسط درصد بازیابی فسفر برای محصولات کشاورزی معمولاً بین ۱۰ تا ۲۵ درصد است (٤۰). افزایش مقدار فسفر در خاک به‌واسطه منابع آلی و غیرآلی و تجمع آن در خاک احتمال افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی را به وجود می‌آورد (۱۹). کارایی و مدیریت کاربرد فسفر در کشاورزی برای به‌دست آوردن بهترین و بیش‌ترین بازدهی در تولید محصول، بدون ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی ضروری است (۲۹). بدین‌منظور در برخی کشورهای جهان برای استفاده از کود فسفره در خاک توصیه کودی بر اساس آزمون خاک انجام می‌شود تا خطرات زیست‌محیطی پس‌ازآن کاهش یابد (۹). به‌منظور افزایش کارایی فسفر در خاک برای گیاهان و کاهش استفاده از کودهای فسفاته، استفاده از روش‌های جایگزین و رسیدن به کشاورزی پایدار ضروری است. یکی از اهداف کشاورزی پایدار جهت کاهش مشکلات ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی فسفاته، استفاده از ریزجاندارن حل‌کننده ترکیبات فسفات در خاک است. ریزجانداران خاک نقش مهمی در پویایی فسفر خاک و قابل‌دسترس کردن آن برای گیاهان دارند و اغلب به‌عنوان ریزجاندارن انحلال‌کننده فسفات (PSM)[1] نامیده می‌شوند (۲۳). ریزجاندارن خاک می‌توانند از طریق کاهش pH و ترشح اسیدهای آلی، کانی‌های فسفره نامحلول در ریزوسفر را به شکل‌های قابل‌جذب فسفر برای گیاه تبدیل کنند (۳۹). ریزجاندارن خاک از طریق فرآیند اسیدی کردن و کی‌لیت نمودن موجب افزیش فسفر محلول در خاک برای جذب گیاهان شدند (۸). گودیپ و ردی (۲۰۱۵) نشان دادند که استفاده از باکتری‌های انحلال‌کننده فسفر در حضور سنگ فسفات موجب افزایش توسعه ریشه، اندام هوایی، عمکرد دانه و جذب فسفر در گندم و ذرت شد (۱۵). کودایاروا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که باکتری‌های انحلال‌کننده فسفر با ترشح اکسین موجب افزایش توسعه ریشه در خاک و جذب فسفر در گندم شدند (۲۵). گندم یکی از گیاهان مهم در سبد محصولات

1- Phosphate solubilizing microorganisms

مصرفی است؛ بنابراین برنامه‌ریزی مناسب و دقیق برای تولید بهینه آن بدون نیاز به مصرف بالای کودهای شیمیایی یکی از نیازهای مهم کشورها است (۱۳). مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفر بر جذب فسفر و برخی ویژگی‌های رشدی و تغذیه‌ای گندم صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک از مزارع کشاورزی شهرستان دزفول به‌صورت مرکب (۳۰-۰ سانتی‌متر) تهیه و بعد از هوا خشک شدن برخی ویژگی‌های آن (جدول ۱) شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (۲٤)، هدایت الکتریکی و pH خاک در عصاره ۱:۱ خاک: آب، مواد آلی به روش والکی و بلک، فسفر قابل‌دسترس به روش اولسن، پتاسیم قابل‌دسترس با استفاده از استات آمونیوم و نیتروژن به روش کجلدال تعیین گردیدند (۱٤). میزان فسفر قابل‌دسترس خاک مورد آزمایش بر اساس حد بحرانی فسفر (۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) دچار کمبود فسفر قابل‌دسترس (اصطلاحاً قابل‌جذب) برای گیاه گندم است (جدول ۱). تأثیر باکتری‌های قادر به آزادسازی فسفر بر روی صفات کمی و کیفی گندم رقم چمران در گلخانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. فاکتورهای آزمایش شامل مایه‌زنی باکتری به خاک در چهار سطح [شاهد(B_1)، *انتروباکتر کلوآسه*[1] (B_2)، *سودوموناس*[2] (B_3) و کاربرد هم‌زمان *انتروباکتر کلوآسه* و *سودوموناس* (B_4)] و فاکتور دوم شامل سه سطح کودی سوپرفسفات‌تریپل (صفر (P_1)، ۵۰ درصد (P_2) و ۱۰۰ درصد (P_3) نیاز کودی) بود. سویه‌های *انتروباکترکلوآسه* و *سودوموناس* برای تلقیح به خاک و بررسی تأثیر آن‌ها بر رشد و تأمین فسفر مورد نیاز گیاه از کلکسیون میکروبی گروه خاک‌شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه و همراه با کاشت به زیر بذر مایه‌زنی شدند. برای گندزدایی دانه‌ها و جلوگیری از آلودگی‌های میکروبی، بذرها به‌مدت ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار گرفته و سپس با آب مقطر سترون چندین بار شستشو داده شدند (۳۷). مدیریت کودی بر اساس آزمون خاک انجام شد (۲۷). نیتروژن از منبع کود اوره (٤۰۰ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده گردید (۲۷). رطوبت خاک گلدان‌ها طی دوره آزمایش از طریق وزنی تقریباً در حد ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) نگه داشته شد. طی دوره آزمایش شاخص‌هایی مانند ارتفاع گیاه و کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD-502 اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک اندام هوایی گیاه در پایان فصل رشد، اندام هوایی گندم از سطح خاک جدا و به‌مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون، خشک و سپس توسط ترازو با دقت دو رقم اعشار توزین شد. در انتهای مرحله رشدی، فسفر در ریشه و اندام هوایی (ساقه و دانه) بعد از هضم خشک نمونه‌ها به روش کالریمتری (رنگ زرد وانادات مولیبدات) با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۱۸). عملکرد (پنج بوته در گلدان) و مقدار جذب فسفر در دانه (حاصل‌ضرب عملکرد در غلظت فسفر) نیز محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و مقایسه مقادیر میانگین‌ها به‌وسیله آزمون توکی انجام و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار ($P<۰/۰۱$) اثر متقابل باکتری و کود بر مقدار pH و فسفر قابل‌جذب در خاک است (جدول ۲).

