

بررسی تأثیر تلقیح میکروبی بر کارایی جذب فسفر ذرت و آفتابگردان

زهرا اشکیود، رقیه موسوی¹، ابراهیم سپهر، میرحسین رسولی صدقیانی و عباس صمدی

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه ارومیه؛ Ashkyoud@yahoo.com

دانشجوی دکتری دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک؛ roghayemosavi@yahoo.com

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران؛ e.seper@urmia.ac.ir

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران؛ m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران؛ ab.samadi@yahoo.com

دریافت: 94/4/2 و پذیرش: 94/11/28

چکیده

به منظور بررسی فسفر کارایی گیاهان ذرت و آفتابگردان در حضور ریزجانداران حل‌کننده فسفات، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب آماری بلوک‌های کامل تصادفی با دو گیاه آفتابگردان و ذرت و تیمارهای کودی مختلف شامل مصرف سنگ فسفات (RP)، تلقیح سنگ فسفات با قارچ‌های حل‌کننده فسفات (RP+F)، تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات (RP+B)، تلقیح با مخلوط باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات (RP+FB) و مصرف فسفر محلول (PS) در سه تکرار اجرا گردید. بعد از 9 هفته، گیاهان برداشت و وزن خشک اندام هوایی و میزان فسفر آن اندازه‌گیری و شاخص‌های کارایی محاسبه شد. نتایج نشان داد بین تیمارهای میکروبی و گیاهان از لحاظ عملکرد اندام هوایی (SDW)، غلظت فسفر (PC) و مقدار فسفر کل گیاه (TP)، کارایی جذب فسفر (PACE) و مصرف فسفر (PUTE) اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به طوری که در بین تیمارهای میکروبی، تیمار تلقیح قارچی مؤثرتر از سایر تیمارها بود و بطور متوسط عملکرد اندام هوایی را از 7/3 گرم به 15/5 گرم و کارایی جذب فسفر را از 0/16 به 0/64 افزایش داد. تلقیح تکی حل‌کننده‌های فسفات شاخص کارایی فسفر (PE) را بطور معنی‌دار افزایش داد اما تلقیح با هم حل‌کننده‌های فسفات تأثیر معنی‌دار بر روی PE نداشت. بنابراین با توجه به توانایی ریزجانداران حل‌کننده فسفات در آزاد سازی فسفر از منابع نامحلول و اثر مفید بر کارایی جذب فسفر می‌توان نتیجه گرفت که به کارگیری ریزجانداران حل‌کننده فسفات به همراه سنگ فسفات می‌تواند فاکتور مهمی در کاهش هزینه‌های تولید و مشکلات زیست محیطی باشد.

واژه‌های کلیدی: ریزجانداران حل‌کننده فسفات، جذب فسفر، مصرف فسفر، کارایی فسفر

¹ نویسنده مسئول، آدرس: ارومیه، پردیس نازلو - دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

مقدمه

فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه است که در غلظت‌های خیلی کم در محلول خاک وجود دارد و جذب آن توسط گیاه منجر به کاهش بیشتر این عنصر در ناحیه نزدیک به ریشه می‌شود (بتاکاریا و همکاران، 2003). روش متداول در کشور برای تأمین نیاز فسفوری گیاهان مصرف کودهای شیمیایی فسفاته می‌باشد. تخمین زده می‌شود 75% از کودهای فسفاته مصرفی تثبیت و فقط 25% آن برای رشد گیاه قابل استفاده است (وانس و همکاران، 2003) بنابراین کاربرد کودهای شیمیایی نه اقتصادی است و نه سازگار با طبیعت، از طرفی تولید کودهای فسفوره یک فرآیند پرهزینه بوده و مشکلات زیست محیطی ناشی از استفاده زیاد از آنها نیز باعث شده که محققین به دنبال جایگزینی برای کودهای شیمیایی باشند (مدنی و همکاران، 1389). امروزه با معرفی ارقام جدید، پرمحصول و فسفرکارا، استفاده از منابع بیولوژیک به جای منابع شیمیایی و توانایی ریزجانداران حل‌کننده فسفات¹ (PSMs) در انحلال فسفات‌های تجمع یافته در خاک فرصت مناسبی برای افزایش تولید محصول و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک، با استفاده از مقادیر مناسب کودهای معدنی بوجود آمده است. در سال‌های اخیر در راستای کشاورزی پایدار و حفظ آگرواکوسیستم‌ها، استفاده از پتانسیل ژنتیکی گیاهان در افزایش رشد و جذب عناصر غذایی از راهکارهای مهم جایگزین است که در جهت حفظ سلامت محیط زیست و صرفه اقتصادی توصیه می‌شود (قورچبانی و همکاران، 1390).

گیاهان فسفرکارا در شرایط کمبود فسفر برای رشد بهتر دو مکانیسم اصلی را بکار می‌برند که شامل: افزایش در جذب فسفر از خاک و افزایش در مصرف فسفر (شامل مکانیسم‌های داخلی در سطح سلولی) می‌باشد (اوزتورک و همکاران، 2005). گاهونیا و نیلسون (1996) در بررسی فسفر کارایی ارقام گندم و جو دریافتند که ارقام گندم زمستانه و جو بهاره کارا تر از ارقام جو زمستانه هستند و تفاوت‌های کارایی را بیشتر متأثر از طول تارهای کشنده و ترشحات ریشه‌ای بیان کردند. هورست و همکاران (1993) با مقایسه کارایی فسفر یک رقم جدید گندم *Cosir* با رقم بومی *Peragis*، توانایی گندم جدید در جذب و مصرف مطلوب فسفر در دو حالت کمبود و کفایت فسفوری را به مورفولوژی ریشه (ریشه‌های

ریز زیاد و نازکتر) ارتباط دادند و هم چنین مشاهده کردند عملکرد دانه گندم جدید بیشتر از گندم بومی می‌باشد. سپهر و همکاران (2011) با مقایسه کارایی فسفر ارقام گیاهی گندم و لوبین در استفاده از منابع مختلف فسفوری (فسفر محلول، فیتات و سنگ فسفات)، گیاه لوبین را در نتیجه ترشحات ریشه‌ای و تشکیل ریشه‌های خوشه‌ای برای تحرک سازی فسفر کم محلول، در استفاده از فسفر محلول و سنگ فسفات کارا تر از ارقام گندم گزارش نمودند.

