نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره چهارم، ۱۳۹۳
http://ejsms.gau.ac.ir

امکان‌سنجی استفاده از ظرفیت بافری فسفر (PBC) برای تخمین فسفر قابل‌جذب ذرت در برخی خاک‌های آهکی

محمدرضا مقصودی[۱]، *عادل ریحانی‌تبار[۲] و نصرت‌اله نجفی[۲]
[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز
تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/٤

چکیده

یکی از عناصر غذایی که نقش مهمی در افزایش عملکرد و کیفیت ذرت دارد، فسفر است. اطلاع از حد بحرانی این عنصر در خاک و پاسخ‌های گیاهی به کاربرد آن می‌تواند کمک مؤثری در توصیه بهینه کودی این عنصر غذایی باشد. بنابراین در این پژوهش، سطح بحرانی فسفر قابل‌جذب گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در ۲۵ نمونه خاک آهکی که از مناطق مختلف استان آذربایجان‌شرقی جمع‌آوری شده بود، با استفاده از ظرفیت بافری فسفر (PBC) تعیین شد. برای محاسبه ظرفیت بافری فسفر از روش‌های رایج آزمون فسفر خاک شامل روش‌های اولسن، کالول، سلطان‌پور و شواب، مورگان، کلونا ۲ و نوارهای کاغذی آغشته به اکسید آهن به‌عنوان فاکتور کمیت (Q) و از روش‌های شاخص اندازه‌گیری فسفر محلول شامل عصاره‌گیرهای آب مقطر، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و روش پاو به‌عنوان فاکتور شدت (I) استفاده شد. نتایج نشان داد که PBC محاسبه شده با استفاده از نسبت اولسن-P به پاو-P در مقایسه با سایر روش‌های محاسبه PBC بهتر می‌تواند مقدار فسفر جذب شده توسط گیاه ذرت را پیش‌بینی نماید. همبستگی بالای این روش با مقدار فسفر جذب شده توسط بخش هوایی بیانگر این مطلب بود. همبستگی خطی نسبت اولسن-P به پاو-P با مقدار فسفر بخش هوایی به دو قسمت مثبت و منفی قابل تفکیک بود و مقدار این همبستگی در رابطه مثبت برابر **۰/۹۱ و در رابطه منفی **۰/۸۹- بود. سطح بحرانی فسفر قابل‌جذب محاسبه شده از نسبت اولسن-P به پاو-P

* مسئول مکاتبه: areyhani@tabrizu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

برای دست‌یابی به ۹۰ درصد حداکثر ماده خشک نسبی ذرت با استفاده از روش‌های تصویری کیت- نلسون، آماری کیت- نلسون و میچرلیخ- بری، به‌ترتیب ۲/۲، ۲/٤٤ و ۱/۱۹ تعیین گردید. میانگین ضرایب C_1 و C معادله میچرلیخ- بری نیز به‌ترتیب ۰/۸٤۱۱ و ۰/۰۱۲۲ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: فسفر، ظرفیت بافری، ذرت، سطح بحرانی

مقدمه

به‌دلیل استعداد زیاد در تولید دانه، ذرت را «پادشاه غلات» نامیده‌اند (پوپلس و همکاران، ۱۹۸۰). ذرت به همراه گندم و برنج از محصولات مهم کشور ما بوده و فسفر هم بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی پرمصرف گیاهان است. کمبود و بیش‌بود فسفر به‌دلیل مصرف نامتعادل کودهای فسفری از کشور ما گزارش شده است (بشارتی، ۲۰۱۱). بنابراین، تعیین دقیق سطح بحرانی فسفر در خاک‌های آهکی ایران از اهمیت زیادی برخوردار است. بارو و شاو (۱۹۷٦) گزارش کردند که با افزایش ظرفیت بافری خاک مقدار فسفات در محلول عصاره‌گیر کاهش یافت. آنان همچنین بیان نمودند که تأثیر ظرفیت بافری بر فسفر استخراج شده توسط روش اولسن بیش‌تر از روش کالول بود. هالفورد (۱۹۸۰) تأثیر PBC[1] را بر فسفر استخراج شده توسط ٤ عصاره‌گیر رایج شیمیایی یعنی آمونیوم فلورید، بری ۱، اولسن و کالول مطالعه و گزارش کرد که روش‌های آمونیوم فلورید و بری ۱ حساسیت زیادی به PBC و کالول کم‌ترین حساسیت را در این مطالعه به PBC داشت. این موضوع به دفعات گزارش شده که روش اولسن برای پیش‌بینی فسفر قابل‌جذب گیاهان در مناطقی که خاک‌ها دارای تغییرات زیادی در ویژگی‌های شیمیایی مانند pH، مینرالوژی و ظرفیت بافری فسفر هستند، کم‌تر موفق است (دلگادو و تورنت، ۱۹۹۷). زالبا و گالانتینی (۲۰۰۷) گزارش کردند وقتی روش اولسن توسط کالول (۱۹٦۳) اصلاح شد، تأثیر ظرفیت بافری فسفر کاهش یافت. سون (۱۹۹۰) طی پژوهشی با کشت گیاه جو گزارش کرد که PBC و رزین- P نسبت به سه روش عصاره‌گیری اولسن، کلونا و عصاره‌گیر اصلاح شده میلر- آلکسی همبستگی بهتری با شاخص‌های گیاهی داشت. شیروانی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که شاخص‌های بافری به‌دست آمده از معادله‌های جذب فسفر، رابطه معنی‌دار اما معکوسی با فسفر جذب شده توسط گندم در کشت ۷۰ روز داشتند (۰/۷۱- و r=۰/٦۹ و P<۰/۰۵). ون روتردام و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند برای

1- Phosphorus Buffering Capacity

Archive of SID

www.SID.ir

این‌که پتانسیل فراهمی فسفر[1] محاسبه شود، حداقل به دو پارامتر نیاز است: یکی فسفر جذب شده بر اجزای خاک، که قابل بازگشت به محلول خاک است، یا عامل کمیت (Q)[2] و دیگری غلظت فسفر در محلول خاک یا عامل شدت (I)[3]. بهترین پیش‌بینی وقتی به‌دست می‌آید که، Q توسط روش اولسن و عامل I با روش $CaCl_2$ ۰/۰۱ مولار اندازه‌گیری شود. عامل I نسبت فسفری که می‌تواند از خاک خارج شود را نشان می‌دهد. نسبت Q/I، ظرفیت خاک را برای بافر کردن عامل I نشان می‌دهد. ون‌روتردام و همکاران (۲۰۱۲) این روش را به‌کار گرفتند و توانستند پیش‌بینی کود فسفر را برای چمنزار بهبود بخشند.

سطح بحرانی یک عنصر در خاک با این‌که قادر نیست مقدار کود مورد نیاز را مشخص کند ولی می‌تواند خاک‌ها را از نظر نیاز یا عدم نیاز به مصرف کود دسته‌بندی کند (فرشادی‌راد و دردی‌پور ۲۰۰۹؛ هاشمی‌مجد و همکاران، ۲۰۰۹). اعداد متفاوتی برای سطوح بحرانی فسفر برای خاک‌های آهکی در مطالعات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای برای گیاهان ارایه شده است که به‌طور عمده در روش اولسن در دامنه بین ۱۵-۸ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بوده است (فرقانی و کلباسی، ۱۹۹٦؛ صلاحی‌فراهی، ۱۹۹۹؛ حسینی، ۱۹۹۹؛ افضلی، ۱۹۹۹؛ جعفرنژادی و همکاران، ۲۰۰۷؛ خودشناس و دادیور، ۲۰۰۷؛ فرشادی‌راد و دردی‌پور، ۲۰۰۹؛ شهبازی و داودی، ۲۰۱۲). مطابق گزارش اهلرت و همکاران (۲۰۰۳) ظرفیت بافری فسفر (PBC) در تعیین سطح بحرانی با استفاده از هر آزمون خاک تأثیری قطعی دارد، به‌طوری‌که با افزایش آن سطح بحرانی نیز افزایش می‌یابد. فرشادی‌راد و دردی‌پور (۲۰۰۹) عوامل مؤثر بر سطح بحرانی فسفر خاک را در خاک‌های آهکی مقدار آهک فعال، مقدار و ماهیت رس‌ها، میزان اکسیدهای آهن و آلومینیوم، نحوه مدیریت، میزان عملکرد، نوع محصول و اقلیم گزارش کردند. سون (۱۹۹۰) با استفاده از روش PBC به‌دست آمده از تقسیم مقدار فسفر استخراج شده توسط رزین بر کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و روش تصویری کیت- نلسون سطح بحرانی گیاه جو را ٤/٥ گزارش کرد. صادقی‌مطلق (۱۹۹٦) با استفاده از معادله میچرلیخ- بری ضرایب C و C_1 را برای خاک‌هایی از استان کرمانشاه و گیاه چغندرقند و با استفاده از روش اولسن به‌ترتیب ۰/۹۹۳٦ و ۰/۰۰۹۵ گزارش کردند. با مقدمه گفته شده هدف از این پژوهش استفاده از ظرفیت بافری فسفر (PBC) برای تخمین فسفر قابل‌جذب گیاه ذرت در برخی خاک‌های آهکی استان آذربایجان‌شرقی بود که تاکنون گزارش چاپ‌شده‌ای در این مورد وجود ندارد.

