

بررسی فسفر کارایی ارقام مختلف جو در حضور ریزجانداران حل‌کننده سنگ فسفات

رقیه موسوی^{۱*} و ابراهیم سپهر^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۰

چکیده

به منظور بررسی فسفر کارایی ارقام جو در حضور ریزجانداران حل‌کننده فسفات، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و سه تکرار با ۱۰ رقم جو ایرانی و خارجی اجرا گردید. در این آزمایش، تأثیر تیمارهای مختلف کود فسفره شامل تیمار شاهد (P0)، مصرف سنگ فسفات (RP)، مصرف سنگ فسفات همراه با قارچ‌های حل‌کننده فسفات (RP+F)، مصرف سنگ فسفات همراه با باکتری‌های حل‌کننده فسفات (RP+B)، مصرف سنگ فسفات همراه با مخلوط قارچ و باکتری (RP+B+F) و مصرف فسفر محلول (PS) مورد بررسی قرار گرفت. بعد از ۹ هفته، بوته‌های گیاهی برداشت و وزن خشک اندام هوایی و میزان فسفر آنها اندازه‌گیری گردید و سپس شاخص‌های فسفر کارایی (PE) محاسبه شد. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های جو اختلاف معنی‌داری ($P < 0.01$) در وزن خشک شاخساره، غلظت و مقدار فسفر جذب شده، کارایی جذب (PACE) و مصرف فسفر (PUTE) داشتند. به طوری که در شرایط کمبود فسفر، رقم گاراآریا و لاین AltICB-98 بیشترین و رقم Rihane-03 کمترین ماده خشک را تولید کردند. تلقیح با ریزجانداران حل‌کننده فسفات، پارامترهای رشد و کارایی جذب فسفر را به طور معنی‌داری افزایش داد و در این میان قارچ‌ها مؤثرتر از باکتری‌ها و تلقیح توأم قارچ و باکتری عمل کردند. با تلقیح قارچ‌ها، به طور میانگین غلظت فسفر در شاخساره از ۱/۵۸ به ۲/۹ میلی‌گرم در گرم، کارایی جذب از ۰/۱۲ به ۰/۲۷ و شاخص فسفر کارایی از ۰/۴۰ به ۰/۶۹ افزایش یافت. در میان ارقام مورد بررسی، رقم Yea-168 کارا در جذب، رقم سهند کارا در مصرف فسفر و رقم گاراآریا و لاین AltICB-98 هم کارا در جذب و هم کارا در مصرف به دست آمد. بنابراین، با انتخاب ارقام فسفر کارا و استفاده از ریزجانداران حل‌کننده فسفات می‌توان جذب فسفر را از منابع سنگ فسفات و شکل‌های نامحلول آن در خاک افزایش و مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: تلقیح، جذب فسفر، مصرف فسفر

مقدمه

یا تغییر شکل یافته و به شکل غیر قابل جذب در می‌آید (۳۵). این در حالی است که پیش‌بینی می‌شود منابع سهل‌الوصول کودهای فسفاته در دنیا رو به کاهش است و طی ۷۰-۸۰ سال آینده به اتمام می‌رسد (۳۵). از طرفی، مشکلات زیست‌محیطی از قبیل پدیده یوتریفیکاسیون (ورود ذرات خاک حاوی فسفر زیاد به آب‌های سطحی) به دلیل مصرف بی‌رویه کودهای

فسفر یکی از مهمترین عناصر تغذیه‌ای برای گیاه می‌باشد که پس از نیتروژن بیشترین مصرف کود را در کشاورزی دارد. اما مطالعات نشان داده است که به دلیل پیچیدگی خاصیت شیمیایی فسفر در خاک‌های آهکی و اسیدی، کمتر از ۲۰٪ کود فسفره مصرفی توسط گیاه برداشت می‌شود و بقیه آن در خاک تثبیت و

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: roghayemosavi@yahoo.com

استفاده از ریزجانداران خاک‌زی که توانایی انحلال فسفات‌های نامحلول آلی و معدنی و تبدیل آنها به فسفر محلول را دارند، یکی از راهکارهای مؤثر برای افزایش قابلیت جذب فسفر در خاک است (۱). به‌طوری‌که تلقیح ریزجانداران حل‌کننده فسفات بر سنگ فسفات یا مصرف سنگ فسفات در محیط کشت مایع شناور این ریزجانداران می‌تواند راهکار بهتری جهت غلبه بر مشکل حلالیت کم سنگ فسفات باشد (۱۷). ریزجانداران حل‌کننده فسفات گروهی از ریزموجودات خاک‌زی هستند که به‌عنوان اجزای مکمل چرخه فسفر قادرند از طریق مکانیسم‌های مختلف فسفر را از منابع نامحلول آزاد کنند (۲). باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفر و قارچ‌های حل‌کننده فسفات از جمله ریزجانداران مؤثر در این فرآیند می‌باشند (۳۲). امروزه ریزجانداران حل‌کننده فسفات در سطوح وسیع به‌عنوان کود زیستی به منظور افزایش تولید و حفظ سلامت خاک استفاده می‌شوند (۲۲). گونه‌هایی از ریزجانداران که قادر به رهاسازی فسفر از منابع نامحلول هستند شامل باسیلوس، سودوموناس، پنی‌سیلیوم و اسپرژیلوس می‌باشند. ریزجانداران حل‌کننده فسفات با تولید اسیدهای معدنی (اسید کربنیک و سولفوریک)، اسیدهای آلی (سیتریک، بوتیریک، آگزالیک، مالونیک، لاکتیک و غیره) و تولید آنزیم فسفاتاز باعث انحلال فسفات معدنی و آلی می‌شوند (۲۴ و ۳۴). گزارش شده که تعداد باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفات بیشتر به نوع کشت و نوع خاک (ترکیب فیزیکی خاک، مقدار هوموس و فسفر خاک) بستگی دارد. باکتری‌های سودوموناس پتانسیل قابل توجهی در بهبود کارایی جذب فسفر از خودشان نشان داده و به‌علت وسعت انتشار، تنوع گونه‌ای و متحمل بودن برخی گونه‌های آنها به تنش‌های محیطی، توانسته‌اند از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای در تولید کودهای بیولوژیک برخوردار باشند.

با وجود آن‌که تحقیقات گسترده‌ای در رابطه با توانایی قارچ‌ها و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در افزایش حلالیت و فراهمی فسفر برای گیاهان صورت گرفته است، اما اطلاعات محدودی در رابطه با تأثیر قارچ‌ها و باکتری‌های حل‌کننده

فسفر، افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و در نتیجه افزایش قیمت کودها و به تبع آن افزایش هزینه‌های تولید مزید بر علت می‌باشد و محققین را بر آن داشته تا به منظور افزایش کارایی کودهای فسفاته، راهکارهایی ارائه نمایند که از آن جمله می‌توان به استفاده از پتانسیل ژنتیکی گیاهان (ارقام فسفرکارا) و استفاده از ریزموجودات حل‌کننده فسفات (PSMs) به همراه مقادیر متعادلی از کود فسفره محلول و یا سنگ فسفات برای افزایش رشد و جذب عناصر غذایی اشاره نمود.