1- *Enterobacter cloacae* R33
2- *Pseudomonas sp R9*

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Some chemical and physical properties of soil.

مقدار Value	ویژگی (واحد) Properties (unit)
7.2	pH
2.5	Electrical conductivity ($dS\ m^{-1}$)
0.09	نیتروژن (٪) Nitrogen (%)
10.7	فسفر قابل‌جذب ($mg.kg^{-1}$) Available phosphorus ($mg.kg^{-1}$)
0.95	ماده آلی (٪) Organic Matter (%)
240	پتاسیم قابل‌تبادل ($mg.kg^{-1}$) Exchangeable potassium ($mg.kg^{-1}$)
Silty Clay Loamy	بافت خاک Soil Texture
12.1	ظرفیت تبادل کاتیونی ($Cmol.kg^{-1}$) Cation Exchange Capacity ($Cmol.kg^{-1}$)

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر pH و فسفر قابل‌جذب در خاک.

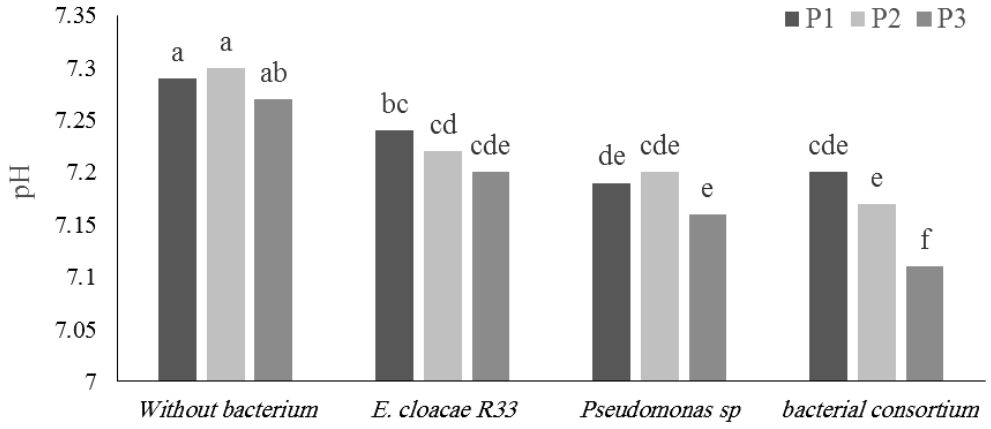
Table 2. Analysis of Variance for the treatments on pH and available phosphorus in soil.

میانگین مربعات Mean square		درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
فسفر قابل‌جذب خاک Available phosphorus	pH خاک Soil pH		
292**	0.006**	2	کود Fertilizer
105**	0.028**	3	باکتری Bacteria
8.09**	0.001**	6	باکتری × کود Bacteria×Fertilizer
0.460	0.0002	24	خطا Error
3.54	0.21	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و عدم معنی‌داری.

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

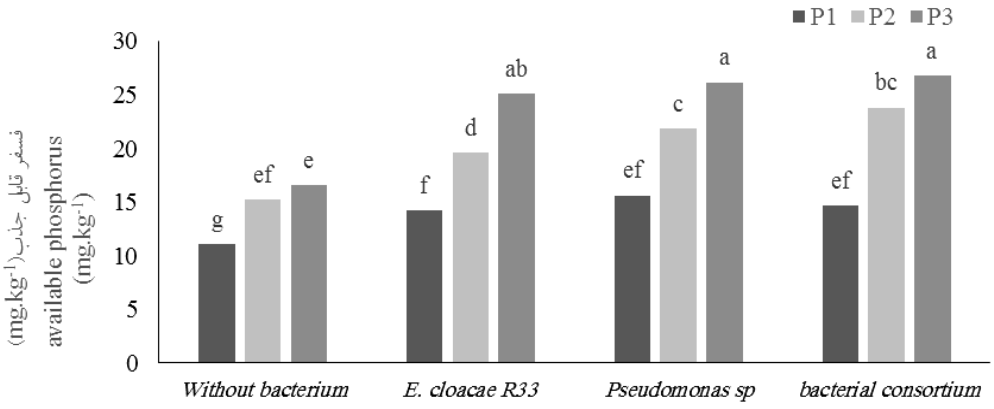
نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح کودی و باکتری بر مقدار pH خاک در شکل ۱ نشان داد که کاربرد سویه‌های مختلف باکتری موجب کاهش pH خاک شد. بیش‌ترین مقدار pH در تیمار شاهد (بدون کود فسفره و بدون باکتری) با مقدار ۷/۳ و کم‌ترین مقدار آن در تیمار۱۰۰ درصد کودی در حضور کاربرد هم‌زمان دو باکتری با مقدار ۷/۱۱ مشاهده شد. همچنین مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح کودی و باکتری بر مقدار فسفر قابل‌جذب در شکل ۲ نشان داد که کم‌ترین مقدار فسفر قابل‌جذب در تیمار شاهد (صفر درصد کودی و بدون باکتری) و بیش‌ترین مقدار فسفر قابل‌جذب خاک در تیمار دارای کاربرد هم‌زمان دو باکتری و ۱۰۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل بود.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و باکتری بر مقدار pH خاک.

