نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۴، ص. ۱۴۹۲-۱۴۸۱

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 6, Jan.-Feb. 2016, p. 1481-1492

بررسی تأثیر تلقیح میکروبی بر فسفرکارایی ارقام مختلف جو در استفاده از سنگ فسفات

رقیه موسوی[۱]- ابراهیم سپهر[۲*]- عباس صمدی[۳]- میر حسن رسولی صدقیانی[۴]- بهزاد صادق زاده[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تلقیح میکروبی بر فسفر کارایی ارقام مختلف جو،آزمایشی گلخانه ای بصورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ رقم جو و تیمارهای مختلف فسفر نامحلول به همراه تلقیح میکروبی شامل تیمار شاهد (P0)، مصرف سنگ فسفات (RP)، تلقیح قارچ های حل کننده فسفات (RP+F)، تلقیح باکتری های حل کننده فسفات (RP+B)، تلقیح مخلوط قارچ و باکتری (RP+B+F) و مصرف فسفر محلول (PS) در سه تکرار انجام گرفت. بعد از برداشت، وزن خشک دانه و میزان فسفر آن اندازه گیری گردید و سپس شاخص های فسفرکارایی (PE)، کارایی جذب (PACE) و کارایی مصرف فسفر (PUTE) محاسبه گردیدند. نتایج نشان داد تیمارهای میکروبی اثر معنی داری ($P < 0.01$) بر عملکرد دانه، مقدار و غلظت فسفر دانه و شاخص های فسفرکارایی داشتند بطوریکه در تیمار شاهد فسفرکارایی ارقام بطور میانگین ۰/۴۹ بدست آمد که با تلقیح قارچ های حل کننده فسفات به ۰/۷۴، با تلقیح باکتری ها به ۰/۶۵ و با تلقیح توأم قارچ و باکتری به ۰/۶۹ افزایش یافت. در بین ارقام نیز اختلاف معنی داری ($P < 0.01$) در پارامترهای عملکرد و شاخص های کارایی مشاهده شد بطوریکه در شرایط کمبود فسفر رقم Obruk با ۵/۱ گرم بیشترین و رقم Denmark با ۲/۵ گرم کمترین دانه را تولید کردند و رقم Rihane-03 کاراترین رقم در جذب فسفر (PACE) و رقم Yea-168 کاراترین رقم در مصرف فسفر (PUTE) بدست آمد. بنابراین می توان گفت با انتخاب ارقام فسفرکارا و استفاده از ریزجانداران حل کننده فسفات می توان جذب فسفر را از منابع سنگ فسفات و شکلهای نامحلول آن در خاک افزایش و مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد.

واژه های کلیدی: جو، ریزجانداران حل کننده فسفات، سنگ فسفات، فسفرکارایی

مقدمه

فسفر بعد از نیتروژن پرمصرفترین عنصر غذایی برای گیاهان می باشد که نقش بسیار مهمی در رشد و تغذیه گیاهان دارد. قابلیت دسترسی این عنصر غذایی برای گیاهان خصوصاً در خاکهای خشک و نیمه خشک توسط واکنشهای شیمیایی محدود می شود بطوریکه در اکثر خاکهای ایران به دلیل بالا بودن pH و فراوانی یون کلسیم، علیرغم وجود مقادیر فراوان فسفر، فرم محلول و قابل جذب این عنصر کمتر از مقدار لازم برای تأمین رشد مناسب گیاه می باشد. استفاده از کودهای شیمیایی فسفاته از متداولترین روشها برای جبران کمبود فسفر می باشد اما مطالعات نشان داده است که کمتر از ۲۰ درصد کود فسفر مصرفی توسط گیاه برداشت می شود و بقیه آن در خاک تثبیت و یا تغییر شکل یافته و به شکل غیر قابل جذب در می آید این در حالی است که پیش بینی می شود منابع سهل الوصول کودهای فسفاته در دنیا روبه کاهش هست و طی ۸۰-۷۰ سال آینده به اتمام برسد (۲۸) از طرفی مشکلات زیست محیطی از قبیل پدیده یوتریفیکاسیون (ورود ذرات خاک حاوی فسفر زیاد به آبهای سطحی) به دلیل مصرف بی رویه کودهای فسفر، افزایش قیمت سوختهای فسیلی و در نتیجه افزایش قیمت کودها و به تبع آن افزایش هزینه های تولید مزید بر علت می باشد (۲۸). از اینرو استفاده کارآمد از کودهای فسفر یکی از مدیریت ها و ضرورت های کشاورزی مدرن به شمار آمده و پایه های اساسی کشاورزی پایدار را تشکیل می دهد. از جمله روشهای بالقوه به منظور استفاده کارآمد از فسفر، استفاده از پتانسیل ژنتیکی گیاهان (ارقام فسفرکارا) و کاربرد مناسب ریز موجودات حل کننده فسفات[۶](PSMs) به همراه مقادیر متعادلی از کود فسفر محلول و یا سنگ فسفات برای افزایش رشد و جذب عناصر غذایی می باشد.

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استاد و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: e.sepehr@urmia.ac.ir)
۵- استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی موسسه تحقیقات دیم کشور، مراغه

6- Phosphate solubilizing micro-organisms

ژنوتیپ فسفرکارا، ژنوتیپی است که توانایی بالایی در جذب فسفر داشته و در نهایت می تواند در غلظت بسیار کم فسفر، رشد و عملکرد نسبی قابل قبولی تولید نمایند. گیاهان فسفرکارا برای رشد بهتر دو مکانیسم اصلی به کار می برند که شامل: الف) افزایش در جذب فسفر از خاک (شامل مورفولوژی ریشه، ترشحات ریشه، طول و تراکم ریشه های موئین و مکانیسم های جذب فسفر از خاک) و ب) افزایش در مصرف فسفر (شامل مکانیسم های داخلی در سطح سلولی) می باشد (۱۸). مطالعات نشان داده اند که گیاهان فسفرکارا نظیر خربزه (۵)، جو (۷)، چای (۱۷)، لوبیای چشم بلبلی (۱۵) و گندم (۲) از طریق ترشح مقادیر زیادی اسیدهای آلی باعث افزایش حلالیت فسفات های کم محلول از قبیل فسفات کلسیم می شوند (۱۴). در این ارتباط گاهونیا و همکاران (۷) مشاهده کردند که توانایی ارقام جو زمستانه مارینکا در جذب فسفر نامحلول خاک تقریبا دو برابر بیشتر از رقم سونات بود که این امر به ترشح اسیدهای آلی به ویژه اسید سیتریک از ریشه رقم مارینکا نسبت داده شد. امروزه شناسایی و گسترش ژنوتیپ های کارا با توانایی بالا برای رشد در خاکهای با فسفر قابل دسترس پایین هدفی مهم و جهانی می باشد (۳۰) بطوریکه باتن (۱) انتخاب ارقام فسفرکارا بعنوان متغیر مکمل و حتی جایگزین برای مصرف کودها در کشاورزی گزارش نموده اند که در سیستم های زراعی کم نهاده و پرنهاده می تواند فاکتور مهمی در کاهش هزینه های تولید و مشکلات زیست محیطی باشد (۲۷).