توانایی ژنوتیپ‌های مختلف گیاهی در جذب فسفر انباشته شده در خاک و مصرف فسفر متفاوت می‌باشد. اختلاف در عکس‌العمل ژنوتیپ‌های مختلف تحت تنش عناصر غذایی ممکن است با ویژگی‌های مورفولوژی ریشه، کارایی مکانیسم جذب یون، حرکت عناصر غذایی از ریشه و رهایی در آوندها و مصرف عناصر غذایی در متابولیسم و فرآیندهای رشد مربوط باشد (۱۸ و ۱۹). مطالعات نشان داده‌اند که گیاهان فسفرکارا نظیر خربزه (۱۵)، جو (۱۹)، چای (۲۵)، لوبیای چشم بلبلی (۲۳) و گندم (۷) از طریق ترشح مقادیر زیادی اسیدهای آلی، باعث افزایش حلالیت فسفات‌های کم‌محلول از قبیل فسفات کلسیم می‌شوند (۲۴). در این ارتباط، گاهونیا و همکاران (۱۹) مشاهده کردند که توانایی رقم جو زمستانه مارینکا در جذب فسفر نامحلول خاک تقریباً دو برابر بیشتر از رقم سونات بود که این امر به ترشح اسیدهای آلی، به‌ویژه اسید سیتریک، از ریشه رقم مارینکا نسبت داده شد. انتخاب ارقام گیاهی کارا در تجمع زیست توده در شرایط کمبود فسفر راهکار مهمی برای نواحی با نهادهای شیمیایی کم می‌باشد. بنابراین، گسترش ارقام زراعی که بتوانند شکل‌های تثبیت شده فسفر خاک را به‌طور مؤثر مصرف کنند می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های تولید، ایجاد سیستم‌های زراعی پایدار و حفظ سلامت محیط زیست گردد.

در خاک‌های آهکی ایران که در اقلیم خشک و نیمه خشک تحول پیدا کرده‌اند، فسفر به مقدار زیادی به‌وسیله واکنش‌های جذب و رسوب در سطوح کانی‌های کربناتی ابقا می‌شود (۱۱). ابقای فسفر در خاک‌های آهکی بسیار مشکل‌ساز می‌باشد.

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

Cu	Mn	Zn	Fe	K _{ava}	P _{ava}	Ca	Mg	SP	OC	EC	pH	
←-----→						←-----→		←-----→				
						mg/kg		meq/L %		ds/m		
۰/۳۰	۰/۵۶	۰/۵	۳/۷۲	۱۱۴	۳/۵	۲/۰	۱۱/۶	۴۶	۰/۵۲	۰/۹۷	۷/۵	خاک
۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۳۲	۶/۰	۴۶	۲/۵	۰/۸	۶/۷	۳۰	۰/۱۲	۰/۶۰	۷/۳	شن

مورد بررسی قرار گرفت. جهت تهیه مایه تلقیح حل کننده‌های فسفات، از مخلوطی از باکتری‌های حل کننده فسفات (باسیلوس و سودوموناس شامل سویه‌های سفید، غیرسفید و تکمه‌چی) و از مخلوطی از قارچ‌های حل کننده فسفات (آسپرژیلوس، پنی‌سیلیوم و تریکودرما) استفاده شد. بعد از عبور خاک مورد نظر از الک ۲ میلی متری، براساس آزمون خاک، عناصر غذایی مورد نیاز شامل ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم نیتروژن و پتاسیم به ترتیب از منبع اوره و سولفات پتاسیم، ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم از هر یک از ریزمغذی‌های منگنز، روی و آهن به ترتیب از منبع سولفات منیزیم، سولفات روی و سکوسترین آهن ۶/۲ میلی گرم در کیلوگرم مس از منبع سولفات مس و ۱ میلی گرم در کیلوگرم بر از منبع اسید بوریک، قبل از کشت به طور یکسان به تمامی گلدان‌ها اضافه شد. برای اعمال تیمار مصرف فسفر محلول، از مقدار ۸۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک از منبع مونوفسفات پتاسیم استفاده شد که بعد از قرارگیری خاک در تراکم مناسب در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی به صورت دستی اضافه شد. سپس، بذرها در عمق ۵ سانتی متری قرار داده شدند. براساس کمیت فسفر مصرفی از منبع فسفات پتاسیم، از سنگ فسفات 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 به مدت 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 شدند. 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

فسفات بر فسفرکارایی ارقام گیاهی 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، به ویژه در خاک‌های با فسفر قابل دسترس کم، در این مطالعه، فسفرکارایی ترکیبی از ارقام جو ایرانی و خارجی با تفاوت‌های ژنوتیپی گسترده، در حضور قارچ‌ها و باکتری‌های حل کننده سنگ فسفات، بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۱ در گلخانه دانشگاه ارومیه اجرا گردید. بدین منظور از نسبت ۱ به ۱ شن و خاک با فسفر قابل دسترس کم (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 سانتی متری و شن مورد استفاده از رودخانه نازلو تهیه گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش، تأثیر تیمارهای مختلف کودی شامل تیمار شاهد (P0)، مصرف سنگ فسفات (RP)، مصرف سنگ فسفات همراه با باکتری‌های حل کننده فسفات (RP+B)، مصرف سنگ فسفات همراه با قارچ‌های حل کننده فسفات (RP+F)، مصرف سنگ فسفات همراه با مخلوطی از هر دو ریزجاندار (RP+B+F) و مصرف فسفر محلول (PS) بر فسفرکارایی ترکیبی از ارقام ایرانی جو شامل گاراآرپا، سهند و آبیدر و ارقام خارجی جو شامل Obruk-، Yea-168، Denmark، Dayton-Ranny، Rihane-03، 86، Diktoo و لاین AltICB-98 با تفاوت‌های ژنوتیپی گسترده

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس پارامترهای رشد اندازه‌گیری شده و شاخص‌های کارایی محاسبه شده

میانگین مربعات (MS)							
PE	PACE	PUTE	SDW	PC	TP	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۴/۹*	۰/۰۰۲**	۰/۱۱ ^{ns}	۲	بلوک (تکرار)
۰/۱۷**	۰/۰۱۳**	۰/۰۳**	۷۶/۶**	۰/۰۰۲**	۳/۸۶**	۹	واریته
۰/۳۹**	۰/۰۰۷**	۰/۵۴**	۱۴۶۳*	۰/۰۶**	۱۳۴**	۵	تیمار
۰/۰۳**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۹**	۳۰/۴**	۰/۰۰۰۸*	۳/۳۶*	۴۵	واریته × تیمار
۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۱/۷۳	۰/۰۰۰۱	۰/۲۶	۱۱۸	خطا (E)
۳۱/۰	۱۳/۷	۳۱/۵	۹/۴	۷/۷	۴/۴		ضریب تغییرات (%)

SDW، PC و TP: به ترتیب عملکرد شاخساره، غلظت فسفر شاخساره و مقدار فسفر شاخساره، PUTE، کارایی مصرف فسفر و PACE کارایی جذب فسفر است. **، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار.

کلیه نتایج براساس موازین آماری مربوطه با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل و نمودارها در برنامه Excel تهیه گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف بین تیمارهای آزمایشی در غلظت و مقدار فسفر کل در شاخساره و شاخص‌های کارایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود و از لحاظ عملکرد شاخساره در سطح ۵٪ معنی‌دار بود و اختلاف بین واریته‌ها از لحاظ پارامترهای اندازه‌گیری شده و شاخص‌های محاسبه شده در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲).