P_1: سطح کودی صفر درصد، P_2: سطح کودی ۵۰ درصد و P_3: سطح کودی ۱۰۰ درصد.

Figure 1. Mean comparison of interaction of fertilizers and bacteria on soil pH.
P_1: fertilizer level 0%, P_2: fertilizer level 50% and P_3: fertilizer level 100%.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و باکتری بر مقدار فسفر قابل‌جذب.

P_1: سطح کودی صفر درصد، P_2: سطح کودی ۵۰ درصد و P_3: سطح کودی ۱۰۰ درصد.

Figure 2. Mean comparison of interaction of fertilizers and bacteria on available phosphorus.
P_1: fertilizer level 0%, P_2: fertilizer level 50% and P_3: fertilizer level 100%.

pH یکی از عوامل مهم در انحلال فسفر است (۳۵). وجود اسیدهای آلی بیش‌تر در خاک می‌تواند به‌طور مستقیم با کاهش pH خاک افزایش انحلال فسفر را به دنبال داشته باشد (٤). ریزجاندارن از طریق تولید اسیدهای آلی، کلاته کردن و کاهش دادن pH خاک باعث افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌شوند (۸). باکتری‌ها همچنین می‌توانند با تولید اسیدهای آلی موجب جایگزینی هیدروژن با کلسیم شوند و در نتیجه میزان رهاسازی فسفر از کانی‌های دارای فسفر را افزایش دهند (۳۰). ریزجاندارن انحلال‌کننده فسفات می‌توانند از طریق افزایش انحلال‌پذیری فسفات‌های کلسیم‌دار موجب کاهش pH خاک شده و فسفر قابل‌جذب را برای گیاهان افزایش دهند (۳۸).

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم در جدول ۳ ارائه شده است. اثر ساده کود و باکتری بر ارتفاع، وزن خشک ریشه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل باکتری و کود بر مقدار کلروفیل و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

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

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

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square				
		کلروفیل Chlorophyll	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک اندام هوایی Shoots dry weight	عملکرد دانه Grain yield
کود Fertilizer	2	17.9**	97.6**	0.070**	0.570*	0.940**
باکتری Bacteria	3	16.8**	21.8**	0.050**	2.75**	0.520**
باکتری × کود Bacteria×Fertilizer	6	5.43**	4.13^{ns}	0.001^{ns}	0.830**	0.150^{ns}
خطا Error	24	1.33	2.36	0.002	0.100	0.070
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	3.64	1.93	7.42	6.11	5.32

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و عدم معنی‌داری.

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

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده کود نشان داد که بیش‌ترین مقدار ارتفاع در سطح کودی P_2 (۲/۹ درصد افزایش) نسبت به شاهد به‌دست آمد (جدول ٤). بیش‌ترین ارتفاع گیاه در حضور کاربرد هم‌زمان دو باکتری، *سودوموناس* و *انتروباکتر کلوآسه* به‌ترتیب با ٤/۳، ۲/٦٤ و ۰/۵۲ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ٤). استفاده از باکتری *Pantoea cypripedii* و *Pseudomonas plecoglossicida* در حضور سنگ فسفات موجب افزایش ارتفاع در گندم و ذرت شد (۱۵) استفاده از باکتری انحلال‌کننده

فسفر (*Pseudomonas sp.*) در حضور کود و عدم کوددهی افزایش ارتفاع بوته را به‌صورت یکسان در گندم نشان داد (۱). همچنین استفاده از باکتری *B. tropica* KS04 موجب افزایش ارتفاع فلفل شد (۵).

بیش‌ترین مقدار وزن خشک ریشه در سطح کودی P_3 (۲۶/۲ درصد افزایش) نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ٤). همچنین بیش‌ترین مقدار وزن خشک ریشه در حضور کاربرد هم‌زمان دوباکتری، *سودوموناس* و *انتروباکتر کلوآسه* به‌ترتیب با ۳۱/۱، ۱٤/۸ و ٦/٥٥ درصد افزایش نسبت به شاهد به‌دست آمد (جدول ٤). افزایش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی در لوبیا تحت‌تأثیر مایه‌زنی *Aspergillus sp.* مشاهده شد (۲۸). مقدار فسفر در خاک با رشد ریشه ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند به‌طوری‌که کاهش فسفر در خاک موجب کاهش رشد و توسعه ریشه در خاک می‌شود (۲۲).

بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در سطح کودی P_2 و P_3 به‌ترتیب با ۱۱/۸ و ۷/۲٦ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ٤). همچنین بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در حضور کاربرد هم‌زمان دو باکتری، *سودوموناس* و *انتروباکتر کلوآسه* به‌ترتیب با ۱۲/۷، ۷/۳۰ و ۷/۳۰ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ٤). مایه‌زنی میکروبی همراه با کاشت بذر یا به خاک، موجب افزایش عملکرد و جذب فسفر توسط گیاهان مختلف شده است (۱، ۲ و ۱٦). دای و همکاران (۲۰۰٤) افزایش رشد و عملکرد بادام‌زمینی را در حضور *P. fluorescens* در مقایسه با شاهد را گزارش کردند (۱۱).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم.

Table 4. Mean comparison of the main effect of treatments on some characteristics of wheat.

