نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۱، ص. ۹۷۸-۹۶۸

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.4, Sept.-Oct. 2012, p. 968-978

ارزیابی کارایی ارقام مختلف گندم از لحاظ جذب و مصرف فسفر در خاک فسفات

المیرا ایرانشهر[۱] – ابراهیم سپهر[۲*]

تاریخ دریافت:۹۰/۶/۲۹
تاریخ پذیرش:۹۱/۱/۲۷

چکیده

به منظور غربال‌گری ارقام مختلف گندم از لحاظ کارایی جذب و مصرف فسفر، آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملا تصادفی با ۲۰ رقم گندم و دو منبع کود فسفاته شامل فسفر محلول (PS) از منبع KH_2PO_4 و فسفر نامحلول از منبع سنگ فسفات (RP) در سه تکرار با هم مقایسه شدند. ارقام از لحاظ عملکرد اندام هوایی، مقدار و غلظت فسفر کل، کارایی جذب و مصرف فسفر و شاخص فسفرکارایی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد نشان دادند. در بین ارقام مورد بررسی، مرودشت با شاخص پاسخ به کود برابر ۸/۳ کودپذیری بالا درحالی‌که رقم هامون با شاخص ۵/۶ گرم کودپذیری نسبتا پایینی را نشان داد. شاخص کارایی جذب فسفر (PACE)[۳] بطور متوسط برای ارقام گندم ۰/۰۴ بدست آمد که از این نظر رقم کرج ۱ و آزادی به ترتیب با ۰/۰۲ و۰/۰۷ پایین‌ترین و بالاترین کارایی را داشتند. متوسط کارایی مصرف فسفر (PUTE)[۴] برای ارقام گندم در حالت مصرف سنگ فسفات ۰/۸۲ و در حالت مصرف فسفر محلول ۰/۳۱ بود و دامنه این شاخص از ۰/۶ (رقم آزادی) تا ۱/۱۲ گرم ماده خشک بر میلی گرم فسفر (مغان۱) تغییر کرد. از لحاظ شاخص فسفر کارایی (PE)[۵] ارقام مرودشت و کرج۱ با ۴/۵ پایین‌ترین و رقم آزادی با ۱۴/۵ درصد بالاترین کارایی را داشتند. شاخص فسفر کارایی با غلظت فسفر گیاه همبستگی ضعیف و غیر معنی داری (R^2=۰/۱۸) ولی با مقدار کل فسفرگیاه همبستگی مثبت و معنی-داری (R^2=۰/۷۷) در سطح یک درصد نشان داد.

واژه های کلیدی: گندم، فسفر، سنگ فسفات، کارایی جذب، مصرف فسفر

مقدمه

فسفر از عناصر اصلی موردنیاز گیاه بوده و غلظت آن در گیاهان بین ۰/۴– ۰/۲درصد است. به واسطه نقش ویژه فسفر در فرایند انتقال انرژی، تقسیم سلولی و هم‌چنین شرکت در فرایندهای رشد و تکامل ریشه، گلدهی، تشکیل میوه و دانه و افزایش مقاومت به امراض، دومین عنصر کلیدی از نظر تغذیه گیاه و از جمله عناصر مهم در تولید محصول به شمار می‌رود (۱). قابلیت کم جذب فسفر یکی از محدودیت‌های عمده رشد گیاه است. ممکن است برخی گیاهان در اثر کمبود فسفر حتی اگر فسفر کل در خاک بیشتر از مقدار موردنیاز باشد صدمه ببینند. علت مقدار کم فسفر محلول خاک (کمتر از ۵ میکرومول) این است که فسفر با کانی‌های خاک تشکیل پیوند داده و به شکل‌های آلی و غیرقابل استفاده گیاه تبدیل می‌شود (۲۰). بنابراین کشاورزان برای پایدار ماندن عملکرد همه ساله باید کودهای فسفاته زیادی مصرف کنند و این در حالی است که پیش بینی می‌شود منابع سهل الوصول کودهای فسفاته در دنیا رو به پایان است از طرف دیگر به علت مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته، مشکلات زیست محیطی ازقبیل پدیده یوتریفیکاسیون، افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و در نتیجه افزایش قیمت کودها و به تبع آن افزایش هزینه‌های تولید مزید بر علت می‌باشند (۲۸). با وجود این مشکلات، ارقام گیاهی مختلف زمانی‌که تحت شرایط کمبود فسفری قرار می‌گیرند سازوکارهای متفاوتی را از خود نشان می‌دهند و عواملی از قبیل خصوصیات ریشه (مورفولوژی ریشه، اندازه ریشه و ریشه‌های‌ریز)، همزیستی میکوریزی، فرایندهای ریزوسفری (pH ریزوسفر، فعالیت فسفاتاز و آزاد شدن اسیدهای آلی از ریشه) باعث ایجاد اختلاف در جذب فسفر بین گونه-های گیاهی می‌گردند. گیاهان فسفرکارا 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 (۲۲). لذا امروزه دانشمندان به سمت مطالعه گیاهان و ژنوتیپهایی رفته‌اند که توانایی بالایی در جذب و مصرف فسفر داشته و بتوانند فسفر را از شکل‌های نامحلول آن مانند آپاتیت که در خاک-های آهکی رسوب کرده جذب نمایند و عملکرد نسبی قابل قبولی

۱و۲– دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*– نویسنده مسئول: (Email: e.sepehr@urmia.ac.ir

3- Phosphorus Acquisition efficiency
4- Phosphorus Utilization efficiency
5- Phosphorus Efficiency