گروهی از ریزجانداران هتروتروف، با رهاسازی تدریجی فسفر و تبدیل آن به شکل قابل جذب گیاه نیاز به کودهای فسفاته شیمیایی را کاسته و کارایی آنها را بالا می برند. به عبارتی، ریزجانداران حل کننده فسفات قادرند ترکیبات نامحلول فسفات را به اشکال محلول در خاک و قابل استفاده برای گیاهان تبدیل کنند (۱۸). که از میان آنها، غالب ترین گونه ها متعلق به جنس های باسیلوس، سودوموناس، پنیسیلیوم و آسپرژیلوس می باشد. مکانیسم اثر این ریزجانداران در انحلال فسفات های نامحلول پیچیده است ولی براساس نظرات محققین، این ریزجانداران با تولید اسیدهای آلی باعث کاهش pH محیط می شوند و یا از طریق گروههای کربوکسیل و هیدروکسیل کاتیون های (Ca، Fe و Al) را کلاته کرده و تشکیل کمپلکس های پایدار داده و باعث رها سازی فسفات می گردند و از طریق تبادل آنیونی PO_4^{3-} توسط آنیون های آلی حلالیت فسفات نامحلول را سبب می شوند. این ریزجانداران قادر به تولید آنزیم فسفاتاز نیز می باشند که واکنش های آنزیم های گروه فسفاتاز (معدنی کردن فسفرآلی) در خاک نیز در این مورد مهم می باشند. این ریزجانداران می توانند رشدگیاه را از طریق افزایش کارایی تثبیت بیولوژیکی ازت، افزایش فراهمی ریزمغذی ها چون روی و آهن و تولید تنظیم کننده های رشدگیاه، افزایش دهند (۲۶).

با وجود آنکه تحقیقات گسترده ای در رابطه با توانایی قارچ ها و باکتری های حل کننده فسفات در افزایش حلالیت و فراهمی فسفر برای گیاهان صورت گرفته است، اطلاعات محدودی در رابطه با تأثیر قارچ ها و باکتری های حل کننده فسفات بر فسفرکارایی ارقام وجود دارد. با توجه به اهمیت شناسایی و گسترش ارقام فسفرکارا در استفاده بهینه از فسفر بومی خاک و کاهش مصرف و تلفات کودهای فسفاته از خاک بویژه در خاک های با فسفر قابل دسترس پایین، در این مطالعه فسفرکارایی ترکیبی از ارقام جو ایرانی و خارجی با تفاوت های ژنوتیپی گسترده، در حضور قارچ ها و باکتری های حل کننده سنگ فسفات بررسی گردید.

مواد و روش ها

این تحقیق بصورت آزمایش گلخانه ای در سال زراعی ۱۳۹۰ در گلخانه دانشگاه ارومیه اجرا گردید. بدین منظوراز نسبت ۱ به ۱ خاک و شن با فسفر قابل دسترس پایین (کمتر از ۵ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر) استفاده شد. خاک مورد استفاده در آزمایش از اراضی زراعی اطراف دانشگاه ارومیه از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری و شن مورد استفاده از رودخانه نازلو تهیه گردید. برخی ویژگی های فیزیکو شیمیایی بستر مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Selected chemical properties of organic matters used

	Ph	EC	OC	SP	K_{ava}	P_{ava}	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
		ds/m	%		(mg/kg)		(meq/L)					
خاک (Soil)	7.5	0.97	0.52	46	114	3.5	2.0	11.6	3.72	0.50	0.56	0.30
شن (Sand)	7.3	0.60	0.12	30	46	2.5	0.8	6.7	6.0	0.32	0.11	0.15

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش تأثیر تیمارهای مختلف فسفر نامحلول به همراه تلقیح میکروبی شامل تیمار شاهد (P0)، مصرف سنگ فسفات (RP)، مصرف سنگ فسفات همراه با باکتری های حل کننده فسفات (RP+B)، مصرف سنگ فسفات همراه با قارچ های حل کننده فسفات (RP+F)، مصرف سنگ فسفات همراه با مخلوطی

از هر دو ریز جاندار (RP+B+F) و مصرف فسفر محلول (PS) بر فسفرکارایی ترکیبی از ارقام ایرانی شامل گاراآرپا، سهند و آبیدر و ارقام خارجی Rihane-03، Dayton-Ranny، Denmark، Yea-168، Obruk-86، Diktoo و لاین AltICB-98 با تفاوت‌های ژنوتیپی گسترده مورد بررسی قرار گرفت. جهت تهیه مایه تلقیح حل کننده های فسفات از مخلوطی از باکتری‌های حل کننده فسفات (باسیلوس و سودوموناس) و از مخلوطی از قارچ‌های حل کننده فسفات (آسپرژیلوس، پنی سیلیوم و تریکودرما) استفاده شد که بدین منظور ریزجانداران حل کننده فسفات در محیط اسپربر جامد کشت شدند که شامل ترکیبات گلوکز (۱۰ گرم در لیتر)، کلرید کلسیم (۰/۱۴ گرم در لیتر) سولفات منیزیم (۰/۳۲ گرم در لیتر)، تری کلسیم فسفات (۲/۵ گرم در لیتر) و آگار ۱۸ گرم در لیتر با pH= 7.2 بود. بعد از عبور خاک مورد نظر از الک ۲ میلی متری، عناصر غذایی مورد نیاز بر اساس آنالیز خاک شامل ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و پتاسیم به‌ترتیب از منبع اوره و سولفات پتاسیم، ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از هر یک از ریزمغذی‌های منگنز، روی و آهن به‌ترتیب از منبع سولفات منیزیم، سولفات روی و سکوسترین آهن ۶٪، ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم مس از منبع سولفات مس و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بر از منبع اسید بوریک، قبل از کشت به‌طور یکسان به تمامی گلدان‌ها اضافه شد.

برای اعمال تیمار (PS) از مقدار ۸۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک از منبع مونوفسفات پتاسیم استفاده شد که بصورت جامد بعد از ریختن خاک در تراکم مناسب در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی به خاک افزوده گردید. سپس بذرها در عمق ۵ سانتی متری قرار داده شدند. بر اساس کمیت فسفر مصرفی از منبع مونو فسفات پتاسیم (۸۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک) از سنگ فسفات یزد (P_2O_5 ٪۳۰) برای اعمال تیمارهایی که به مصرف سنگ فسفات نیاز بود استفاده گردید. در هر گلدان ۱۶ بذر کشت شد. جهت تلقیح بذرها با باکتری‌های حل کننده فسفات، قبل از کاشت بمدت ۱۰ دقیقه بذرها در مایه تلقیح باکتری‌ها قرار گرفتند و بعد از کاشت ۱۰ میلی لیتر از مایه تلقیح به هر گلدان اضافه شد جهت تلقیح با قارچ‌های حل کننده فسفات ابتدا بذرها با قارچ‌ها آغشته شد سپس محیط کشت قارچ‌ها قطعه قطعه شد و در داخل حفره کاشت بذرها قرار گرفت. پس از سبز شدن جوانه‌ها به ۸ بوته کاهش داده شدند. تمامی نمونه ها در شرایط یکسان رشد کردند. بعد از سفت شدن بذرها برداشت شدند و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد بمدت ۴۸ ساعت خشک گردیدند، وزن خشک دانه (GDW) و غلظت فسفر در دانه (PC_G) به روش وانادو مولیبدات (۳۱) اندازه گیری شد.

