بررسی کارایی ارقام مختلف غلات از لحاظ جذب فسفر

ابراهیم سپهر،[۱*] محمدجعفر ملکوتی، بهمن خلدبرین، نجفعلی کریمیان، عباس صمدی،
حسن رسولی، فریدون نورقلی پور، حامد رضایی و زهرا خادمی

دانشجوی دکتری خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس و عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب؛ **esepehr@yahoo.com**
استاد دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی؛ **mjmalakouti@hotmail.com**
استاد دانشگاه شیراز، ، دانشکده علوم، گروه زیست شناسی؛ **bkholdeb@biology.susc.ac.ir**
استاد دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی؛ **karimian@shirazu.ac.ir**
دانشیار دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی؛ **asamadi@myway.com**
استادیار دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی؛ **sadaghianii@yahoo.com**
عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب؛ **nourfg@yahoo.com**
عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب؛ **rezaei_h@yahoo.com**
عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب؛ **zr_khademi@yahoo.com**

چکیده

به منظور بررسی کارایی ارقام مختلف غلات در جذب و مصرف فسفر (فسفر کارایی ارقام) در سال ۱۳۸۵ آزمایشی گلخانه ای به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوکهای کامل تصادفی در خاکی با فسفر قابل دسترس پایین (mg/kg ۵ ≥ P_{Olsen}) و فسفر کل ۱۲۶۰ mg/kg در موسسه تحقیقات خاک و آب اجرا گردید. در این آزمایش ۱۷ رقم غلات شامل ۸ رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.)، ۳ رقم گندم دوروم (*Triticum durum* L.)، ۳ رقم جو (*Hordeum vulgare* L.)، ۱ رقم چاودار (*Secale cereale* L.)، ۱ رقم جو دو سر (*Avena sativa* L.) و ۱ رقم تریتیکاله (*Triticosecale* L.)، در دو سطح فسفر (۰ و ۸۴ mg/kg) در سه تکرار با هم مقایسه شدند. ارقام از لحاظ تعداد پنجه، غلظت فسفر دراندام هوایی، فسفر کل گیاه و وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱٪ تفاوت معنی دار نشان دادند. از شاخص عملکرد نسبی اندام هوایی بعنوان شاخص کارایی فسفر استفاده گردید که به طور میانگین ۰/۷۱ به دست آمد و از ۰/۴۲ تا ۰/۹۷ به ترتیب مربوط به لاین جو (M-۸۰-۱۶) و رقم گندم نان (آزادی) تغییر کرد. میانگین غلظت و جذب کل فسفر در اندام هوایی به ترتیب ۰/۱۹ درصد و ۱۳/۲۴ mg/pot در شرایط بدون مصرف فسفر و ۰/۴۷ درصد و ۴۶ mg/pot در حالت مصرف فسفر بدست آمد. در شرایط کمبود فسفر بالاترین میزان جذب فسفر ۲۰/۱۵ mg/pot مربوط به رقم یا واروس و کمترین آن ۵/۸۵ mg/pot مربوط به لاین جو (M-۸۰-۱۶) بود. جو دوسر بازای واحد فسفر جذب شده بالاترین عملکرد را تولید کرد لذا از لحاظ کارایی مصرف فسفر در داخل گیاه برترین رقم بود. اما از لحاظ میزان نسبی کل جذب فسفر ارقام آزادی و یاواروس به ترتیب با ۰/۴۵ و ۰/۴۳ در صدر بودند. شاخص کارایی با میزان کل فسفر جذب شده همبستگی مثبت و معنی دار در سطح ۱ درصد (r =۰/۶۶) ولی با غلظت فسفر در گیاه همبستگی معنی داری نشان نداد.**

واژه های کلیدی: غلات، فسفر، کارایی، جذب

۱- نویسنده مسئول، آدرس: تهران- تقاطع بزرگراه شهید دکتر چمران و جلال آل احمد - دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی - صندوق پستی: ۱۱۱-۱۴۱۱۵

* دریافت: ۸۵/۱۲/۲۱ و پذیرش: ۸۷/۵/۳

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

فسفر یکی از عناصر مهم در تغذیه گیاهی بوده و پس از نیتروژن بیشترین مصرف را در دنیا دارد به طوری که سالانه بیش از ۱۶ میلیون تن فسفر در دنیا (Batten, 1992) و ۸۰۰ هزار تن کود فسفره در ایران مصرف می‌شود (ملکوتی، ۱۳۸۴). اما به دلیل شیمی پیچیده فسفر در خاک، تقریباً ۲۰٪ فسفر مصرف شده در کشت اول مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد و ۸۰٪ آن در خاک تثبیت شده و به شکل غیر قابل دسترس گیاه تجمع می‌یابد (Grotz & Guerinot, 2002)، تجمع بیش از حد فسفر منجر به کاهش عملکرد و پروتئین دانه گندم می‌گردد، همچنین ورود ذرات خاک حاوی فسفر زیاد به آبهای سطحی موجب بهپروردگی (Eutrophication) می گردد (کریمیان، ۱۳۷۷). از طرفی رفتار خاص این عنصر در اغلب خاکها، هم خاکهای آهکی (به خاطر Ca^{2+}) و هم خاکهای اسیدی (بخاطر Al^{3+} و Fe^{3+}) ایجاب می‌نماید که جهت حفظ تولید، همه ساله کودهای حاوی فسفر مصرف شوند، ولی ناکامی این روش به دلیل پیچیدگی شیمی فسفر از یک طرف و دلایل زیست محیطی و اقتصادی از طرف دیگر در دو دهه اخیر باعث شد تا دانشمندان شیوه وفق دادن گیاهان با شرایط طبیعی خاکها را مدنظر قرار داده و نسبت به انتخاب و اصلاح ژنوتیپ‌هایی که مواد غذایی خاک و کود را با بازده بالا مصرف می‌کنند اقدام نمایند (Marschner, 1995).