عملکرد دانه Grain yield (g.pot^{-1})	وزن خشک ریشه Root dry weight (g.pot^{-1})	ارتفاع Plant height (cm.pot^{-1})	تیمارها Treatments
			کود Fertilizer
4.68^{b}	0.610^{c}	79.8^{b}	P_1
5.23	0.680^{b}	82.1^{a}	P_2
5.02	0.770^{a}	76.4^{c}	P3
			باکتری Bacterium
4.66^{b}	0.610^{c}	78.0^{c}	B_1
5.00^{ab}	0.650^{bc}	78.41^{bc}	B_2
5.00^{ab}	0.700^{b}	80.1^{ab}	B_3
5.25^{a}	0.800^{a}	81.4^{a}	B_4

P_1: سطح کودی صفر درصد، P_2: سطح کودی ۵۰ درصد و P_3: سطح کودی ۱۰۰ درصد.

B_1: بدون مایه‌زنی، B_2: *انتروباکتر کلوآسه* R33، B_3: *سودوموناس* و B_4: کاربرد هم‌زمان دو باکتری.

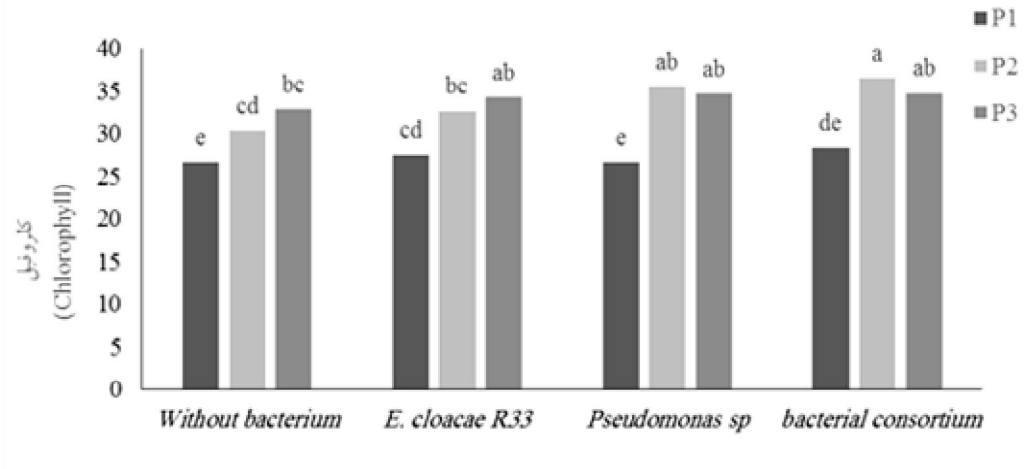
حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد است.

P_1: fertilizer level 0%, P_2: fertilizer level 50% and P_3: fertilizer level 100%.

B_1: without inoculation, B_2: *Enterobacter cloacae* R33, B_3: *Pseudomonas sp*. and B_4: bacterial consortium.

The same letter are not significantly different ($P<0.05$).

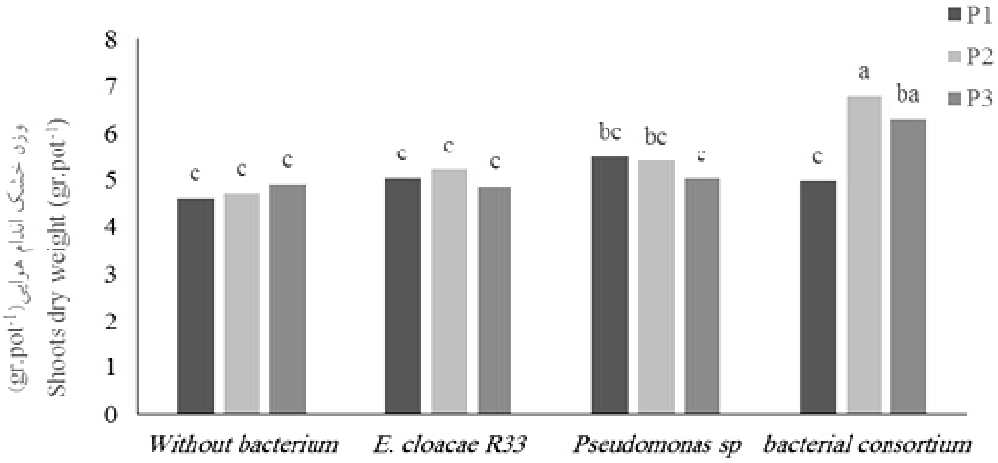
نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارها بر کلروفیل در شکل ۳ نشان‌دهنده افزایش مقدار کلروفیل در تیمارهای دارای سویه‌های مختلف باکتری نسبت به شاهد بود. باکتری‌های حل‌کننده فسفر سبب افزایش کلروفیل نسبت به شاهد شده‌اند (شکل ۳). بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در حضور کاربرد هم‌زمان دو باکتری مشاهده شد (شکل ٤).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و باکتری بر مقدار کلروفیل.

P_1: سطح کودی صفر درصد، P_2: سطح کودی ۵۰ درصد و P_3: سطح کودی ۱۰۰ درصد

Figure 3. Mean comparison of interaction of fertilizers and bacteria on Chlorophyll.
P_1: fertilizer level 0%, P_2: fertilizer level 50% and P_3: fertilizer level 100%



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل کود و باکتری بر وزن خشک اندام هوایی.

P_1: سطح کودی صفر درصد، P_2: سطح کودی ۵۰ درصد و P_3: سطح کودی ۱۰۰ درصد.