تولید کنند. باتن (۴) انتخاب رقم کارا را یک متغیر مکمل و حتی جایگزین برای مصرف کودها در کشاورزی بیان کرد. گاهونیا و همکاران (۱۱) با مطالعه ویژگی‌های مورفولوژی ریشه به عنوان ابزاری موثر در ارقام گیاهی فسفرکارا، به این نتایج رسیدند که سیستم ریشه‌ای بزرگ و وسیع موجب تماس بیشتر ریشه با خاک می‌شود که در جذب فسفر از خاک موثر می‌باشد، قطر ریشه در جذب فسفر خاک مهم است به این صورت که قطر کمتر ریشه می‌تواند تماس بیشتری با خاک در واحد سطح ریشه فراهم نماید و در نتیجه موجب جذب بیشتر فسفر از خاک می‌شود، ریشه‌های مویین جذب فسفر از خاک ریزوسفر را به دلیل افزایش سطح موثر ریشه تا چندین برابر افزایش می‌دهند، قارچ میکوریزا (VAM) به استخراج فسفر از خاک ریزوسفری کمک می‌کند، هم‌چنین گزارش شده است که اسیدهای آلی رها شده از ترشحات ریشه‌ای شامل آنیون‌هایی مثل مالات، فومارات، اگزالات و به ویژه سیترات هستند که موجب افزایش حلالیت پذیری فسفر از فرم نامحلول به فرم جذب شده و محلول می‌گردند. گاهونیا و نیلسن (۱۰) با بررسی کارایی جذب ارقام مختلف گندم و جو، بیان کردند که تفاوت ارقام مختلف در گسترش منطقه تخلیه اطراف ریشه و غلظت بحرانی فسفر آن منطقه است و ترشحات ریشه ارقام گیاهی نقش مهمی را در افزایش حلالیت فسفر و جذب آن توسط گیاه بازی می‌کنند. طبق گفته جونز و همکاران (۱۴) تحرک عناصر ریزوسفری از قبیل فسفر و آهن زمانی‌که pH خاک کمتر است محتمل‌تر است، هم‌چنین نشان دادند که افزایش فعالیت فسفاتاز در خاک ریزوسفری، هیدرولیز استرهای فسفات را افزایش می‌دهد و فسفر معدنی جهت جذب را آزاد می‌کند. ونس و همکاران (۳۰) با تحقیق بر روی اثر ریشه‌های خوشه‌ای در جذب فسفر از خاک نشان دادند که ریشه‌های خوشه‌ای علاوه بر تغییرات میکوریزی باعث افزایش جذب فسفر در اغلب گونه‌های گیاهی بخصوص *Proteaceae* ازقبیل لوپین می‌شود چون که مقادیر زیادی از اسیدهای آلی، پروتون و اسید فسفاتاز جهت حل کردن فسفر باند شده به کمپلکس‌های آلی و معدنی از ریشه‌های خوشه‌ای تراوش می‌کنند. طبق گزارشات اختر و همکاران (۲) با بررسی و مقایسه توزیع بیومایس و فسفر ریشه و شاخساره بین ارقام گیاهی *Diversa brassica* نشان دادند که در اغلب ارقام فسفرکارا تحت شرایط کمبود فسفر، توزیع ماده خشک و فسفر به طرف ریشه‌ها بیشتر می‌باشد، هم‌چنین طبق گفته ازترک و همکاران (۲۲) نشان دادند که اختلافات بزرگی بین ارقام گندم دوروم و نان از لحاظ فسفرکارایی وجود داشت و نیز بیان کردند که مقدار فسفر شاخساره پارامتر خوبی برای ارزیابی فسفرکارایی غلات است.

در سال‌های اخیر استفاده از سنگ فسفات در خاک‌های مناطق گرمسیری به عنوان یک فاکتور مهم در مقایسه با مصرف کودهای فسفاته محلول درآمده است و مصرف مستقیم سنگ فسفات از لحاظ اقتصادی باصرفه‌تر از مصرف کودهای فسفاته برای محصولات زراعی خاص بوده است. در برخی کشورهای در حال توسعه هم منابع سنگ فسفاتی وجود دارد که اگر بجای کودهای فسفاته بکار روند از لحاظ اقتصادی صرفه‌جویی خواهد شد (۶). لذا با توجه به اهمیت انتخاب ارقام کارا در جذب و مصرف فسفر و تحقیقات اندک در ایران، آزمایش مذکور به منظور ارزیابی کارایی ارقام مختلف گندم در جذب و مصرف فسفر در استفاده از سنگ فسفات (منبع نامحلول فسفر) انجام شده است.

مواد و روش ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل با طرح کاملا تصادفی با ۲۰رقم گیاه گندم بهاره (جدول ۴) و دو منبع کود فسفاته شامل فسفر محلول از منبع فسفات پتاسیم (KH_2PO_4) و فسفر نامحلول از منبع سنگ فسفات (RP) در بستر شنی (River sand) با حاصلخیزی پایین و در سه تکرار به صورت گلخانه‌ای در دانشکده کشاورزی ارومیه در سال ۱۳۸۹ اجرا گردید. پس از هوا خشک شدن شن مورد نظر، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر شن از لحاظ pH در سوسپانسیون ۱:۵ خاک و محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم و قرائت بوسیله دستگاه pH متر HANNA مدل HI۹۰۱۷ ، فسفر قابل استفاده به روش اولسن و همکاران (۲۶) و میزان عناصر کم مصرف با روش عصاره‌گیری توسط DTPA لیندسی و نرول (۱۸) تجزیه شده و نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر شن

بافت	pH	Olsen-P	Fe	Mn	Zn	Cu
			(mg/kg)			
شن ریز	۷/۴	۳	۵/۰۶	۲/۷۸	۰/۷۶	۰/۲۸

شن عبور داده شده از الک ۲mm، در گلدان‌های سه کیلوگرمی ریخته شد، سپس ۲۰رقم گندم در دو منبع کودی فسفات پتاسیم و سنگ فسفات و در سه تکرار در گلدان‌ها کاشته شدند. سایر عناصر غذایی در واحد mg/kg به شرح زیر به گلدانها اضافه شد: N ۱۰۰ از NH_4NO_3، K ۸۹ از KCl و K_2SO_4، Ca ۴۱ از $CaCl_2.2H_2O$، Mg ۳/۹۵ از $MgSO_4.7H_2O$، Mn ۳/۲۶ از $MnSO_4.H_2O$، Zn ۲/۰۵ از $ZnSO_4.7H_2O$، Cu ۰/۵۱ از $CuSO_4.5H_2$، B ۰/۱۲ از H_3BO_3، Co ۰/۱۱ از $Na_3[CO(NO_3)_6]$، Mo ۰/۰۸ از $(NH_4)_6MO_7O_{24}.4H_2O$ و Fe ۵ از سکوسترین آهن ۶٪. بطوری‌که نیتروژن در ۳ مرحله و سایر عناصر غذایی در یک مرحله و قبل از کشت مصرف شدند. مراقبت‌های زراعی لازم برای تمامی تیمارها به طور یکنواخت اعمال گردید. آبیاری بصورت وزنی به هنگام رسیدن گلدان‌ها به ۸۰ درصد FC انجام گرفت. از۱۴ بذر کاشته شده در هر گلدان، هشت بذر برای ادامه کشت در گلدان‌ها گذاشته شد. پس از هشت هفته بوته‌ها برداشت و اندام هوایی پس از خشک شدن در آون ۷۰ درجه سانتیگراد توزین شده و پس از آسیاب شدن، غلظت فسفر شاخساره ارقام به روش کالریمتری (رنگ زرد مولیبدات و وانادات) وسترمن (۳۲) اندازه‌گیری شدند. از داده‌های بدست آمده، مقدار فسفرکل، شاخص پاسخ به کود و شاخص‌های فسفرکارایی محاسبه شدند:

PC: غلظت فسفر شاخساره (mg / g DW) ؛ SDW: عملکرد خشک شاخساره (g) ؛ PS: فسفر محلول از منبع فسفات پتاسیم؛ RP: فسفر نامحلول از منبع سنگ فسفات

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از طریق نرم افزار SAS و رسم نمودارها از طریق Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارقام از لحاظ عملکرد اندام هوایی، شاخص پاسخ به کود، غلظت و مقدار فسفر کل، شاخص فسفرکارایی، کارایی در مصرف فسفر و کارایی جذب فسفر در سطح یک درصد تفاوت معنی داری نشان دادند (جداول ۲ و۳).