مقدار فسفر کل (TP) که از حاصلضرب غلظت فسفر در دانه (PC_G) در وزن خشک دانه (SDW) بدست آمد.

$PC_G \times TP = GDW$

برای حذف نقش پتانسیل ژنتیکی ارقام در میزان فسفر جذب شده از اصطلاح جذب نسبی فسفر به عنوان شاخص کارایی جذب فسفر[1] (PACE) استفاده گردید (۲۷).

$$PACE = \left[\frac{TP\ in\ P_0}{TP\ in\ PS}\right]$$

کارایی مصرف فسفر[2] (PUTE) که بیانگر تولید دانه به ازاء واحد فسفر جذب شده می باشد از رابطه ذیل بدست آمد.

$$PUTE = \left[\frac{GDW}{TP}\right]$$

فسفر کارایی[3] (PE) که از نسبت ماده خشک دانه ارقام در شرایط محدودیت فسفر (P0) به مقدار آن در شرایط فراهمی فسفر(PS) محاسبه گردید (۲۷).

$$PE = \left[\frac{GDW\ in\ P0}{GDW\ in\ PS}\right]$$

کلیه نتایج بر اساس موازین آماری مربوطه با استفاده از نرم افزار SASتجزیه و تحلیل و نمودارها در برنامه Excel تهیه گردید.

نتایج و بحث

عملکرد بر اساس وزن خشک دانه (GDW)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد وزن خشک دانه (GDW) بطور معنی دار تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت ($P< 0.01$) بطوریکه در شرایط کمبود فسفر (P0) عملکرد دانه بطور میانگین ۳/۸ گرم بدست آمد که با مصرف فسفر محلول به ۱۰/۰ گرم در گلدان افزایش یافت (جدول ۳). افزایش ۲/۵ برابری عملکرد دانه با مصرف فسفر محلول به اهمیت این عنصر در تولید دانه اشاره دارد.

در تیمار مصرف سنگ فسفات (RP) وزن خشک دانه بطور میانگین ۴/۶ گرم بدست آمد که تلقیح با قارچ های حل کننده فسفات عملکرد دانه را بطور میانگین به ۶/۸ گرم، تلقیح با باکتری ها به ۵/۸ گرم و تلقیح توأم هر دو میکروارگانیسم به ۶/۱ گرم افزایش داد (جدول ۳ و شکل ۱). در اغلب مطالعات مرتبط، مکانیسم چنین اثر مثبت به توانایی این ریزجانداران در افزایش فراهمی عناصر غذایی نامحلول و کم محلول و ترشح مواد محرک رشد و تأثیر بر تغذیه و فیزیولوژی گیاه نسبت داده شده است (۱۰). از آنجایی که فسفر نقش مهمی در فعالیت های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان مانند فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته ایفا می کند (۲۶) افزایش فراهمی فسفر در شرایط مصرف فسفر و تلقیح با ریزجانداران و انتقال آن به سلول های گیاه سبب بهبود رشد و افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی گشته در نتیجه در مرحله پر شدن دانه، شیره پرورده کافی

1- Phosphorus acquisition efficiency
2- Phosphorus utilization efficiency
3- Phosphorus efficiency

به دانه ها انتقال یافته واحتمالاً از این طریق موجب افـزایش عملکـرد دانه جو گردیده است.

جونز و دراه (۱۰) در مطالعات خود نشان دادند اسـیدهای آلـی آزاد شده از باکتری های باسیلوس و سودوموناس علاوه بر فسفر، منجر به آزاد سازی منگنز، روی، آهن و منیـزیم از کمـپلکس هـای موجـود در خاک می گردند بنابراین فراهمی عناصر غذایی و تحریـک رشـد گیـاه به علت تولید اکسین و جیبرلین توسط ریزجانداران حل کننده فسـفات می تواند یکی از دلایل افزایش عملکرد در تیمارهـای تلقـیح بـا ایـن ریزجانداران باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس پارامترهای رشد اندازه گیری شده و شاخص های کارایی محاسبه شده

Table2- Analysis of variance measured parameters and calculated efficiency indicators

منبع تغییر SOV	درجه آزادی df	GDW	PC_G	TP_G	$PUTE_G$	PE_G	$PACE_G$
بلوک (Block)	2	4.1^{ns}	0.002^{**}	7.28^{ns}	0.003^{ns}	0.001^{ns}	0.04^{**}
ارقام (Genotypes)	9	772^{**}	0.008^{**}	118^{**}	0.03^{**}	0.64^{**}	2.57^{**}
تیمار (Treatment)	5	8171^{**}	0.45^{**}	7330^{**}	0.54^{**}	0.34^{**}	0.76^{**}
واریته × تیمار (Genotypes × Treatment)	45	605^{**}	0.02^{**}	258^{**}	0.009^{**}	0.05^{**}	0.09^{**}
خطا Error	118	27	0.0001	0.05	0.001	0.0005	0.005
ضریب تغییرات (CV)		9.6	3.7	7.4	9.5	11.8	18.7

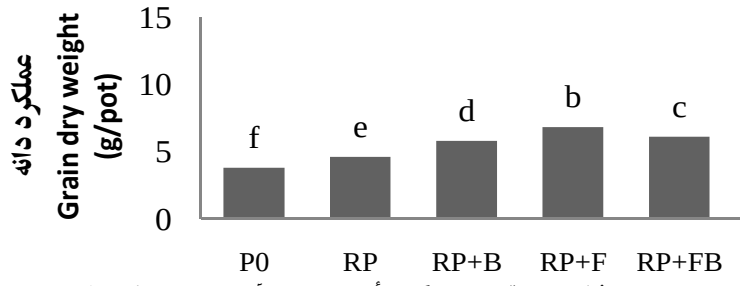
جدول ۳- عملکرد دانه (GDW) ارقام مختلف جو بر حسب (g/pot)

Table 3- Grain yield of barley genotypes (g/pot)

ارقام Genotypes	تیمارها treatments						
	P0	RP	RP+F	RP+B	RP+B+F	PS	LSD (ارقام)
Rihane-03	2.8	4.9	6.8	6.1	6.0	7.1	0.79
Dayton-Ranney	4.2	5.2	6.2	5.8	5.1	11.5	0.43
Yea-168	5.0	5.6	6.8	6.2	5.7	11.3	0.92
Denmark	2.5	3.0	6.5	5.4	5.5	9.3	1.13
Obruk-86	5.1	5.2	7.5	6.8	5.7	12	1.03
Diktoo	4.3	3.5	6.0	5.2	5.9	6.8	0.64
AltaICB-98	4.2	5.0	7.0	6.3	6.0	8.9	0.92
گارا آرپا	2.6	4.2	7.4	6.3	8.4	9.7	1.1
سهند	3.2	4.3	7.6	5.2	6.5	12.1	0.79
آبیدر	4.0	4.7	6.6	5.1	6.1	11.2	0.79
میانگین average	3.8	4.6	6.8	5.8	6.1	10	
ضریب تغییرات CV	14.5	7.0	9.1	4.7	6.9	5.8	