امروزه توانایی ژنوتیپ های مختلف گیاهی در جذب و مصرف عناصر غذایی توسط دانشمندان بسیاری مورد توجه قرار گرفته است که تفاوت کارایی آنها در استفاده از عناصر غذایی (Nutrient efficiency) به خاطر جذب بوسیله ریشه‌ها، یا مصرف توسط گیاه (Utilization) و یا هر دو متأثر می‌شود، که اهمیت نسبی این استراتژیها بسته به نوع عنصر و نوع گونه گیاهی می‌تواند متفاوت باشد (Marschner, 1998). Gahoonia و Nielsen (۱۹۹۶) عقیده دارند که از نقطه نظر تغذیه گیاهی ژنوتیپ کارا در جذب فسفر (P-efficient) ژنوتیپی است که بتواند فسفر خاک را بیشتر محلول کرده و جذب نماید و یا به تواند از فسفر جذب شده برای تولید محصول به نحو مطلوب استفاده نماید. Batten (۱۹۹۲) انتخاب ارقام کارا را یک متغیر مکمل و حتی جایگزین برای مصرف کودها در کشاورزی بیان کرد. Mahon (۱۹۸۳) اساس پیشرفت در این مورد را منوط به شناخت تغییرات ژنتیکی ارقام دانست، اما Gahoonia و همکاران (۱۹۹۴) این مسئله را علاوه بر ژنتیک با عوامل محیطی هم مرتبط دانست. Fohse و همکاران (۱۹۹۱) تارهای کشنده را عامل مؤثر معرفی کردند. Gahoonia و Nielsen (۱۹۹۲) تغییرات pH در منطقه اطراف ریشه را مورد بررسی قرار دادند. بالاخره Marschner (۱۹۹۵) بیشتر به ترشحات ریشه ای (Root exudates) پرداخت. Fohse و Jungk (۱۹۸۳) بیان کردند که میزان فسفر خاک بر رشد ریشه، تشکیل تارهای کشنده و میزان ترشحات ریشه تأثیر دارند. Ozturk و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی ژنوتیپهای مختلف گندم نان و دوروم دریافتند که تفاوتهای زیادی بین ارقام از لحاظ فسفر کارایی وجود دارد و در میان ارقام مورد بررسی، کارایی در جذب (Acquisition) مهمترین و موثرترین مکانیسم فسفر کارایی بدست آمد، از عملکرد نسبی اندام هوایی هم به عنوان شاخص فسفر کارایی استفاده کرده و نشان دادند که پارامترهای غلظت کل فسفر در گیاه و عملکرد اندام هوایی در حالت فسفر ناکافی نیز می توانند به عنوان شاخص قابل اطمینان برای ارزیابی فسفر کارایی باشند. Gahoonia و Nielson (۱۹۹۶) در بررسی فسفر کارایی ارقام گندم و جو دریافتند که ارقام گندم زمستانه و جو بهاره کاراتر از ارقام جو زمستانه هستند و تفاوتهای کارایی را بیشتر متأثر از طول تارهای کشنده و ترشحات ریشه ای بیان کردند. Horst و همکاران (۱۹۹۳) در مقایسه فسفر کارایی بین یک رقم جدید گندم با یک رقم بومی آن دریافتند که رقم جدید هم در حالت ناکافی و هم در حالت کفایت فسفر عملکرد بالایی دارد و کاراتر از رقم بومی است و کارایی آن را متأثر از سه عامل مورفولوژی ریشه، جابجایی مجدد فسفر و مصرف بهینه فسفر در داخل گیاه بیان کردند. Liao و همکاران (۲۰۰۵) در استرالیا در بررسی ۱۸ رقم غلات در ۲ نوع خاک با فسفر کل بالا و فسفر کل پایین دریافتند که تفاوتهای معنی داری بین ارقام در رشد و جذب فسفر در هر دو نوع خاک وجود دارد و در این آزمایش فسفر کل جذب شده توسط گیاه با عملکرد اندام هوایی همبستگی خوبی نشان داد و ابراز کردند که کل فسفر جذب شده می تواند یک پارامتر قابل اطمینان برای شناسایی ارقام فسفر کارا باشد. Gill و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی واریته های گندم بهاره تفاوتهای معنی داری بین ارقام از لحاظ میزان جذب فسفر (P uptake) و کارایی مصرف فسفر (P use efficiency) پیدا کردند و آنها را در ۸ گروه متفاوت قرار دادند. Gunes و همکاران (۲۰۰۶) در ترکیه در بررسی ۲۵ رقم گندم زمستانه تفاوتهای معنی داری بین ارقام از لحاظ فسفر کارایی پیدا کردند و بیان کردند گندم های دوروم نسبت به گندم های نان کاراترند و در ضمن هیچ گونه همبستگی بین فسفر کارایی در گلخانه و مزرعه پیدا نکردند. Osborne و Rengel (۲۰۰۲b) در بررسی ۹۹ واریته گندم، ۸ تریتیکاله و ۴ چاودار از چهار معیار عملکرد

Archive of SID

www.SID.ir

اندام هوایی در فسفر ناکافی، عملکرد نسبی اندام هوایی، کارایی جذب فسفر و کارایی مصرف فسفر (عملکرد اندام هوایی بازای واحد فسفر در گیاه) استفاده کردند و بیان کردند که هیچ رقمی در هر ۴ معیار نتوانست به عنوان رقم برتر باشد. در حالت فسفر ناکافی چاودار و تریتیکاله کاراتر از گندم در جذب و مصرف فسفر بودند و ارقام گندم Egret و Durati کاراتر از ارقام گندم Cadoux بودند. لذا با عنایت به اهمیت انتخاب ارقام کارا در جذب عناصر غذایی بخصوص فسفر و تحقیقات اندک در ایران، این آزمایش جهت ارزیابی کارایی ارقام مختلف غلات در جذب فسفر در راستای استفاده بهتر و بیشتر از فسفر بومی خاک صورت گرفت.

مواد و روشها

انتخاب خاک

از میان ۱۵۰۰ نمونه خاک جمع آوری شده برای پروژه گندم در موسسه تحقیقات خاک و آب ۸ نمونه به نحوی انتخاب شد که از لحاظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بدون محدودیت خاص و از نظر فسفر قابل دسترس در حد پائین (کمتر از ۵ mg/kg فسفر) بودند و سپس این خاکها به روش ذوب در کربنات سدیم از لحاظ فسفر کل تجزیه گردیدند (جدول۱). آنگاه خاک قزوین ۱ که دارای بالاترین میزان فسفر کل بود انتخاب گردید (جدول۲).