اغلب پژوهشگران بر این باورند که با یک مدیریت خوب و صحیح با استفاده از کودهای بیولوژیک و ریز جانداران خاک می‌توان شرایط تغذیه‌ای بهتری را برای گیاه فراهم نمود (بوکمن، 1997؛ و سسی، 2003) تعدادی از ریز جانداران در خاک وجود دارند که قادرند در تغذیه و جذب عناصر غذایی به طرق مختلف به گیاهان کمک کنند، از آن جمله می‌توان به ریز جانداران حل‌کننده فسفات اشاره نمود. ریز جانداران حل‌کننده فسفات قادرند از طریق مکانیسم‌هایی چون ترشح اسید، موجب آزادسازی فسفر از منابع فسفر نامحلول گردند (سوبا، 1998). گوناگونی ریز جانداران حل‌کننده فسفر در خاک بسیار زیاد است. این ریز جانداران از مکانیسم‌های متفاوتی در حلالیت پذیری ترکیبات فسفر خاک استفاده می‌کنند که برای نمونه می‌توان به اسیدی شدن و کلاته شدن اشاره کرد. مصرف کودهای زیستی حاوی این ریز جانداران باعث سهولت دسترسی گیاه به عناصر غذایی می‌شود (جودی و همکاران 2006). گونه‌هایی از ریز جانداران که قادر به رها سازی فسفر از منابع نامحلول هستند شامل جنس‌های باسیلوس، سودوموناس، پنیسیلیوم و اسپریژیلوس می‌باشند. در اغلب مطالعات باکتری‌های سودوموناس پتانسیل قابل توجهی در بهبود کارایی جذب فسفر از خودشان نشان داده‌اند و به علت وسعت انتشار و تنوع گونه‌ای و متحمل بودن برخی گونه‌های آن به تنش‌های محیطی توانسته‌اند از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای در تولید کودهای بیولوژیک برخوردار باشند.

با توجه به ضرورت استفاده از روش‌های نوین مدیریتی در افزایش کارایی کودهای شیمیایی، در این مطالعه تأثیر قارچ‌ها و باکتری‌های حل‌کننده سنگ فسفات بر کارایی فسفر گیاهان آفتابگردان و ذرت در راستای کاهش مصرف و تلفات کودهای فسفاته از خاک بویژه در خاک‌های با فسفر قابل دسترس کم بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با گیاهان آفتابگردان و ذرت و با

¹ Phosphate solubilizing microorganisms

فسفر کل جذب شده (TP^1) که از حاصلضرب غلظت فسفر (PC^2) در وزن خشک شاخساره (SDW^3) بدست آمد.

$$TP = SDW \times PC$$

برای حذف نقش پتانسیل ژنتیکی ارقام در میزان فسفر جذب شده از اصطلاح جذب نسبی فسفر (نسبت فسفر کل در شرایط محدودیت فسفر به شرایط فراهمی فسفر) به عنوان شاخص کارایی جذب فسفر ($PACE^4$) استفاده گردید (سپهر و همکاران، 2009).

$$PACE = \frac{TPinPO}{TPinPs}$$

کارایی مصرف فسفر ($PUTE^5$) که بیانگر تولید ماده خشک به ازاء واحد فسفر جذب شده می‌باشد.

$$PUTE = \frac{SDW}{TP}$$

کارایی فسفر (PE^6) که از نسبت ماده خشک ارقام در شرایط محدودیت فسفر به مقدار آن در شرایط فراهمی فسفر محاسبه گردید (سپهر و همکاران، 2009).

$$PE = \frac{SDWinPO}{SDWinPS}$$

و کارایی محاسبه شده فسفر (CPE^7) که از حاصلضرب کارایی جذب و مصرف فسفر محاسبه شد.

$$CPE = PACE \times PUTE$$

اطلاعات بدست آمده با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD، برای رسم نمودارها از نرم افزار EXCEL استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تیمارهای میکروبی عملکرد اندام هوایی، غلظت و مقدار فسفر کل و شاخص‌های کارایی جذب فسفر را بطور معنی‌دار در سطح 1% آماری تحت تأثیر قرار دادند (جدول 1). گیاهان نیز در شاخص‌ها و پارامترهای فوق بطور معنی‌دار

5 تیمار کودی شامل مصرف سنگ فسفات (RP)، تلقیح با قارچ‌های حل‌کننده فسفات (RP+F)، تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفات (RP+B)، تلقیح با مخلوط باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات (RP+FB) و مصرف فسفر محلول (PS) در بستر 25 به 75 شن و خاک در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه در سال 1391 اجرا گردید. جهت تهیه مایه تلقیح حل‌کننده‌های فسفات از مخلوطی از باکتری‌های حل‌کننده فسفات (باسیلوس و سودوموناس) و از مخلوطی از قارچ‌های حل‌کننده فسفات (آسپرژیلوس، پنی سیلیوم و تریکودرما) استفاده شد. باکتری‌های حل‌کننده فسفات از بانک میکروبی مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهیه گردید و قارچ‌های حل‌کننده فسفات از ریزوسفر گندم جداسازی شد. بعد از عبور خاک مورد نظر از الک 2 میلی متری، بر اساس آزمون خاک عناصر غذایی مورد نیاز (100 میلی گرم در کیلوگرم N بصورت $(CO(NH_2)_2)$ ، 100 میلی گرم در کیلوگرم K بصورت K_2SO_4 ، 10 میلی گرم در کیلوگرم از هر یک از ریز مغذی‌های منگنز، روی و آهن بترتیب از منبع $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ، $MnSO_4 \cdot 7H_2O$ و $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 6%، 2 میلی گرم در کیلوگرم مس از منبع H_3BO_3 قبل از و 1 میلی گرم در کیلوگرم بر بصورت H_3BO_3) قبل از کشت بطور یکسان به تمامی گلدان‌ها اضافه شد. برای اعمال تیمار مصرف فسفر محلول از مقدار 80 میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک از منبع KH_2PO_4 استفاده شد که بعد از قرارگیری خاک در تراکم مناسب در گلدان‌های 3 کیلوگرمی بصورت دستی اضافه شد. سپس بذرها در عمق 5 سانتی متری قرار داده شدند.