1- Phosphorus Supply Potential
2- Quantity Factor
3- Intensity Factor

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

٢٥ نمونه مرکب خاک از مناطق مختلف استان آذربایجان‌شرقی از عمق ٣٠-٠ سانتی‌متری برای این مطالعه انتخاب شدند. نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن، از الک ٢ میلی‌متری عبور داده شده و ویژگی‌هایی هم‌چون بافت خاک به روش هیدرومتری ٤ زمانه (گی و بودر، ٢٠٠٢)، pH در $CaCl_2$ ٠/٠١ مولار با نسبت ١:٢ خاک به محلول و در ١:١ آب به خاک (ریچاردز، ١٩٥٤)، کربن آلی خاک به روش اکسایش‌تر (نلسون و سومرز، ١٩٩٦)، درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود (آلیسون و مودی، ١٩٦٥)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در نسبت ١:٢ خاک به آب (رودز، ١٩٩٦) و کربنات کلسیم معادل فعال (ACCE) با اگزالات آمونیم (دورینیو، ١٩٤٢) در آن‌ها تعیین شد. فسفر قابل‌جذب خاک‌ها نیز به روش اولسن (اولسن و همکاران، ١٩٥٤) تعیین شد. سپس آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور کود فسفر در دو سطح صفر و ٤٠ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از منبع منوکلسیم فسفات $(Ca(H_2PO_4)_2.H_2O)$ و ٢٥ نوع خاک با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. در گلدان‌هایی که شامل ٣ کیلوگرم خاک بودند، پنج بذر گیاه ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ٧٠٤ کاشته شد و پس از دو هفته به سه بوته تنک شد. رطوبت خاک در طول ٢ ماه رشد بین ١٠٠-٨٠ درصد ظرفیت مزرعه به روش وزنی نگهداشته شد. به غیر از فسفر بقیه عناصر بر طبق آزمون خاک و توصیه‌های رایج کودی مصرف شد. برای این منظور مقدار ١٢٠ میلی‌گرم اوره بر کیلوگرم خاک، ١٠ میلی‌گرم روی (از منبع سولفات روی $(ZnSO_4.7H_2O)$) بر کیلوگرم خاک و ٥ میلی‌گرم آهن (از منبع سکوسترین ١٣٨) بر کیلوگرم خاک گلدان‌ها استفاده شد. به‌دلیل این‌که خاک‌ها کمبود پتاسیم نداشتند، پتاسیم مصرف نشد. پس از دو ماه، بخش هوایی و ریشه‌ها برداشت، خشکانیده و پودر شد. هضم نمونه‌های گیاهی با استفاده از روش اکسایش‌تر (والینگ و همکاران، ١٩٨٩) و اندازه‌گیری غلظت فسفر در آن‌ها با روش زرد (اولسن و سومرز، ١٩٨٢) انجام شد. روش‌های عصاره‌گیری مورد مطالعه در جدول ١ ارایه شده‌اند. اندازه‌گیری غلظت فسفر در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی مولیبدات آبی که توسط مورفی و ریلی (١٩٦٢) ارایه و توسط واتانابه و اولسن (١٩٦٥) اصلاح شده است و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. برای محاسبه ظرفیت بافری بالفعل فسفر (PBC) از روش‌های رایج آزمون فسفر خاک شامل روش‌های اولسن، کالول، سلطان‌پور و شواب، مورگان، کلونا ٢ و نوارهای کاغذی آغشته به اکسید آهن به‌عنوان فاکتور کمیت (Q) و از روش‌های شاخص فسفر محلول شامل عصاره‌گیرهای آب مقطر، کلرید کلسیم ٠/٠١ مولار و روش پاو به‌عنوان فاکتور شدت (I) استفاده شد. باید توجه داشت که

Archive of SID

www.SID.ir

ظرفیت بافری به‌دست آمده از معادله‌های هم‌دمای جذب، پتانسیل بالقوه خاک را برای بافر کردن فسفر به‌دست می‌دهد و بهتر است اصطلاح پتانسیل ظرفیت بافری فسفر (PPBC)[1] به آن اطلاق شود. سطح بحرانی فسفر با استفاده از روش تصویری کیت- نلسون، روش آماری کیت- نلسون و روش میچرلیخ- بری تعیین شد. همچنین ضرایب C و C_1 در معادله میچرلیخ- بری تعیین شد. فاکتور انتقال که شاخصی برای تعیین توانایی گیاه در انتقال عناصر از ریشه به بخش هوایی می‌باشد نیز از تقسیم غلظت فسفر در بخش هوایی به غلظت آن در ریشه‌های گیاه محاسبه شد. رسم نمودارها با اکسل و ضرایب همبستگی و توصیف آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

جدول ۱- عصاره‌گیرهای مختلف فسفر مورد استفاده در این پژوهش و ویژگی‌های آن‌ها.

روش عصاره‌گیری	غلظت و ترکیب شیمیایی	pH	نسبت خاک به عصاره‌گیر	مدت تکان دادن (دقیقه)	مرجع
آب مقطر*	آب مقطر	–	۱:۱۰	۵	اولسن و سومرز (۱۹۸۲)
محلول رقیق نمک*	۰/۰۱ M $CaCl_2$	–	۱:۱۰	۵	اولسن و سومرز (۱۹۸۲)
پاو*	آب دیونیزه	–	۱:۶۰	۶۰**	پاو (۱۹۷۱)
اولسن	۰/۵ M $NaHCO_3$	۸/۵	۱:۲۰	۳۰	اولسن و همکاران (۱۹۵٤)
کالول	۰/۵ M $NaHCO_3$	۸/۵	۱:۱۰۰	۹۶۰	کالول (۱۹۶۳)
سلطان‌پور و شواب	۱ M NH_4HCO_3 + ۰/۰۰۵ M DTPA	۷/۶	۱:۲	۱۵	سلطان‌پور و شواب (۱۹۷۷)
مورگان	۰/۵ M CH_3COOH_3 + ۰/۷ M $NaC_2H_3O_2$	٤/۸	۱:۵	۱۵	مورگان (۱۹٤۱)
کلونا ۲*	۰/۲۵ M CH_3COOH_3 +۰/۱۵M NH_4F +۰/۲۵ M $NH_4C_2H_3O_2$	–	۱:۱۰	۱۵	کاین و همکاران (۱۹۹٤)
نوارهای کاغذی*	انواع کاغذهای صافی پوشیده شده با اکسید آهن	–	۱:٤۰:۱***	۹۶۰	چاردون و همکاران (۱۹۹۶)

* این عصاره‌گیرها تنظیم pH نمی‌شوند، ** قبل از ۶۰ دقیقه تکان دادن، مقدار خاک برداشته شده به‌مدت ۲۲ ساعت با آب دیونیزه خیسانده شد و *** یک گرم خاک + ٤۰ میلی‌لیتر محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار + یک نوار آغشته به اکسید آهن با اضلاع ۲×۱۰ سانتی‌متر.