انتخاب ارقام

ارقام شامل ۸ رقم گندم نان (روشن، آزادی، قدس، پیشتاز، C-۸۱-۴، M-۸۱-۱۳، N-۸۱-۹ و S-۸۰-۱۸)، ۳ رقم دوروم (آریا، یاواروس و D-۸۱-۱۵)، ۳ رقم جو (کارون در کویر، ترشه و M-۸۰-۱۶)، ۱ رقم جو دوسر، ۱ رقم چاودار، ۱ رقم ترتیکاله با مشاوره همکاران محترم موسسه تحقیقات تهیه نهال و بذر انتخاب گردید که مجموعه ای از ارقام اصلاح شده و بومی برای مناطق مختلف کشور و دارای تفاوتهای ژنوتیپی گسترده می باشند.

آزمایش گلخانه ای

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با ۱۷ رقم و ۲ سطح کود فسفره (شامل صفر و ۸۴ mg P/kg) در سه تکرار، در سال ۱۳۸۵ در گلخانه موسسه تحقیقات خاک و آب اجرا گردید، قبل از اجرا، ویژگی های فیزیکی و شیمیائی خاک مورد آزمایش تعیین و عناصر مختلف کودی (۱۰۰ mg/kg ازت بصورت اوره در دو تقسیط، ۵۰ mg/kg پتاسیم به صورت سولفات پتاسیم، ۳۰ mg/kg منیزیم به صورت سولفات منیزیم، ۱۰ mg/kg آهن بصورت سکوسترین آهن ۱۳۸، ۱۵ mg/kg روی به صورت سولفات روی، ۱۵ mg/kg منگنز به صورت سولفات منگنز، ۲/۵ mg/kg مس به صورت سولفات مس و ۲/۵ mg/kg بور به صورت اسید بوریک) در تمامی گلدانها به طور یکسان افزوده شد. با توجه به این که در آزمایشات تعیین کارایی، گیاه در سطح کفایت عنصر مورد بررسی نباید با استرس آن مواجه شود لذا سطح دوم فسفر به میزان ۸۴ mg P/kg بر اساس مقالات Ozturk و همکاران (۲۰۰۵) و Gunes و همکاران (۲۰۰۶) به عنوان سطح کفایت در نظر گرفته شد.

خاک مورد نظر پس از عبور از الک معمولی با تراکم مناسب در گلدانهای ۱۰ کیلوگرمی قرار داده شد و در هر گلدان ۱۴ بذر کشت و پس از سبز کردن تعداد آنها به ۷ بوته کاهش داده شد. تمامی مراقبتهای لازم زراعی مانند آبیاری و تنظیم نور و رطوبت برای تمامی تیمارها به طور یکسان اعمال گردید و پس از ۸ هفته بوته ها برداشت شدند وزن خشک، غلظت فسفر در گیاه (به روش رنگ سنجی)، جذب کل فسفر (حاصل ضرب غلظت فسفر در وزن خشک)، تعداد پنجه، کارایی جذب فسفر (میزان نسبی کل فسفر جذب شده)، کارایی مصرف فسفر (تولید ماده خشک به ازای واحد فسفر جذب شده) اندازه گیری یا محاسبه شد. کلیه نتایج بر اساس موازین آماری مربوطه با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل و نمودارها در برنامه Excel تهیه گردید.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش نشان داد ارقام از لحاظ تعداد پنجه، وزن خشک، غلظت فسفر و میزان کل آن در گیاه با هم دیگر اختلاف معنی داری داشتند (جدول ۳).

تعداد پنجه

با توجه به خصوصیات ژنتیکی ارقام، تعداد پنجه در تریتیکاله کمترین (۳/۳) و در چاودار بالاترین (۲۱) بود و با مصرف فسفر تعداد پنجه به طور متوسط از ۶/۱۷ به ۹/۵۷ افزایش یافت که اهمیت فسفر را در افزایش تعداد پنجه می رساند که به طور متوسط ۶۸٪ تعداد پنجه را افزایش داد و در بعضی از ارقام گندم نان مثل روشن و لاین M-۸۱-۱۳ با مصرف فسفر تعداد پنجه بیش از ۱۰۰٪ افزایش یافت (جدول ۴) این یافته با نتایج Horst و همکاران (۱۹۹۳) مطابقت می نماید که با مصرف ۶۰ mg p/kg تعداد پنجه از ۱۵ به ۳۷ افزایش یافت، لذا در مدیریت کودی علاوه بر ازت، فسفر نیز می تواند برای ایجاد پنجه دهی و تراکم بهتر مد نظر قرار گیرد.

وزن خشک اندام هوایی

جو دوسر، لاین گندم S – ۸۰-۱۸ و رقم آزادی، به ترتیب با ۸/۳۹، ۸/۱۴ و ۸ گرم در گلدان بالاترین تولید

Archive of SID

www.SID.ir

ماده خشک را داشتند و رقم دوروم آریا با ۴/۱۳ g/pot کمترین تولید را داشت (جدول ۴). با مصرف فسفر ماده خشک تمامی ارقام به طور معنی داری افزایش یافت و به طور متوسط از ۶/۸۸ به ۹/۷۷ g/pot رسید و در این میان بیشترین پاسخ به کود در بین ارقام گندم نان مربوط به لاین M-۸۱-۱۳ بود که از ۵/۹۳ به ۱۰/۴۷ رسید و در بین ارقام دوروم آریا از ۴/۱۳ به ۷/۶۵ و در بین ارقام جو لاین M-۸۰-۱۶ که از ۴/۲۴ gr/pot به ۱۰/۱۷ رسید. این نتیجه با کارهای Batten (۱۹۸۶)، Osborne و Rengel (۲۰۰۲a,b) در استرالیا، Manske و همکاران (۲۰۰۰) در CIMMYT، Ozturk و همکاران (۲۰۰۵) و Gunes و همکاران (۲۰۰۶) در ترکیه، Gahoonia و همکاران (۱۹۹۶) در دانمارک، Gill و همکاران (۲۰۰۴)، Liao و همکاران (۲۰۰۵) در استرالیا که بر روی ارقام گندم و جو کشور خودشان مطالعه کرده اند مطابقت می نماید.