Figure 4. Mean comparison of interaction of fertilizers and bacteria on shoots dry weight.
P_1: fertilizer level 0%, P_2: fertilizer level 50% and P_3: fertilizer level 100%.

مقدار مناسب مواد مغذی در خاک موجب افزایش رشد، جذب عناصر و همچنین افزایش مقدار کلروفیل در گیاه می‌شود (٦). مطالعات نشان دادند که با افزایش غلظت فسفر مقدار کلروفیل نیز به‌صورت نسبی روند افزایشی داشته است (٢١). مایه‌زنی با *P. fluorescens* و *P. Putida* موجب افزایش مقدار فسفر و کلروفیل در گیاه گندم شد (٤١). اثر کاربرد هم‌زمان باکتری‌های محرک رشد به‌ترتیب موجب افزایش طول ریشه، طول ساقه، زیست‌توده و کلروفیل در گیاه ماش شد (٣١). تأثیر استفاده از کاربرد هم‌زمان باکتری‌های محرک رشد با هم موجب افزایش جوانه‌زنی، رشد و مقدار کلروفیل شد (٢٦). تلقیح ترکیبی سویه‌های مختلف PGPR موجب افزایش سوپر اکسید دیسموتاز و فعالیت پراکسیداز همراه با مقدار کلروفیل در گیاهان باقلا (*Phaseolus coccineus* L.) شد (٣٤). نتایج تجزیه واریانس غلظت و جذب فسفر در ریشه، اندام هوایی و دانه گندم در جدول ٥ نشان داده شده است. اثر متقابل سطوح باکتری و کود بر غلظت فسفر در ریشه و اندام هوایی و جذب فسفر در ریشه، اندام هوایی و دانه در سطح یک درصد و بر غلظت فسفر در دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ٥).

جدول ٥- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت و جذب فسفر در گندم.

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

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		غلظت فسفر در ریشه P concentration in root	جذب فسفر در ریشه P uptake in root	غلظت فسفر در اندام هوایی P concentration in shoot	جذب فسفر در اندام هوایی P uptake in shoot	غلظت فسفر در دانه P concentration in grain	جذب فسفر در دانه P uptake in grain
کود Fertilizer	2	615129**	0.520**	282668**	15.75**	2064630^{ns}	137*
باکتری Bacteria	3	492775**	0.560**	1345680**	78.1**	1881319**	97.3**
باکتری × کود Bacteria×Fertilizer	6	141605**	0.060**	169193**	13.1**	61586*	9.28**
خطا Error	24	7715	0.005	6780	0.480	23029	2.06
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	7.22	8.92	6.86	10.67	3.32	6.30

**، * و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ١ درصد و ٥ درصد و عدم معنی‌داری.

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

نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارها در جدول ٦ نشان داد که باکتری‌های حل‌کننده فسفر سبب افزایش غلظت و جذب فسفر در ریشه، اندام هوایی و دانه گندم نسبت به شاهد شدند (جدول ٦). بیش‌ترین مقدار غلظت و جذب فسفر ریشه در تیمار کاربرد هم‌زمان دو باکتری و سطح کودی ٥٠ درصد سوپر فسفات تریپل مشاهده شد (جدول ٦). به‌طورکلی باکتری‌ها می‌توانند با ترشح و تولید هورمون‌های رشد موجب افزایش رشد و توسعه ریشه (وزن خشک ریشه، جدول ٤) و افزایش دسترسی و جذب عناصر برای گیاه شوند (جدول ٦).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل کود و باکتری بر غلظت و جذب فسفر در گندم.

Table 6. Mean comparison of interaction of fertilizers and bacteria on concentrations and uptake of phosphorus in wheat.

جذب فسفر در دانه P uptake in grain ($mg.pot^{-1}$)	غلظت فسفر در دانه P concentration in grain (%)	جذب فسفر در اندام هوایی P uptake in shoot ($mg.pot^{-1}$)	غلظت فسفر در اندام هوایی P concentration in shoot (%)	جذب فسفر در ریشه P uptake in root ($mg.pot^{-1}$)	غلظت فسفر در ریشه P concentration in root (%)	تیمارها Treatments
15.81^{f}	0.3486^{h}	2.96^{d}	0.064^{f}	0.42^{f}	0.079^{f}	P_1B_1
20.68^{de}	0.4250^{fg}	$5.2b^{c}$	0.104^{cde}	0.7^{de}	0.119^{cde}	P_1B_2
20.89^{de}	0.4480^{defg}	6.85^{b}	0.1253^{b}	0.5^{ef}	0.0795^{f}	P_1B_3
19.91^{def}	0.4357^{efg}	6.04^{bc}	0.1223^{bc}	0.85^{cd}	0.1223^{cd}	P_1B_4
19.47^{def}	0.4143^{fg}	4.7^{cd}	$0.1009c^{de}$	0.6^{ef}	0.0948^{ef}	P_2B_1
25.61^{bc}	0.4954^{bc}	6.04^{bc}	0.1162^{bcd}	0.85^{cd}	0.1314^{bc}	P_2B_2
28.36^{ab}	0.5351^{ab}	5.93^{cb}	0.1100^{bcd}	1.06^{cb}	0.1559^{b}	P_2B_3
30.84^{a}	0.5443^{a}	13.32^{a}	0.2110^{a}	1.55^{a}	0.1987^{a}	P_2B_4
19.2^{ef}	0.4082^{g}	4.15^{cd}	0.0856^{ef}	0.69^{de}	0.1039^{def}	P_3B_1
22.63^{cde}	0.4587^{cdef}	4.72^{cd}	0.0978^{de}	0.89^{cd}	0.1223^{cd}	P_3B_2
23.58^{cd}	0.4755^{cde}	5.6^{cb}	0.113^{bcd}	0.97^{cb}	0.1223^{cd}	P_3B_3
26.5^{bc}	0.4847^{cd}	12.88^{a}	0.1896^{a}	1.15^{b}	0.1284^{cd}	P_3B_4

P_1: سطح کودی صفر درصد، P_2: سطح کودی ۵۰ درصد و P_3: سطح کودی ۱۰۰ درصد.