تأثیر ریزجانداران حل‌کننده فسفات بر عملکرد و میزان فسفر شاخساره

در بین ارقام مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری از لحاظ عملکرد شاخساره، غلظت و مقدار فسفر کل ($P < 0.01$) مشاهده شد. به طوری که در شرایط محدودیت فراهمی فسفر، رقم گاراآرپا و لاین AltICB-98 با ۳/۰ گرم بیشترین و ارقام Rihane-03 و Denmark با ۱/۹ گرم کمترین ماده خشک را تولید کردند (شکل ۱). تلقیح با ریزجانداران حل‌کننده فسفات پارامترهای مذکور را به طور معنی‌داری افزایش داد. به طوری که تلقیح با

نمونه‌ها در شرایط یکسان رشد کردند. بعد از ۹ هفته، بوته‌ها برداشت شدند و بعد از خشک شدن در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت، وزن خشک شاخساره و غلظت فسفر در شاخساره (به روش رنگ‌سنجی) اندازه‌گیری شد.

مقدار فسفر کل (TP) از حاصل ضرب غلظت فسفر (PC) در وزن خشک شاخساره (SDW) به دست آمد:

$$TP = SDW \times PC \quad [1]$$

برای حذف نقش پتانسیل ژنتیکی ارقام در میزان فسفر جذب شده، از اصطلاح جذب نسبی فسفر به عنوان شاخص کارایی جذب فسفر (PACE) استفاده گردید (۳۳):

$$PACE = [TP \text{ in } P_0 / TP \text{ in } P_{80}] \quad [2]$$

کارایی مصرف فسفر (PUTE) که بیانگر تولید ماده خشک به ازای واحد فسفر جذب شده می‌باشد از رابطه زیر به دست آمد (۳۳):

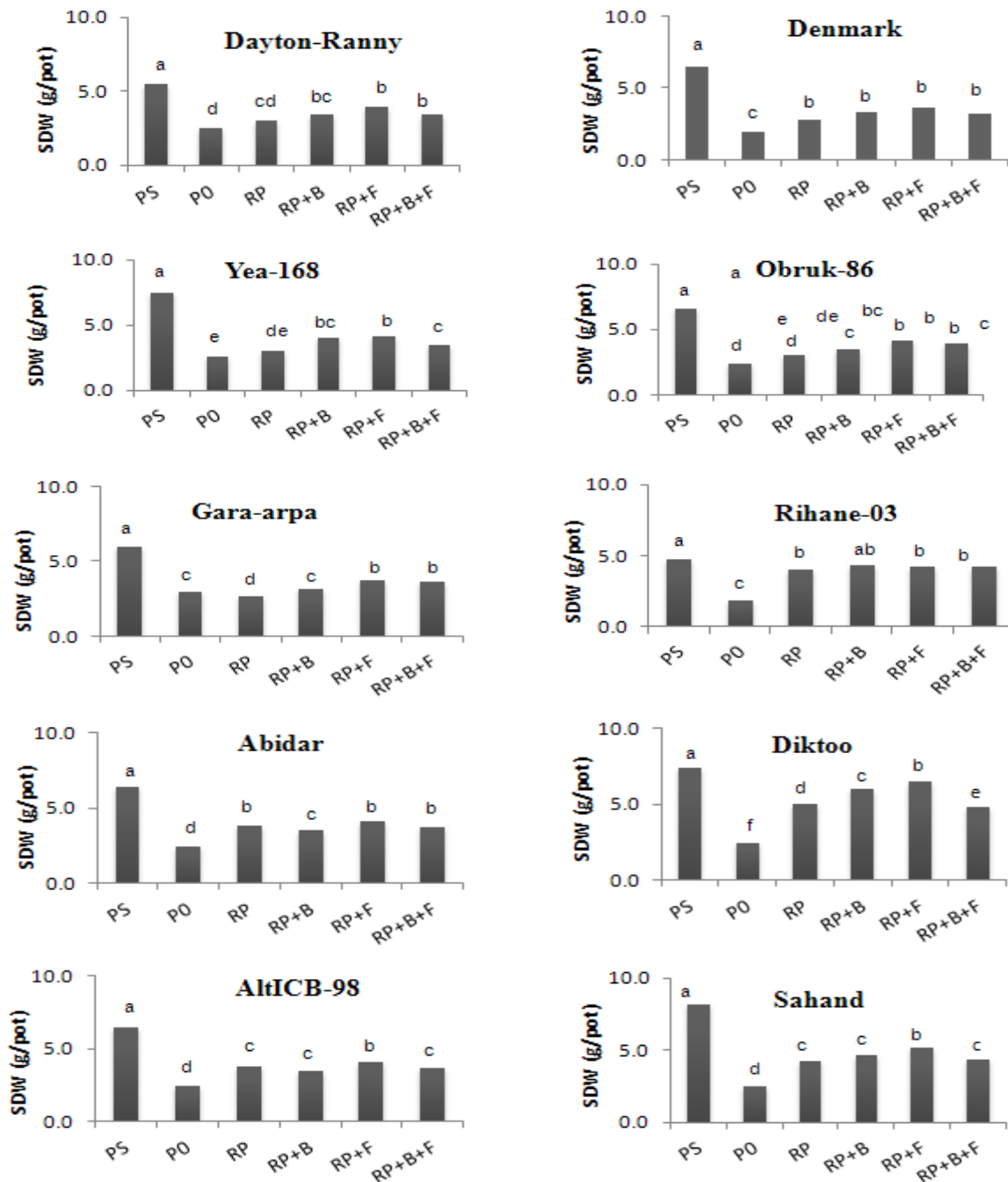
$$PUTE = SDW / TP \quad [3]$$

فسفرکارایی (PE) از نسبت ماده خشک ارقام در شرایط محدودیت فسفر به مقدار آن در شرایط فراهمی فسفر محاسبه گردید (۳۳):

$$PE = [SDW \text{ in } P_0 / SDW \text{ in } P_{80}] \quad [4]$$

کارایی محاسبه شده (CPE) از حاصل ضرب کارایی جذب و مصرف فسفر تعیین گردید (۳۳):

$$CPE = PACE \times PUTE \quad [5]$$



شکل ۱. تأثیر تیمارهای آزمایش (PS مصرف فسفر محلول، P0 تیمار شاهد، RP سنگ فسفات، RP+B سنگ فسفات با باکتری‌های حل کننده فسفات، RP+F سنگ فسفات با قارچ‌های حل کننده فسفات و RP+B+F سنگ فسفات با قارچ و باکتری) بر عملکرد شاخساره (SDW) ارقام جو. حروف مشترک در هر قسمت از شکل نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشند.

مصرف سنگ فسفات بدون مایه تلقیح ریزجانداران حل کننده فسفات از لحاظ عملکرد شاخساره در سطح آماری یکسان قرار گرفتند. در این شرایط، ارقام سهند و Diktoo از لحاظ تولید

باکتری‌های حل کننده فسفات به‌طور میانگین عملکرد شاخساره را از ۲/۵ به ۴/۰ گرم و تلقیح با قارچ‌های حل کننده فسفات به ۴/۴ گرم افزایش دادند و تیمارهای تلقیح توأم قارچ و باکتری و

قارچ‌ها و باکتری‌های حل‌کننده فسفات به ترتیب به ۱/۰/۹، ۸/۷ و ۸/۹ میلی‌گرم در گلدان افزایش یافت. نتایج به‌دست آمده در این آزمایش با نتایج مطالعات بسیار در این زمینه مطابقت می‌نماید (۴، ۹ و ۱۰). در مطالعات مشابه که به بررسی مقدار فسفر کل ارقام غلات اختصاص داشت، اختلاف در محتوای فسفر کل ارقام به اندازه ریشه، مورفولوژی ریشه و تغییرات ریزوسفر ریشه و جنس‌های *Pseudomonase* ارتباط داده شد (۶ و ۳۱).