TP: مقدار فسفر کل شاخساره (mg) (۲۲):

$$TP = PC \times SDW$$

FR[1] : شاخص پاسخ به کود (g) (۹) و (۳۳):

$$FR = SDW_{PS} - SDW_{RP}$$

PACE: شاخص کارایی جذب فسفر (۲۳):

$$PACE = \left(\frac{TP \text{ in } P_0}{TP \text{ in } P_s} \right)$$

PUTE: شاخص کارایی مصرف فسفر (g SDW / mg P) (۲۹):

$$PUTE = \left(\frac{SDW}{TP} \right)$$

PE: شاخص فسفرکارایی(٪)(۲۲):

$$PE = \left(\frac{SDW \text{ in } RP}{SDW \text{ in } PS} * 100 \right)$$

CPE[2] : فسفرکارایی محاسبه شده (۲۸):

$$PUTE \times CPE = PACE$$

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص های عملکرد اندام هوایی، غلظت فسفر، مقدار فسفر کل شاخساره گیاه و کارایی مصرف فسفر تحت تاثیر تیمارهای مختلف رقم و سطح کودی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد اندام هوایی	غلظت فسفر شاخساره	مقدار فسفر شاخساره	کارایی مصرف فسفر
رقم	۱۹	۰/۹۷**	۰/۶۵**	۳۱/۷۱**	۰/۰۴**
سطح کودی	۱	۱۳۲۳/۵۵**	۱۲۱/۳۶**	۱۵۹۰۱/۰۶**	۷/۶۶**
رقم×سطح کودی	۱۹	۰/۶۲**	۰/۳۳**	۲۶/۲۹**	۰/۰۲**
خطا	۸۰	۰/۱۴	۰/۰۱	۱/۲۴	۰/۰۰۲۱
ضریب تغییرات(٪)		۹/۴۱	۵/۴۱	۸/۹۹	۸/۰۸

**معنی دار در سطح ۱٪

1- Response to fertilizer
2- Calculated P efficiency

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص های کارایی جذب فسفر، کودپذیری، فسفرکارایی و فسفرکارایی محاسبه شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کارایی جذب فسفر	شاخص کودپذیری	فسفرکارایی	فسفرکارایی محاسبه شده
رقم	۱۹	۰/۰۰۰۵۶**	۱/۲۵**	۰/۰۰۲۲**	۰/۰۰۰۲۲**
خطا	۴۰	۰/۰۰۰۰۴۰	۰/۳۱	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۰۱۸
ضریب تغییرات (٪)		۱۷/۲۱	۸/۳۴	۱۵/۱	۱۵/۹۴

**معنی دار در سطح ۱٪

عملکرد اندام هوایی(Shoot yield)

عملکرد انـدام هـوایی (وزن خـشک) در حالـت مـصرف سـنگ فسفات از۰/۲۴ (رقم کرج۱) تا ۱/۱۸ گرم به گلـدان (رقـم آزادی) بـا میانگین ۰/۶۸ گرم متغیر بود و بـا مـصرف فـسفر محلـول میـانگین عملکرد اندام هوایی به طور معنی داری به ۷/۳ گرم افزایش یافـت و ارقام کرج ۱ و مرودشت بـه ترتیـب بـا ۵/۶ و ۸/۷ گـرم کمتـرین و بیشترین عملکرد انـدام هـوایی را در حالـت مـصرف فـسفر محلـول داشتند (جدول ۴). در گزارشـاتی مـشابه سـپهر و همکـاران (۲۸) بـا مقایسه عملکرد اندام هوایی ارقام مختلف غلات در خاک آهکـی بـا فسفر قابل دسترس پایین ولی فسفر کل بالا؛ گونش و همکاران (۹)؛ ازترک و همکاران (۲۲)؛ لیو و همکاران (۱۷) و اسبرن و رنگل (۲۳) با مقایسه عملکرد شاخساره غلات در مقادیر مختلف فـسفر محلـول نشان دادند که با مصرف فسفر محلول عملکـرد انـدام هـوایی ارقـام گیاهی افزایش معنی‌داری یافتند. بالمی (۵) گزارش داد کـه کـاهش فرایندهای وابسته به فتوسنتز یا کـاهش تغییـر و تبـدیلات مـوثر در فرایند گرفتن نور منجر به کاهش عملکرد اندام هوایی ارقام در حالت کمبود فسفر شده است. زیانگ – ون و همکاران (۳۴) نـشان دادنـد که اختلافات در اندازه برگ و ارتفاع گیاه بـین ارقـام مختلـف سـویا منجر به ایجاد عملکردهای متفاوت شاخساره بین ارقـام سـویا شـده است در حالی‌که لیاو و همکاران (۱۶) نشان دادند که تفاوت در جذب فـسفر بـین ارقـام مختلـف گنـدم منجـر بـه ایجـاد اخـتلاف بـین عملکردهای شاخساره ارقام شده است.

شاخص پاسخ به کود (FR)

متوسط شاخص کودپذیری برای ارقام گندم مـورد مطالعـه، ۶/۶ گرم بود که در بین این ارقام، مرودشت با شاخص پاسخ به کود برابـر ۸/۳ کودپذیری بالا و ارقام کرج۱ و هامون به ترتیب با شـاخص ۵/۳ و ۵/۶ گرم کودپذیری نسبتا پایینی را نشان دادند، به‌طـورکلی ارقـام مرودشت، آزادی، نیک نژاد، داراب۲، کرج۲، رسول، مغان۱، کاوه، آریا و شعله دارای شاخص پاسخ به کود بالاتر از میانگین و ارقام گلستان، بیات، اینیا، اترک، شیراز، دز، نویـد، هیرمنـد، هـامون و کـرج۱ دارای شاخص پاسخ بـه کـود پـایین‌تـر از میـانگین بودنـد (جـدول ۴). در تحقیقی مشابه سپهر و همکاران (۲۸) گزارش دادند که در بین ارقـام گندم نان

رقم M-81-13، از بین ارقام گندم دوروم رقم آریا و از بین ارقام جو رقم M-80-16 شاخص کودپذیری بـالایی را نـشان دادنـد و در آزمایش دیگر گونش و همکاران (۹) با مقایسه شاخص پاسخ به کود ۲۵ رقم گندم زمستانه دریافتند که ارقام Kirikpinar-79، C-1252 و Kiziltan-40/98 غیرکودپذیر و ارقـام Ikizce-96، Yakar-99 و Mizrak-98 کودپذیر بودند.