P0: تیمار شاهد، RP: مصرف سنگ فسفات، RP+F: تلقیح با قارچ های حل کننده فسفات، RP+B: تلقیح با باکتری های حل کننده فسفات، RP+F+B: تلقیح توأم قارچ و باکتری و PS: مصرف فسفر محلول، PC بر حسب (میلی گرم بر گرم)، TP بر حسب (میلی گرم در گلدان)

P0: control, RP: phosphate rock, RP+F: RP inoculated with phosphate solubilizing fungi, RP+B: RP inoculated with phosphate solubilizing bacteria, RP+B+F: RP inoculated with both fungi and bacteria inoculums, and PS: soluble phosphate. PC (mg/g), TP (mg/pot)



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای آزمایش بر عملکرد دانه
(GDW: وزن خشک دانه بر حسب گرم در گلدان)

Figure 1- Comparison of effects of treatments on grain yield (GDW (g/pot))

در بین ارقام مورد مطالعه نیز از لحاظ تولید دانه اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ ٪ مشاهده شد (جدول ۲) بطوریکه در شرایط کمبود فسفر (P0) ارقام Yea-168 و Obruk-86 بیشترین و ارقام Denmark و گارا آرپا کمترین دانه را تولید کردند (جدول ۳) بعبارتی ارقام Yea-168 وObruk 86 توانایی بالایی در جذب فسفر بومی خاک و انتقال به اندام های ذخیره داشتند. در شرایط کمبود فسفر رقم سهند عملکرد دانه پایینی داشت که با مصرف فسفر محلول بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که می تواند برای سیستم های زراعی پرنهاده مناسب باشد (جدول ۳).

غلظت (PC) و مقدار فسفر (TP) جذب شده در دانه

نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۲) نشان داد تیمارهای آزمایش و ارقام مورد بررسی و اثرات متقابل آنها تأثیر معنی داری بر غلظت و مقدار فسفر دانه داشت. در بررسی تأثیر تیمارهای کودی مشاهده شد غلظت فسفر در دانه با مصرف فسفر محلول بطور معنی دار از ۱/۸۳ به ۵/۷۲ میلی گرم بر گرم افزایش یافت. در تیمار شاهد (P0) رقم Rihane-03 با ۱/۹۹ میلی گرم بر گرم بالاترین غلظت را به خود اختصاص داد (جدول ۴). در بررسی اثر تیمارهای میکروبی مشخص شد که تیمار (RP+F) نسبت به سایر تیمارهای میکروبی از نظر غلظت فسفر در دانه (PC_G) اختلاف آماری معنی داری داشت (جدول ۴) بطوریکه غلظت فسفر را بطور متوسط به ۳/۳۴ میلی گرم در گرم افزایش داد و نسبت به شرایط کمبود فسفر (P0) ۸۲/۵ ٪ و نسبت به تیمار مصرف فسفر از منبع نامحلول (RP) ۶۷/۸ ٪ افزایش در غلظت فسفر دانه مشاهده گردید.

محتوای فسفر دانه از حاصلضرب غلظت فسفر دانه در وزن خشک دانه بدست آمد. مقدار فسفر کل ارقام در تیمار شاهد بین ۴/۲۸ تا ۱۰/۷۵ میلی گرم در گلدان متغییر بود که رقم Denmark با ۴/۲۸ میلی گرم کمترین و رقم Obruk-86 با ۱۰/۷۵میلی گرم در گلدان بیشترین مقدار جذب را داشت. در تیمار مصرف سنگ فسفات مقدار فسفر کل بطور میانگین ۹/۴۹ میلی گرم در گلدان بدست آمد و رقم Diktoo با ۱۲/۳۸ میلی گرم در گلدان بیشتر از سایر ارقام، فسفر جذب کرد که نشان می دهد این رقم توانایی بالایی در جذب فسفر از سنگ فسفات دارد. میانگین مقدار فسفر ارقام در نتیجه تلقیح جداگانه و با هم قارچ ها و باکتری های حل کننده فسفات بترتیب به ۲۲/۷۶، ۱۶/۴۱ و ۱۳/۶۵ میلی گرم در گلدان افزایش یافت (جدول ۴). با نتایج مطالعات ۳ و ۴ در ارتباط با به ترتیب تأثیر باکتری های حل کننده فسفات بر عملکرد دانه کلزا، بر رشد و عملکرد آفتابگردان و جذب فسفر توسط جو مطابقت می نماید.

کارایی جذب فسفر (PACE)

در بررسی اثر تیمارهای میکروبی بر کارایی جذب فسفر (PACE) مشخص گردید بین مصرف و عدم مصرف مایه تلقیح ریزجانداران حل کننده فسفات از لحاظ این صفت تفاوت بسیار معنی داری وجود دارد(جدول ۲). در تیمار (RP+F) کارایی جذب فسفر بطور متوسط ۰/۶۵ بدست آمد که نسبت به تیمار مصرف فسفر نامحلول بدون تلقیح میکروبی (RP) ۱/۵ برابر افزایش در کارایی جذب فسفر ارقام جو مشاهده شد (شکل ۲) بطور کلی قارچ های حل کننده فسفات نسبت به باکتری ها افزایش بیشتری را در PACE اغلب ارقام مورد مطالعه سبب شدند.

رودرس و همکاران (۲۵) گزارش کردند ریزجانداران حل کننده فسفات با ترشح اسیدهای آلی و فسفاتاز باعث آزادسازی فسفر از کمپلکس های موجود در خاک می گردند در نتیجه مقادیر بیشتری از فسفر و عناصر غذایی را برای جذب توسط ریشه ها مهیا می سازند. در شرایطی که از مایه تلقیح هر دو ریزجاندار حل کننده فسفات (RP+F+B) استفاده شد کارایی جذب فسفر ۰/۴۰ بدست آمد که نسبت به مصرف جداگانه هر دو ریز جاندار کمتر بود بعبارتی بین قارچ ها و باکتری های حل کننده فسفات رابطه آنتاگونیسمی مشاهده شد.

جدول ٤- غلظت فسفر بر حسب میلی گرم بر گرم (PC) و مقدار فسفر(TP) بر حسب گرم بر گلدان در دانه ارقام مختلف جو
Table 4- P concentration (mg/g) and P content (g/pot) in barley grain