افزایش عملکرد گیاه در نتیجه تلقیح خاک یا بذر با ریزجانداران حل‌کننده فسفات به توانایی این موجودات در افزایش تحرک و انحلال فسفر تثبیت شده یا اضافه شده به خاک از طریق کودهای شیمیایی مربوط می‌باشد و علاوه بر افزایش قابلیت جذب فسفات نامحلول خاک، از طریق ترشح هورمون‌ها و فاکتورهای تحریک‌کننده رشد گیاه بر رشد و نمو گیاهان تأثیر می‌گذارند (۹). در این مطالعه، قارچ‌های حل‌کننده فسفات در افزایش صفات اندازه‌گیری شده مؤثرتر از باکتری‌های حل‌کننده فسفات بودند، که با نتایج علیمددی و همکاران (۴) مطابقت دارد.

تأثیر ریزجانداران حل‌کننده فسفات بر شاخص‌های فسفر کارایی

کارایی جذب فسفر (PACE)

در بین ارقام جو مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری ($P < 0.01$) از لحاظ کارایی جذب فسفر وجود داشت (جدول ۳). به‌طوری‌که در شرایط محدودیت فراهمی فسفر، رقم گاراآرپا با ۰/۲۰ و رقم Yea-168 با ۰/۱۶ توانایی بالایی در جذب فسفر داشتند. متوسط شاخص کارایی جذب فسفر در شرایط مصرف سنگ فسفات ۰/۱۶ بود که تلقیح با قارچ‌های حل‌کننده فسفات به ۰/۲۷، باکتری‌های حل‌کننده فسفات به ۰/۲۱ و در تلقیح توأم هر دو ریزجاندار به ۰/۲۰ افزایش یافت و در این شرایط، رقم Rihane-03 و لاین AltICB-98 کارایی بالایی در جذب فسفر داشتند (جدول ۴). در تحقیقی مشابه، افتخاری و همکاران (۱۰)

ماده خشک برترین بودند. اندازه‌گیری فسفر موجود در بخش هوایی ارقام جو نشان داد که تلقیح با قارچ‌ها و باکتری‌های حل‌کننده فسفات این پارامتر را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. تلقیح با قارچ‌ها غلظت فسفر را به‌طور میانگین به ۲/۹ میلی‌گرم در گرم، تلقیح با باکتری‌ها به ۲/۵ میلی‌گرم در گرم و تلقیح توأم هر دو ریزجاندار به ۲/۶ میلی‌گرم در گرم افزایش دادند (جدول ۳). در بین ارقام مورد بررسی، تنوع ژنتیکی ارقام غلظت فسفر در شاخساره را تحت تأثیر قرار داد. به‌طوری‌که در شرایط کمبود فسفر، غلظت فسفر در بخش هوایی تمام ارقام خارجی بیشتر از حد متوسط (۱/۵۸ میلی‌گرم در گرم) به‌دست آمد و رقم Yea-168 با ۲/۲ میلی‌گرم در گرم بیشترین غلظت فسفر را به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده توانایی زیاد سیستم ریشه این رقم در جذب فسفر و تجمع آن در شاخساره خود می‌باشد. در شرایط محدودیت فسفر، رقم گاراآرپا و لاین AltICB-98 به ترتیب با ۱/۶ و ۱/۴ میلی‌گرم فسفر ماده خشک بیشتری تولید کردند که نشان می‌دهد این ارقام در شرایط محدودیت می‌توانند فسفر را بهتر در بافت‌های خود مصرف کنند. در حالی‌که در تیمار مصرف سنگ فسفات، ارقام Diktoo، سهند و Rihane-03 ماده خشک بیشتری تولید کردند که گویای توانایی این ارقام در جذب فسفر از منابع کم‌محلول فسفر می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محتوای فسفر کل تحت تأثیر تنوع ژنتیکی ارقام و تیمارهای آزمایش قرار گرفت. به‌طوری‌که مقدار فسفر کل در تیمار شاهد بین ۲/۵ تا ۵/۹ میلی‌گرم در گلدان تغییر کرد و رقم آیدر با ۲/۵ میلی‌گرم کمترین و رقم Yea-168 با ۵/۹ میلی‌گرم در گلدان بیشترین مقدار جذب را داشتند. در تیمار مصرف سنگ فسفات، مقدار فسفر کل به‌طور میانگین ۶/۰ میلی‌گرم در گلدان به‌دست آمد. مقدار جذب فسفر ارقام سهند و Diktoo به ترتیب با ۷/۶ و ۷/۹ میلی‌گرم در گلدان بیشتر از سایر ارقام بود که نشان می‌دهد این ارقام توانایی بالایی در جذب فسفر از سنگ فسفات دارند. میانگین مقدار فسفر ارقام در نتیجه تلقیح جداگانه و توأم

جدول ۳. غلظت (PC) و مقدار فسفر (TP) شاخساره ارقام مختلف جو

تیمارهای آزمایش												
PS		RP+F+B		RP+B		RP+F		RP		P0		ارقام جو
TP	PC	TP	PC	TP	PC	TP	PC	TP	PC	TP	PC	
۷/۱	۶/۳	۶/۰	۳/۰	۱۰/۵	۲/۸	۱۰/۷	۲/۹	۶/۸	۲/۴	۳/۱	۱/۶	Rihane-03
۱۱/۵	۵/۷	۵/۱	۲/۵	۸/۹	۲/۶	۹/۵	۲/۴	۵/۷	۲/۱	۴/۳	۱/۷	Dayton-Ranney
۱۱/۳	۵/۱	۵/۷	۲/۵	۹/۸	۲/۴	۹/۴	۲/۳	۵/۶	۱/۸	۵/۹	۲/۲	Yea-168
۹/۳	۴/۹	۵/۵	۲/۰	۶/۰	۲/۰	۶/۶	۱/۸	۴/۸	۱/۷	۳/۰	۱/۶	Denmark
۱۲/۰	۴/۷	۵/۷	۲/۱	۶/۵	۱/۸	۸/۲	۲/۰	۴/۹	۱/۶	۴/۱	۱/۷	Obruk-86
۶/۸	۷/۴	۵/۹	۳/۵	۱۱/۳	۳/۴	۱۶	۴/۷	۷/۹	۳/۰	۴/۵	۱/۸	Diktoo
۸/۹	۵/۴	۶/۰	۳/۰	۸/۳	۲/۵	۱۵	۳/۷	۶/۸	۱/۹	۴/۱	۱/۴	Line AltaICB-89
۹/۷	۳/۹	۸/۴	۱/۸	۵/۳	۱/۴	۷/۰	۱/۷	۳/۳	۱/۲	۴/۷	۱/۶	Gara-arpa
۱۲/۱	۶/۸	۶/۵	۳/۰	۱۱/۷	۳/۳	۱۴/۲	۴/۳	۷/۶	۲/۷	۲/۸	۱/۱	Sahand
۱۱/۲	۵/۸	۶/۱	۲/۸	۹/۱	۲/۶	۱۲/۵	۳/۷	۶/۲	۲/۲	۲/۵	۱/۰	Abidar
۱۰/۰	۵/۶	۶/۱	۲/۶	۸/۷	۲/۵	۱۰/۹	۲/۹	۶/۰	۲/۱	۳/۹	۱/۵۸	میانگین
۳/۳۵	۰/۰۰۳	۱/۰۹	۰/۰۱۵	۲/۴۷	۰/۰۳	۲/۵۲	۰/۰۲	۱/۲	۰/۰۱۵	۰/۹۱	۰/۰۲	LSD (تیمارها)
۵/۴	۳/۸	۶/۷	۳/۷	۱/۴	۵/۳	۱۱/۸	۴/۰	۸/۸	۴/۳	۱۳/۵	۸/۳	CV