B_1: بدون مایه‌زنی، B_2: *انتروباکتر کلوآسه* R33، B_3: *سودوموناس* و B_4: کاربرد هم‌زمان دو باکتری.

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد است.

P_1: fertilizer level 0%, P_2: fertilizer level 50% and P_3: fertilizer level 100%.

B_1: without inoculation, B_2: *Enterobacter cloacae* R33, B_3: *Pseudomonas sp*. and B_4: bacterial consortium.

The same letter are not significantly different ($P<0.05$).

نتایج مطالعات نشان داد که *Azospirillum*، *Bacillus* و *Enterobacter* مقادیر مختلفی از اسیدسیتریک، اگزالات، گلوکونیک و ۲- کتو گلوکونیک را در محیط ریشه تولید می‌کنند که بر روی دسترسی عناصر برای گیاه مؤثر است (۳ و ۷). ریزجاندارن خاک طی فرآیندهای متنوع بر روی فسفر خاک تأثیر می‌گذارند و در نتیجه می‌توانند موجب دسترسی این عنصر و جذب آن در ریشه و افزایش رشد گیاهان شوند (٤۲). ریزجاندارن خاک علاوه بر فراهمی فسفر محلول برای گیاهان، از طریق بهبود جذب مواد مغذی و تحریک تولید برخی از هورمون‌های گیاهی موجب رشد گیاهان می‌شوند (۲۲). هینس و همکاران، (۲۰۰۸) افزایش مقدار جذب فسفر در نخود و نخودفرنگی را تحت‌تأثیر مایه‌زنی با *Enterobacterium* و چند سویه از *سودوموناس* گزارش کردند (۱۷). مایه‌زنی با *P. fluorescens* و *S. meliloti* موجب افزایش وزن خشک ریشه و ساقه و همچنین افزایش جذب فسفر در گیاه شد (۳۲). سویه‌های *Pantoea cypripedii* و *Enterobacter aerogenes* موجب افزایش میزان غلظت و جذب فسفر در نخود شد (۳٤). بررسی پنج جدایه مختلف سودوموناس نشان داد که استفاده از جدایه S21-1 بیش‌ترین مقدار غلظت فسفر را در بخش هوایی و ریشه گوجه‌فرنگی نسبت به سایر جدایه‌ها و شاهد را نشان داد (۱۰).

نتیجه‌گیری

استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفر خاک می‌تواند قابلیت جذب فسفر را برای گیاهان از منابع موجود در خاک افزایش دهد. سویه‌های مایه‌زنی‌شده به خاک موجب کاهش مقدار pH خاک و در نتیجه افزایش مقدار فسفر قابل‌جذب در خاک و جذب فسفر توسط گیاه نسبت به تیمارهای بدون باکتری شدند. بیش‌ترین مقدار غلظت و جذب فسفر در گندم در تیمار دارای کاربرد هم‌زمان دو باکتری و سطح کودی ۵۰ درصد نیاز کودی سوپر فسفات تریپل مشاهده شد. بنابراین با توجه آهکی بودن خاک‌های استان خوزستان و مشکلات مربوط به کمبود فسفر، استفاده از باکتری‌های محرک رشد قادر به انحلال فسفر می‌تواند به‌منظور تضمین امنیت غذایی و در راستای دستیابی به پایداری سیستم‌های تولید کشاورزی به‌منظور حمایت از بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها و آلودگی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی فسفاته مهم باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان از معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز به لحاظ فراهم نمودن اعتبار پژوهشی این پژوهش سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

1. Afzal, A., and Bano, A. 2008. Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). Inter. J. Agric. Biol. 10: 85-88.
2. Ahmad, E., Khan, M.S., and Zaidi, A. 2013. ACC deaminase producing *Pseudomonas putida* strain PSE3 and Rhizobium leguminosarum strain RP2 in synergism improves growth, nodulation and yield of pea grown in alluvial soils. Symbiosis. 61: 93-104.
3. Archana, G., Buch, A., and Kumar, G.N. 2012. Pivotal role of organic acid secretion by rhizobacteria in plant growth promotion. Microorganisms in Sustainable Agriculture and Biotechnology. Pp: 35-53.
4. Awasthi, R., Tewari, R., and Nayyar, H. 2011. Synergy between plants and P-solubilizing microbes in soils: effects on growth and physiology of crops. Inter. J. Microbiol. 2: 484-503.
5. Boonlue, S., Surapat, W., Pukahuta. C., Ratteanachaikunsopon, P., and Aimi, T. 2013. Characteristics of phosphate solubilization by phosphate solubilizing bacteria isolated from agricultural chilli soil and their efficiency on the growth of chili (*Capsicum frutescens* L. cv. Hua Rua). Chiang Mai Univ. J. Natur. Sci. 40: 11-25.
6. Buapet, P., Hiranpan, R., Ritchie, R.J., and Prathep, A. 2008. Effect of nutrient inputs on growth, chlorophyll, and tissue nutrient concentration of Ulva reticulata from a tropical habitat. Can. J. Microbiol. 54: 248-258.
7. Chen, Y.P., Rekha, P.D., Arun, A.B., Shen, F.T., Lai, W.A., and Young, C.C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Applied Soil Ecology. 34: 33-41.
8. Chung, H., Park, M., Madhaiyan, M., Seshadri, S., Song, J., Cho, H., and Sa, T. 2005. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of crop plants of Korea. Soil Biology and Biochemistry. 37: 1970-1974.
9. Daly, K., Styles, D., Lalor, S., and Wall, D.P. 2015. Phosphorus sorption, supply potential and availability in soils with contrasting parent material and soil chemical properties. Europ. J. Soil Sci. 66: 792-801.
10. Deilamirad, M., Sarikhani, M., and Oustan, S. 2016. Evaluting the Nutrient Uptake and Tomato Growth by *Pseudomonads* Isolates and Mineral Potassium levels. J. Sust. Agric. 26: 143-156.