بر اساس کمیت فسفر مصرفی از منبع فسفات پتاسیم از سنگ فسفات برای اعمال تیمار مصرف سنگ فسفات استفاده گردید. در هر گلدان 15 بذر کاشته شد که بعد از رشد به 7 بوته کاهش یافت. در تیمارهایی که به تلقیح ریزجانداران نیاز بود تلقیح قارچ و باکتری انجام شد. مراقبت‌های زراعی لازم برای تمامی تیمارها به طور یکنواخت اعمال و آبیاری به صورت وزنی به هنگام رسیدن رطوبت گلدان‌ها به 80 درصد FC انجام گرفت بعد از 9 هفته گیاهان برداشت شدند. بعد از شستشو، برای بدست آوردن وزن خشک شاخساره، به آزمایشگاه منتقل و در آون در دمای 70 تا 100 درجه سانتی گراد خشک شدند و سپس غلظت فسفر در شاخساره (به روش رنگ سنجی) اندازه‌گیری و شاخص‌های کارایی محاسبه گردید.

1. Total Phosphorus

2. Phosphorus concentration

3. Shoot dry weight

4. Phosphorus acquisition efficiency

5. Phosphorus utilization efficiency

6. Phosphorus efficiency

7. Calculated phosphorus efficiency

اختلاف داشتند. اثر متقابل تیمار و گیاه تنها وزن خشک اندام هوایی (SDW) و مقدار فسفر کل جذب شده (TP) را بطور معنی دار تحت تأثیر قرار داد (جدول 1).

جدول 1 - تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده و شاخص‌های کارایی محاسبه شده برای گیاهان ذرت و آفتابگردان در حضور ریزجانداران حل کننده فسفات

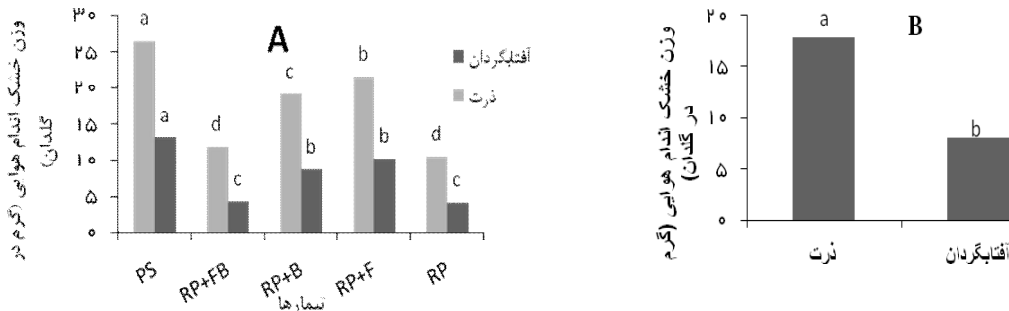
میانگین مربعات (MS)						منابع تغییرات
PE	PUTE	PACE	TP	PC	SDW	درجه آزادی
0/025 ^{ns}	0/033 ^{ns}	0/03 ^{ns}	119 ^{ns}	0/276 ^{ns}	0/473 ^{ns}	2
0/043 [*]	0/942 ^{**}	0/182 ^{**}	8484 ^{**}	6/72 ^{**}	726 ^{**}	1
0/332 ^{**}	0/245 ^{**}	0/292 ^{**}	2759 ^{**}	3/66 ^{**}	168 ^{**}	4
0/003 ^{ns}	0/088 ^{ns}	0/005 ^{ns}	309 ^{**}	0/177 ^{ns}	11/5 ^{**}	4
0/003	0/03	0/01	37/0	0/16	1/10	18
10/03	27/9	30/9	18/7	19/3	8/11	ضریب تغییرات (CV)

SDW وزن خشک اندام هوایی، PC غلظت فسفر اندام هوایی، TP مقدار فسفر کل جذب شده. PACE شاخص کارایی جذب فسفر، PUTE شاخص کارایی مصرف فسفر و PE شاخص کارایی فسفر، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد، ns معنی دار نیست.

وزن خشک اندام هوایی (SDW)

مطابق شکل 1 تیمار مصرف سنگ فسفات بدون مایه تلقیح ریزجانداران حل کننده (RP) کمترین وزن خشک را در بخش هوایی آفتابگردان و ذرت ایجاد کرد که از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با تیمار تلقیح با هم قارچ و باکتری (RP+FB) نداشت که اثر منفی تلقیح توأم قارچ‌ها و باکتری‌های حل کننده فسفات بر SDW را می‌توان به رابطه آنتاگونیسمی بین دو ریزجاندار نسبت داد (شکل A1). با مصرف فسفر محلول (PS) وزن خشک اندام هوایی هر دو گیاه بطور معنی دار افزایش یافت و در بالاترین سطح آماری قرار گرفت. تلقیح جداگانه قارچ‌های حل کننده فسفات (RP+F) مؤثرترین تیمار میکروبی از لحاظ تولید ماده خشک بود با این تفاوت که گیاه آفتابگردان باکتری‌های حل کننده فسفات نیز افزایش مشابه در SDW را سبب شدند (شکل A1). یکی از مکانیسم‌های احتمالی این است که ریزجانداران حل کننده

فسفات با انحلال فسفات نامحلول و افزایش فراهمی فسفر برای گیاهان منجر به افزایش رشد گیاه به خصوص بخش هوایی گیاهان شده است. مطالعه موسوی و همکاران (1392) در بررسی تأثیر ریزجانداران حل کننده سنگ فسفات بر کارایی فسفر ارقام مختلف جو نشان داد قارچ‌های حل کننده فسفات بیشترین افزایش را در وزن خشک اندام هوایی ارقام مختلف جو نسبت به باکتری‌های حل کننده فسفات سبب شدند همچنین بین این دو گروه حل کننده فسفات رابطه آنتاگونیسمی مشاهده کردند و بیان نمودند تلقیح توأم دو گروه ریزجاندار نسبت به تلقیح تکی آنها وزن خشک اندام هوایی را بطور معنی دار کاهش داد. گزارش شده باکتری‌های حل کننده فسفات (جنس باسیلوس) علاوه بر افزایش بیوماس و ارتفاع گیاهچه بهبود درصد ماده آلی و نیتروژن کل خاک را نیز سبب می‌شوند (وو و همکاران، 2005).