P0: تیمار شاهد، RP: مصرف سنگ فسفات، RP+F: تلقیح با قارچ‌های حل‌کننده فسفات، RP+B: تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات، RP+F+B: تلقیح توأم قارچ و باکتری، PS: مصرف فسفر محلول، PC: برحسب میلی‌گرم بر گرم و TP: برحسب میلی‌گرم در گلدان

Diversa Brassica تغییرات مورفولوژی (افزایش انشعابات ریشه، نسبت ریشه به شاخساره، طول مؤثر ریشه و تارهای کشته) و فیزیولوژی ریشه (ترشح پروتون، آنیون‌های اسید آلی و فسفات‌ها) را برای جذب بیشتر فسفر و تولید زیست توده به‌کار بردند. از این رو، کارایی جذب فسفر را یکی از صفات مشخصه و مهم در انتخاب ارقام گزارش دادند.

کارایی مصرف فسفر (PUTE)

متوسط شاخص کارایی مصرف فسفر (PUTE) در شرایط کمبود فسفر، ۰/۶۶ گرم ماده خشک بر میلی‌گرم فسفر بود که در این شرایط، رقم گاراآرپا با ۱/۰ و لاین AltICB-98 با ۰/۹ گرم ماده خشک بر میلی‌گرم فسفر توانایی بالایی در مصرف فسفر داشتند (جدول ۵). این ارقام توانایی بالایی در جذب فسفر نیز داشتند. ارقام Denmark و Diktoo ناکارا در جذب و مصرف فسفر بودند (شکل ۲).

افزایش معنی‌داری در کارایی جذب فسفر ارقام جو (*Hordeum vulgare L.*) در نتیجه تلقیح با ریزجانداران حل‌کننده فسفات گزارش کردند.

اختلافات ژنتیکی بین ارقام گیاهی از لحاظ جذب به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور تعیین‌کننده در کارایی گزارش شده که به ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک ریشه وابسته است (۲۸). به‌طوری‌که مانسک و همکاران (۲۹) کارایی در جذب فسفر را مهم‌تر از کارایی مصرف فسفر در گندم و اوزترک و همکاران (۳۰) هر دو عامل کارایی در جذب و کارایی در مصرف فسفر را مؤثر گزارش کردند. گاهونیا و همکاران (۱۹) اختلاف ارقام گندم و جو در فسفرکارایی را ناشی از قدرت ارقام در جذب فسفر بیان کردند و وانس و همکاران (۳۵) اختلافات معنی‌دار بین ارقام مختلف گندم و جو در جذب فسفر را به تشکیل ریشه‌های ریز و ترشحات ریشه نسبت دادند. در تحقیقی مشابه، اختر و همکاران (۵) نشان داد که ارقام کارایی

جدول ۴. شاخص کارایی جذب فسفر ارقام مختلف جو

تیمارهای آزمایش					
F RP+B+	RP+F	RP+B	RP	P0	ارقام جو
۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۱۰	Rihana-03
۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۱۳	Dayton-Ranney
۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۱۶	Yea-168
۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۰۹	Denmark
۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۳	Obruk-86
۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۰۸	Diktoo
۰/۲۳	۰/۴۲	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۳	Line AltaICB-98
۰/۲۰	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۲۰	Gara- arpa
۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۰۵	Sahand
۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۰۷	Abidar
۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۲	میانگین
۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲	LSD (تیمارها)
۱۱/۱	۵/۲	۱۰/۶	۱۴/۶	۱۸/۳	CV

P0: تیمار شاهد، RP: مصرف سنگ فسفات، RP+F: تلقیح با قارچ‌های حل‌کننده فسفات، RP+B: تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و RP+F+B: تلقیح توأم قارچ و باکتری

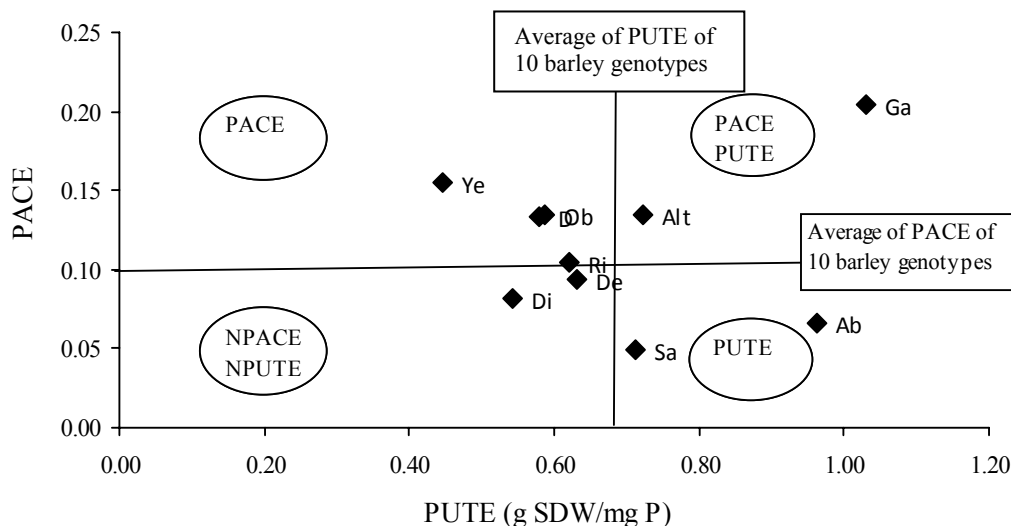
عمدتاً به توانایی و متابولیسم گیاهی در مصرف فسفر مربوط می‌باشد و ریزجانداران اغلب در افزایش کارایی جذب فسفر مؤثرند (شکل ۲).

اختر و همکاران (۵) در ارزیابی کارایی مصرف فسفر ارقام گیاهی *Brassica* بیان کردند که کارایی مصرف فسفر به رقم و سطوح فسفری وابسته است. به‌طوری‌که با مصرف فسفر محلول، کارایی مصرف فسفر ارقام دو برابر کاهش نشان داد که اشاره بر این دارد که ارقام گیاهی مورد مطالعه به ازای هر واحد فسفر جذب شده ماده خشک کمتری تولید کردند.