غلظت و مقدار فسفر گیاه

غلظت فسفر در شاخساره ارقام مختلف در حالت فسفر محلول و سنگ فسفات متفاوت بود و بین ۰/۹ و ۱/۶۸ میلی گرم بـا میـانگین ۱/۲۶ در حالت مصرف سنگ فسفات و بین ۲/۱ و ۴/۱ میلی گرم بـا میانگین ۳/۳ میلی گرم بر گرم ماده خشک در حالت مـصرف فـسفر محلول بدست آمد و بطور میانگین در حالت مصرف سـنگ فـسفات، غلظت فسفر در شاخساره ارقام ۲/۶ برابر کمتر از حالت مصرف فسفر محلول بود. در حالت مصرف سنگ فسفات ارقام آزادی، بیات، شیراز، گلستان و دز بیشترین و ارقام مغان۱، آریا، هیرمند، هـامون و کـرج۲ کمترین غلظـت فـسفر را در شاخـساره داشـتند و بـا مـصرف فـسفر محلول، ارقـام شـعله، اتـرک، نیـک نـژاد و گلـستان غلظـت فـسفر شاخساره را به طور قابل ملاحظه ای افـزایش دادنـد (جـدول ۴). در گزارشـی دیگـر سـپهر و همکـاران (۲۸) بـا بررسـی غلظـت فـسفر شاخساره غلات مختلف در خاک آهکی به نتیجه مشابهی رسـیدند و نشان دادند که غلظت فسفر شاخـساره غـلات در حالـت محـدودیت فسفر۲/۲-۱/۲ میلی گرم بر گـرم مـاده خـشک و در حالـت کفایـت فسفری بین ۵-۴ میلی گرم بر گرم ماده خشک بود. لیاو و همکاران (۱۶) نشان دادند کـه در حالـت محـدودیت فـسفری غلظـت فـسفر شاخساره ارقام مختلف گندم زیر غلظت بحرانی فسفر شاخساره بـود. ازترک و همکـاران (۲۲) مـشاهده کردنـد کـه در حالـت محـدودیت فسفری غلظت فسفر شاخساره ارقام گنـدم نـان و دوروم ۵۰ درصـد کاهش یافت. اسبرن و رنگل (۲۳) گزارش دادنـد کـه غلظـت پـایین فسفر شاخساره در ارقام چاودار و تریتیکاله با عملکرد اندام هوایی بالا نسبت به ارقام گندم به اثر رقت در نتیجه افزایش رشد است.

جدول ٤- عملکرد اندام هوایی، شاخص کودپذیری(FR) و غلظت فسفر(PC) ارقام گندم

نام رقم	عملکرد اندام هوایی (g/pot)		شاخص کود پذیری (g/pot)	غلظت فسفر در اندام هوایی (mg / g DW)	
	RP	PS		RP	PS
مرودشت	۰/۳۷	۸/۷	۸/۳	۱/۱۸	۲/۱
رسول	۰/۸۳	۷/۴	۶/۶	۱/۲۲	۲/۹
آزادی	۱/۱۸	۸/۳	۷/۱	۱/۶۸	۳/۳
نیک نژاد	۱/۰۴	۸/۲	۷/۱	۱/۲۷	۳/۹
کرج۲	۰/۵۹	۷/۹	۷/۳	۱/۰۲	۳/۰
داراب۲	۰/۴۷	۷/۹	۷/۴	۱/۲۴	۳/۴
مغان۱	۰/۸۱	۷/۵	۶/۷	۰/۹۰	۲/۴
کاوه	۰/۶۷	۷/۴	۶/۷	۱/۳۳	۲/۶
آریا	۰/۴۹	۷/۴	۶/۹	۱/۰۲	۳/۱
شعله	۰/۶۱	۷/۴	۶/۷	۱/۳۹	۴/۱
گلستان	۰/۹۱	۷/۳	۶/۴	۱/۴۳	۳/۷
بیات	۰/۸۱	۷/۳	۶/۵	۱/۶۱	۳/۵
اینیا	۰/۷۲	۷/۲	۶/۴	۱/۱۲	۳/۰
اترک	۰/۶۴	۷/۱	۶/۴	۱/۳۴	۴/۱
شیراز	۰/۵۵	۷/۱	۶/۵	۱/۴۶	۳/۹
دز	۰/۸۴	۷/۰	۶/۱	۱/۴۶	۳/۴
نوید	۰/۷۳	۷/۰	۶/۳	۱/۱۲	۳/۶
هیرمند	۰/۵۰	۶/۸	۶/۳	۱/۰۷	۳/۱
هامون	۰/۶۳	۶/۲	۵/۶	۱/۱۰	۳/۵
کرج۱	۰/۲۴	۵/۶	۵/۳	۱/۱۶	۳/۵
میانگین	۰/۶۸	۷/۳	۶/۶	۱/۲۶	۳/۳
$LSD_{0.01}$ (بین ارقام)	۰/۴۳		۰/۹۱	۰/۱۴	
$LSD_{0.05}$ (بین سطوح کودی)	۰/۱۴		ــــ	۰/۰۴	
CV (%)	۹/۴۱		۸/۳۴	۵/۴۱	

بالاترین میزان جذب فسفر توسط ارقام گندم در حالت مصرف سنگ فسفات ۱/۹۸ (رقم آزادی) و کمترین آن ۰/۲۸ میلی گرم (کرج۱) بود که بطور میانگین ۰/۸۸ بدست آمد و با مصرف فسفر محلول این میانگین به ۲۳/۹ میلی گرم افزایش یافت. مشاهده شد که مقدار جذب فسفر در ارقام آزادی، گلستان، نیک نژاد، بیات، دز، رسول و کاوه بیشتر از مقدار فسفر در ارقام مغان۱، آریا، کرج۲، هیرمند، هامون، نوید، اینیا، کرج۱ و مرودشت در حالت مصرف سنگ فسفات است که این نشان می دهد ارقام آزادی، گلستان، نیک نژاد، بیات، دز، رسول و کاوه در جذب فسفر از سنگ فسفات توانایی بالاتری را داشتند (جدول۵).

در تحقیقاتی مشابه سپهر و همکاران (۲۸) در غلات؛ زیانگ – ون و همکاران (۳۴) بر روی ارقام سویا؛ گونش و همکاران (۹) بر روی ارقام گندم زمستانه در دو محیط رشد گلخانه و مزرعه ای و لیاو و همکاران (۱۶) بر روی ۱۹۸ رقم گندم در دو نوع خاک با قدرت تثبیت کنندگی بالا نشان دادند که با مصرف فسفر محلول، مقدار فسفر شاخساره ارقام افزایش یافت. در مطالعاتی توسط باتن (۳) بر روی ۲۳ رقم گندم و یا توسط اسبرن و رنگل (۲۳) بر روی ۱۰۶ رقم غلات مشاهده شد که اختلافات بالایی بین ارقام از لحاظ مقدار فسفر کل وجود داشت و این اختلافات به اندازه ریشه، مورفولوژی ریشه و تغییرات ریزوسفر ریشه نسبت داده شد. در گزارشی ازترک و همکاران (۲۲) نشان دادند که بین عملکرد خشک شاخساره ارقام گندم و مقدار فسفر شاخساره همبستگی معنی داری است و پارامتر مقدار فسفر کل شاخساره ارقام گیاهی به میزان زیادی تحت تاثیر گونه گیاه، میزان رشد و تولید محصول قرار می گیرد.