1- Potential Phosphorus Buffering Capacity

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

در جدول ٢ توصیف آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه ارایه شده است. در خاک‌های مورد مطالعه به‌جز خاک‌های ٨ و ١٥ که به‌ترتیب ٣٥/١٥ و ٥/٧٨ درصد گچ داشتند، گچ وجود نداشت. صفاتی هم‌چون درصد کربنات کلسیم معادل، درصد کربن آلی، درصد رس و هدایت الکتریکی از ضریب تغییرات قابل‌توجهی برخوردار بودند که نشان‌دهنده دامنه خوب و وسیع صفات مورد بررسی است. کلاس بافت این خاک‌ها نیز از لوم شنی تا رسی تغییر می‌کرد (جدول ٢). با توجه به رابطه ارایه شده برای تبدیل قابلیت هدایت الکتریکی در نسبت ١:١ آب به خاک به قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع برای خاک‌های دشت تبریز در شوری‌های کم‌تر از ٣٥ دسی‌زیمنس بر متر (ECe=٢/١٤×EC١:١،r=٠/٩٢) توسط فرهمند و همکاران (٢٠١٢) فقط یکی از خاک‌های مورد استفاده در این پژوهش شور بوده و بقیه خاک‌ها از قابلیت هدایت الکتریکی کم‌تر از ٤ دسی‌زیمنس بر متر برخوردار بودند.

در جدول‌های ٣ و ٤ شاخص‌های رشد گیاه ذرت به‌ترتیب در سطح صفر و ٤٠ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک فسفر ارایه شده است. در ٢٥ خاک مورد مطالعه بیش‌ترین همبستگی خطی بین روش پاو و مقدار فسفر ریشه ذرت مشاهده شد ($r=٠/٥٢^{**}$). همچنین روش کاغذ صافی واتمن ٤٥١ آغشته به اکسید آهن با مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه رابطه‌ای منفی و معنی‌دار داشت (r به‌ترتیب برابر $-٠/٤٤^{*}$ و $-٠/٤٨^{*}$). در این پژوهش کم‌ترین همبستگی خطی بین روش پاو و وزن خشک بخش هوایی ذرت مشاهده شد ($r=٠/٠١^{ns}$). در نگاه اول به‌نظر می‌رسید که هیچ‌کدام از عصاره‌گیرهای مورد مطالعه در این پژوهش، قادر به پیش‌بینی شاخص‌های گیاه ذرت نبودند اما با حذف دو خاک با شماره ٢ و ٥ و با فرض غیرنرمال بودن آن‌ها این همبستگی‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافت. نتایج بعد از این تغییر در جدول ٧ ارایه شده است.

جدول ٥ تجزیه واریانس تأثیر سطوح فسفر و نوع خاک بر غلظت و مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت را نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود تأثیر سطح فسفر مصرفی بر غلظت، مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه ذرت و همچنین فاکتور انتقال فسفر در سطح احتمال ٠/١ درصد معنی‌دار بود. بنابراین می‌توان گفت مصرف فسفر باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاه شده است. همچنین نوع خاک‌های مورد مطالعه و نیز اثر متقابل انواع خاک‌ها و سطوح فسفر اعمال شده اثر معنی‌دار در سطح احتمال ٠/١ درصد بر غلظت و مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت داشتند ولی اثر آن‌ها بر فاکتور انتقال فسفر معنی‌دار نبود (جدول ٥). جدول ٦ نشان می‌دهد که تأثیر سطوح فسفر و نوع خاک

Archive of SID

www.SID.ir

و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص‌های رشد بخش هوایی و ریشه ذرت در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. این نتایج تأییدی بر دامنه خوب ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه بوده و نشان‌دهنده ضرورت مصرف کودهای فسفره در خاک‌های استان به‌ویژه در شرایط رفع دیگر عوامل محدودکننده رشد گیاه ذرت می‌باشد. حداکثر و حداقل ماده خشک بخش هوایی به‌ترتیب در خاک ۱۹ (با اولسن-P ۱۰/۲٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سطح ٤۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و خاک ۵ و سطح ٤۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بود. خاک ۵ (با بافت لوم شنی) قبل از کوددهی ۳٦ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک داشت و شاید اثر سمیت فسفر موجب کاهش ماده خشک در این خاک شده است. حداکثر و حداقل غلظت فسفر بخش هوایی به‌ترتیب در خاک ٦ و سطح ٤۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و خاک ۲۲ و سطح شاهد فسفر بود. حداکثر و حداقل مقدار فسفر بخش هوایی به‌ترتیب در خاک ٦ و سطح ٤۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و خاک ۵ و سطح ٤۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بود که علت احتمالی جذب حداقل فسفر توسط گیاه ذرت در این خاک می‌تواند رشد بسیار کم گیاه در این خاک باشد. حداکثر و حداقل مقدار فسفر ریشه به‌ترتیب در خاک ۱۹ و سطح ٤۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و خاک ۵ و سطح شاهد بود. حداکثر و حداقل فاکتور انتقال فسفر به‌ترتیب در خاک ۲۱ و سطح شاهد فسفر و خاک ٤ و سطح ٤۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بود (جدول ۳).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های عمومی خاک‌ها.

ویژگی‌ها	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۷	۳۵	۲۱/۵	۹/۱۵	٤۳
pH*	۷/۸	۸/۵	۸/۱	۰/۱۹	۲
pH**	۷/۳	۸/۲	۷/۷	۰/۲۳	۳
کربن آلی (درصد)	۰/۱٦	۱/۹۳	۱/۰٤	۰/۵۵	۵۳
شن (درصد)	۱۵/۵۷	٦۷/۷۸	۰/۹٤	۱۸/٤۸	٤۷
سیلت (درصد)	۱۵/۵۹	٤۳/۲٤	۲۹/۹۳	۸/۰٤	۲۷
رس (درصد)	۱۲/۳۹	۵۷/۲۷	۱/۱۱	۱۲/۵۵	٤۰
کربنات کلسیم معادل فعال (درصد)	۰/٤۷	۱۰/۷۸	۵/۱	۲/۷۹	۵۵
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۱۳	٤/۱٦	۰/٦۹	۱/۰۱	۱٤٦
فسفر استخراج شده به روش اولسن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/۷٦	۷٤/٤۸	۱۱/۸۸	۱٤/۸۲	۱۲۵

* در نسبت ۱:۱ آب مقطر به خاک، ** در نسبت ۱:۲ کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به خاک.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٣- شاخص‌های گیاه ذرت در سطح بدون فسفر (شاهد).

شاخص‌های رشد گیاه ذرت	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
وزن خشک ریشه ($g\ pot^{-1}$)	٠/٣٢	١/٨٥	١/٠٣	٠/٤	٣٩
وزن خشک بخش هوایی ($g\ pot^{-1}$)	٢/١٥	١٠/١	٥/٧١	١/٩٣	٣٤
غلظت فسفر ریشه (میلی‌گرم بر گرم)	٠/١٩	٠/٦٦	٠/٤٦	٠/١٢	٢٦
غلظت فسفر بخش هوایی(میلی‌گرم بر گرم)	١/٩٨	٥/١٥	٤/٠٧	٠/٧٩	١٩
مقدار فسفر ریشه ($mg\ pot^{-1}$)	٠/١٤	٠/٧٤	٠/٤٧	٠/١٩	٤١
مقدار فسفر بخش هوایی ($mg\ pot^{-1}$)	٩/٧٦	٣٢/٩٢	٢٢/٦٢	٦/٧٥	٣٠
درصد رشد نسبی	٢١/٢٩	١٠٠/٠	٥٦/٥٨	١٩/١٥	٣٤
قطر ساقه (میلی‌متر)	٤/٤	١٠/٤	٦/٩٤	١/٣٨	٢٠
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	٦٣/١٧	١١٤/١١	٩٧/٣٥	١٤/٣	١٥
فاکتور انتقال	٦	١٤/٢٨	٩/٤٧	١/٩٢	٢٠

جدول ٤- شاخص‌های گیاه ذرت در سطح ٤٠ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک.