شاخص فسفر کارایی (PE)

شاخص فسفر کارایی ارقام رشد کرده در شرایط کمبود فراهمی فسفر بین ۰/۲۹ تا ۰/۵۲ متغیر بود و اختلاف معنی‌داری

با مصرف فسفر محلول، کارایی مصرف فسفر تمام ارقام به‌طور چشمگیری کاهش یافت و به‌طور متوسط به ۰/۲۰ رسید که نشان می‌دهد گیاه در شرایط کمبود، مسیر سازگاری را برمی‌گزیند. به‌عبارتی، با افزایش فراهمی فسفر در محیط رشد گیاه، هر چند جذب فسفر توسط گیاه افزایش می‌یابد، اما گیاه ماده خشک کمتری به ازای هر واحد فسفر جذب شده تولید می‌کند. متوسط شاخص کارایی مصرف فسفر در نتیجه افزایش حلالیت و فراهمی فسفر در حضور ریزجانداران حل‌کننده فسفات به ۰/۴۰ کاهش یافت، که از این لحاظ بین تیمارهایی که قارچ‌ها و باکتری‌ها توأم و جداگانه مصرف شدند اختلاف آماری مشاهده نشد. اما اختلاف بین ارقام از لحاظ کارایی مصرف فسفر معنی‌دار بود و ارقام گاراآرپا، Obruk-86 و Denmark کارا در مصرف فسفر به‌دست آمدند و این می‌تواند به این دلیل باشد که کارایی مصرف فسفر



شکل ۲. طبقه‌بندی ژنوتیپ‌های جو برای کارایی جذب و مصرف فسفر، PUTE کارا در مصرف فسفر، PACE کارا در جذب فسفر، NPACE و NPUTE ناکارا در مصرف فسفر و NPACE ناکارا در جذب فسفر

جدول ۵. شاخص کارایی مصرف فسفر (g SDW/mg P) ارقام مختلف جو

تیمارهای آزمایش						ارقام جو
PS	RP+F+B	RP+F	RP+B	RP	P0	
۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۴۱	۰/۶	Rihana-03
۰/۲	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴۷	۰/۶	Dayton-Ranney
۰/۲	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۵۴	۰/۴	Yea-168
۰/۲	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵۸	۰/۶	Denmark
۰/۲	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۶۲	۰/۶	Obruk-86
۰/۱	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳۴	۰/۵	Diktoo
۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۵۲	۰/۹	Line AltaICB-98
۰/۳	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۸۳	۱/۰	Gara- arpa
۰/۱	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳۷	۰/۷	Sahand
۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۴۶	۰/۶	Abidar
۰/۲	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۵۱	۰/۶۶	میانگین
۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۴	LSD (برای تیمارها)
۳۳/۶	۴/۱	۱۰/۳	۱۱/۴	۲/۳	۵/۱	CV

P0: تیمار شاهد، RP: مصرف سنگ فسفات، RP+F: تلقیح با قارچ‌های حل‌کننده فسفات، RP+B: تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات، RP+F+B: تلقیح توأم قارچ و باکتری و PS: مصرف فسفر محلول

($P < 0.01$) بین ارقام از لحاظ فسفرکارایی مشاهده شد. به طوری که رقم گاراآرپا با ۰/۵۰ و لاین AltICB-98 با ۰/۵۲ فسفرکارایی بالایی داشتند (جدول ۶). در شرایطی که از سنگ فسفات استفاده شود، متوسط این شاخص ۰/۵۵ به دست آمد که کاربرد مایه تلقیح ریزجانداران حل‌کننده فسفات شاخص فسفرکارایی را به طور معنی‌دار افزایش داد. نقش قارچ‌های

جدول ۶. شاخص فسفرکارایی (PE) ارقام جو مورد مطالعه

تیمارهای آزمایش					
RP+F+B	RP+F	RP+B	RP	P0	ارقام جو
۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۴۱	Rihana-03
۰/۳۵	۰/۷۲	۰/۶۲	۰/۵۴	۰/۴۵	Dayton-Ranney
۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۴۱	۰/۳۵	Yea-168
۰/۴۹	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۴۳	۰/۲۹	Denmark
۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۴۶	۰/۳۶	Obruk-86
۰/۴۰	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۶۸	۰/۳۳	Diktoo
۰/۶۷	۰/۷۷	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۵۲	Line AltaICB-98
۰/۶۰	۰/۶۳	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۵۰	Gara- arpa
۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۳۱	Sahand
۰/۳۰	۰/۶۴	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۳۸	Abidar
۰/۵۳	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۵۵	۰/۴۰	میانگین
۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۳	LSD (برای تیمارها)
۱۶/۴	۱۴/۹	۱۱/۴	۶/۶	۲۱/۷	CV

P0: تیمار شاهد، RP: مصرف سنگ فسفات، RP+F: تلقیح با قارچ‌های حل‌کننده فسفات، RP+B: تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات، RP+F+B: تلقیح توأم قارچ و باکتری و

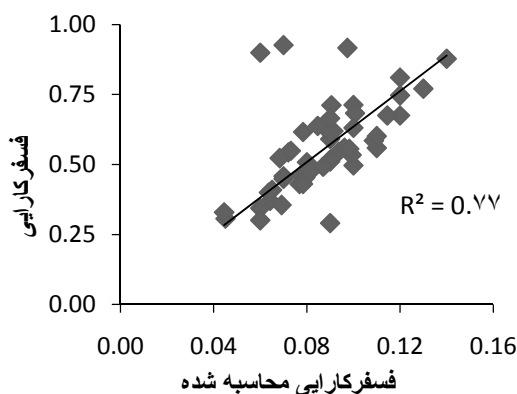
فسفرکارایی ارقام را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گاهونیا و همکاران (۱۹) با ارزیابی فسفرکارایی ارقام گندم زمستانه و جو بهاره و زمستانه، اختلافات فسفرکارایی را به طول تارهای ریشه و ترشحات ریشه ارقام مختلف ارتباط داد. هم‌چنین، بیان کردند که ارقام جو بهاره و گندم زمستانه فسفرکارایی از ارقام جو زمستانه می‌باشند.

بین فسفرکارایی و مقدار فسفر کل جذب شده همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۷) که اغلب محققین نیز نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند (۳۰ و ۳۳). اوزترک و همکاران (۳۰) بین فسفرکارایی و مقدار فسفر کل جذب شده همبستگی بالایی ($r = 0/81$) گزارش کردند و رابطه بین فسفرکارایی و مقدار فسفر کل شاخساره ارقام گندم نان را مهم‌تر از ارقام گندم دوروم گزارش نمودند. در مطالعه حاضر، بین غلظت فسفر در گیاه و فسفرکارایی همبستگی ضعیفی مشاهده شد (جدول ۷).

حل‌کننده فسفات در افزایش شاخص فسفرکارایی برجسته بود و شاخص فسفرکارایی را ۰/۶۹ افزایش دادند که اهمیت ریزجانداران حل‌کننده فسفات در افزایش جذب و مصرف فسفر بومی خاک یا فسفر اضافه شده به خاک را به اثبات می‌رساند. ولی نتایج افتخاری و همکاران (۱۰) تغییر معنی‌داری در فسفرکارایی ارقام جو در نتیجه تلقیح با باکتری حل‌کننده فسفات (*Pseudomonas fluorescense*) و باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن (*Azospirillum lipoferum*) را بیان نکرد. فسفرکارایی پدیده‌ای پیچیده است که تحت تأثیر مکانیسم‌های گیاهی دخیل در جذب فسفر از خاک و مصرف فسفر در سطح متابولیسم سلولی می‌باشد. به‌طوری‌که آیزورن و رنگل (۳۱) با ارزیابی فسفرکارایی ۲۰ رقم گندم در استفاده از منبع آلی و معدنی فسفر، گزارش دادند که ارقام گندم در استفاده از منبع فسفات آهن کارتر از منبع فیتات می‌باشند. به‌عبارتی، نوع منبع فسفر،