غلظت فسفر در گیاه ($P_{conc.}$)

به طور متوسط غلظت فسفر در گیاه در بین ارقام مورد بررسی در جو دوسر کمترین ۰/۱۲ و در یاواروس ۰/۲۶ درصد بالاترین بود (جدول ۴). در شرایط بدون مصرف فسفر میانگین غلظت فسفر ۰/۱۹ که با مصرف فسفر به ۰/۴۷ درصد رسید. در شرایط P_0 ارقام گندم نان و دوروم غلظت فسفر را در محدوده ۰/۲ درصد تنظیم کرده بودند در حالی که این مقدار در ارقام جو، چاودار و جو دو سر به کمتر از ۰/۱۵ رسید که نشان می دهد ارقام اخیر می توانند در شرایط محدودیت فسفر، با فسفر بسیار کم فعالیت های متابولیکی خود را انجام دهند چرا که در حالت معمول غلظت کفایت فسفر ۰/۴ درصد گزارش شده است (Reuters and Robinson, 1997)، اما با مصرف فسفر در تمامی ارقام غلظت فسفر به طور معنی داری بالا رفت و به طور متوسط از ۰/۱۹ به ۰/۴۷ درصد رسید که Osborne و Rengel (۲۰۰۲a,b)، Liao و همکاران (۲۰۰۵) و Ozturk و همکاران (۲۰۰۵) نتایج مشابهی داشتند.

میزان کل فسفر جذب شده($P_{cont.}$) و شاخص کارایی در جذب($P_{acqu.}$)

میزان کل فسفر جذب شده از حاصلضرب غلظت فسفر در ماده خشک محاسبه گردید($P_{cont.} = P_{conc.}$ DW *) و بدین ترتیب در حالت P_0 رقم گندم دوروم یاواروس با ۲۰/۱ mg/pot و رقم گندم نان آزادی با ۱۷/۲ mg/pot بیشترین و لاین جو M-۸۰-۱۶ با ۵/۸mg/pot کمترین مقدار جذب را داشتند و به طورکلی میانگین جذب در شرایط بدون فسفر ۱۳/۲ mg/pot بود که با مصرف فسفر به طور معنی‌داری افزایش یافت و به ۴۶ میلی گرم در گلدان رسید (جدول ۴). اما از آنجا که در محاسبه میزانP جذب شده پتانسیل ژنتیکی ارقام برای تولید محصول نقش موثری دارد لذا برای حذف اثر این عامل از ترم نسبی آن $P_{acqu} = \left(\frac{P_{cont}\, in P_0}{P_{cont}\, in P_{84}} \right)$ به عنوان شاخص کارایی در جذب (Acquisition) استفاده گردید و مقدار آن به طور متوسط ۰/۲۹ به دست آمد که از این جهت ارقام گندم نان و گندم دوروم یاواروس بالای میانگین و ارقام جو، جو دوسر، چاودار و تریتیکاله پایین میانگین بودند که نشان می‌دهد ارقام اخیر علیرغم تولید ماده خشک بالا، میزان جذب فسفر کمتری دارند بنابر این به نظر می آید این ارقام بیشتر در مصرف فسفر کارا باشند نه در جذب آن. از لحاظ کارایی در جذب فسفر ارقام گندم آزادی و یاواروس به ترتیب با ۰/۴۵ و ۰/۴۳ نسبت به بقیه کاراتر بودند و رقم جو M-۸۰-۱۶ با ۰/۱۲ ناکاراترین در جذب فسفر بود(جدول ۵).

در تحقیقات مشابه Batten (۱۹۸۶) با بررسی ۲۳ ژنوتیپ گندم، Osborne و Rengel (۲۰۰۲a) با بررسی ۱۰۶ ژنوتیپ مختلف غلات در استرالیا دریافتند تفاوتهای ژنوتیپی زیادی از لحاظ جذب فسفر در میان غلات وجود دارد و این تفاوتها را ناشی از اندازه و مورفولوژی ریشه و تغییرات ریزوسفر بیان کردند. همچنین Manske و همکاران (۲۰۰۰) در CIMMYT کارایی در جذب را مهمتر از کارایی در مصرف در گندم گزارش کردند، در حالیکه Ozturk و همکاران(۲۰۰۵) در ترکیه هر دو عامل را موثر دانستند، Gahoonia و همکاران (۱۹۹۶) در دانمارک تفاوتهای ارقام گندم و جو در فسفر کارایی را ناشی از قدرت ارقام در جذب فسفر بیان کردند. Fageria و Baligar (۱۹۹۷ و ۱۹۹۹) هم میزان P جذب شده و عملکرد اندام هوایی را مهمترین پارامتر در اسکرین ارقام گندم و برنج ذکر کردند، بنابراین ملاحظه می گردد مطالعات متعدد تفاوتهای ارقام مختلف غلات را در جذب فسفر تأیید می نمایند، بدین ترتیب با پذیرش این تفاوت ها، ملاک توصیه کودی فسفر بر اساس حد بحرانی و به طور یکسان برای تمامی ارقام، کمی با تردید همراه می گردد.

شاخص کارایی در مصرف فسفر($P_{utl.}$)

این شاخص از تقسیم ماده خشک به کل فسفر جذب شده بدست آمده ($P_{utl} = \frac{DW}{P_{cont}}$) که نشان دهندهٔ تولید ماده خشک گیاهی به ازای واحد فسفر جذب شده می‌باشد و رقمی که بتواند فعالیتهای متابولیکی خود را در غلظت پایین فسفر تنظیم نماید و ماده خشک بیشتری نسبت به واحد فسفر جذب شده تولید نماید رقم کارا در

Archive of SID

www.SID.ir

مصرف فسفر شناخته می‌شود. در میان ارقام مورد بررسی، این شاخص از ۰/۳۸(رقم یاواروس) تا g DW/mg P ۰/۸۱(جو دوسر) تغییر کرد و از این حیث ارقام جو، جو دوسر، چاودار و ترتیکاله کاراتر بودند اما ارقام گندم نان و دوروم کارایی پایین داشتند (جدول ۵).