شاخص‌های رشد گیاه ذرت	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
وزن خشک ریشه ($g\ pot^{-1}$)	٠/٣٣	٣/٠٤	١/٥٢	٠/٦٧	٤٤
وزن خشک بخش هوایی ($g\ pot^{-1}$)	١/٤	١٣/٠٣	٧/٨٥	٢/٧٢	٣٥
غلظت فسفر ریشه (میلی‌گرم بر گرم)	٢/٨٨	٥/٣٩	٤/١٨	٠/٦٤	١٥
غلظت فسفر بخش هوایی(میلی‌گرم بر گرم)	٢/٩٨	٥/٨٢	٤/٤٦	٠/٦٨	١٥
مقدار فسفر ریشه ($mg\ pot^{-1}$)	١/٢١	١٠/٤٨	٦/١	٢/٢٧	٣٧
مقدار فسفر بخش هوایی ($mg\ pot^{-1}$)	٥/٩٨	٦١/١٨	٣٦/٠٥	١٥/٢٩	٤٢
درصد رشد نسبی	٩/٢١	١٠٠/٠	٥٧/٨٣	٢٠/١٩	٣٥
قطر ساقه (میلی‌متر)	٣/٨١	١٠/٦٨	٧/٦٧	١/٥	٢٠
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	٤٨/٢٢	١٢٣/٦١	١٠٢/٦٧	١٦/٩٥	١٧
فاکتور انتقال	٠/٥٨	١/٥٥	١/١١	٠/٢٦	٢٣

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر سطوح فسفر و نوع خاک بر غلظت و مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه ذرت.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		غلظت فسفر بخش هوایی	مقدار فسفر بخش هوایی	غلظت فسفر ریشه	مقدار فسفر ریشه	فاکتور انتقال فسفر
فسفر	۱	۵/۷۹***	٦٧٦١/٦٧***	۵۱۷/۸٦***	۱۱۹۰/۷۷***	۲٦۱۹/۱۱***
خاک	۲٤	۱/٤۳***	۵٦٦/٤۵***	۰/٦٤***	۱۹٤/۱***	۵/٦٤^{ns}
فسفر × خاک	۲٤	۱/۸۲***	۲٦۸/۹۵***	۰/٦۳***	۱۷۷/٤۱***	۵/۵۸^{ns}
خطای آزمایشی	۱۰۰	۰/۸۹^{ns}	۱۰۰/۸۷^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۱۹۲/۹۳^{ns}	٤/۱٦^{ns}

*** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

جدول ٦- تجزیه واریانس تأثیر سطوح فسفر و نوع خاک بر شاخص‌های رشد بخش هوایی و ریشه ذرت.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	قطر ساقه	ارتفاع بوته
فسفر	۱	۳۷٤۲/۷***	۱۷۰/۹۷***	۳۳٤٦/۲***	۸/۹۷***	۱۹/٤۲***	۱۰٦۱/۲۳***
خاک	۲٤	۲٤۹۸/۱٦***	۲٤/٤۷***	۳۷٤/۹۲***	۱/۱٦***	۹/۸٦***	۱۲۷٦/۰۳***
فسفر × خاک	۲٤	۵۸۹/۳٤***	۸/۹٦***	۱۹۸/۷۷***	۰/٦٦***	۲/٦۲***	۱۹۸/۷۸***
خطای آزمایشی	۱۰۰	۱۱۲/۹٤^{ns}	۲/۵۸^{ns}	۲۲/۷۵^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۰/۵۷^{ns}	۵۳/۹٤^{ns}

*** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

با توجه به جدول ۷ مشاهده می‌شود که بیش‌ترین همبستگی به‌ترتیب بین روش‌های کالول، اولسن و کلونا ۲ با وزن خشک بخش هوایی بود (r به‌ترتیب برابر **۰/۷۵، **۰/٦۷ و **۰/٦۵). هر چند دیگر عصاره‌گیرها نیز رابطه معنی‌داری با شاخص‌های گیاهی دارند ولی این روابط هم به‌دلیل دقت کم نمی‌توانند پیش‌گوی مناسبی برای شاخص‌های رشد گیاه ذرت باشند. با توجه به جدول ۷ در این آزمایش روش‌های آب مقطر، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و مورگان همبستگی معنی‌داری با هیچ‌یک از شاخص‌های گیاه ذرت نداشتند. روش‌های پاو و روش کاغذ صافی واتمن ٤۵۱ آغشته به اکسید آهن با غلظت فسفر بخش هوایی و ریشه و مقدار فسفر ریشه همبستگی منفی و معنی‌داری داشتند که دیگر عصاره‌گیرها با این سه شاخص همبستگی نداشتند. در روش Pi بیش‌ترین همبستگی در روشی بود که در آن از کاغذ صافی سچلیچر و سچول ۵۸۹^{۳} استفاده شده بود ولی به‌علت گرانی این نوع کاغذ شاید

Archive of SID

www.SID.ir

بهتر باشد از کاغذ صافی‌های واتمن ٤٠ و ٤٢ استفاده کرد چون فسفر استخراج شده توسط آن‌ها نیز همبستگی خوبی با وزن خشک هوایی داشتند (r در هر دو **٠/٥٩). به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهند که روش‌های عصاره‌گیری شیمیایی در این پژوهش برتر از روش نوارهای کاغذی در پیش‌بینی شاخص‌های گیاهی بودند ولی به هر حال در تمام موارد دقت همبستگی‌ها پایین بود و روابط قوی نبودند (r^2<٠/٧).

جدول ٧- همبستگی خطی فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاهی در ٢٣ خاک مورد مطالعه (حذف خاک‌های ٢ و ٥).

شاخص‌های رشد / روش‌های عصاره‌گیری	وزن خشک بخش هوایی	غلظت فسفر بخش هوایی	مقدار فسفر بخش هوایی	غلظت فسفر ریشه	مقدار فسفر ریشه
آب مقطر	٠/٣٧^{ns}	-٠/٢٨^{ns}	٠/٢٣^{ns}	-٠/٢١^{ns}	-٠/٠٥^{ns}
کلرید کلسیم ٠/٠١ مولار	٠/٣٧^{ns}	-٠/٣١^{ns}	٠/١٤^{ns}	-٠/٢٢^{ns}	-٠/٠٦^{ns}
پاو	٠/١٩^{ns}	-٠/٦٢**	-٠/٢١^{ns}	-٠/٥٧**	-٠/٥٦**
اولسن	٠/٦٧**	-٠/١٤^{ns}	٠/٥٦**	-٠/٠٥^{ns}	٠/١٤^{ns}
کالول	٠/٧٥**	-٠/٢٦^{ns}	٠/٤٨*	-٠/٢٣^{ns}	٠/٠٣^{ns}
سلطانپور	٠/٤٧*	-٠/٢٩^{ns}	٠/٢٦^{ns}	-٠/١٦^{ns}	-٠/٠١^{ns}
کلونا ٢	٠/٦٥**	-٠/٢٥^{ns}	٠/٤٢*	-٠/٢٣^{ns}	-٠/٠٢^{ns}
مورگان	٠/٣٨^{ns}	-٠/٢٥^{ns}	٠/١٨^{ns}	-٠/١٢^{ns}	-٠/١٠^{ns}
Pi (واتمن ٤٠)	٠/٥٩**	-٠/٢٥^{ns}	٠/٤١^{ns}	-٠/١٧^{ns}	٠/٠١^{ns}
Pi (واتمن ٤١)	٠/٥٥**	-٠/٢٥^{ns}	٠/٣٨^{ns}	-٠/١٦^{ns}	٠/٠١^{ns}
Pi (واتمن ٤٢)	٠/٥٩**	-٠/٢٤^{ns}	٠/٤٣*	-٠/١١^{ns}	٠/١٠^{ns}
Pi (پاکستانی ٤٢)	٠/٥٦**	-٠/٤٢*	٠/٢٦^{ns}	-٠/٢٨^{ns}	-٠/٢١^{ns}
Pi (واتمن ٥٤١)	٠/٠٨^{ns}	-٠/٦٠**	٠/٣٤^{ns}	-٠/٥٧**	-٠/٥٦**
Pi (سچلیچر و سچول ٥٨٩[٣])	٠/٦٠**	-٠/٣٣^{ns}	٠/٣٧^{ns}	-٠/١٥^{ns}	٠/٠٤^{ns}

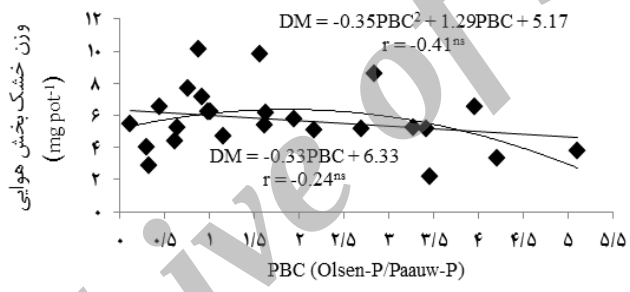
* معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ١ درصد و Pi: روش کاغذ صافی‌های آغشته به اکسید آهن.