جدول۵- فسفر کل گیاه، شاخص کارایی مصرف، کارایی جذب و فسفرکارایی ارقام مختلف گندم

نام رقم	فسفر کل(mg /pot)		شاخص کارایی مصرف فسفر (g SDW / mg P)		شاخص کارایی جذب فسفر	شاخص فسفرکارایی بر حسب درصد	شاخص فسفرکارایی محاسبه شده (CPE)
	RP	PS	RP	PS			
مرودشت	۰/۴۶	۲۱/۳	۰/۸۵	۰/۴۱	۰/۰۲	۴/۳	۰/۰۲
رسول	۱/۰۱	۲۱/۳	۰/۸۲	۰/۳۵	۰/۰۵	۱۱/۲	۰/۰۴
آزادی	۱/۹۸	۲۷/۰	۰/۶۰	۰/۳۱	۰/۰۷	۱۴/۵	۰/۰۴
نیک نژاد	۱/۳۲	۳۲/۲	۰/۷۹	۰/۲۵	۰/۰۴	۱۲/۷	۰/۰۳
کرج۲	۰/۶۱	۲۳/۴	۰/۹۹	۰/۳۴	۰/۰۳	۷/۶	۰/۰۳
داراب۲	۰/۵۹	۲۶/۷	۰/۸۱	۰/۳۰	۰/۰۲	۶/۰	۰/۰۲
مغان۱	۰/۷۳	۱۸/۰	۱/۱۲	۰/۴۲	۰/۰۴	۱۰/۸	۰/۰۵
کاوه	۰/۹۰	۱۴/۵	۰/۷۵	۰/۳۸	۰/۰۵	۹/۱	۰/۰۴
آریا	۰/۵۱	۲۲/۶	۰/۹۹	۰/۳۳	۰/۰۲	۶/۶	۰/۰۲
شعله	۰/۸۴	۳۰/۴	۰/۷۲	۰/۲۴	۰/۰۳	۸/۳	۰/۰۲
گلستان	۱/۳۳	۲۷/۳	۰/۷۱	۰/۲۷	۰/۰۵	۱۲/۵	۰/۰۳
بیات	۱/۳۰	۲۵/۶	۰/۶۲	۰/۲۸	۰/۰۵	۱۱/۱	۰/۰۳
اینیا	۰/۸۱	۲۱/۵	۰/۸۹	۰/۳۳	۰/۰۴	۱۰/۱	۰/۰۳
اترک	۰/۸۵	۲۹/۱	۰/۷۷	۰/۲۴	۰/۰۳	۹/۱	۰/۰۲
شیراز	۰/۸۰	۲۷/۳	۰/۶۸	۰/۲۶	۰/۰۳	۷/۸	۰/۰۲
دز	۱/۲۳	۲۳/۴	۰/۶۸	۰/۳۰	۰/۰۵	۱۲/۰	۰/۰۴
نوید	۰/۸۳	۲۴/۹	۰/۸۹	۰/۲۸	۰/۰۳	۱۰/۶	۰/۰۳
هیرمند	۰/۵۴	۲۱/۲	۰/۹۴	۰/۳۲	۰/۰۳	۷/۳	۰/۰۲
هامون	۰/۷۰	۲۱/۵	۰/۹۱	۰/۲۹	۰/۰۳	۱۱/۱	۰/۰۳
کرج۱	۰/۲۸	۱۴/۲	۰/۸۶	۰/۳۹	۰/۰۲	۴/۵	۰/۰۲
میانگین	۰/۸۸	۲۳/۹	۰/۸۲	۰/۳۱	۰/۰۴	۹/۳۱	۰/۰۳
$LSD_{0.01}$ (بین ارقام)	۱/۲۷		۰/۰۵		۰/۰۱	۲/۳۱	۰/۰۱
$LSD_{0.05}$ (بین سطوح کودی)	۰/۴۰		۰/۰۱		——	——	——
CV(%)	۸/۹۹		۸/۰۸		۱۷/۲۱	۱۵/۱	۱۵/۹۴

کارایی جذب فسفر(PACE)

متوسط شاخص کارایی جذب فسفر برای ارقام ۰/۰۴ بود و در بین ارقام مورد مطالعه، ارقام آزادی و دز به ترتیب با ۰/۰۷ و ۰/۰۵ نسبت به بقیه کارایی بالایی نشان دادند و ارقام کرج۱ و مرودشت با ۰/۰۲ غیرکاراترین ارقام در جذب فسفر بودند، بطور کلی ارقام آزادی، دز، بیات، گلستان، رسول و کاوه دارای کارایی جذب فسفر بالاتر از میانگین و ارقام کرج۱، مرودشت، آریا، داراب۲، کرج۲ و هیرمند کارایی جذب فسفر پایین‌تر از میانگین داشتند که نشان می‌دهد ارقام آزادی، دز، بیات، گلستان، رسول، نیک نژاد و کاوه در جذب فسفر کاراتر هستند (جدول ۵). مارشنر و همکاران (۲۱) گزارش دادند که اختلافات ژنتیکی بین ارقام از لحاظ جذب فسفر، مهم‌ترین فاکتور تعیین کننده در کارایی عنصر است که به خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی ریشه وابسته است، همانطوری‌که ونگ و همکاران (۳۱) با ارزیابی خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی ریشه ارقام کتان، گندم و لوپین گزارش دادند که گیاه لوپین از طریق ترشحات ریشه، گندم از طریق رهاسازی پروتون و گسترش ریشه و گیاه کتان با افزایش فعالیت فسفاتاز ریزوسفر توانایی جذب فسفر بالایی را داشتند، هم‌چنین لیو و همکاران (۱۷) مشاهده کردند که در حالت محدودیت فسفر بیومایس ریشه، نسبت ریشه به شاخساره، طول ریشه، فعالیت اسیدفسفاتاز و سطح تماس ریشه برای هر دو رقم فسفرکارا و غیرکارای ذرت افزایش ولی ترشح اسید آلی و pH ریزوسفر ریشه ها کاهش یافت. پیرس و همکاران (۲۷) با بررسی نقش کربوکسیلات و تاثیر آن بر روی جذب فسفر و رشد گیاه *Lupinus albus* L. گزارش دادند که توانایی ریشه ها در افزایش ترشح کربوکسیلات نوعی سازگاری برای جذب فسفر در خاک‌هایی با فسفر قابل دسترس پایین

است. منسک و همکاران (۱۹) گزارش دادند که کارایی جذب فسفر مهم‌تر از کارایی مصرف فسفر است در حالی‌که ازترک و همکاران (۲۲) نشان دادند که هر دو نوع کارایی جذب و مصرف فسفر به طور یکسان اهمیت دارند.