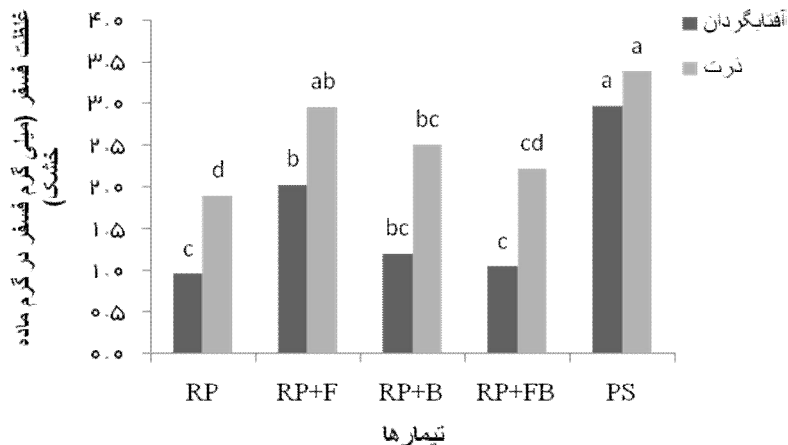
شکل 1 مقایسه تأثیر تیمارهای میکروبی بر عملکرد اندام هوایی (A) و مقایسه گیاهان از عملکرد اندام هوایی (B)

RP (مصرف سنگ فسفات بدون ریزجانداران حل‌کننده فسفات)، PF+F (تلقیح سنگ فسفات با قارچ‌های حل‌کننده فسفات)، RP+B (تلقیح سنگ فسفات با باکتری‌های حل‌کننده فسفات)، RP+FB (تلقیح سنگ فسفات با باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات) و PS (مصرف فسفر محلول). حروف غیر مشابه روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1%.

هوایی ذرت می‌تواند با توانایی سیستم ریشه (خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی) در انحلال سنگ فسفات و جذب فسفر مورد نیاز گیاه مرتبط باشد (آتیا، 1999). در بین تیمارهای میکروبی، تیمار (RP+F) بیشترین غلظت و مقدار فسفر را در بخش هوایی ایجاد کرد بطوریکه در گیاه ذرت در گروه آماری یکسان با تیمار مصرف فسفر محلول قرار گرفت (شکل 2). در هر دو گیاه، تلقیح تک‌قارچ‌ها و باکتری‌های حل‌کننده فسفات تأثیر مشابه بر غلظت فسفر گیاه داشتند. تلقیح هر دو ریزجاندار (RP+FB) افزایش معنی‌دار در غلظت فسفر و فسفر کل جذب شده بخش هوایی گیاهان را سبب نشد و در سطح آماری یکسان با تیمار شاهد قرار گرفت که با رابطه آنتاگونیسمی بین دو گروه حل‌کننده فسفات در ارتباط می‌باشد (شکل 2 و جدول 2).

غلظت و فسفر کل جذب شده در بخش هوایی گیاهان

نتایج مقایسه میانگین نشان داد گیاهان در شرایط مصرف فسفر محلول (PS) غلظت و مقدار فسفر بیشتری در بخش هوایی خود تجمع دادند که از دلایل آن می‌توان به سهولت جذب و بالا بودن میزان فسفر قابل جذب در کوتاه مدت از منبع فسفات پتاسیم اشاره نمود (شکل 2، جدول 2). با مصرف سنگ فسفات غلظت فسفر و فسفر کل جذب شده گیاهان بطور معنی‌دار کاهش یافت و گیاه ذرت در همه تیمارها فسفر بیشتری نسبت به Aftabگردان در بخش هوایی خود ذخیره نمود. از آنجایی که در جذب عناصر غذایی غیر متحرک در خاک مانند فسفر، ویژگی‌های ریشه گیاه مانند سرعت رشد طولی ریشه، سرعت جذب عنصر توسط ریشه، طول کل ریشه و سطح جذب ریشه مؤثر می‌باشد از این‌رو تجمع زیاد فسفر در بخش



شکل 2 - مقایسه تأثیر تیمارهای میکروبی بر غلظت فسفر اندام هوایی گیاهان Aftabگردان و ذرت

RP (مصرف سنگ فسفات بدون ریزجانداران حل‌کننده فسفات)، PF+F (تلقیح سنگ فسفات با قارچ‌های حل‌کننده فسفات)، RP+B (تلقیح سنگ فسفات با باکتری‌های حل‌کننده فسفات)، RP+FB (تلقیح سنگ فسفات با باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات) و PS (مصرف فسفر محلول). حروف غیر مشابه روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1%.

جدول 2- مقدار فسفر کل جذب شده در اندام هوایی (mg/pot) در گیاهان آفتابگردان و ذرت در حضور ریز جانداران حل کننده فسفات

ذرت	آفتابگردان	تیمار
19/6a,d	3/87b,c	RP
63/7a,b	20/7b,b	RP +F
48/2a,c	10/6b,bc	RP +B
26/3a,d	4/4b,c	RP+FB
89/2a,a	39/3b,a	PS
49/4a	15/8b	میانگین

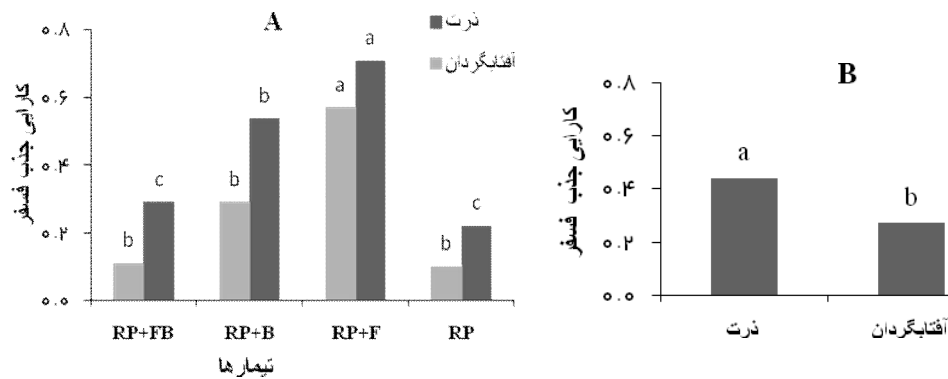
RP (مصرف سنگ فسفات بدون ریزجانداران حل کننده فسفات)، PF+F (تلقیح سنگ فسفات با قارچ های حل کننده فسفات)، RP+B (تلقیح سنگ فسفات با باکتری های حل کننده فسفات)، RP+FB (تلقیح سنگ فسفات با باکتری ها و قارچ های حل کننده فسفات) و PS (مصرف فسفر محلول). حروف غیر مشابه روی ستون ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال 1% (مقایسه ستونی) و حروف غیر مشابه سمت چپ بیانگر اختلاف معنی دار در سطح 1% بین گیاهان (مقایسه ردیفی)