	تیمارها Treatments											
	P0		RP		RP+F		RP+B		RP+F+B		PS	
ارقام جو	PC	TP	PC	TP	PC	TP	PC	TP	TP	PC	TP	PC
Rihane	1.99	8.55	2.1	10.4	4.4	27.8	3.7	35.4	30.1	5.9	13.26	2.65
Dayton	1.93	8.1	2.18	10.6	3.8	11.0	3.3	9.9	69.8	5.8	12.5	2.5
Yea-168	1.6	6.4	1.99	10.26	3.04	11.69	2.54	7.8	59.78	5.28	10.73	2.15
Denmark	1.69	4.28	1.93	9.75	2.65	15.57	2.49	17.75	57.3	6.19	13.55	2.0
Obruk	1.58	10.75	1.85	9.25	3.48	22.1	2.32	3.46	9.87	4.94	16.1	1.71
Diktoo	1.93	8.26	2.26	12.4	3.95	18.3	2.85	20.4	38.34	5.77	18.1	3.04
AltICB	1.7	7.19	1.69	5.73	3.3	21.4	2.15	10.77	46.4	5.86	13.9	2.13
گارارپا	1.88	6.69	1.9	8.1	3.56	26.5	2.5	17.2	52.4	5.4	11.98	2.02
سهند	1.88	6.1	2.2	9.34	3.8	28.9	3.3	23.8	70.25	5.8	11.7	2.5
آبیدر	1.88	7.53	1.9	9.2	3.6	23.56	2.5	7.6	66.9	5.8	14.5	2.4
میانگین Average	1.83	7.4	1.99	9.49	3.34	22.76	2.75	16.4	50.12	5.7	13.65	2.3
LSD	0.02	1.4	0.015	1.7	0.022	2.55	0.015	1.12	4.68	0.02	1.25	0.013
CV	6.6	11.2	4.3	10.6	3.8	6.8	3.3	4.2	2.6	3.8	5.4	3.2

P0: تیمارشاهد،RP: مصرف سنگ فسفات،RP+F: تلقیح با قارچهای حل کننده فسفات ، RP+B: تلقیح با باکتریهای حل کننده فسفات، RP+F+B: تلقیح توأم قارچ و باکتری و PS : مصرف فسفر محلول، PC بر حسب (میلی گرم برگرم)،TP برحسب (میلی گرم در گلدان)

P0: control, RP: phosphate rock, RP+F: RP inoculated with phosphate solubilizing fungi, RP+B: RP inoculated with phosphate solubilizing bacteria, RP+B+F: RP inoculated with both fungi and bacteria inoculums, and PS: soluble phosphate. PC (mg/g), TP (mg/pot)

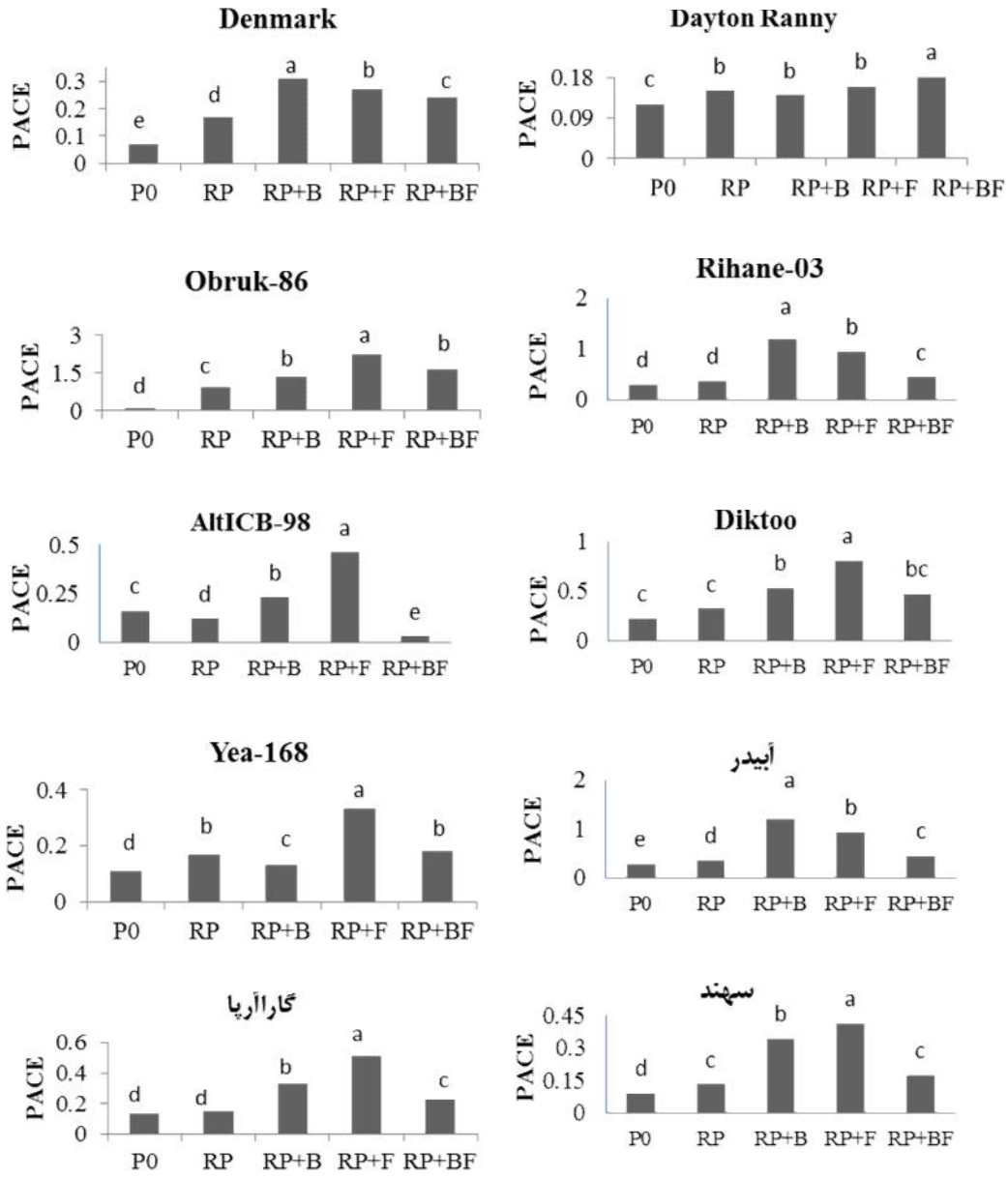
نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد بین ارقام از لحاظ کارایی جذب فسفر اختلافات معنی داری ($P< 0.01$) وجود دارد (جدول۲) بطوریکه در شرایط محدودیت فسفر رقم Rihane-03 کاراترین رقم در جذب فسفر بوددر اغلب مطالعات اظهار شده اختلاف بین ارقام گیاهی از لحاظ کارایی جذب فسفر به ویژگی های مورفولوژیکی و مکانیسم های فیزیولوژیکی ریشه مربوط می باشد (۱۹ و ۲۸). خراسانی (۱۳) در بررسی کارایی جذب فسفر در ذرت، بادام زمینی و چغندر قند، بالا بودن کارایی جذب فسفر چغندر قند را به زیاد بودن جریان به درون فسفر (اینفلاکس فسفر) نسبت داد. در تیمارهای میکروبی رقم Obruk-86 کاراترین رقم بود که می تواند به برقراری رابطه سینرژیستی قوی با ریزجانداران نسبت داده شود. در حالی که رقم Dayton چندان تحت تاثیر تیمارهای میکروبی قرا نگرفت. شیرانی راد و همکاران (۲۵) در یک مطالعه مشابه افزایش قابل توجهی در کارایی جذب فسفر گندم مهدوی در نتیجه همزیستی میکوریز VA گزارش دادند.