11. Dey, R., Pal, K.K., Bhatt, D.M., and Chauhan, S.M. 2004. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. Microbiology Research. 159: 371-394.
12. Elser, J.J. 2012. Phosphorus: a limiting nutrient for humanity. Current Opinion in Biotechnology. 23: 833-838.
13. Gholamian, M.R., and Taghanzadeh, A.H. 2017. Integrated network design of wheat supply chain: A real case of Iran. Computers and Electronics in Agriculture. 140: 139-147.
14. Gupta, P.K. 2004. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios (India), 438p.
15. Gurdeep, K.A.U.R., and Reddy, M.S. 2015. Effects of phosphate-solubilizing bacteria, rock phosphate and chemical fertilizers on maize-wheat cropping cycle and economics. Pedosphere, 25: 428-437.
16. Hamdali, H., Moursalou, K., Tchangbedji, G., Ouhdouch, Y., and Hafidi, M. 2012. Isolation and characterization of rock phosphate solubilizing actinobacteria from a Togolese phosphate mine. Afric. J. Biotechnol. 11: 312-320.
17. Hynes, R.K., Leung, G.C., Hirkala, D.L., and Nelson, L.M. 2008. Isolation, selection, and characterization of beneficial rhizobacteria from pea, lentil, and chickpea grown in western Canada. Can. J. Microbiol. 54: 248-258.
18. Jaiswal, P.C. 2004. Soil, Plant and Water Analysis. Indhiana, India, Kalyani Publishers. India, Pp: 1-213.
19. Jalali, M., and Karamnejad, L. 2011. Phosphorus leaching in a calcareous soil treated with plant residues and inorganic fertilizer. J. Plant Nutr. 174: 220-228.
20. Karami, M., Afyuni, M., Rezaee Nejad, Y., and Khosh Goftarmanesh, A. 2009. Cumulative and Residual Effects of Sewage Sludge on Zinc and Copper Concentration in Soil and Wheat. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 12: 639-654. (In Persian)
21. Karimi, N., and Souri, Z. 2015. Evaluation of the effects of different arsenic and phosphorus levels on chlorophyll and malondialdehyde content of *Isatis cappadocica*. J. Plant Proc. Func. 4: 1-12.
22. Khan, M.S., Zaidi, A., and Ahmad, E. 2014. Mechanism of phosphate solubilization and physiological functions of phosphate-solubilizing microorganisms. P 31-62, In: M.S. Khan, A. Zaidi and J. Musarrat (eds.), Phosphate Solubilizing Microorganisms. Springer International Publishing.
23. Khan, M.S., Zaidi, A., and Wani, P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review. Agronomy for Sustainable Development, 27: 29-43.
24. Klute, A., and Dinauer, R.C. 1986. Physical and mineralogical methods. Planning, 8: 79.
25. Kudoyarova, G.R., Vysotskaya, L.B., Arkhipova, T.N., Kuzmina, L.Y., Galimsyanova, N.F., Sidorova, L.V., Gabbasova, I.M., Melentiev, A.I., and Veselov, S.Y. 2017. Effect of auxin producing and phosphate solubilizing bacteria on mobility of soil phosphorus, growth rate, and P acquisition by wheat plants. Acta Physiologiae Plantarum, 39: 11. 253.
26. Lenin, G., and Jayanthi, M. 2012. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on enhancement of growth, yield and nutrient content of Catharanthus roseus. Inter. J. Res. Pure Appl. Microbiol. 2: 37-42.
27. 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. 92p. High Concoil for Appropriate Use of Pesticides and Chemical Fertilizers, Ministry of Agriculture. (In Persian)
28. Manivannan, N., Thajuddin, N., Daniel, T., and Gunasekaran, M. 2012. Effect of Aspergillus sp. as a bioinoculant in vermicompost with special reference to phosphate enrichment. Amer. Euras. J. Sust. Agric. 25: 204-208.