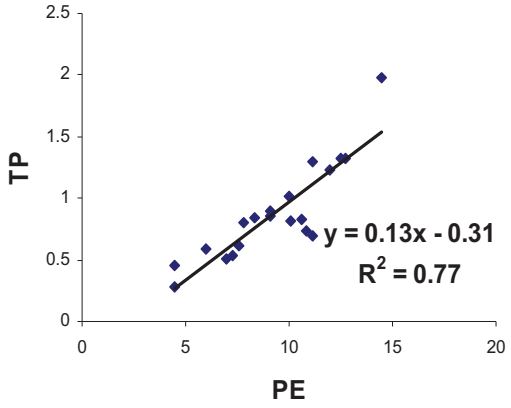
کارایی مصرف فسفرگیاه (PUTE)

ارقام گیاهی که با غلظت‌های پایین فسفر شاخساره، بتوانند فعالیت‌های متابولیکی را در بافتها و اندام‌های خود طوری تنظیم کنند که وزن خشک بالایی را به ازای هر واحد فسفر جذب شده تولید کنند کارایی مصرف فسفربالایی را دارند. این شاخص در حالت مصرف سنگ فسفات از ۰/۶ (آزادی) تا ۱/۱۲ گرم ماده خشک بر میلی گرم فسفر (مغان۱) تغییر کرد و از این نظر ارقام مغان۱، آریا، کرج۱، مرودشت، کرج۲، هامون، هیرمند، اینیا و نوید کاراتر بودند اما ارقام آزادی، بیات، دز، گلستان، شیراز، شعله و نیک نژاد کارایی پایین داشتند. مشاهده شد که با افزایش فسفر محلول، کارایی مصرف فسفر در تمامی گونه‌ها کاهش یافت بطوری‌که از ۰/۲۴ (اترک و شعله) تا ۰/۴۲ (مغان ۱) با میانگین ۰/۳۱ گرم بدست آمد (جدول ۵). همانطوری‌که سپهر و همکاران (۲۸) گزارش دادند که با افزایش مصرف کود فسفاته در خاک آهکی با فسفر قابل دسترس پایین کارایی مصرف فسفر غلات از ۰/۵۵ به ۰/۲۱ کاهش یافته است و ارقام جو، یولاف، چاودار و تریتیکاله کارایی مصرف فسفر بالایی از ارقام گندم نان و دوروم داشتند. در تحقیقی مشابه فاگریا و همکاران (۷) گزارش دادند که با مصرف فسفرمحلول، کارایی مصرف فسفر ارقام برنج از ۲/۹ به ۱/۰۴ گرم کاهش یافت. اسبرن و رنگل (۲۳) با ارزیابی کارایی مصرف فسفر ارقام مختلف غلات در مقادیر مختلف فسفرمحلول گزارش دادند که ارقام چاودار و تریتیکاله کارایی مصرف فسفر بالایی از ارقام گندم داشتند. فاگریا و همکاران (۸) گزارش دادند که گونه های گندم جدید کارایی مصرف فسفر بالاتری را نسبت به سایر گونه های قدیمی گندم داشتند.

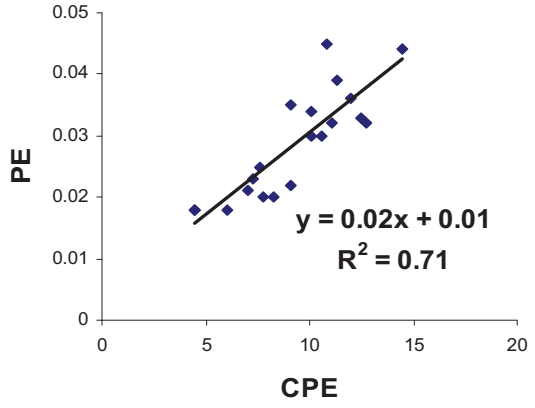
فسفرکارایی (PE)

متوسط شاخص فسفرکارایی برای ارقام ۹/۳۱ بود و ارقام آزادی و نیک نژاد به ترتیب با ۱۴/۵ و۱۲/۷ درصد بالاترین فسفرکارایی و ارقام مرودشت و کرج۱ با ۴/۵ درصد پایین ترین فسفرکارایی را داشتند، در حالت کلی ارقام رسول، آزادی، نیک نژاد، مغان۱، گلستان، بیات، اینیا، دز، نوید و هامون فسفرکارایی بالاتر از میانگین ولی ارقام مرودشت، کرج۲، داراب۲، کاوه، آریا، شعله، اترک، شیراز، هیرمند و کرج۱ فسفرکارایی پایین تر از میانگین را داشتند (جدول ۵). در تحقیقی دیگر توسط سپهر و همکاران (۲۸) نیز رقم آزادی با فسفرکارایی ۰/۹۷ نسبت به بقیه ارقام در جذب فسفر کاراتر بود، در این مطالعه رقم جو (M-80-16) با ۰/۴۲ کمترین فسفر کارایی را داشت و ارقام گندم قدس، روشن و S-18-80 به همراه یولاف به عنوان ارقام فسفرکارا معرفی شدند. در گزارش مشابه، اسبرن و رنگل (۲۳) با ارزیابی فسفرکارایی گندم، چاودار و تریتیکاله در استفاده از مقادیر مختلف فسفرمحلول بر اساس عملکرد خشک شاخساره و در حالت محدودیت فسفر دریافتند که ارقام چاودار و تریتیکاله کارایی بالایی دارند و در بین ارقام گندم فقط ارقام Wawht 2055، Wawht 2128 و Soglen کارا بودند. در آزمایش دیگر با ارزیابی فسفرکارایی غلات مختلف (گندم، چاودار و تریتیکاله) در استفاده از منبع فسفات آهن اسبرن و رنگل (۲۴) بیان کردند که ارقام چاودار و تریتیکاله کاراتر از ارقام گندم بودند و از لحاظ فسفرکارایی اختلافات زیادی بین ارقام گندم وجود داشت، مطالعات ایشان نشان داد که هیچ رقمی بر اساس ۴ شاخص (عملکرد خشک شاخساره در فسفرکم، عملکرد نسبی شاخساره، کارایی جذب و مصرف فسفر) کارا نبود، بر اساس سه شاخص (عملکرد خشک شاخساره در فسفرکم، عملکرد نسبی شاخساره و کارایی جذب فسفر) از بین ارقام چاودار Bevy، Pc00361 کارا و رقم Machete غیرکارا بود، بر اساس دو شاخص (عملکرد خشک شاخساره در فسفرکم، عملکرد نسبی شاخساره) از بین ارقام گندم Chinese 80-55، Westonia ، Wawht 2147 از بین ارقام تریتیکاله AT48-94 ، TX93-78-1-1 و از بین ارقام چاودار رقم Bulgarian pento کارا ولی ارقام Boricuta، Cadoux، Cunderdin، Insignia، Kalingri، Perenjori، Abacus غیرکارا بودند. گاهونیا و همکاران (۱۰) با ارزیابی فسفرکارایی بین ارقام گندم زمستانه و جو بهاره و زمستانه گزارش دادند که فسفرکارایی ارقام جو بهاره و گندم زمستانه بیشتر از ارقام جو زمستانه بود بطوری‌که در بین ارقام جو بهاره، رقم Hamu و در بین ارقام گندم زمستانه، رقم Canut به ترتیب با ۳۵ و۴۱ درصد بالاترین فسفرکارایی را داشتند، هم‌چنین نشان دادند که اختلافات فسفرکارایی به طول تارهای ریشه و ترشحات ریشه ارقام مختلف مربوط است.