کارایی مصرف فسفر (PUTE)

شاخص کارایی مصرف فسفر (PUTE) که بیانگر تولید دانه به ازاء واحد فسفر جذب شده است بطور معنی دار تحت تأثیر تیمارها و تنوع ژنتیکی ارقام جو قرار گرفت (جدول ۲). در شرایط محدودیت فراهمی فسفر بطور متوسط ۰/۵۵ گرم دانه به ازاء یک میلی گرم فسفر جذب شده حاصل شد (جدول ۵) با مصرف فسفر، کارایی مصرف فسفر بطور معنی دار به ۰/۱۸ گرم دانه بر میلی گرم فسفر کاهش یافت بعبارتی ارقام جو مورد مطالعه به ازای هر واحد فسفر جذب شده دانه کمتری تولید کردند. که اشاره بر این دارد گیاه در شرایط کمبود، مسیر سازگاری را بر می گزیند و با افزایش فراهمی فسفر در محیط رشد گیاه هر چند جذب فسفر توسط گیاه افزایش می یابد اما گیاه دانه کمتری به ازاء هر واحد فسفر جذب شده تولید می نماید.

شهباز و همکاران (۲۴) کاهش ۲ برابری در کارایی مصرف فسفر ارقام گیاهی *Brassica* با مصرف فسفر محلول را گزارش دادند و بیان نمودند کارایی مصرف فسفر به نوع ارقام گیاهی و سطوح فسفر وابسته است. همان طوری که ایرانشهر و سپهر (۹) گزارش دادند که با افزایش فسفر محلول کارایی مصرف فسفر ارقام گندم از ۰/۸۲ به ۰/۳۱ کاهش یافته است و رقم مغان کارایی مصرف فسفر بالاتری داشت. تلقیح ریزجانداران حل کننده فسفات کارایی مصرف فسفر را بطور معنی دار کاهش داد (جدول ۵) بطوری که در نتیجه تلقیح قارچ های حل کننده فسفات PUTE بطور متوسط به ۰/۳۱ گرم دانه بر میلی گرم فسفر، تلقیح باکتری ها به ۰/۳۸ و تلقیح توأم قارچ و باکتری به ۰/۴۳ گرم دانه بر میلی گرم فسفر کاهش یافت. در بین

ارقام مورد بررسی نیز اختلاف معنـی داری از لحـاظ کـارایی مصـرف فسـفر مشـاهده شـد (جـدول ۲) و ارقـام Yea-168 بـا ۰/۶۲ ، Denmark با ۰/۵۹ و لاین AltICB-98 با ۰/۵۸ کـارایی بـالایی در مصرف فسفر داشتند (جدول ۵).



شکل ۲- مقایسه تأثیر تیمارهای آزمایش بر کارایی جذب فسفر (PACE) ارقام مختلف جو (P0: تیمار شاهد، RP: سنگ فسفات،RP+B : سنگ فسفات با باکتری های حل کننده فسفات، RP+F: سنگ فسفات با قارچ های حل کننده فسفات،RP+BF: سنگ فسفات با قارچ و باکتری) حروف مشترک در هر نمودار نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بر اساس آزمونLSD در سطح ۵٪ می باشد)

Figure 2- Comparison of effects of treatments on P acquisition efficiency (P0: control, RP: phosphate rock, RP+F: RP inoculated with phosphate solubilizing fungi, RP+B: RP inoculated with phosphate solubilizing bacteria, RP+B+F: RP inoculated with both fungi and bacteria inoculums, and PS: soluble phosphate, the same letters are not significantly difference (P< 0.05)

جدول ۵- شاخص کارایی مصرف فسفر (g GDW/mg P) ارقام مختلف جو

Table 5- P acquisition efficiency (g GDW/mg P) of barley genotypes

ارقام Genotypes	تیمارها Treatments					
	PS	RP+F+B	RP+F	RP+B	RP	P0
Rihana-03	0.17	0.38	0.27	0.23	0.48	0.50
Dayto-Ranny	0.52	0.49	0.40	0.45	0.41	0.16
Yea-168	0.19	0.46	0.33	0.39	0.50	0.62
Denmark	0.16	0.51	0.38	0.40	0.52	0.59
Obruk-86	0.20	0.58	0.29	0.43	0.54	0.54
Diktoo	0.17	0.33	0.25	0.35	0.44	0.52
AltaICB-98	0.17	0.47	0.30	0.46	0.59	0.58
گاراآرپا	0.18	0.50	0.28	0.41	0.52	0.53
سهند	0.17	0.40	0.26	0.30	0.46	0.53
آبیدر	0.18	0.42	0.28	0.40	0.52	0.53
میانگین Average	0.18	0.43	0.31	0.38	0.51	0.55
LSD (برای تیمارها)	0.10	0.03	0.05	0.07	0.05	0.04
CV	33.6	4.1	10.2	11.4	5.8	5.0

P0: تیمار شاهد، RP: مصرف سنگ فسفات، RP+F: تلقیح با قارچ های حل کننده فسفات، RP+B: تلقیح با باکتری های حل کننده فسفات، RP+F+B: تلقیح توأم قارچ و باکتری و PS: مصرف فسفر محلول

P0: control, RP: phosphate rock, RP+F: RP inoculated with phosphate solubilizing fungi, RP+B: RP inoculated with phosphate solubilizing bacteria, RP+B+F: RP inoculated with both fungi and bacteria inoculums, and PS: soluble phosphate

در گزارش مشابه، مانسک و همکاران (۱۸) اظهار داشتند کارایی مصرف فسفر عامل توجیه کننده مقدار محصول یا عملکرد دانه ارقام گندم بهاره در محیط های رشد مختلف (خاک های اسیدی و آهکی مکزیک) می باشد. حسین (۸) با ارزیابی کارایی مصرف فسفر دو واریته ذرت گزارش کرد نحوه مصرف کود فسفره در کارایی مصرف فسفر ارقام ذرت مؤثر می باشد و مصرف فسفر به روش کود آبیاری کارایی مصرف فسفر را ۶/۹۸ ٪ نسبت به روش پخش سطحی افزایش داد.

شاخص فسفرکارایی (PE)

شاخص فسفرکارایی ارقام رشد کرده در شرایط محدودیت فراهمی فسفر بین ۰/۲۶ تا ۰/۸۷ متغیر بود و اختلاف معنی داری ($P<0.01$) بین ارقام از لحاظ فسفرکارایی مشاهده شد (جدول ۲) بطوری که در بین ارقام مورد بررسی ارقام Rihane-o3 و Obruk-86 فسفرکارایی بالایی داشتند (جدول ۶). در تیمارهایی که فسفر مورد نیاز از سنگ فسفات تأمین شد فسفرکارایی بطور میانگین ۰/۵۵ بدست آمد و رقم Rihane-o3 با ۰/۹۷ کاراترین رقم بود. تلقیح با ریزجانداران حل کننده فسفات سبب افزایش معنی دار در شاخص فسفرکارایی شد اما نقش قارچ های حل کننده فسفات در افزایش PE بیشتر بود و PE را بطور متوسط به ۰/۷۴ افزایش دادند که اهمیت ریزجانداران حل کننده فسفات در افزایش جذب و مصرف فسفر بومی خاک یا فسفر اضافه شده به خاک را به اثبات می رساند.