فسفر ذرت را بطور معنی دار افزایش داد ولی تیمار (RP+FB) اختلاف معنی داری با تیمار (RP) نداشت (شکل 3). در تمام تیمارها گیاه ذرت کاراترین گیاه در جذب فسفر بدست آمد بود، که احتمالاً به توانایی این گیاه در جذب فسفر و برقراری روابط سینرژیستی قوی با ریزجانداران حل کننده فسفات مربوط می باشد (شکل 3 B). موسوی و همکاران (1392) در بررسی کارایی فسفر ارقام مختلف جو در حضور ریز جانداران حل کننده سنگ فسفات، متوسط شاخص کارایی جذب فسفر را در تیمار مصرف سنگ فسفات 0/16 گزارش کردند که با مصرف مایه تلقیح قارچ های حل کننده فسفات به 0/27، باکتری- های حل کننده فسفات به 0/21 و مصرف با هم مایه تلقیح هر دو گروه ریزجاندار به 0/20 افزایش یافت و در این شرایط، رقم Rihane و لاین AltCB-98 کارا در جذب فسفر گزارش شدند. افتخاری و همکاران (2012) نیز افزایش معنی دار در کارایی جذب فسفر ارقام جو در نتیجه تلقیح ریزجانداران حل کننده فسفات گزارش نمودند. لیو و همکاران (2004) نیز بیان کردند که بالا بودن فعالیت آنزیم فسفاتاز در ریشه ارقام گیاه ذرت منجر به هیدرولیز فسفر آلی و افزایش فسفر قابل جذب گیاهان می شود. اختر و همکاران (2008) نشان دادند که سازوکار ارقام کارای *Diversa Brassica* برای جذب فسفر و تولید بیوماس بیشتر ایجاد تغییرات مورفولوژیکی (افزایش انشعابات ریشه، افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی، افزایش طول مؤثر ریشه تارهای کشنده) و فیزیولوژیکی ریشه (ترشح پروتون، آنیون اسید آلی و فسفاتازها) می باشد و کارایی جذب فسفر را یکی از صفات مشخصه و مهم در انتخاب ارقام کارا گزارش دادند.

در رابطه با نقش ریزجانداران حل کننده فسفات بر غلظت فسفر در اندام هوایی بیشتر تحقیقات انجام شده دال بر افزایش غلظت فسفر دارند بطوریکه مدنی و همکاران (1389) تلقیح باکتری های حل کننده فسفات به صورت دو مرحله ای در پاییز و بهار به همراه 125 کیلوگرم کود فسفر بر مقدار فسفر بافت های گیاهی کلزا (بافت های رویشی 0/33 درصد، بافت های زایشی 0/69 درصد و دانه کلزا 0/68 درصد) را معنی دار گزارش کردند. گایند و همکاران (1991) نیز افزایش معنی داری در وزن خشک دانه، ساقه و میزان جذب فسفر *Mung bean* در نتیجه تلقیح سنگ فسفات با باکتری حل کننده فسفات (باسیلوس سابیلیس) گزارش نمودند.

شاخص کارایی جذب فسفر (PACE)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد بین کارایی جذب فسفر در تیمارهای مختلف میکروبی اختلاف معنی داری در سطح 1% وجود دارد و تلقیح قارچ های حل کننده فسفات (RP+F) کارایی جذب فسفر هر دو گیاه را بطور معنی دار افزایش داد و بطور میانگین 100% افزایش در کارایی جذب فسفر گیاهان نسبت به تیمار شاهد (RP) مشاهده شد (شکل 3). بنابراین می توان گفت قارچ های حل کننده فسفات با فعالیت خود توانسته اند فراهمی فسفر برای جذب ریشه ها را افزایش دهند و باعث جذب مقادیر بیشتری از این عنصر شده و کارایی جذب فسفر را بالا ببرند. در گیاه آفتابگردان تلقیح جداگانه باکتری و توأم باکتری و قارچ های حل کننده فسفات تأثیری در کارایی جذب فسفر گیاه نداشت و از لحاظ آماری در سطح یکسان با تیمار شاهد قرا گرفتند اما در گیاه ذرت تلقیح باکتری های حل کننده فسفات (RP+B) کارایی جذب



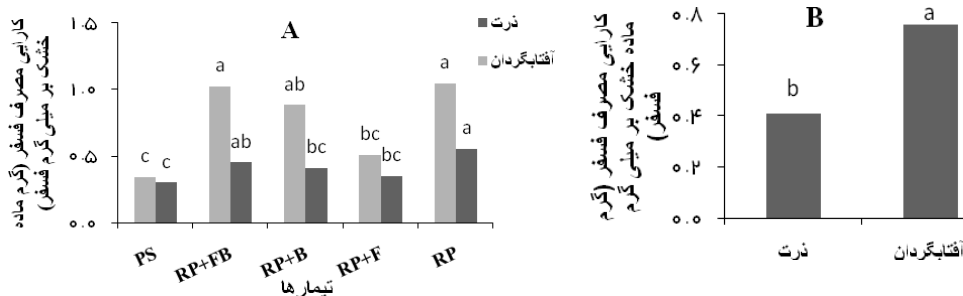
شکل 3- مقایسه تأثیر تیمارهای میکروبی بر شاخص کارایی جذب فسفر (A) مقایسه گیاهان آفتابگردان و ذرت از لحاظ کارایی جذب فسفر (B)

RP (مصرف سنگ فسفات بدون ریزجانداران حل‌کننده فسفات)، PF+F (تلقیح سنگ فسفات با قارچ‌های حل‌کننده فسفات)، RP+B (تلقیح سنگ فسفات با باکتری‌های حل‌کننده فسفات)، RP+FB (تلقیح سنگ فسفات با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ‌های حل‌کننده فسفات). حروف غیر مشابه روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح 1%.