جدول ۷. همبستگی بین پارامترهای رشد اندازه‌گیری شده و شاخص کارایی محاسبه شده

CPE	PE	PACE	PUTE	TP	PC	SDW	
۰/۱ ^{NS}	۰/۷۴ ^{**}	۰/۷۳ ^{**}	- ۰/۶۷ ^{**}	۰/۹۲ ^{**}	۰/۸۱ ^{**}	۱	SDW
-۰/۲۹ ^{NS}	۰/۵۰ ^{**}	۰/۷۰ ^{**}	-۰/۹۲ ^{**}	۰/۹۵ ^{**}	۱		PC
-۰/۱۶ ^{NS}	۰/۶۰ ^{**}	۰/۷۱ ^{**}	-۰/۸۲ ^{**}	۱			TP
۰/۳۸ [*]	-۰/۴۰ [*]	-۰/۶۰ ^{**}	۱				PUTE
۰/۴۲ [*]	۰/۸۵ ^{**}	۱					PACE
۰/۵۴ ^{**}	۱						PE
۱							CPE



شکل ۳. همبستگی بین فسفرکارایی و میزان محاسبه شده آن

از وزن خشک شاخساره در شرایط کمبود فسفر به عنوان شاخصی برای فسفرکارایی استفاده شده است (۱۲، ۱۶، ۱۸ و ۲۳). در این مطالعه نیز اغلب ارقامی که در شرایط محدودیت فسفر ماده خشک بیشتری تولید کرده بودند فسفرکارایی بیشتری داشتند. شاخص کارایی محاسبه شده به صورت حاصل ضرب کارایی جذب فسفر در کارایی مصرف فسفر در شرایط محدودیت عنصر به دست آمد که با فسفرکارایی همبستگی معنی‌داری نشان داد (شکل ۳). زیاد بودن ضریب همبستگی نشان می‌دهد که عملکرد نسبی شاخساره به نوعی اثر هر دو عامل کارایی در جذب و کارایی در مصرف را در بر می‌گیرد. بنابراین، می‌توان گفت شاخص مناسبی برای ارزیابی فسفرکارایی می‌باشد. نتایج مشابهی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (۲۸، ۳۱ و ۳۴).

فاجریا و بالیگار (۱۲) و جونز و همکاران (۲۱) بین غلظت فسفر در گیاه و فسفرکارایی همبستگی گزارش نکردند. به نظر می‌رسد که غلظت فسفر در شاخساره ارقام گیاهی ملاک معتبری برای سنجش فسفرکارایی ارقام جو نمی‌باشد (۳۰). ژنوتیپ‌هایی که در شرایط فراهمی فسفر عملکرد شاخساره مشابهی داشتند، در شرایط کمبود فسفر اختلاف زیادی در وزن خشک شاخساره داشتند و همبستگی بسیار معنی‌داری بین فسفرکارایی و ماده خشک ارقام وجود داشت. به نظر می‌رسد عملکرد شاخساره در شرایط محدودیت فسفر می‌تواند معیار بسیار خوبی برای غربالگری فسفرکارایی باشد که در توافق با نتایج مطالعات متعدد برای گزینش ژنوتیپ‌های گندم از لحاظ کارایی می‌باشد (۱۳، ۳۰ و ۳۱). برای سایر گونه‌های زراعی مانند گوجه‌فرنگی و برنج نیز

نتیجه گیری

گرم ماده خشک) و در ارقام ایرانی کمتر از حد متوسط بود. هم‌چنین، در شرایط محدودیت فراهمی فسفر، رقم Yea-168 کاراترین رقم در جذب فسفر و رقم آبی‌در کاراترین در مصرف فسفر و رقم گاراآرپا و لاین AltICB-98 هم‌کارا در مصرف و هم‌کارا در جذب فسفر بودند. با توجه به اثر ریزموجودات حل‌کننده فسفات در افزایش جذب فسفر و فسفرکارایی ارقام هزینه بالای کودهای شیمیایی و خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف زیادی این کودها می‌توان گفت که گسترش ارقام کارا و استفاده از ریزموجودات حل‌کننده فسفات در سطح وسیع می‌تواند یک شیوه بسیار مؤثر در بهبود رشد و نمو گیاهان و کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفات باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که تلقیح با ریزجانداران حل‌کننده فسفات، عملکرد و میزان فسفر شاخساره و کارایی جذب فسفر ارقام جو را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. در این میان، تیمار تلقیح با قارچ‌های حل‌کننده فسفات در مقایسه با سایر تلقیح‌ها برتر بود و متوسط وزن خشک شاخساره را از ۲/۵ به ۴/۴ گرم در گلدان، متوسط کارایی جذب فسفر را از ۰/۱۲ به ۰/۲۷ و شاخص فسفرکارایی ارقام را از ۰/۴۰ به ۰/۶۹ افزایش داد. در بین ارقام نیز از لحاظ پارامترهای اندازه‌گیری شده و کارایی جذب و مصرف فسفر اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. به‌طوری‌که در شرایط کمبود فسفر، غلظت فسفر در بخش هوایی ارقام خارجی بیشتر از حد متوسط (۱/۵۸ میلی‌گرم در

منابع مورد استفاده

۱. حاجی بلند، ر.، ن. اصغرزاده و ر. برزگر. ۱۳۸۶. تأثیر تلقیح گیاه برنج با دو گونه قارچ میکوریزا اربوسکولار بر رشد، جذب فسفر پتاسیم و تغییر pH ریزوسفر. مجله علوم خاک و آب ۲۱(۱): ۱۱۹-۱۲۹.
۲. صالح راستین، ن. ۱۳۷۷. کودهای بیولوژیک. نشریه خاک و آب ۲(۳): ۳۹-۴۶.
۳. علیمددی، ا.، م. ر. جهانسوز، ح. بشارتی و ر. توکل افشاری. ۱۳۸۹. ارزیابی تأثیر ریزجانداران حل‌کننده فسفات، میکوریزا و پرایمینگ بذر بر گره‌زایی در گیاه نخود. مجله پژوهش‌های خاک ۲۴(۱): ۴۳-۵۳.
۴. مدنی، ح.، غ. ر. نادری بروجردی، ح. آقاجانی و ع. ر. پاک‌کی. ۱۳۸۹. مقایسه اثرات مصرف کودهای شیمیایی فسفره و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در عملکرد دانه. مجله زراعت و اصلاح نباتات ۶(۴): ۹۳-۱۰۴.
5. Akhtar, M.Sh, Oki, Y., Adachi, and T, Y., Murata. 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, Tsinghu University Press. Beijing, China.
6. Batten, G.D. 1986. The uptake and utilization of P and nitrogen by diploid, tetraploid and hexaploid wheats (*Triticum* spp.). *Annals Bot.* 58: 49-59.
7. Batten, G.D. 1992. A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant Soil* 146: 163-168.
8. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.* 54: 464-465.
9. Ekin, Z. 2011. Performance of phosphate solubilizing bacteria for improving growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in the presence of phosphorus fertilizer. *Afr. J. Biotechnol.* 9(25): 3794-3800.
10. Eftekhari1, S.A., M.R. Ardakani1, F.R. Farzad Paknejad and T. Hasanabadi. 2012. Phosphorus absorption in barley (*Hordeum vulgare* L.) under different phosphorus application rates and co-inoculation of *Pseudomonas fluorescence* and *Azospirillum lipoferum*. *Annals Biol. Res.* 3 (6): 2694-2702.
11. Freeman, J.S. and D.L. Rowell. 1981. The adsorption and precipitation of phosphate onto calcite. *J. Soil Sci.* 32: 75-84.
12. Fageria, N.K., R.J. Wright and V.C. Baligar. 1988. Upland rice genotypes evaluation for phosphorus use efficiency. *J. Plant Nutr.* 20: 499-509.
13. Fageria, N.K. and V.C. Baligar. 1999. Rice cultivar evaluation for phosphorus use efficiency. *Plant Soil* 111: 105-109.