در حضور ریزجانداران حل کننده فسفات ارقام Rihane-03 و Diktoo فسفرکارایی بالایی داشتند که می توان به برقراری روابط سینرژیستی با ریزجانداران نسبت داد. فسفر کارایی پدیده ای پیچیده است که تحت تاثیر مکانیسم های گیاهی دخیل در جذب فسفر از خاک و مصرف فسفر در سطح متابولیسم سلولی می باشد که تحت تأثیر عوامل متعدد محیطی و گیاهی می باشد.

گاهونیا و همکاران (۶) با ارزیابی فسفرکارایی ارقام گندم و جو بهاره و زمستانه گزارش دادند که اختلاف فسفرکارایی ارقام به طول تارهای ریشه و ترشحات ریشه ارقام مختلف مربوط است. آسبورن (۲۰) با ارزیابی فسفرکارایی ۲۰ رقم گندم در استفاده از منبع آلی و معدنی فسفر، گزارش داد که ارقام گندم در استفاده از منبع فسفات آهن کاراتر از منبع فیتات می باشند بعبارتی نوع منبع فسفر نیز فسفرکارایی ارقام را تحت تأثیر قرار می دهد.

نتیجه گیری

بطور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تیمارهای تلقیح میکروبی نقش موثری بر عملکرد دانه و کارایی جذب و مصرف فسفر داشتند بطوریکه تلقیح قارچی عملکرد دانه را نسبت به شرایط محدودیت فسفر ۷۹/۵ ٪ افزایش داد و کارایی جذب فسفر را از ۰/۱۸ به ۰/۶۵ و شاخص فسفرکارایی را از ۰/۴۹ به ۰/۷۴ افزایش داد.

جدول ٦- شاخص فسفر کارایی (PE) ارقام جو مورد مطالعه

Table 6- P efficiency (PE) of barley genotypes

	تیمارها Treatments				
ارقام جو	P0	RP	RP+B	RP+F	RP+B+F
Rihana-03	0.84	0.97	1.15	1.13	0.98
Dayton-Ranny	0.36	0.45	0.35	0.44	0.44
Yea-168	0.35	0.46	0.17	0.57	0.44
Denmark	0.27	0.54	0.77	0.63	0.75
Obruk-86	0.78	0.61	0.64	0.61	1.0
Diktoo	0.64	0.81	1.08	1.17	0.9
AltaICB-98	0.53	0.43	0.63	0.82	0.83
گاراآرپا	0.26	0.35	0.60	0.62	0.39
سهند	0.37	0.44	0.72	0.77	0.61
آبیدر	0.36	0.42	0.27	0.58	0.55
میانگین Average	0.49	0.55	0.65	0.74	0.69
LSD(برای تیمارها)	0.05	0.02	0.09	0.05	0.09
CV	6.2	25	8.5	4.5	7.9

در بین ارقام جو مورد مطالعه نیز از لحاظ کارایی جذب و مصرف فسفر اختلاف معنی داری مشاهده شد بطوریکه در شرایط کمبود فسفر رقم Rihane-03 کاراترین رقم در جذب فسفر و رقم Yea-168 کاراترین رقم در مصرف فسفر بدست آمد. با توجه به توانایی ریزجانداران حل کننده فسفات در افزایش کارایی گیاهان در جذب فسفر انباشت شده در خاک، گزینش گیاهان فسفرکارا و مصرف مایه تلقیح ریزجانداران حل کننده فسفات می تواند به عنوان یک روش عملی، نقش مهمی در کاهش مصرف کودهای شیمیایی و خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف زیادی این کودها داشته باشد.

منابع

1- Batten G.D. 1992. A review of phosphorus efficiency in wheat, Plant Soil, 146: 163-168.
2- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil, Agronomy Journal, 54: 464-465.
3- Ekin Z. 2011. Performance of phosphate solubilizing bacteria for improving growth and yield of sunflower (Helianthus annuus L.) in the presence of phosphorus fertilizer, African Journal of Biotechnology, 9(25): 3794-3800.
4- Eftekhari1 S.A., Ardakani1 M.R. Paknejad F. R., 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.
5- Fita A., and Nuez F. 2011. Diversity in root architecture and response to P deficiency in seedlings of Cucumis melo L. Euphytica, 181(3): 323-339.
6- Gahoonia T.S., and Nielsen N.E. 1996.Variation in acquisition of soil P among wheat and barley genotypes, Plant Soil,178: 223-230.
7- Gahoonia T S., Nielsen N. E., and Lyshede O. B. 1999. Phosphorus (P) acquisition of cereal cultivars in the field at three levels of P fertilization. Plant Soil. 211: 269–281.
8- Hussein A.H.A. 2009. Phosphorus use efficiency by two varieties of corn at different phosphorus fertilizer application rates, Research Journal of Application Sciences, 4 (2): 85-93.
9- Iranshahr E., and Sepehr E. 2012. Evaluation of phosphorus acquisition and utilization efficiency of wheat genotypes in rock phosphate, Journal of Water and Soil, 26(4):968-978. (in Persian with English abstract)
10- Jones D.L., and Darrah P. R. 1996. Critical-evaluation of organic acid mediated iron dissolution in the rhizosphere and its potential role in root iron uptake, Plant Soil, 180: 57-66.
11- Jutur P. P., and Reddy A.R. 2007. Isolation, purification and properties of new restriction endonucleases from *Bacillus badius* and *Bacillus lentus*, Research in Microbiology, 162: 378-383.
12- Kang S. C., Hat C. G., Lee T. G., and Maheshwari D. K. 2002. Solubiliztion of insolubleinorganic phosphates by a