شاخص فسفرکارایی با مقدار کل فسفر جذب شده در حالت مصرف سنگ فسفات همبستگی مثبت و معنی داری (R^2=۰/۷۷) در سطح یک درصد داشت (شکل۱) در تحقیق دیگر ازترک و همکاران (۲۲) گزارش دادند که ضریب همبستگی بین فسفرکارایی و مقدار کل فسفر جذب شده برابر با (R^2 =۰/۸۱) بود. سپهر و همکاران (۲۸) نیز به نتیجه مشابهی رسیدند و بیان کردند که همبستگی مثبت (R^2=۰/۶۶) بین فسفرکارایی و مقدار کل فسفر است و دریافتند که مقدار فسفر شاخساره، پارامتر مناسبی برای مقایسه ارقام گیاهی گندم در طول دوره رشد است. در حالت مصرف سنگ فسفات بین فسفرکارایی و غلظت فسفر شاخساره همبستگی ضعیف (R^2=۰/۱۸) وجود داشت که با نتایج جونز و همکاران (۱۳) مطابقت دارد.



شکل۱- همبستگی بین فسفرکارایی(PE) و مقدار کل فسفر(TP) گیاه در حالت مصرف سنگ فسفات



شکل۲- همبستگی بین فسفرکارایی (PE) و فسفرکارایی محاسبه شده (CPE)

بین فسفرکارایی و فسفرکارایی محاسبه شده همبستگی معنی داری (R^2=۰/۷۱) وجود داشت (شکل۲) که بیانگر این است که عملکرد نسبی شاخساره شامل هر دو کارایی جذب و مصرف فسفر است و یک شاخص مناسب برای ارزیابی فسفرکارایی است که با نتیجه لیاو و همکاران (۱۵) مطابقت دارد. سپهر و همکاران (۲۸) نیز بین فسفرکارایی و فسفرکارایی محاسبه شده همبستگی معنی داری (R^2=۰/۸۶) ولی بین غلظت فسفر شاخساره و فسفرکارایی همبستگی ضعیف (R^2=۰/۱۲) نشان دادند. به منظور ارزیابی شاخص های مربوط به فسفرکارایی، اختر و همکاران (۲) نشان دادند که کارایی جذب و مصرف فسفر دو فاکتور مهم در ارزیابی و انتخاب ارقام *Diversa brassica* هستند. زیانگ- ون و همکاران (۳۴) نشان دادند که عملکرد خشک شاخساره در حالت کمبود فسفر و عملکرد نسبی خشک شاخساره از فاکتورهای موثر و ساده برای نمایش فسفرکارایی ارقام مختلف سویا بودند. های- وی و همکاران (۱۲) به منظور ارزیابی فسفرکارایی ارقام گیاهی *Rapeseed(Brassica napus L.)* گزارش دادند که عملکرد اندام هوایی و وزن خشک ریشه شاخص های موثر برای ارزیابی فسفرکارایی ارقام است. فسفرکارایی به فاکتورهای زیادی از قبیل محیط رشد و اشکال شیمیایی فسفر خاک نیز وابسته است (۱۶). همانطوری‌که گونش و همکاران (۹) گزارش دادند نتایج فسفرکارایی در دو محیط گلخانه و مزرعه با هم مطابقت ندارند و هیچ همبستگی بین فسفرکارایی ارقام بین دو محیط وجود نداشت و برای نشان دادن تاثیر اشکال شیمیایی فسفر خاک بر روی فسفرکارایی ارقام مختلف گندم، اسبرن و رنگل (۲۵) وقتی که از منبع فسفر آلی (فیتات) استفاده کردند نشان دادند که ارقام گندم Westonia و Cadoux فسفرکارا بودند اما زمانی‌که از فسفات آهن یا فسفر معدنی محلول استفاده کردند نشان دادند که رقم Westonia کارا ولی رقم Cadoux غیرکارا بودند.

نتیجه گیری

بطورکلی بین ارقام مختلف گندم از لحاظ جذب و مصرف فسفر تفاوتهای فاحشی مشاهده گردید. ارقام کرج۱، مرودشت، آریا، داراب۲، کرج۲ و هیرمند ماده خشک بالایی به ازای جذب فسفر کم تولید کردند لذا از لحاظ مصرف فسفر کارا بودند، در مقابل ارقام آزادی، بیات، دز، گلستان، رسول، نیک نژاد و کاوه فسفر بالایی جذب کرده و از لحاظ جذب فسفر کارا بودند. ارقام کودپذیر نظیر مرودشت، آزادی، نیک نژاد، داراب۲، کرج۲، رسول، مغان۱، کاوه، آریا و شعله برای سیستم های کشاورزی پرنهاده (High-inpute) ولی ارقام کارا نظیر رسول، آزادی، نیک نژاد، مغان۱، گلستان، بیات، اینیا، دز، نوید و هامون برای سیستم های کشاورزی کم نهاده (low-inpute) توصیه می شوند البته با توجه به اینکه ارقام آزادی و نیک نژاد هم کودپذیری بالا و هم فسفرکارایی بالایی دارند پس در هر دو سیستم می توانند کشت شوند. امید است که در آینده با شناخت مکانیسم های فسفرکارایی، ژن های کد کننده آنها در گیاهان و معرفی ارقام فسفرکارا، از مصرف بی رویه کودهای فسفاته، از دست رفتن هزینه های گزاف و آلودگی های زیست محیطی جلوگیری شود و از طرف دیگر به حفظ منابع فسفره نیز کمک شود همچنین گامی مثبت در مدیریت مصرف صحیح کودهای فسفاته و حفاظت از محیط زیست برداشته شود.

منابع

۱- ملکوتی م.ج.، کشاورز پ. و کریمیان ن. ۱۳۸۷. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کودی برای کشاورزی پایدار، انتشارات تربیت مدرس، تهران، ایران.

2- Akhtar M.Sh., Oki Y., and Adachi T. 2008. Phosphorus and biomass distribution, and p-efficiency by Diversa Brassica cultivars exposed to adequate and p-stress environment. J. Environ. Sci.Technol.Vol.13 No 1,pp.111-119.

3- Batten G.D. 1986. The uptake and utilization of P and nitrogeao by diploid, tetraploid wheats (triticum spp.). Annals Bot. 58: 49-59.

4- Batten G.D. 1992. A review of P efficiency in wheat . Plant Soil. 149: 163-168.

5- Balemi T. 2009. Effect of phosphorus nutrition on growth of potato genotypes with contrasting Phosphorus efficiency. African Crop sci. J. Vol. 17, No. 4 , pp. 199-212.