به طور کلی در تمامی ارقام با مصرف فسفر این شاخص به طور چشمگیری کاهش یافت و به طور میانگین از ۰/۵۵ به ۰/۲۱ رسید که نشان می‌دهد گیاه در حالت محدودیت، مسیر سازگاری (Adaptation) را برمی‌گزیند که این یافته با نتیجه کارهای Fageria و همکاران (۱۹۸۸) مطابقت می نماید که با مصرف فسفر، کارایی مصرف آن در ارقام برنج به طور معنی داری کاهش یافت. همچنین Fageria و Baligar (۱۹۹۹) با بررسی ارقام گندم از لحاظ کارایی مصرف فسفر ۳ لاین جدید را کاراتر از ارقام قدیمی یافتند. Horst و همکاران (۱۹۹۳) تفاوت کارایی در مصرف فسفر در ارقام گندم را تأیید و بیان کردند ارقامی که عملکرد آنها بیشتر تابع تعداد دانه در خوشه است در محدودیت فسفر کمتر آسیب می بینند. Osborne و Rengel (۲۰۰۲b) در بررسی ارقام مختلف گندم، چاودار و تریتیکاله نشان دادند ۷ رقم گندم را کارا در مصرف فسفر، تریتیکاله به همراه ۲۸ رقم دیگر گندم کارایی متوسط و ۲ رقم چاودار کمترین کارایی را داشتند که تقابل نتایج، نشان دهنده تنوع ارقام از لحاظ فسفر کارایی حتی در داخل گونه گیاهی است.

شاخص فسفر کارایی ($P_{eff.}$)

محققان از شاخص های مختلفی چون عملکرد مطلق، میزان مطلق فسفر جذب شده، عملکرد نسبی اندام هوایی، شاخص برداشت فسفر، میزان عملکرد بازای فسفر جذب شده، میزان جذب فسفر به میزان فسفر مصرفی، میزان جذب به ازای واحد وزن یا واحد طول ریشه برای فسفر کارایی استفاده کرده اند (Rengel, 1999; Osborne & Rengel, 2002a,b; Fageria & Baligar, 1999; Monasterio et al, 2002 ; Gahoonia & Nielsen, 1996; Damon et al, 2007; Ozturk et al, 2005) و شاید به توان گفت هنوز اجماع کلی برای این موضوع وجود ندارد، اما آنچه که بیش از همه مورد قبول واقع شده و تا حدودی به صورت تعریف در آمده است نسبت عملکرد در حالت محدودیت P به مقدار آن در حالت کفایت P می باشد (Rengel, 1999) که این حالت تأثیر هر دو عامل کارایی در میزان جذب (Acquisition) و کارایی در مصرف (Utilization) را در بر می گیرد، لذا در این تحقیق از مقدار نسبی ماده خشک اندام هوایی $RDW = \left(\frac{DW\ in P_0}{DW\ in P_{84}} \right)$ بعنوان شاخص فسفر کارایی ($P_{efficiency}$) استفاده گردید که از این حیث لاین جو ۱۶-M-۸۰ با ۰/۴۲ کمترین مقدار و رقم گندم نان آزادی با ۰/۹۷ در صدر قرار گرفت و ارقام قدس و روشن، لاین ۱۸-S-۸۰ و جو دوسر با رقم آزادی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵)، لذا در میان ارقام مورد بررسی ارقام مذکور به عنوان فسفر-کارا شناخته شدند. شاخص کارایی ($P_{eff.}$) با میزان کل فسفر در گیاه همبستگی مثبت معنی‌دار(r=0.66**) (شکل ۱) در حالی که با غلظت فسفر در گیاه همبستگی بسیار ضعیفی نشان داد که این نتیجه با کارهای Ozturk و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت داشت که آنها مقدار این همبستگی را r=0.81 به دست آوردند. همچنین Jones و همکاران (۱۹۹۲) و Fageria و Baligar (۱۹۹۹) هیچ همبستگی بین غلظت فسفر در گیاه و فسفر کارایی پیدا نکردند. اما در اغلب مطالعات، همبستگی خوبی بین میزان کل فسفر جذب شده با فسفر کارایی پیدا شده است (Gill *et al*, 1994; Fageria Jones *et al*, 1992 and Baligar, 1997 and 1999;). شاخص فسفر کارایی (عملکرد نسبی اندام هوایی) با شاخص کارایی محاسبه شده که توسط Monasterio و همکاران (۲۰۰۱) به صورت حاصلضرب کارایی در جذب و کارایی در مصرف در حالت محدودیت عنصر($P_{eff.}= P_{acqu.}\times P_{utl.}$) بیان گردیده است، همبستگی معنی‌دار در سطح ۱٪ (r=0.86) نشان داد (شکل ۲) که بالا بودن همبستگی نشان می دهد عملکرد نسبی اندام هوایی به نوعی اثر هر دو عامل کارایی در جذب و کارایی در مصرف را در بر می گیرد و بنابراین می توان گفت شاخص مناسبی برای ارزیابی فسفر کارایی می‌باشد و با نتایج Ozturk و همکاران (۲۰۰۵) و Liao و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد. اما با این شاخص احتمال دارد ارقامی که در حالت محدودیت P عملکرد مطلق پایین و در حالت مصرف فسفر به مصرف کود هم پاسخ ندهند فسفر کارا شناخته شوند لذا Gerloff (۱۹۷۷) و Lynch (۱۹۹۸) بر اساس عملکرد مطلق اسکرین در حالت محدودیت P را برای سیستم کم نهاده (low input) و اسکرین در حالت کفایت P را برای سیستم پرنهاده (high input) پیشنهاد کردند که در حالت دوم از ترم کودپذیری استفاده کردند. در مطالعه ای که توسط Osborne و Rengel هم (۲۰۰۲b) در استرالیا صورت گرفت در میان ۱۱۱ ژنوتیپ غلات، هیچ رقمی نتوانست در تمامی شاخص های کارایی رقم برتر باشد، لذا اسکرین ارقام با توجه به اهداف مطالعه می تواند متفاوت باشد.