14. Fageria, N.K. 2009. The Use of Nutrients in Crop Plants. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, New York, USA.
15. Fita, A., F. Nuez and B. Pico. 2011. Diversity in root architecture and response to P deficiency in seedlings of *Cucumis melo* L. *Euphytica* 181(3): 323-339.
16. Goenadi, D.H. 1996. Bioactivation of low water-soluble-P phosphate rocks by phosphate-solubilizing bacteria. PP. 68. Nutrient Management for Sustainable Food Production in Asia, IMPHOS-AARD/CSAR Intl. Conf., Bali, 9-12 Dec., Central Soil Res. Inst., Bogor, Indonesia.
17. Gill, H.S., A. Singh, S.K. Sethi and R.K. Behl. 2004. Phosphorus uptake and use efficiency in different varieties of bread wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Arch. Agric. Soil Sci.* 56: 563-572.
18. Gerloff, C.G. and W.H. Gabelman. 1983. Genetic basis of inorganic plant nutrition. PP. 453-480. *In: Lauchli, A. and R.L. Beileski (Eds.), Encyclopedia of Plant Physiology, New Series Vol. 15 B, Inorganic Plant Nutrition, Springer-verlag, Berlin, Germany.*
19. Gahoonia, T.S., N.E. Nielsen and O.B. Lyshede. 1999. Phosphorus (P) acquisition of cereal cultivars in the field at three levels of P fertilization. *Plant Soil* 211: 269-281.
20. Gahoonia, T.S., F. Asmar, H. Giese, G. Nielsen and N.E. Nielsen. 2000. Root released organic acids and phosphorus uptake of two barley cultivars in laboratory and field experiments. *Eur. J. Agron.* 12: 281-289.
21. Jones, G.P.D., R.S. Jessop and G.J. Blair. 1992. Alternative methods for the selection of P efficiency in wheat. *Field Crops Res.* 30: 29-40.
22. Khan, M.S., A. Zaidi and P.A. Wani. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture- a review. *Agron. Sustain. Dev.* 27: 29-43.
23. Krasilnikoff, G., T. Gahoonia and N.E. Nielsen. 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* 25: 83-91.
24. Kim, K.Y., G.A. McDonald and D. Jordan. 1998. Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. *Biol. Fert. Soils* 26: 79-87.
25. Lin, Z.H., L.S. Chen, R.B. Chen, F.Z. Zhang, H.X. Jiang, N. Tang and B.R. Smith. 2011. Root release and metabolism of organic acids in tea plants in response to phosphorus supply. *J. Plant Physiol.* 168: 644-652.
26. Liu, G.D., J.Y. Li and Z.S. Li. 1996. The genotypic differences in response of wheat root system to low-phosphorus stress. *Plant Nutr. Fertil. Sci.* 3(2): 212-218. (In Chinese).
27. Liao, M.T., P.J. Hocking and B. Dong. 2005. Screening for genotypic variation in phosphorus uptake efficiency in cereals on Australian soils. PP. 114-115. *In: Li, C.J. (Ed.), Plant Nutrition for Food Security, Human Health and Environmental Protection, TsinghuaUniversity Press, Beijing, China.*
28. Marschner, H. 1998. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. *Field Crops Res.*, 56: 203-207.
29. Manske, G.G.B., J.I. Ortiz-Monasterio, M. Van Ginkel, R.M. Gonzalez, S. Rajaram, E. Molina and P.L.G. Vlek. 2000. Traits associated with improved P-uptake efficiency in CIMMYT's semidwarf spring bread wheat grown on an acid Andisol in Mexico. *Plant Soil* 221: 189-204.
30. Ozturk, L., S. Eker, B. Torun and I. Cakmak. 2005. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. *Plant Soil* 269: 69-80.
31. Osborne, L.D. and Z. Rengel. 2002. Screening cereals for genotypic variation in efficiency of phosphorus uptake and utilization. *Aust. J. Agric. Res.* 53: 295-303.
32. Reyes, I., L. Brnir, R. Simard and H. Antoun. 1999. Characteristics of phosphate solubilization by an isolate of a tropical *Penicillium regulosum* and UV- induced mutants. *FEMS Microbiol. Ecol.* 23: 291-295.
33. Sepehr, E., M.J. Malakouti, B. Kholdebarin, A. Samadi and N. Karimian. 2009. Genotypics variation in P efficiency of selected Iranian cereals in greenhouse experiment. *Intl. J. Plant Prod.* 3: 17-28.
34. Sundara, B., V. Natarayan and K. Hari. 2001. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on soil available P-status and sugarcane development on a tropical Vertisol. *Proc. Interaction Soc. Sugarcane Technol.* 24: 47-51.
35. Vance, C., C. Uhde-Stone and D.L. Allan. 2003. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytol.* 157: 423-447.

Phosphorus efficiency of some barley genotypes in the presence of phosphate-solubilizing microorganisms

R. Musavi^{1*} and E. Sepehr¹

(Received: 2 Feb-2013 ; Accepted: 30 Apr-2013)

Abstract

In order to investigate phosphorus efficiency (PE) of the barley genotypes in the presence of phosphate-solubilizing microorganisms (PSMs), a greenhouse factorial experiment was conducted as a completely randomized blocks design and 3 replications with 10 Iranian and foreign barley genotypes. The effects of different phosphorus (P) fertilizer treatments including control (P0), phosphate rock (RP), phosphate rock inoculated with phosphate solubilizing fungi (RP+F), phosphate rock inoculated with phosphate solubilizing bacteria (RP+B), phosphate rock inoculated with both fungi and bacteria inoculum (RP+B+F), and soluble phosphate (PS) was studied. After 9 weeks, plants were harvested and shoot dry weight (SDW) and P concentration (PC) was measured and then PE indices were calculated. The results indicated that barley genotypes had significant differences ($P < 0.01$) in the SDW, PC, P content (TP), P acquisition efficiency (PACE) and P utilization efficiency (PUTE). Gara-arpa genotype and line AltICB-98 produced the highest and Rihane-03 genotype produced the lowest shoot dry mass at the P-free treatment (P0). The inoculation with PSMs significantly increased plant growth parameters and PACE as the fungi inoculation was more effective than bacteria and mixed inoculation of fungi and bacteria. With fungi inoculation, the average PC increased from 1.58 to 2.9 mg/g SDW, PACE from 0.12 to 0.27 and PE from 0.40 to 0.69. Among the varieties, Yea-168 was efficient in P acquisition, Sahand was efficient in P utilization, and Gara-arpa and line AltICB-98 were efficient in both acquisition and utilization of P. Thus, it is concluded that selecting P-efficient varieties along with inoculation by phosphate-solubilizing microorganisms could decrease application of chemical fertilizers due to increasing P absorption from phosphate rock and insoluble forms of P in the soil.

Keywords: Inoculation, P acquisition, P utilization.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Urmia Univ., Urmia, Iran.

*: Corresponding Author, Email: roghayemosavi@yahoo.com