ون‌روتردام و همکاران (٢٠١٢) PBC به‌دست آمده از تقسیم اولسن-P بر کلرید کلسیم-P را بهترین تخمین ممکن از ظرفیت بافری تعریف کردند. در این پژوهش سه عصاره‌گیر شاخص فسفر محلول در آب با عصاره‌گیرهای مختلف که می‌توانند شاخص کمیت فسفر باشند، برای محاسبه PBC به‌کار رفت. با بررسی رابطه آماری PBCهای به‌دست آمده با شاخص‌های گیاه ذرت، مشاهده شد که

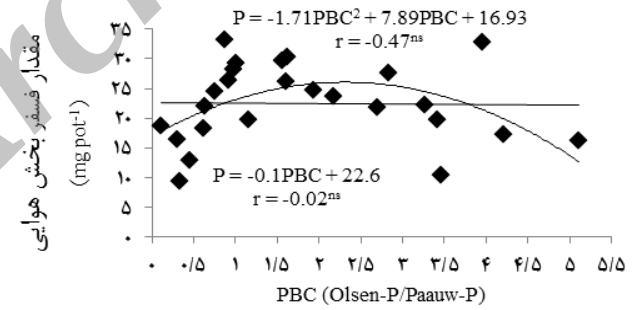
Archive of SID

www.SID.ir

هیچ‌یک از این همبستگی‌های خطی بالا نبودند. همچنین ضریب همبستگی معادله درجه دوم غیرمعنی‌دار بود. برای مثال می‌توان به شکل ۱ (a و b) اشاره کرد. بالاترین همبستگی‌ها وقتی به‌دست آمد که PBC از تقسیم فسفر استخراج شده با روش نوارهای کاغذی واتمن ٤٢ و ٤٠ بر فسفر محلول در کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، در مقابل مقدار فسفر بخش هوایی رسم شدند (r به‌ترتیب ۰/٥٦ و ۰/٥٤ و P<۰/۰۱). سون (۱۹۹۰) بین PBC (فسفر قابل استخراج با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار / رزین–P) و پاسخ‌های گیاه (غلظت فسفر ریشه، فسفر جذب شده، تفاضل عملکرد و عملکرد نسبی) همبستگی معنی‌دار و مثبتی گزارش کرد (تقریباً برای همه آن‌ها r=۰/٦ و P<۰/۰۱). شیروانی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که شاخص‌های بافری به‌دست آمده از معادلات جذب P، رابطه معنی‌دار اما معکوسی با فسفر جذب شده توسط گندم در کشت ۷۰ روز داشتند (|r|=۰/٦۹–۰/۷۱ و P<۰/۰٥).



(a)



(b)

شکل ۱– همبستگی PBC و وزن خشک بخش هوایی (a) و مقدار فسفر بخش هوایی (b).

Archive of SID

www.SID.ir

با بررسی بیش‌تر رابطه PBC با شاخص‌های گیاهی مشاهده شد که افزایش PBC محاسبه شده از نسبت اولسن-P به پاو-P تا ۱/۲ به‌طور واضح باعث افزایش همبستگی شد. این روند در مورد وزن خشک بخش هوایی نیز وجود داشت اما پس از این مقدار این روند عکس حالت قبلی می‌شود، یعنی با افزایش PBC (نسبت اولسن-P به پاو-P) به بیش از ۱/۲، فسفر جذب شده در بخش هوایی کاهش یافت. بنابراین رابطه وزن خشک بخش هوایی و PBC در دو قسمت (PBC کم‌تر از ۱/۲ و PBC بیش‌تر از ۱/۲) بررسی و مشاهده شد که در PBC کم‌تر از ۱/۲ این رابطه از یک معادله درجه سوم پیروی می‌کند (شکل ۲a) که با حذف دو نقطه اول و آخر رابطه خطی شد (شکل ۲b). وزن خشک بخش هوایی و PBC بیش‌تر از ۱/۲ نیز همبستگی خطی ضعیف و منفی با یکدیگر داشتند (شکل ۲c). رابطه مقدار فسفر بخش هوایی و PBC نیز در دو قسمت (PBC کم‌تر از ۱/۲ و PBC بیش‌تر از ۱/۲) بررسی و مشاهده شد که در PBC کم‌تر از ۱/۲ این رابطه از یک معادله درجه سوم پیروی می‌کند (شکل ۳a) که با حذف دو نقطه اول و آخر (خاک‌هایی با اولسن-P خیلی‌کم و زیاد) یک رابطه خطی قوی (r^2=۰/۸۳**) به‌دست آمد (شکل ۳b). مقدار فسفر بخش هوایی و PBC بیش‌تر از ۱/۲ نیز همبستگی خطی ضعیف و منفی با یکدیگر داشتند (شکل ۳c). اما با بررسی داده‌ها از نظر پرت بودن توسط نرم‌افزار SPSS مشاهده شد که در PBCهای ۳/٤٦ و ۳/۹٦ (خاک‌های ۵ و ۹) مقدار کوکس[1] بیش از یک بود، بنابراین این دو داده از نظر آماری پرت محسوب و می‌توان آن‌ها را حذف کرد. با حذف این دو داده یک رابطه قوی (r^2=۰/۸۹**) و منفی بین مقدار فسفر بخش هوایی و PBC بیش‌تر از ۱/۲ مشاهده شد (شکل ۳d).

عامل‌های زیادی حرکت فسفر به طرف ریشه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. سیستمی که برای پیش‌بینی مقدار فسفر مورد نیاز برای افزایش سطح فسفر خاک‌ها به سطح کفایت استفاده می‌شود، باید عامل‌های شدت و ظرفیت را در نظر بگیرد. گیاهان از نظر غلظت فسفر مورد نیاز در محلول خاک متفاوت می‌باشند. در بعضی گیاهان تأمین پیوسته غلظت ۰/۳ میلی‌گرم فسفر در لیتر محلول خاک موجب حداکثر رشد می‌شود (آشر و لونراگان، ۱۹٦۷). غلظت ۰/۲ میلی‌گرم فسفر در لیتر محلول خاک به‌عنوان غلظتی که در آن بیش‌تر گیاهان حداکثر رشد را خواهند داشت به‌عنوان غلظت استاندارد ($P_{۰/۲}$) پیشنهاد شده است (هاولین و همکاران، ۱۹۹۸). مشخص شده است که

1- Coock's Value

Archive of SID

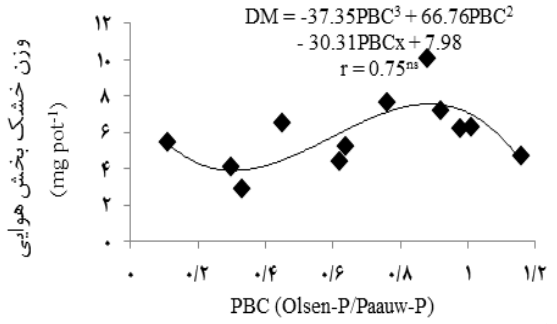
www.SID.ir

فسفر به‌وسیله پخشیدگی به طرف ریشه گیاهان حرکت می‌کند (اولسن و واتانابه، ۱۹٦۳؛ ویلسن، ۱۹٦۸). به این ترتیب تأمین مداوم غلظت فسفر در محلول خاک حیاتی است، زیرا محلول خاک باید شامل فسفر کافی برای فراهم نمودن شیب غلظتی مورد نیاز برای حرکت خالص به طرف ریشه باشد (فوکس و کمپرات، ۱۹۷۰). این در حالی است که معمولاً با افزایش مقدار فسفر محلول در خاک عامل PBC کاهش می‌یابد چون این دو با هم رابطه عکس دارند. بنابراین در PBCهای کم، غلظت فسفر در محلول خاک برای رشد گیاه مناسب است ولی وقتی PBC افزایش می‌یابد، شاید به‌دلیل کم شدن عامل شدت است که رشد گیاه محدود می‌شود. رابطه معکوس PBC با عامل شدت اجازه نمی‌دهد که رابطه PBC با شاخص‌های گیاهی از یک روند خاص مثلاً افزایشی یا کاهشی پیروی کند. بل و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که درجه اشباع فسفر و ظرفیت جذب فسفر خاک، که دو عامل کمیت فسفر و ظرفیت بافری فسفر را در پیش‌بینی فسفر قابل‌جذب گیاه در نظر می‌گیرند، فسفر قابل‌جذب چمن‌های روییده شده در خاک‌های بازالتی را نسبت به روش اولسن یا روش‌های دیگر شناخته شده بهتر پیش‌بینی می‌کند. نتایج نشان داد که روش PBC محاسبه شده از نسبت اولسن-P به پاو-P می‌تواند بهترین روش برای پیش‌بینی شاخص‌های رشد گیاه ذرت باشد. همبستگی بالای این روش با مقدار فسفر بخش هوایی نیز گویای این مطلب است، به‌طوری‌که همبستگی خطی PBC با مقدار فسفر بخش هوایی در رابطه مثبت برابر **۰/۹۱ و در رابطه منفی ** ۰/۸۹- ($P<$۰/۰۰۱) می‌باشد.