نتیجه گیری

به طوری که انتظار می‌رفت تفاوتهای فاحشی بین ارقام مختلف غلات در جذب و مصرف فسفر وجود

Archive of SID

www.SID.ir

دارد و با صرف نظر از چند استثناء به نظر می رسد در میان ارقام مورد بررسی ارقام گندم نان و دوروم بیشتر از لحاظ جذب فسفر و ارقام جو، جو دوسر، چاودار و تریتیکاله از لحاظ مصرف فسفر کارا باشند و احتمالاً ارقام گندم نان و دوروم در حالت محدودیت فسفر بیشتر بسوی مکانیسم های افزایش جذب فسفر از خاک (گسترش ریشه و ترشح اسیدهای آلی) می‌روند و ارقام جو، جو دوسر، چاودار و تریتیکاله بیشتر مکانیسم‌های مصرف بهینه فسفر در داخل گیاه را انتخاب می‌نمایند و فعالیتهای متابولیکی خود را طوری تنظیم می‌نمایند که از فسفر کم جذب شده نهایت استفاده را بکنند، البته نتیجه قطعی در مورد این مسئله نیازمند بررسی بیشتر با تعداد ارقام بیشتر می باشد چرا که ارقام مختلف حتی در داخل یک گونه گیاهی هم رفتارهای متفاوتی از لحاظ جذب و مصرف فسفر دارند. امید است در تحقیقات آینده علاوه بر شناسایی ارقام کارا، جزئیات مکانیسم های کارایی و ژن های کنترل کننده آنها نیز مورد توجه قرار گیرد تا بتوان با انتقال صفات ژنتیکی، ارقامی با کارایی بالا تولید کرد که در صورت تحقق این امر گامی نوین در مدیریت مصرف کودهای فسفاته خواهد بود که علاوه بر کاهش مصرف کودهای فسفاته و در نتیجه کاهش هزینه‌های تولید گامی مثبت در جهت کشاورزی پایدار و حفاظت از محیط زیست خواهد بود و شاید هم امروزه بشریت برای خروج از بحران رشد جمعیت و تقاضا برای غذا از یک طرف و کاهش منابع کودی و افزایش هزینه های استخراج آنها از طرف دیگر، نیازمند انقلاب سبز دیگر باشد البته این بار نه در جهت تولید بیشتر با کود بیشتر بلکه در جهت تولید بیشتر بدون مصرف کود و یا با حداقل مصرف کود.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از زحمات همکاران محترم در موسسه تحقیقات خاک و آب بویژه آزمایشگاه شیمی و بیولوژی خاک و نیز همکاران پروژه گندم تقدیر و تشکر می شود و از همکاران محترم بخش غلات موسسه تحقیقات بذر و نهال هم به خاطر تهیه بذور قدردانی می نماید.

جدول ۱- فسفر السن و فسفر کل خاکهای مورد بررسی

خاک فسفر (mg/kg)	همدان ۱	همدان ۲	تهران	قزوین ۱	قزوین ۲	کرج	اصفهان ۱	اصفهان ۲
فسفر السن	۵	۴/۲	۴/۸	۴/۶	۴/۳	۴/۵	۲/۹	۲/۴
فسفر کل	۸۸۰	۷۲۰	۱۱۲۵	۱۲۶۰	۱۲۵۷	۹۰۲	۱۱۳۰	۱۰۵۲

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

پارامتر	واحد	مقدار	پارامتر	واحد	مقدار	پارامتر	واحد	مقدار
عمق	cm	۰-۳۰	EC	dS/m	۰/۹۵	Fe		۱/۴۶
شن		۶۶	O.C	٪	۰/۲۵	Mn		۲/۸
سیلت	٪	۲۲	TNV		۲/۷۵	Zn	mg/kg	۰/۵
رس		۱۲	P_{ava}	mg/kg	۴/۶	Cu		۰/۸۲
pH	_	۷/۷۶	K_{ava}		۲۷۶/۸	B		۰/۴

جدول ۳- میانگین مربعات پارامترهای مورد بررسی

تیمار	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)			
		تعداد پنجه	وزن خشک	غلظت فسفر در گیاه	میزان فسفر کل گیاه
بلوک	۲	۲/۳۶ ns	۱/۵۹ ns	۰/۰۰۱ ns	۲۹/۷ ns
ارقام	۱۶	۲۰۱/۱۵ **	۴/۳۷ **	۰/۰۰۷ **	۷۰/۶۴ **
سطوح فسفر	۱	۲۹۳/۴۲ **	۲۱۲/۹۲ **	۱/۹۹ **	۲۷۵۲۰/۰۹ **
برهمکنش رقم در فسفر	۱۶	۱۳/۳۷ **	۳/۰۶ **	۰/۰۰۴ **	۵۵/۵۲ **
خطا	۶۶	۲/۶	۰/۹۸	۰/۰۰۱	۲۹/۱۱

** معنی دار در سطح ۱٪، ns معنی دار نیست

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- تأثیر مصرف فسفر بر تعداد پنجه، وزن خشک، غلظت فسفر در گیاه و فسفر کل