soil-inhabiting fungus *Fomitopsis sp.* PS 102. Current Science. 82:439-442.
13- Khorassani R. 2010. Phosphorus uptake efficiency in corn, sugar beet and groundnut, Journal of Water and Soil, 24(1): 180-188. (in Persian with English abstract)
14- Kim K. Y., McDonald G. A., and Jordan D. 1998. Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. Biology and Fertility of Soils. 26: 79-87.
15- Krasilnikoff G., Gahoonia T., and Nielsen N.E. 2003. Variation in phosphorus uptake efficiency by genotypes of cowpea (*Vigna unguiculata*) due to differences in root and root hair length and induced rhizosphere processes. Plant Soil. 251: 83-91.
16- Kucey R. M. N. 1983. Phosphate solubilizing bacteria and fungi in various cultivatedand virgin alberta soils. Canadian journal of Soil Science. 63: 671-678.
17- Lin ZH. L.S., Chen RB., Chen F.Z., Zhang H.X., Jiang N., Tang B.R., and Smith. 2011. Root release and metabolism of organic acids in tea plants in reponse to phosphorus supply. Journal of Plant Physiology. 168:644-652.
18- Manske G.G.B., Ortiz-Monasterio J.I., Van Ginkel M., Gonzalez R.M., Rajaram S., Molina E., and Vlek P.L.G. 2001. Importance of P uptake efficiency versus P utilization for wheat yield in acid and calcareous soils in Mexico. European Journal Agriculture. 14: 261-274.
19- Marschner P., Solaiman Z., and Rengel Z. 2006. Brassica genotypes differ in growth, phosphorus uptake and rhizosphere properties under P-limiting conditions. Soil Biology & Biochemistry. 39: 87-98.
20- Osborne L. D., and Rengel Z. 2002. Screening cereals for genotypic variation in efficiency of phosphorus uptake and utilization. Australian Journal of Agricultural Research. 53: 295–303.
21- Ozturk L. S., Eker B., Torun., and Cakmak I. 2005. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. Plant Soil. 269: 69–80.
22- Rudresh D.L., Shivaprakash M.K., and Prasad R.D. 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichodermaspp*. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.).Applied Soil Ecology. 28: 139-146.
23- Sattar M.A., and Gaur A.C. 1987. Production of auxins and gibberellins by phosphate dissolving microorganisms. Zentralbl Mikrobiol. 142:393-395.
24- 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, TsinghuaUniversity Press. Beijing, China.
25- Shiranirad. A.H., Hashemi dezfoli. A and Alizade. A.A. 2000. The study of Vesicular-Arbuscular- Mycorrizae Fungi, Phosphorus and drought stress effects on nutrient uptake efficiency in wheat. Seed and Plant Improvement Journal. 16(3): 327-349.
26- Siddiqui Z. A., and Pichtel J. 2008. Mycorrhizae: an overview. P. 1–35. In: Z.A. Siddiqui et al., (Eds) Mycorrhizae: Sustainable agriculture and forestry. Springer Science+ Business Media B.V.
27- Sepehr E., Malakouti M.J., Kholdebarin B., Samadi A., and Karimian N. 2009. Genotypics variation in P efficiency of selected Iranian cereals in greenhouse experiment. International Journal of Agronomy & Plant Production. 3: 17-28.
28- Vance C.P., Uhde-Stone C., and Allan D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource.New Phytologist 157: 423–447.
29- Westerman R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. 3rd edition. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
30- Yan X. 2005. The roots of phosphorus- efficient soybean: theories and practices. In: Li, C. Y. (Ed.), Plant nutrition for food security, human health and environmental protection, Tsinghua University Press. Beijing, China. 36-37.

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 6, Jan.-Feb. 2016, p. 1481-1492

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۶، بهمن –اسفند ۱۳۹۴، ص. ۱۴۹۲-۱۴۸۱

Effect of Microbial Inoculation on Phosphorus Efficiency (PE) of Different Genotypes of Barley

R. Mosavi[1] - E. Sepehr*[2]- A. Samadi[3]– M.H. Rasouli Sadaghiani[4]- B. Sadeghzade[5]

Received: 26-08-2013

Accepted: 04-07-2015

Introduction: Phosphorus (P) is regarded as the most important soil nutrient after nitrogen (N) for plant growth and development as it plays key roles in plant metabolism, structure and energy transformation. Also, although soil P is often abundant in both organic and inorganic forms, it is frequently a major or even the prime limiting factor for plant growth. Low phosphorus (P) availability is a major global global constraint to crop production. In most soils, soil and fertilizer P are easily bound by either soil organic matter or chemicals, and thus are unavailable to plants unless hydrolyzed to release inorganic phosphate. Phosphorus efficient plants play a major role in increasing crop yields due to shortage of inorganic P fertilizer resources, limited land and water resources, and increasing environmental concerns. Therefore, the development of P-efficient crop varieties that can grow and yield better with low P supply is a key for improving crop production. Enhancing P efficiency in plants can be achieved through enhancing P acquisition, utilization, or both.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of microbial inoculation on phosphorus efficiency of different genotypes of barley, a glasshouse factorial experiment was conducted in a completely randomized block design with 10 barley genotypes and different phosphorus (P) treatments including control (P0), phosphate rock (RP), RP inoculated with phosphate solubilizing fungi (RP+F), RP inoculated with phosphate solubilizing bacteria (RP+B), RP inoculated with both fungi and bacteria inoculums (RP+B+F), and soluble phosphate (PS) in three replications. After sieving (2 mm sieve), and, air - drying of soil samples, basal nutrients mixed thoroughly at the following soil test results. Then, soils placed in plastic pots (3 kg). The P treatments as (KH2PO4 and Rock Phosphate) 80 mg kg-1 soil added at the depth of 5-cm of soil. After 9 weeks the plants were harvested, grain dry weight (GDW) and grain P concentration measured and then content P (TP), P efficiency (PE), P acquisition efficiency (PACE) and P utilization efficiency (PUTE) were calculated.

Results and Discussion: The results indicated that microbial inoculation had significant effect ($P < 0.01$) on grain yield, grain P concentration and Phosphorus efficiency, as on average TP increased from 9.5 g pot $^{-1}$ in RP treatment to 16.4 g pot^{-1} in (RP+ B), to 22.8 g pot^{-1} in (RP+ F) and to 13.6 g pot $^{-1}$ in (RP+B+F). PE increased from 0.49 in control to 0.74 in (RP+F), to 0.65 in (RP+B) and to 0.69 in (RP+B+F). There was significant difference between microbial treatments for PACE. It increased from 0.18 in control to 0.65 in (RP+F), to 0.47 in (RP+B) and to 0.40 in (RP+B+F). Compared with control treatment PACE increased by 2.5 times in (RP+ F), 1.6 times in (RP+ B) and 1.2 times in (RP+B+F). PUTE reduced significantly with increasing the P supply. On the average, the highest PUTE obtained in P0 treatment (0.55 g GDW/mg P) and reduced to 0.18 (g GDW/mg P) in (PS), to 0.31 (g GDW/mg P) in (RP +F), to 0.38 (g GDW/mg P) in (RP +B) and to 0.43 (g GDW/mg P) in (RP +B+F). There was no significant difference between P0 and RP treatments in PUTE. The barley genotypes showed significant differences ($P<0.01$) in yield parameters and P efficiency indices. In control treatment (P0), Obruk with 5.1 g pot^{-1} and Denmark with 2.5 g pot^{-1} had the highest and the lowest GDW; in microbial treatments, Sahand, Obruk, Gara-arpa and Rihane-03 had the highest TP. Rihane-03 and Diktoo had the highest PACE. Sahand and Abidar had the lowest PACE among the barley genotypes in control treatment (P0). In the (RP+F) treatment, PACE varied from 0.27 for Denmark to 2.23 for Obruk. In P0 treatment, Yea-168, Denmark and AltICB-98 were more efficient in P utilization and Dayton-Ranny, Obruk-68 and AltICB-98 were more efficient in P utilization than other genotypes in microbial treatments.

Conclusions: This study provides estimates of efficiency of different genotypes of barely. According to the results, Phosphate-solubilizing microorganisms were very effective to increasing the plant available P in soil as

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Collegian, Assosiate Professor, Professor and Assosiate Professor of Soil Science Deptartmant, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Respectively
(*-Corresponding Author Email: e.sepehr@urmia.ac.ir)
5-Assistant Professor of System of Researches, Education and Agriculture Extension of Dame Firm, Marraghe, Iran

well as the growth and P efficiency of crops. Then, it was concluded that screening P-efficient varieties along with inoculation by phosphate-solubilizing microorganisms can be reduced application of the chemical fertilizers due to increasing P absorption from phosphate rock and insoluble forms of P in soil.

Keywords: Barley, Phosphorus Efficiency, Phosphate Rock, Phosphate-Solubilizing Microorganisms