6- Chien S.H., and Menon R.G. 1995. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. Fertilizer Res. 41: 227-234.

7- Fageria N.K., Wright R.J., and Baligar V.C. 1988. Upland rice genotypes evaluation for P use efficiency. J. Plant Nutr. 20: 499-509.

8- Fageria N.K., and Baligar V.C. 1999. Rice cultivar evaluation for P use efficiency. Plant Soil. 111: 105-109.

9- Gunes A., Inal A., Alpaslan M., and Cakmak I. 2006. Genotypic variation in phosphorus efficiency between Wheat cultivars grown under greenhouse and field conditions. Soil Sci Plant Nutr. 52: 470- 478.

10- Gahoonia T.S., and Nielsen N.E. 1996. Variation in acquisition of soil P among wheat and barley genotypes. Plant Soil. 178: 223-230.

11- Gahoonia T.S., and Nielsen N.E. 2004. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. Plant Soil. 260: 47-57.

12- Hai-Wei Z., Yu H., Xiang-Sheng Y., and Fang-Sen X. 2008. Evaluation of phosphorus efficiency in Rapeseed (*Brassica napus* L.) recombinant inbred lines at seeding stage. Acta Agron. Sin. 34(12): 2152-2159.

13- Jones G.P.D., Jessop R.S., and Blair G.J. 1992. Alternative methods for the selection of P efficiency in wheat. Field Crops Res. 30: 29-40.

14- Jones D.L., Hodge A., and Kuzyakov Y. 2004. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. New Phytol. 163(3): 469-480.

15- Liao M., Hocking P.J., Dong B., Delhaize E., Richardson A.E., and Ryan P.R. 2005. Screening for genotypic variation in phosphorus-uptake efficiency in cereals on Australian soils. Plant Nutrition for Food Security, Human Health and Environmental Protection, Tsinghua University Press. Beijing, China. Pp: 114-115

16- Liao M., Hocking P.J., Dong B., Delhaize E., Richardson A.E., and Ryan P.R. 2008. variation in early phosphorus-uptake efficiency among wheat genotypes grown on two contrasting Australian soil. Aust. J. Agr. Res. 59: 157-166.

17- Liu Y., Mi G., Chen F., Zhang J., and Zhang F. 2004. Rhizosphere effect and growth of two maize (Zea mays l.) genotypes with contrasting p efficiency at low p availability. Plant Sci. 167: 217-223.

18- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA soil test for Zinc, iron, manganese and copper. Soil. Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.

19- Manske G.G.B., Ortiz-Monasterio J.I., Van Ginkel M., Gonzalez R.M., Rajaram S., Molina E., and Vlek P.L.G. 2000. Traits associated whit improved P-uptake efficiency in CIMMYT's semidwarf spring bread wheat grown on an acid andisol in Mexico. Plant Soil. 221: 189-204.

20- Marschener H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. London. Academic Press.

21- Marschener H. 1998. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. Field Crops Res. 56: 203-207.

22- 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 Soil. 269: 69-80.

23- Osborne L.D., and Rengel Z. 2002a. Screening cereals for genotypic variation in efficiency of P uptake and utilization. Aust. J. Agric. Res. 53: 837-844.

24- Osborne L.D., and Rengel Z. 2002b. Genotypic differences in wheat for uptake and utilization of P from iron phosphate. Aust. J. Agric. Res. 53: 837-844.

25- Osborne L.D., and Rengel Z. 2002c. Growth and P uptake by wheat genotypes supplied with phytate as the only P source. Aust. J. Agric. Res. 53: 845-850.

26- Olsen S.R., Cole C.V., Watanable F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available P in soils by extraction with sodium bicarbonate. Cir. No 939. USDA, U. S. Government printing office. Washington DC.

27- Pearse S.J.,Veneklaas E.J., Cawthray G.R., Bolland M.D.A., and Lambers H. 2006. carboxylate release of wheat canola and 11 grain legume species as affected by phosphorus status. Plant Soil . 288: 127-139.

28- 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. Int. J. Plant. Prod. 3: 17-28.
29- Scott D.P.J.B., Charlos A.Mc., and Curtis J.R. 1995. Nutrient-use efficiency: a litterfall index, a model, and a test along a nutrient-availability gradient in North Carolina peatlands. University of Chicago press.
30- Vance C., Uhde-Stone C., and Allan D.L. 2002. Phosphorus acquisition and use:critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytol. 157: 423-447.
31- 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 Soil. 312: 117-128.
32- Westerman R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. 3rd edition. American Society of Agronomy and Soil Science of America, Madison, Wisconsin.
33- Williams L.E. Fertilizer use efficiency and influence of rootstock on uptake and accumulation of nutrients in winegrapes grown in the coastal valleys of California. Proc. Fert. Res. Educ. Prog. Conf., 8th, Tulare. 14 Nov 2000. Calif. Dept. Food Agric. Fert. Res. Educ. Prog., Sacramento.
34- Xiang-wen P., Wen-bin L., Qiu-ying Z., Yan-hua L., and Ming-shan L. 2008. Assessment phosphorus efficiency characteristics of soybean genotypes in phosphorus-deficient soils. Agri. Sci. China. J. 7(8): 958-96.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.4, Sept.-Oct. 2012, p. 968-978

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۱، ص. ۹۷۸-۹۶۸

Evaluation of Phosphorus Acquisition and Utilization Efficiency of Wheat Genotypes in Rock Phosphate

E. Iranshahr[1] - E. Sepehr[2*]
Received: 20-9-2011
Accepted: 15-4-2012

Abstract

A factorial completely randomized design experiment with three replications was carried out in greenhouse to evaluate the phosphorus (P) acquisition and utilization efficiency of 20 wheat genotypes in a river sand fertilized with rock phosphate (RP) and soluble P (PS). Results showed significant differences in shoot dry weight (SDW), shoot P concentration, shoot P content, P acquisition (PACE), P utilization (PUTE) and P efficiency. Marvdasht and Hamun with 8.3 and 5.6 g dry weight showed the highest and lowest response to soluble P fertilizer application, respectively. The average of PACE for all genotypes was 0.04 which Azadi and Karaj1 were the most and least efficient in P acquisition compared to other genotypes. PUTE ranged from 0.6 (Azadi) to 1.12 (Moghan 1) with the average of 0.82 (RP) and 0.31 g DW mg^{-1} P (PS). Among wheat genotypes, Karaj 1 (4.5%) and Azadi (14.5%) showed the lowest and highest P efficiency, respectively. There was no correlation (R^2=0.18) between P efficiency and shoot P concentration of genotypes, but the relationship between P efficiency and shoot P content was highly significant (R^2=0.77).

Keywords: Wheat, Phosphorous, Rock phosphate, Acquisition, Utilization efficiency

1,2 - MSc Stundent and Assistance Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Urmia University
(* - Corresponding Author Email: e.sepehr@urmia.ac.ir)