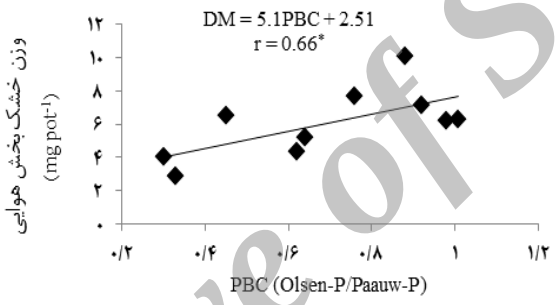
برای بررسی رابطه PBC با ویژگی‌های عمومی خاک‌ها از PBC به‌دست آمده از نسبت اولسن-P به پاو-P استفاده گردید چون این PBC بیش‌ترین همبستگی را با شاخص‌های رشد گیاه داشت. این بررسی نشان داد PBC فقط با pH خاک که در نسبت خاک به آب ۱:۲ و ۱:۱ به‌دست آمده بود همبستگی خطی منفی و معنی‌دار (r به‌ترتیب برابر **۰/۵۱- و *۰/٤٥-) داشت. این موضوع نشان می‌دهد که احتمالاً PBC متأثر از pH خاک‌ها است. شیروانی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که شاخص‌های بافری به‌دست آمده از معادله‌های جذب P، فقط با درصد رس خاک‌ها رابطه معنی‌داری داشتند. این شاخص‌ها شامل حداکثر ظرفیت بافری، شاخص بافری و ظرفیت بافری فسفر بود.

Archive of SID

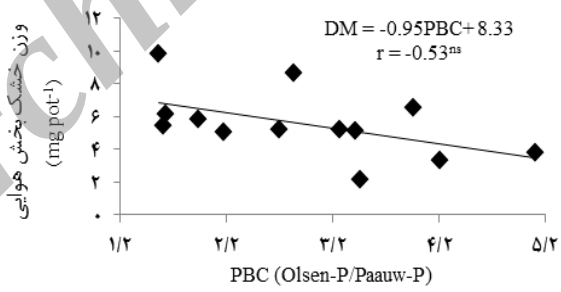
www.SID.ir



(a)



(b)

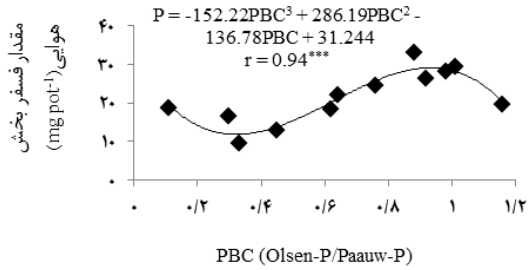


(c)

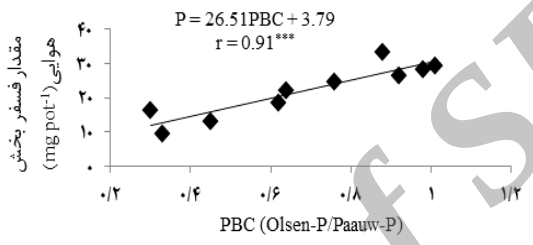
شکل ٢- همبستگی PBC کم‌تر از ١/٢ (a، n=١٣ و b، n=١٠) و بیش‌تر از ١/٢ (c، n=١٣) با وزن خشک بخش هوایی.

Archive of SID

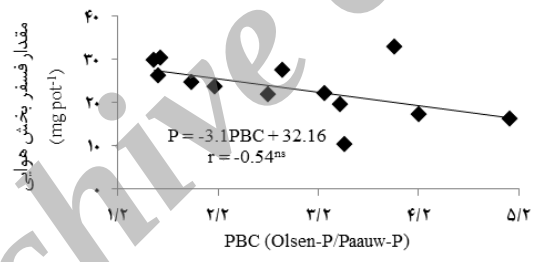
www.SID.ir



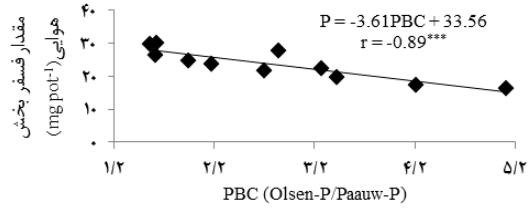
(a)



(b)



(c)



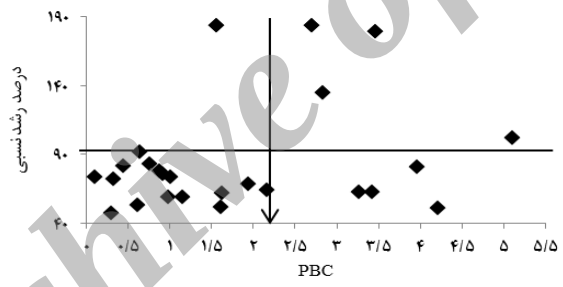
(d)

شکل ۳- همبستگی PBC کم‌تر (a، n=۱۲ و b، n=۱۰) و بیش‌تر (c، n=۱۳ و d، n=۱۱) از ۱/۲ با فسفر بخش هوایی.

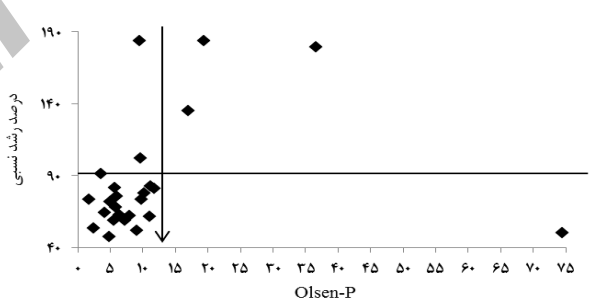
Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به نتایج به‌دست آمده سطح بحرانی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه و برای ۹۰ درصد رشد نسبی گیاه ذرت توسط روش PBC محاسبه شده از نسبت اولسن-P به پاو-P تعیین شد. شکل ٤ تعیین سطح بحرانی را با روش تصویری کیت- نلسون نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود سطح بحرانی توسط روش PBC ۲/۲ (بدون واحد، چون واحد پاو-P و اولسن-P بر حسب میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک است) به‌دست آمد. سطح بحرانی فسفر قابل‌جذب به روش اولسن برای دست‌یابی به ۹۰ درصد حداکثر ماده خشک نسبی ذرت با استفاده از روش‌های تصویری کیت- نلسون، آماری کیت- نلسون و میچرلیخ- بری نیز، به‌ترتیب ۱۲ (شکل ۵)، ١٤/٤٤ و ١٠/٤٦ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین گردید. میانگین ضرایب C_1 و C معادله میچرلیخ- بری به‌ترتیب ۰/۰۹۵٦ و ۰/۰۰۷۳ کیلوگرم خاک بر میلی‌گرم فسفر بود. در آخر شهبازی و داودی (۲۰۱۲) هم سطح بحرانی فسفر را برای گیاه گندم با استفاده از عصاره‌گیر اولسن در خاک‌های منتخب ایران ۱۳ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک گزارش کردند اما گزارش چاپ‌شده‌ای با روش ظرفیت بافری از کشور برای مقایسه وجود ندارد.



شکل ٤- سطح بحرانی فسفر با PBC (Olsen-P/Paauw-P).