شاخص کارایی مصرف فسفر

این شاخص نشان دهنده تولید ماده خشک گیاهی به ازای واحد فسفر جذب شده می‌باشد و گیاهی که بتواند فعالیت‌های متابولیکی خود را در غلظت پایین فسفر طوری تنظیم نماید که ماده خشک بیشتر نسبت به واحد فسفر جذب شده تولید نماید گیاه کارا در مصرف فسفر می‌باشد. در میان گیاهان مورد بررسی، این شاخص از 0/76 (گیاه آفتابگردان) تا 0/41 گرم ماده خشک بر میلی‌گرم فسفر (گیاه ذرت) تغییر کرد و از این حیث آفتابگردان کارا در مصرف فسفر بدست آمد (شکل 4 B). مصرف مایه تلقیح حل‌کننده‌های فسفات، کارایی مصرف فسفر گیاهان را نیز بطور معنی‌دار ($P < 0.01$) تحت تأثیر قرار داد (جدول 1). نتایج مقایسه میانگین نشان داد تیمار (RP) از لحاظ کارایی مصرف فسفر در بالاترین سطح و تیمار مصرف فسفر محلول (PS) و تلقیح قارچ‌های حل‌کننده فسفات (RP+F) در پایین‌ترین سطح آماری قرار گرفتند (شکل 4) و تیمارهای میکروبی دیگر در گروه‌های بینابینی قرار گرفتند. بعبارتی با مصرف فسفر محلول (PS) و افزایش فراهمی فسفر در حضور ریزجانداران حل‌کننده فسفات گیاهان ماده خشک کمتری بازاء واحد فسفر جذب شده تولید کردند. تلقیح قارچ‌های حل‌کننده فسفات منجر به کاهش کارایی مصرف فسفر گیاهان شد بطوریکه از لحاظ آماری با تیمار (PS) اختلاف نداشت که می‌توان به توانایی این ریزجانداران در انحلال فسفات و افزایش فراهمی و جذب فسفر برای گیاهان و متعاقباً کاهش کارایی مصرف فسفر نسبت داد. در هر دو گیاه تیمار

(RP+FB) از لحاظ آماری در سطح مشابه با تیمار شاهد قرار گرفت. موسوی و همکاران (1392) نیز کاهش معنی‌دار در کارایی مصرف فسفر ارقام جو با تلقیح ریزجانداران حل‌کننده فسفات گزارش نمودند که این کاهش نشان می‌دهد گیاه در شرایط محدودیت، مسیر سازگاری را بر می‌گزیند بعبارتی با افزایش فراهمی فسفر در محیط رشد گیاه هر چند جذب فسفر توسط گیاه افزایش می‌یابد اما گیاه ماده خشک کمتری به ازاء واحد فسفر جذب شده تولید می‌نماید. شهباز و همکاران (2005) نیز کاهش 2 برابری در کارایی مصرف فسفر ارقام گیاهی *Brassica* با مصرف فسفر محلول گزارش دادند و بیان نمودند کارایی مصرف فسفر به نوع ارقام گیاهی و سطوح فسفوری وابسته است.



شکل 4- مقایسه تأثیر تیمارهای میکروبی بر شاخص کارایی مصرف فسفر (A) (PUTE) مقایسه گیاهان آفتابگردان و ذرت از لحاظ کارایی مصرف فسفر (B).

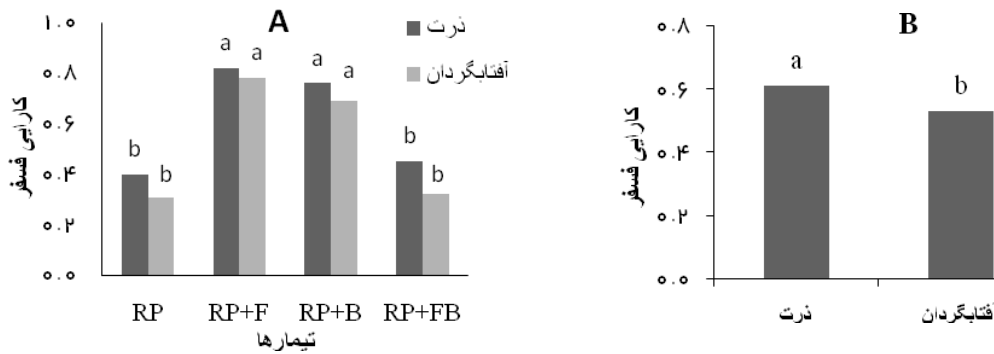
RP (مصرف سنگ فسفات بدون ریزجانداران حل کننده فسفات)، PF+F (تلقیح سنگ فسفات با قارچ های حل کننده فسفات)، RP+B (تلقیح سنگ فسفات با باکتری های حل کننده فسفات)، RP+FB (تلقیح سنگ فسفات با باکتری ها و قارچ های حل کننده فسفات) و PS (مصرف فسفر محلول). حروف غیر مشابه روی ستون ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح 1%.

شاخص کارایی فسفر

حالت کمبود و کفایت فسفوری بررسی شود. نتایج مطالعه ما نشان داد

تیمارهای میکروبی شاخص کارایی فسفر را بطور معنی دار ($P < 0.01$) تحت تأثیر قرار دادند (جدول 1). در بین تیمارهای میکروبی، تلقیح جداگانه قارچ ها و باکتری های حل کننده فسفات کارایی فسفر گیاهان را بطور مشابه افزایش دادند و هر دو گروه حل کننده فسفات از لحاظ تأثیر بر کارایی فسفر در بالاترین سطح قرار گرفتند. تلقیح باهم هر دو ریزجاندار افزایش معنی دار در کارایی فسفر گیاهان را باعث نشد و اختلاف آن با تیمار (RP) معنی دار نبود (شکل 5 A) که با نتایج موسوی و همکاران (1392) در بررسی کارایی فسفر ارقام مختلف جو در حضور ریزجانداران حل کننده فسفات مطابقت می نماید. بین کارایی فسفر گیاه ذرت و آفتابگردان در سطح احتمال 5% اختلاف معنی دار مشاهده شد و بطور میانگین گیاه ذرت با 0/61 کارایی فسفر بیشتری نسبت به آفتابگردان 0/52 داشت (شکل 5 B).