29. Mihailescu, E., Murphy, P.N.C., Ryan, W., Casey, I.A., and Humphreys, J. 2015. Phosphorus balance and use efficiency on 21 intensive grass-based dairy farms in the South of Ireland. J. Agric. Sci. 153: 520-537.
30. Pradhan, N., and Sukla, L.B. 2006. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. Afric. J. Biotechnol. Pp: 850-854.
31. Rodríguez, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances. 17: 319-339.
32. Schoebitz, M., Ceballos, C., and Ciamp, L. 2013. Effect of immobilized phosphate solubilizing bacteria on wheat growth and phosphate uptake. J. Soil Sci. Plant Nutr. 13: 1-10.
33. Singh, N.K., Rai, U.N., Tewari, A., and Singh, M. 2010. Metal accumulation and growth response in *Vigna radiata* L. inoculated with chromate tolerant rhizobacteria and grown on tannery sludge amended soil. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 84: 118-124.
34. Singh, O., Gupta, M., Mittal, V., Kiran, S., Nayyar, H., Gulati, A., and Tewari, R. 2014. Novel phosphate solubilizing bacteria 'Pantoea cypripedii PS1'along with *Enterobacter aerogenes* PS16 and Rhizobium ciceri enhance the growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant Growth Regulation. 73: 79-89.
35. Song, O.R., Lee, S.J., Lee, Y.S., Lee, S.C., Kim, K.K., and Choi, Y.L. 2008. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by *Burkholderia cepacia* DA23 isolated from cultivated soil. Brazil. J. Microbiol. 39: 151-156.
36. Stefan, M., Munteanu, N., Stoleru, V., and Mihasan, M. 2013. Effects of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria on photosynthesis, antioxidant status and yield of runner bean. Romanian Biotechnological Letters. 18: 8132-8143.
37. 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. Genetic. Plant Breed. 47: 17-27.
38. Vassilev, N., Medina, A., Azco´n, R., Vassileva, M. 2006. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. Plant Soil, 287: 77-84.
39. Vinopal, R.T., and Romano, A.H. 2000. Carbohydrate synthesis and metabolism. Encyclopedia of microbiology, Academic, San Diego. Pp: 647-668.
40. Wang, L., Liang, T., Kleinman, P.J., and Cao, H. 2011. An experimental study on using rare earth elements to trace phosphorous losses from nonpoint sources. Chemosphere. 85: 1075-1079.
41. Zabihi, H.R., Savaghebi, G.R., Khavazi, K., Ganjali, A., and Miransari, M. 2011. Pseudomonas bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions. Acta Physiologiae Plantarum. 33: 145-152.
42. Zaidi, A., Khan, M.S., and Ahmad, E. 2014. Microphos: Principles, Production and Application Strategies. P 1-30, In: M.S. Khan, A. Zaidi and J. Musarrat (eds.), Phosphate Solubilizing Microorganisms. Springer International Publishing.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 8(4), 2019
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of phosphorus soluble bacteria on phosphorus uptake and some growth and nutritional characteristics of wheat

***M. Norouzi Masir[1], N. Enayatizamir[2] and A. Ghadamkhani[3]**
[1]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,
[2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,
[3]M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz
Received: 11.26.2017; Accepted: 02.17.2018

Abstract

Background and Objectives: Bioavailability and phosphorus mobility are lower in most soils than other essential nutrients. Although phosphorus is abundant in soils in both organic and inorganic forms, it is frequently a major or even the prime limiting factor for plants growth. Phosphate solubilizing bacteria (PSB) has ability to convert insoluble form of phosphorous to an available form. Applications of PSB as inoculants increase the phosphorus uptake by plant. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effect of phosphorus solubilizing bacteria on phosphorus uptake and some characteristics of wheat.

Materials and Methods: A factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in greenhouse conditions. Treatments consisted of four levels of bacteria (without inoculation (control), inoculation with *Enterobacter cloacae* R33, inoculation with *Pseudomonas sp* R9, inoculation with both *Enterobacter cloacae* R33 and *Pseudomonas sp* R9) and three levels of $CaH_4(Po_4)_2$. H_2O (0%, 50% and 100% of phosphorus requirement). During the experiment, characteristics such as plant height and chlorophyll index were measured. At the end of cultivation period, dry weight of root and aerial part and also phosphorus concentration in root, aerial part and grain was determined using spectrophotometry at 470 nm, the yellow method after dry digestion. The amount of phosphorus uptake in root, aerial part and grain was also determined. Also the amount of available phosphorus in the soil was measured after extraction with $NaHCO_3$.

Results: Results showed a significant effect of bacteria and fertilizer interaction on the soil pH and exchangeable phosphorus ($P<0.01$). The lowest amount of pH and the highest amount of soil exchangeable phosphorus were observed in the treatment containing consortium of bacteria and application of 100 percent of plant phosphorus requirement. The interaction effect of bacteria and fertilizer were significant on chlorophyll index, dry weight aerial part and phosphorus concentration and uptake in root, aerial part and grain ($P<0.01$). The main effect of bacteria were significant on plant height, dry weight root and grain yield, ($P<0.01$). The highest grain yield was observed in the presence of simultaneous application of two bacteria, *Enterobacter cloacae* R33 and *Pseudomonas sp* R9 with 12.7%, 7.30% and 7.30%, respectively. The highest concentration of phosphorus in root and aerial part was observed in the bacteria consortium and 50 percent of plant phosphorus requirement. Also, the maximum phosphorus concentration and its uptake of grain were obtained in the treatment of simultaneous application of two bacteria and 50% phosphorous fertilizer requirement with 31.4% and 58.4%, respectively, compared to the control (50% fertilizer requirement and no-inoculation).

* Corresponding Author; Email: m.norouzi@scu.ac.ir

Conclusion: The results showed that microbial treatments increased the bioavailability of phosphorus in soil to absorb wheat. The highest amount of characteristics measured in the wheat plant was observed in the bacteria consortium and 50 percent of plant phosphorus requirement. Therefore, the use of microbial microorganisms capable of dissolving phosphorus can partially eliminate the fertilizer requirement and reduce the amount of phosphate fertilizer.

Keywords: Biofertilizer, Chemical fertilizer, Concentration, Yield