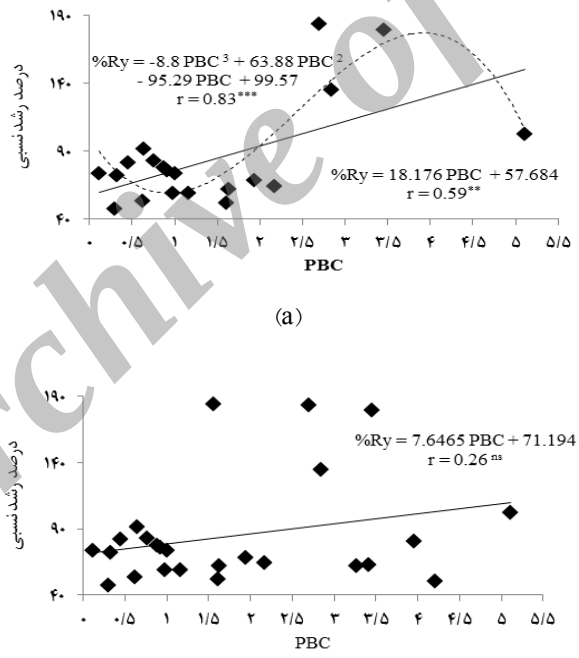


شکل ٥- سطح بحرانی فسفر با روش اولسن.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ٦ همبستگی بین شاخص رشد نسبی با PBC را نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود بین آن‌ها رابطه معنی‌دار وجود ندارد. با حذف نقاطی که در قسمت ١ و ٣ شکل ٤ قرار دارند، رابطه بین شاخص رشد نسبی و فسفر قابل‌جذب خاک هم به شکل خطی و هم درجه سوم بود و همبستگی قابل‌توجه معنی‌داری داشت (شکل ٦). با توجه به جدول ٨ سطح بحرانی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه و برای گیاه ذرت توسط روش PBC با روش آماری کیت- نلسون ٢/٤٤ (بدون واحد) به‌دست آمد. همچنین سطح بحرانی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه و برای گیاه ذرت توسط روش PBC با روش میچرلیخ- بری ١/١٩ (بدون واحد) به‌دست آمد. جدول ٨ ضرایب C_1 و C معادله میچرلیخ- بری را نیز ارایه می‌کند. این ضرایب برای روش PBC به‌طور میانگین به‌ترتیب ٠/٨٤١١ و ٠/٠١٢٢ (بدون واحد) است.



شکل ٦- همبستگی درصد رشد نسبی و PBC در ٢٥ (a) و ٢٠ (b) خاک مورد مطالعه.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٨- سطح بحرانی فسفر با روش آماری کیت- نلسون و ضرایب C_1 و C معادله میچرلیخ با PBC.

شماره خاک	PBC	CSS*	R^{2}**	C_1 (بدون واحد)	C (بدون واحد)
٢٣	٠/١١	-***	-***	٥/٢٦٥٤	٠/٠١٤٤
١٧	٠/٣	٧٨/٨٩	٠/٦٠	٠/٩٢٩٢	٠/٠٠٦٨
١٦	٠/٣٣	٧٦/٣١	٠/٥٨	١/٦٧٠١	٠/٠١٣٦
١٤	٠/٤٥	٧٥/٥٣	٠/٥٨	١/٦٤٠٤	٠/٠١٨٢
٣	٠/٦٢	٧٨/١٢	٠/٦٠	٠/٥٣٣٤	٠/٠٠٧٩
٢٠	٠/٦٤	٧٥/٩	٠/٥٨	١/٦٦٣٩	٠/٠٢٦٣
١	٠/٧٦	٧٥/٥٩	٠/٥٨	٠/٩٩٧٤	٠/٠١٨٥
٢٢	٠/٨٨	٧٦/٦٤	٠/٥٩	٠/٧٣٦٤	٠/٠١٥٧
٧	٠/٩٢	٧٧/١١	٠/٥٩	٠/٦٦٧٦	٠/٠١٤٨
٢١	٠/٩٨	٨١/٣٣	٠/٦٢	٠/٣٩٠٨	٠/٠٠٩
١٢	١/٠١	٨٢/٠٦	٠/٦٣	٠/٥٧٢٠	٠/٠١٣٩
١٥	١/١٦	٨٥/٣٥	٠/٦٥	٠/٣٣٤٦	٠/٠٠٦
١١	١/٥٦	٧٥/١٩	٠/٥٧	-****	-****
٦	١/٦١	٧٨/٩	٠/٦٠	٠/١٩٥٨	٠/٠٠٧
٨	١/٦٣	٨٣/١٥	٠/٦٤	٠/٢٥٥٥	٠/٠٠٩٥
٤	١/٩٤	٨٥/٧٨	٠/٦٦	٠/٢٥٧٣	٠/٠١١٤
١٣	٢/١٧	٨٩/٥٩	٠/٦٨	٠/٢٠٥٧	٠/٠٠٩٩
١٩	٢/٧	٧٩/٢٧	٠/٦١	-****	-****
١٠	٢/٨٤	٧٤/٧٦	٠/٥٧	-****	-****
٢٤	٣/٢٧	٧٥/٧٥	٠/٥٨	٠/١٢٩٥	٠/٠٠٨٧
٩	٣/٤٢	٧٨/٠٤	٠/٦٠	٠/١٢٤٤	٠/٠٠٨٧
٢٥	٣/٤٦	٧٤/٧٧	٠/٥٧	-****	-****
١٨	٣/٩٦	٧٤/٦٩	٠/٥٧	٠/١٨٠٩	٠/٠١٥٦
٥	٤/٢١	-***	-***	٠/٠٧٢٤	٠/٠٠٥٢
٢	٥/١١	-***	-***	-****	-****
میانگین	١/٨٤	-	-	٠/٨٤١١	٠/٠١٢٢

* مجموع مربعات گروه‌ها، ** ضریب تبیین، *** نبود گروه قبلی یا بعدی برای محاسبه R^{2} و **** درصد رشد نسبی بیش از ١٠٠ درصد.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

فسفر استخراج شده توسط هیچ‌یک از عصاره‌گیرهای مورد مطالعه نتوانست همبستگی خطی خوبی با شاخص‌های رشد گیاه ذرت در ۲۵ خاک مورد مطالعه داشته باشد اما با حذف خاک‌هایی با مقدار زیاد فسفر (خاک‌های ۲ و ۵) این همبستگی‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بهبود یافت. PBC رابطه‌ای قوی و دقیق با مقدار فسفر بخش هوایی گیاه ذرت داشت. بنابراین به‌عنوان روشی مناسب برای پیش‌بینی فسفر قابل‌جذب گیاه پیشنهاد می‌شود. سطح بحرانی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه برای گیاه ذرت و با استفاده از PBC توسط روش‌های تصویری و آماری کیت- نلسون و روش مچرلیخ- بری به‌ترتیب برابر ۲/۲، ۲/٤ و ۱/۱۹ (بدون واحد) بود. ضرایب C_1 و C معادله میچرلیخ- بری نیز برای روش PBC به‌طور میانگین به‌ترتیب برابر ۰/۸٤۱۱ و ۰/۰۱۲۲ (بدون واحد) محاسبه شد. سطح بحرانی فسفر خاک‌های مورد مطالعه برای گیاه ذرت با استفاده از روش‌های تصویری کیت- نلسون، آماری کیت- نلسون و میچرلیخ- بری نیز، به‌ترتیب ۱۲، ۱٤/٤٤ و ۱۰/٤٦فسفر بر کیلوگرم خاک بود.

منابع

1. Afzali, M. 1999. Critical levels of soil phosphorus and potassium in cotton-growing areas in the province of Esfahan. Sixth Congress of Soil Science, Iran . Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (In Farsi). Pp: 560-558.
2. Allison, L.E., and Moodie, C.D. 1965. Carbonates, P 1379-1396. In: Black, C.A. (ed.), Method of Soil Analaysis. Part3. American Society of Agronomy, Madison, WI.
3. Asher, C.J., and Loneragan, J.F. 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture I. Growth and phosphate concentration in solution culture. Soil Science. 103: 225-233.
4. Barrow, N.J., and Shaw, C. 1976. Sodium bicarbonate as an extractant for soil phosphate, III. Effects of the buffering capacity of a soil for phosphate. Geoderma. 16: 273-283.
5. Bell, A.A., Bailey, S.J., Smith, R.V., Shirvani, A., Shariatmadari, M.H., and Kalbasi, M. 2005. Phosphorus buffering capacity indices as related to soil properties and plant uptake. J. Plant Nutr. 28: 537-550.
6. Besharati, H. 2011. Speech at the Twelfth Congress of Soil Science, Iran. Keynote Speech, Tabriz University, Tabriz, Iran.
7. Chardon, W.J., Menon, R.G., and Chien, S.H. 1996. Iron Oxide imperegnated filter paper (Pi test): A review of its development and methodological research. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 46: 42-51.