در این تحقیق بر اساس مطالعات قبلی از مقدار نسبی ماده خشک اندام هوایی به عنوان شاخص کارایی فسفر (PE) استفاده گردید (رنگل، 1999؛ سپهر و همکاران، 2009 و اوزتورک و همکاران، 2005) همینطور زیان ون و همکاران (2008) با بررسی پارامترهای مورفولوژی و فیزیولوژی 96 رقم سویا نشان دادند عملکرد خشک اندام هوایی در حالت کمبود فسفر (SDW) و عملکرد نسبی خشک اندام هوایی (Ratio Shoot Dry Weight (SRDW)) از فاکتورهای مؤثر و ساده برای بررسی کارایی ارقام مختلف سویا می باشد و بیان کردند کارایی فسفر سویا یک کمیت پیچیده ای است و برای ارزیابی باید پارامترهای مورفولوژی و فیزیولوژی ریشه به صورت گسترده در دو

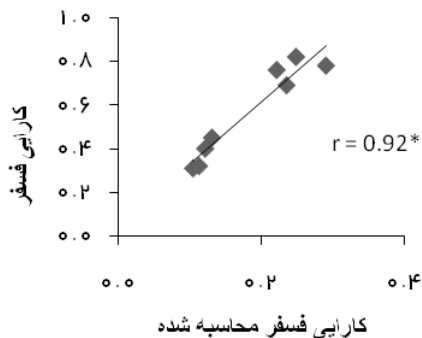


شکل 5- مقایسه تأثیر تیمارهای میکروبی بر شاخص کارایی فسفر (PE) (A) مقایسه گیاهان آفتابگردان و ذرت از لحاظ کارایی فسفر (B).

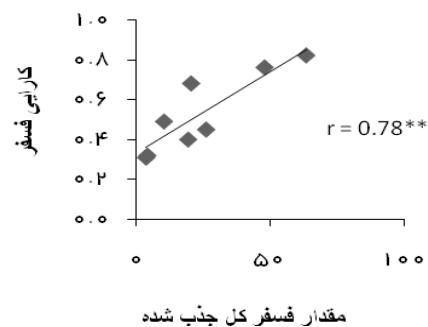
RP (مصرف سنگ فسفات بدون ریزجانداران حل‌کننده فسفات)، PF+F (تلقیح سنگ فسفات با قارچ های حل‌کننده فسفات)، RP+B (تلقیح سنگ فسفات با باکتری‌های حل‌کننده فسفات)، RP+FB (تلقیح سنگ فسفات با باکتری‌ها و قارچ های حل‌کننده فسفات) حروف غیر مشابه روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح 1% بین تیمارها.

فسفر کل جذب شده همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r = 0.81^{**}$) گزارش کردند و رابطه بین کارایی فسفر و مقدار فسفر کل اندام هوایی ارقام گندم نان را مهم‌تر از ارقام گندم دوروم گزارش نمودند.

بین کارایی فسفر و مقدار فسفر کل همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r = 0.61^{*}$) مشاهده شد (شکل 6) که اغلب محققین سپهر و همکاران (2009) و موسوی و همکاران (1392) نیز نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند. اوزتورک و همکاران (2005) بین کارایی فسفر و مقدار



شکل 7- همبستگی بین کارایی فسفر و میزان محاسبه شده آن



شکل 6- همبستگی بین کارایی فسفر و مقدار فسفر کل

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد استفاده از ریزجانداران حل‌کننده فسفات بر روی همه پارامترهای رشد و شاخص‌های کارایی تأثیر معنی‌دار داشت و باعث افزایش عملکرد اندام هوایی و غلظت و مقدار فسفر کل اندام هوایی گیاهان شدند بطوریکه در بین تیمارهای میکروبی، تلقیح قارچ های حل‌کننده فسفات در میزان غلظت فسفر بخش هوایی در سطح یکسان با تیمار مصرف فسفر محلول (PS) قرار گرفت. در نتیجه تلقیح‌های میکروبی روند افزایشی در کارایی جذب فسفر مشاهده شد بطوریکه تیمار قارچی در مقایسه با سایر

شاخص کارایی محاسبه شده (CPE) به صورت حاصل ضرب کارایی جذب فسفر در کارایی مصرف فسفر در شرایط محدودیت فسفر به دست آمد که با کارایی فسفر همبستگی معنی‌دار ($r = 0.92^{**}$) نشان داد (شکل 7) بالا بودن ضریب همبستگی نشان می‌دهد که عملکرد نسبی اندام هوایی به نوعی اثر هر دو عامل کارایی در جذب و کارایی در مصرف را در بر می‌گیرد. بنابراین، می‌توان گفت شاخص مناسبی برای ارزیابی کارایی فسفر می‌باشد. توسط اوزتورک و همکاران (2005)، سپهر و همکاران (2009) و موسوی و همکاران (1392) نیز همبستگی معنی‌دار بین کارایی فسفر و مقدار محاسبه شده آن گزارش شده است.

توسط گیاه از سنگ فسفات را افزایش داده و در نتیجه کارایی فسفر گیاهان را بطور معنی‌دار افزایش می‌دهد لذا استفاده از سنگ فسفات به همراه تلقیح میکروبی بویژه تلقیح با قارچ‌های حل‌کننده فسفات در راستای تأمین نیاز فسفوری گیاهان می‌تواند پس از آزمایشات مزرعه کاربردی باشد.

تیمارهای میکروبی مؤثرتر بود و در بالاترین سطح آماری قرار گرفت. تلقیح حل‌کننده‌های فسفات شاخص کارایی فسفر را بطور معنی‌دار افزایش داد و در این مورد قارچ‌ها و باکتری‌ها در سطح یکسان قرار گرفتند اما تیمار مصرف با هم قارچ‌ها و باکتری‌ها افزایش معنی‌دار در کارایی فسفر را سبب نشد. در نهایت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تلقیح میکروبی بویژه تلقیح قارچی میزان جذب فسفر

فهرست منابع:

1. قورچیانی، م. اکبری، غ. علیخانی، ج. دادی، ا. زارعی، م. 1390. ویژگی‌های بلال *Pseudomonas fluorescence* اثر قارچ میکوریزآربسکولار و باکتری، میزان کلروفیل و عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش رطوبتی. مجله دانش آب و خاک. جلد 21. شماره 1.
2. مدنی، ح. نادر بروجردی، غ. ر. آقاجانی، ح. و پازکی، ع. ر. 1389. مقایسه اثرات مصرف کودهای شیمیایی فسفره و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در عملکرد دانه. مجله زراعت و اصلاح نباتات 6(4): 93-104.
3. موسوی، ر. سپهر. ا. صدقیانی، ح. صمدی، ع. صادق زاده، ب. 1392. بررسی فسفرکارایی ارقام مختلف جو در حضور ریزجانداران حل‌کننده فسفات. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. 4 (16): 27-40.
4. Attoe, O. J. and R. A. Olsen. 1966. Factors affecting the rate of oxidation of elemental sulfur and that added in rock phosphate sulfur fusion. *Soil Science*. 101: 317-324.
5. Akhtar, M.S., and Z.A. Siddiqui. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi as potential bio-protectors against plant pathogens. P. 61-97.
6. Asea, P. E. A. Kucey, R. M. N. and Stewart. J.M. W. B. B. 1988. Inorganic phosphate solubilization by two penicillium species in solution culture and Soil. *Soil Biology and Biochemistry* 20: 459-464.
7. Attia M, 1999. The efficiency improvements of mineral fertilizers used and maize yield by arbuscular mycorrhizal fungi and plant-promoting rhizobacteria. *Annals of Agricultural Sciences* 5:41-44.
8. Bhattacharyya, P. Datta, S.C. and Dureja, P. 2003. Interrelationship of pH organic acids and phosphorus concentration in soil solution of rhizosphere and non-rhizosphere of wheat and rice crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34: 231-245
9. Bockman, O.C. 1997. Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients: Perspectives for future agriculture. *Plant and Soil*, 194: 11-14.
10. Cakmak, I. 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil*, 247:3-24. DOI: 10.1023/A:1021194511492.
11. Eftekhari1, S.A.. Ardakani1, M.R Farzad, F.R. Paknejad and Hasanabadi, T. 2012. Phosphorus absorption in barley (*Hordeum vulgare* L.) under different phosphorus application rates and co-inoculation of *Pseudomonas fluorescence* and *Azospirillum lipoferum*. *Annals of Biological Research* 3 (6): 2694-2702.
12. Gahoonia, T. S. Nielsen, N. E. Joshi, P. A. and Jahoor, A. 2004. A root hairless barley mutant for elucidating genetics of root hairs and phosphorus uptake. *Plant and Soil* 235: 211-219.
13. Gahoonia, T.S. and Nielsen, N.E. 1996. Variation in acquisition of soil phosphorus among wheat and barley genotypes. *Plant and Soil*, 178: 223- 230.
14. Gaid, S. and Gaur, A.C. 1991. Thermotolerant phosphate solubilizing microorganisms and their interaction with mung bean. *Plant and Soil*, 133:141-149.

15. Goldstein, A. H. 1986. Bacterial solubilization of mineral phosphates: Historical perspective and future prospects .*American Journal of Alternative Agriculture*. 1: 51-57.
16. Horst, W. J. Abdou, M. and Wiesler, F. 1993. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. *Plant and Soil*, 155/156: 293–296.
17. Hash, C.T. Schaffert, R.E. and Peacock, I.M. 2002. Prospects for using conventional techniques and molecular biological tools to enhance performance of orphan= crop plants on soils low in available phosphorus. *Plant and Soil*, 245.DOI: 10.1023/A:1020627926131.
18. Jodie, N. Peter, M H. Martin. B. 2006. Laboratory tests can predict beneficial effects of phosphate- solubilising bacteria on plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 1521-1526.
19. Liu, Y. Mi. G. Chen, F. Zhang, J. Zhang, F. 2004. Rhizosphere effect and growth of two maize (*Zea mays* L.) genotypes with contrasting P efficiency at low P availability. *Plant Science* .167: 217-223.
20. Pearse, S.J. Veneklaas, E.J. Cawthray, G.R. Bolland, MD.A. Lambers, H. 2006. carboxylate release of wheat, canola and 11 grain legume species as affected by phosphorus status. *Plant and Soil* . 288: 127 139.
21. Ozturk, L. Eker S. Torun, B. and Cakmak, I. 2005. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. *Plant and Soil*. 269: 69-80.
22. Suba, Rao. N. S. 1988. *Biofertilizers in agriculture*. first ed. Oxford and IBH Co. New Dehli: India
23. Shahbaz, A.M. Oki, Y. and Adachi, T. 2005. Phosphorus nutrition of Brassica cultivars under deficient and adequate levels in solution culture. Pp: 236-237. In: Li, (ed.), *Plant Nutrition for Food Security, Human Health and Environmental Protection*, Tsinghua University Press. Beijing, Chin
24. Sepehr, E. Rengel, Z. and Fateh, S. 2010. Differential capacity of two wheat cultivars and white lupin to acquire P from rock phosphate, phytate and soluble P sources. *J. Plant Nutrition*. 35(8): 1180-1191.
25. Sepehr, E. Malakouti, M. J. Kholdbarin, B. Karimian, N. J. and Samadi, A. 2009. Genotypic Variation in P efficiency of selected Iranian cereals. *International J. Plant Production*. 3(3): 17-28.
26. Wang, X. Tang, C. Guppy, C. N. and Sale, P.G. 2008. Phosphorus acquisition characteristics of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.) and white lupin (*Lupinus albus* L.) under P deficient conditions. *Plant and Soil*. 312: 117-128.
27. Wang, Q. R. Li, J. Y. Li, Z.S. and Christie, P. 2005. Screening Chinese wheat germplasm for phosphorus efficiency in calcareous soils. *J. Plant Nutrition* 28: 489–505.
28. Wue, S.C. Cao, Z .H. Li, Z. G. Cheung, K.C. Wong, M. H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*. 125: 155–166.
29. Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255: 571–586.
30. Vance, C.P. UhdeStone, C. and Allan, D. L. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist.*, 157: 423–447.
31. Xiang g-wen, P. Wenbin, L. I. Qiuying, Z. Yan-hua, L. I. Ming-shan. L. 2008. Assessment on Phosphorus Efficiency Characteristics of Soybean Genotypes in Phosphorus-Deficient Soils. *Agricultural Sciences in china*. August 2008, Pages 958–969.
32. Yan, X.. H. Liao, S. E. Beebe, M. Blair, W. and ynych, J. P. L 2004. QTL mapping of root hair and acid exudation traits and their relationships to phosphorus uptake in common bean. *Plant and Soil*, 265: 17-29.DIO;10.1007/s11104-005-0693-1.