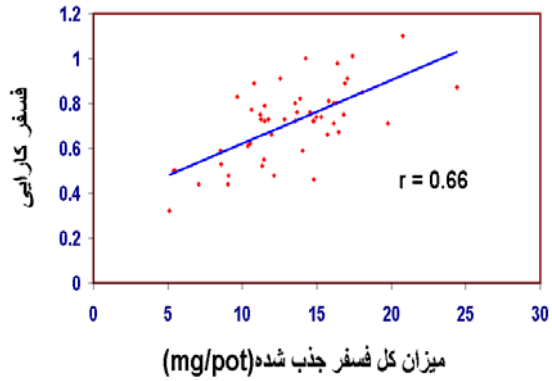
ژنوتیپ	تعداد پنجه		وزن خشک (g/pot)		غلظت فسفر در گیاه (%)		فسفر کل گیاه (mg/pot)	
	P_0	P_{84}	P_0	P_{84}	P_0	P_{84}	P_0	P_{84}
روشن	۵/۳۳	۱۳/۰۰	۷/۵۳	۹/۲۱	۰/۲۱	۰/۵۵	۱۵/۷۵	۵۱/۰۸
آزادی	۳/۶۶	۴/۶۶	۸/۰۳	۸/۲۸	۰/۲۱	۰/۴۸	۱۷/۲۲	۳۹/۶۳
قدس	۳/۶۶	۷/۰۰	۶/۹۶	۸/۳۵	۰/۱۸	۰/۴۱	۱۲/۴۱	۳۴/۳۷
پیشتاز	۵/۰۰	۵/۳۳	۷/۴۸	۱۰/۷۶	۰/۲۱	۰/۴۸	۱۶/۱۸	۵۱/۶۵
C-۸۱-۴	۸/۳۳	۱۲/۳۳	۷/۱۹	۱۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۴۵	۱۵/۰۹	۴۷/۱۸
M-۸۱-۱۳	۳/۰۰	۹/۰۰	۵/۹۳	۱۰/۴۷	۰/۲۱	۰/۴۴	۱۲/۹۰	۴۶/۴۳
N -۸۱-۹	۳/۳۳	۴/۰۰	۶/۴۰	۱۰/۴۷	۰/۲۲	۰/۴۴	۱۴/۰۵	۴۶/۹۰
S-۸۰-۱۸	۶/۳۳	۷/۳۳	۸/۱۴	۱۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۴۴	۱۶/۲۵	۴۵/۱۲
آریا	۳/۳۳	۵/۳۳	۴/۱۳	۷/۶۵	۰/۲۲	۰/۴۶	۹/۳۳	۳۵/۹۷
D-۸۱-۱۵	۳/۳۳	۵/۶۶	۶/۶۵	۹/۵۱	۰/۲۰	۰/۵۲	۱۳/۷۴	۴۹/۴۰
یا واروس	۴/۰۰	۶/۳۳	۷/۶۲	۹/۶۰	۰/۲۶	۰/۴۹	۲۰/۱۵	۴۷/۰۱
کارون در کویر	۵/۳۳	۶/۳۳	۶/۵۹	۱۱/۳۸	۰/۱۴	۰/۴۲	۹/۴۶	۴۷/۷۴
M-۸۰-۱۶	۴/۰۰	۱۲/۰۰	۴/۲۴	۱۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۴۷	۵/۸۵	۴۷/۸۴
چاودار	۲۱/۰۰	۳۱/۳۳	۷/۳۸	۱۰/۹۴	۰/۱۵	۰/۴۸	۱۱/۶۲	۵۳/۶۹
جو دوسر	۶/۶۶	۱۰/۰۰	۸/۳۹	۱۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۴۱	۱۰/۳۵	۴۱/۹۴
تریتیکاله	۳/۳۳	۳/۶۶	۷/۴۴	۹/۷۰	۰/۱۶	۰/۴۵	۱۱/۸۸	۴۴/۶۲
میانگین	۶/۱۷	۹/۵۶	۶/۸۸	۹/۷۷	۰/۱۹	۰/۴۷	۱۳/۲۴	۴۶/۰۹
LSD (برای ژنوتیپها)	۲/۶۰		۱/۶۱		۰/۰۳		۳/۸۸	
LSD (برای سطوح P)	۰/۶۳		۰/۳۹		۰/۰۱		۲/۱	
LSD (برای رقم در سطح P)	۱/۸۶		۱/۱۴		۰/۰۴		۶/۲۲	
CV	۲۰/۵		۱۱/۹		۱۰/۹		۱۸/۲	

جدول ۵- شاخص های کارایی در ژنوتیپ های مختلف غلات

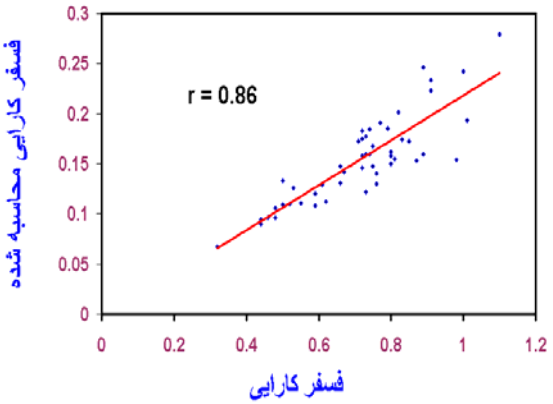
ژنوتیپ	کارایی جذب فسفر	کارایی مصرف فسفر (g DW/mg P)		فسفر کارایی
		P_0	P_{84}	
روشن	۰/۳۱	۰/۴۷	۰/۱۸	۰/۸۲
آزادی	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۹۷
قدس	۰/۳۶	۰/۵۶	۰/۲۴	۰/۸۳
پیشتاز	۰/۳۱	۰/۴۶	۰/۲۰	۰/۷۰
C-۸۱-۴	۰/۳۲	۰/۴۷	۰/۲۲	۰/۷۰
M-۸۱-۱۳	۰/۲۹	۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۵۸
N -۸۱-۹	۰/۳۰	۰/۴۶	۰/۲۲	۰/۶۳
S-۸۰-۱۸	۰/۳۶	۰/۵۰	۰/۲۳	۰/۸۰
آریا	۰/۲۶	۰/۴۴	۰/۲۱	۰/۵۴
D-۸۱-۱۵	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۷۰
یا واروس	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۲۰	۰/۷۹
کارون در کویر	۰/۲۰	۰/۷۶	۰/۲۴	۰/۵۸
M-۸۰-۱۶	۰/۱۲	۰/۷۳	۰/۲۱	۰/۴۲
ترشه	۰/۲۴	۰/۵۴	۰/۱۷	۰/۷۷
چاودار	۰/۲۳	۰/۶۶	۰/۲۰	۰/۶۸
جو دوسر	۰/۲۵	۰/۸۱	۰/۲۴	۰/۸۳
تریتیکاله	۰/۲۸	۰/۶۳	۰/۲۲	۰/۷۷
میانگین	۰/۳۰	۰/۵۵	۰/۲۱	۰/۷۱
LSD (برای ژنوتیپها)	۰/۱۲	۰/۰۷		۰/۲۰
CV	۲۵/۷	۱۷/۳		۱۷/۲

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- همبستگی بین فسفر کارایی و میزان کل فسفر جذب شده



شکل ۲- همبستگی بین فسفر کارایی و میزان محاسبه شده آن

فهرست منابع:

۱. کریمیان، ن. ع. (۱۳۷۷). پیامدهای زیادهروی در مصرف کودهای شیمیایی فسفر. مجله خاک و آب، جلد ۱۲، شماره ۴، تهران، ایران.

۲. ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۴). کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینهسازی مصرف کود در ایران. چاپ سوم با بازنگری کامل، انتشارات سنا. تهران، ایران.

3. Batten, G. D. 1986. The uptake and utilisation of phosphorus and nitrogen by diploid, tetraploid and hexaploid wheats (*Triticum spp*.). Annals Bot. 58: 49–59.
4. Batten, G. D. 1992. A review of phosphorus efficiency in wheat. Plant Soil. 149: 163-168.
5. Damon, P., L.D. Osborne, and Z. Rengel. 2007. Canola genotypes differ in potassium efficiency during vegetative growth. Euphytica. 156: 387-397.
6. Elliott, D. E., D. J. Reuter, G. D. Reddy and R. J. Abbott. 1997. Phosphorus nutrition of spring wheat (Triticum aestivum L.) 1. Effects of phosphorus supply on plant symptoms, yield, components of yield, and plant phosphorus uptake. Aust. J. Agr. Res. 48: 855–867.
7. Fageria, N. K. and V. C. Baligar. 1997. Upland rice genotypes evaluation for phosphorus use efficiency. J. Plant Nutr., 20: 499–509.
8. Fageria, N. K. and V. C. Baligar. 1999. Rice cultivar evaluation for phosphorus use efficiency. Plant Soil. 111: 105-109.
9. 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.
10. Fohse, D. and A. Jungk. 1983. Influence of phosphate and nitrate supply on the root hair formation of rape, spinach and tomato plants. Plant Soil. 74: 359-368.
11. Fohse, D. N., Claassen, and A. Jungk. 1991. Phosphorus efficiency of plants, II. Significance of root radius, root hairs and cation balance for phosphorus influx in seven plant species. Plant Soil. 123: 261-272.
12. Gahoonia, T. S., and N. E., Neilsen. 1992. The root induced pH change on the depletion of inorganic and organic phosphorus in the rhizosphere. Plant Soil. 143: 241-248.
13. Gahoonia, T. S., and N. E., Nielsen. 1996. Variation in acquisition of soil phosphorus among wheat and barley genotypes. Plant Soil. 178: 223- 230.

Archive of SID

www.SID.ir

14. Gahoonia, T. S., S. Raza and N. E, Nielsen. 1994. Phosphorus depletion in the rhizosphere as influenced by soil moisture. Plant Soil. 159: 231-218.
15. Gerloff, S. 1977. Plant efficiencies in the use of N, P and K. p: 161-174. In: Wright. M.J. (ed). Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Cornell Univ. Press: New York.
16. 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. of Agr. Soil Sci. 56: 563-572.
17. Grotz, N., and M. L., Guerinot. 2002. Limiting nutrients: An old problem with new solutions. Plant Biol. 5: 158-163.
18. Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, and I. Cakmak. 2006. Genotypic variation in phosphorus efficiency between wheat cultivars grown under greenhouse and field conditions. Soil Science & Plant Nutrition 52, 4: 470–478.
19. Horst, W. J., M. Abdou, and F. Wiesler. 1993. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. Plant Soil. 155/156: 293–296.
20. Jones, G. P. D., R. S. Jessop, and G. J. Blair. 1992. Alternative methods for the selection of phosphorus efficiency in wheat. Field Crops Res. 30: 29–40.
21. Liao, M. T., P. J. Hocking, and B. Dong. 2005. Screening for genotypic variation in phosphorus uptake efficiency in cereals on Australian soils. p. 114-115. In: Li, (ed.), Plant nutrition for food security, human health and environmental protection, Tsinghua University Press. Beijing, China.
22. Lynch, J. 1998. The role of nutrient-efficient crops in modern agriculture. p. 241-264. In: Rengel, Z. (ed), Nutrient use in crop production. The Haworth Press, Inc. New York.
23. Mahon, D. J. 1983. Limitation to the use of physiological variability in plant breeding. Can. J. Plant Sci. 63: 11-21.
24. Manske, G. G. B., J. I., Ortiz-Monasterio, M. Van Ginkel, R.M., Gonzalez, S. Rajaram, Molina, E. 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.
25. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. London. Academic Press.
26. Marschner, H. 1998. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. Field Crops Res. 56: 203-207.
27. Monasterio, O.I.J., G.G.B. Manske and M. van Ginkel. 2001. Nitrogen and Phosphorus Use Efficiency. p. 200-207. In: Reynolds, M.P., O.I.J. Monasterio and A. McNab (eds.), Application of Physiology in Wheat Breeding, Mexico, D.F.: CIMMYT.
28. Monasterio, O.I.J., R.J. Pena, W.H. Pfeiffer, and A.H. Hede. 2002. Phosphorus use efficiency, grain yield, and quality of triticale and durum wheat under irrigated conditions. Proceedings of the 5th International Triticale Symposium, Annex. June 30- July 5. Radzikow, Poland.
29. Osborne, L. D., and Z. Rengel. 2002a. Screening cereals for genotypic variation in efficiency of phosphorus uptake and utilization. Aust. J. Agr. Res. 53: 295–303.
30. Osborne, L. D., and Z. Rengel. 2002b. Genotypic differences in wheat for uptake and utilization of P from iron phosphate. Aust. J. Agr. Res. 53: 837-844.
31. 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.

Archive of SID

www.SID.ir

32. Rengel, Z. 1999. Physiological mechanisms underlying differential nutrient efficiency of crop genotypes. p. 227–265. In: Rengel, Z. (Ed.), Mineral Nutrition of Crops: Fundamental Mechanisms and Implications. Food Products Press, New York.
33. Reuter, D. J. and J. B. Robinson. 1997. Plant Analysis: An Interpretation Manual, 2nd edn., CSIRO Publishing, Australia.

Archive of SID

www.SID.ir