Archive of SID

www.SID.ir

8.Colwell, J.D. 1963.The estimation of the phosphorus fertilizer requirements of wheat in southern New South Wales by soil analysis. Austr. J. Exp. Agric. Anim. Husbandry. 3: 190-198.
9.Delgado, A., and Torrent, J. 1997. Phosphate-rich soils in the European Union: estimating total plant-available phosphorus. Europ. J. Agron. 6: 205-214.
10.Drouinean, G. 1942. Dosage rapide du calcarire actif du sol: nouvelles donnees sur la separation et la nature des fractions calcaires. Ann. Agronomy. 12: 441-450.
11.Ehlert, P., Morel, C., Fotyma, M., and Destain, J.P. 2003. Potential role of phosphate buffering capacity of soils in fertilizer management strategies fitted to environmental goals. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166: 409-415.
12.Farahmand, A., Oustan, S.H., Jafarzadeh, A.A., and Aliasgharzad, N. 2012.Salinity and sodicity parameters of some salt-affected soils of Tabriz plain. Water and Soil Science. 22: 1-17.
13.Frshadyrad, A., and Dordypvr, A. 2009. Determination of phosphorous critical level for wheat and review its response to triple superphosphate fertilizers in some soils of loess Golestan province. Proceedings of the Eleventh Congress of Soil Science, Iran. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Farsi). Pp: 1079-1077.
14.Forghanifard, A., and Kalbasi, M. 1996. The relationship between corn yield and soil phosphorus critical levels of phosphorus for corn. Iranian Crop Science Congress. University of Technology, Isfahan, Iran. Pp: 201-199.
15.Fox, R.L., and Kamprath, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Science Society of America Proc. 34: 902-907.
16.Gee, G.W., and Bauder, J.W. 2002. Particle size analysis, P 201-214. In: Jacob, H.D., and G. Clarke Topp (eds.), Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America, Madison, WI.
17.Hashemi Majd, K., Mohammadi Farani, T., Homapur Gurabjyry, M., Yaghubi, A., Kuchakpur, Sh., Kmklayy, F., and Abdullahi, J. 2009. Determine the critical level of phosphorus in soils for alfalfa Ardebil city. Proceedings of the Eleventh Congress of Soil Science, Iran. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Pp: 1495-1494.
18.Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., and Nelson, W.R. 1998. Soil Fertility and Fertilizers . 6th (ed.), Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, Pp: 190-198.
19.Holford, I.C.R. 1980. Greenhouse evaluation of four phosphorus soil tests in relation to phosphate buffering and labile phosphate in soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44: 555-559.
20.Hosseini, S.M. 1999. Determination of phosphorous critical level for wheat. Sixth Congress of Soil Science, Iran. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Pp: 434-433.

Archive of SID

www.SID.ir

21. Jafarnejad, A.R., Gilani, A., and Sayad, Gh. 2007. Determination of phosphorous critical level in rice fields in Khuzestan. Proceedings of the Tenth Congress of Soil Science. College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran. Pp: 563-562.
22. Khodshenas, M.A., and Dadyvr, M. 2007. Bean plant response to phosphorus in some soils of the Central Province. Proceedings of the Tenth Congress of Soil Science. College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran. Pp: 513-512.
23. Morgan, M.F. 1941. Chemical Soil Diagnosis by the Universal Soil Testing System; Bull, Storrs, CT. 450p.
24. Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta. 27: 31-36.
25. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter, P 961-1010. In: Sparks, D.L. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America, Madison, WI.
26. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA, Cire. 939, U. S. Gover. Prin. Office, Washington DC.
27. Olsen, S.R., and Watanabe, F.S. 1963. Diffusion of phosphorus as related to soil texture and plant uptake. Soil Science Society of America Proc. 27: 648-653.
28. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus, P 403-430. In: Klute, A. (Eds.), Methods of Soil Analysis :Chemical and microbiological properties,Part 2. 2nd Edition. Agron. Monogr. No.9, ASA and SSSA, Madison, WI.
29. Paauw, F.V.D. 1971. An effective water extraction method for the determination of plant-availble phosphorus. Plant and Soil. 34: 467-481.
30. Peoples, M.B., Beilharz, V.C., Waters, S.P., Simpson, R.J., and Dalling, M.J. 1980. Nitrogen redistribution during grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). Planta. 149: 241-251.
31. Qian, P., Schoenau, J.J., and Karamanos, R.E. 1994. Simultaneous extraction of available phosphorus and potassium with a new soil test: a modification of the Kelowna extraction. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 25: 627-635.
32. Rhoades, J.D. 1996. Salinity, Electrical conductivity and total dissolved solids, P 417-435. In: Sparks, D. (ed.), Methods of Soil Analysis. part3. Chemical methods. Soil Science Society of America, Madison WI.
33. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA Handbook. number, 60, U.S. Government printing office, Washington, DC. 84p.
34. Sadeghi Motlagh, M. 1996. Determine the critical point P in sugar beet. Iranian Congress of Soil Science. College of Agriculture, Karaj, Iran. Pp: 105-101.

Archive of SID

www.SID.ir

35. Salahi Farahi, M. 1999. Determine the critical levels of phosphorus and potassium in the soil for optimum crop production. Sixth Congress of Soil Science, Iran. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Pp: 414-413.
36. Shahbazi, K., and Davoodi, M.H. 2012. Assessment of phosphorus requirements of wheat in calcareous soils using phosphorus Hmdmahay. Research of Soil Science (soil and water). 1: 1-17.
37. Shirvani, M., Shariatmadari, H., and Kalbasi, M. 2005. Phosphorus buffering capacity indices as related to soil properties and plant uptake. J. Plant Nut. 28: 537-550.
38. Soltanpour, P.N., and Schwab, A.P. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micro nutrients in alkaline soils. Communications in Soil Science Plant Analysis. 8: 195-207.
39. Soon, Y.K. 1990. Comparison of parameters of soil phosphate availability for the northwestern Canadian prairie. Can. J. Soil Sci. 70: 227-237.
40. Van Rotterdam, A.M.D., Bussink, D.W., Temminghoff, E.J.M., and Van Riemsdijk, W.H. 2012. Predicting the potential of soils to supply phosphorus by integrating soil chemical processes and standard soil tests. Geoderma. 189-190: 617-626.
41. Waling, I., VanVark, W., Houba, V.J.G., and Vanderlee, J.J. 1989. Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University. Netherland, Pp: 712-717.
42. Watanabe, F.S., and Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO3 extracts from soil. Soil Science Society of America. Proc. 29: 677-678.
43. Wilson, A.T. 1968. The chemistry underlying the phosphate problem in Agriculture. Austr. J. Sci. 31: 55-61.
44. Zalba, P., and Galantini, J.A. 2007. Modified soil-test methods for extractable phosphorus in acidic, neutral and alkaline soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 38: 1579-1587.

Archive of SID

www.SID.ir

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(4), 2015
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Feasibility of the application of phosphorus buffering capacity (PBC) for estimation of corn available phosphorus in some calcareous soils

M.R. Maghsoodi[1], *A. Reyhanitabar[2] and N. Najafi[2]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Tabriz,
[2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Tabriz
Received: 11/24/2013; Accepted: 05/25/2014

Abstract

Phosphorus is one of the nutritional elements that has an important effect on the quantity and quality of corn plant. Knowledge about the P critical level and plant response to application of P can effectively help with the proper use of this element. Therfore, in this study, P critical level for corn plant (*Zea mays* L.) was determined using PBC in 25 combined soilsamples from different fields of East Azerbaijan province. To calculate the PBC, current soil P test methods such Olsen,Colwel, Soltanpur and Schowab, Kelna2 and iron impregnated strips as a quantity factor (Q) and the methods of soluble P measurements such as distilled water, calcium chloride and Paauw method as an intensity factor(I) was used. According to the results, the method of PBC (Olsen-P/ Paauw-P) compared to other methods for calculating PBC, was the best method to predict of P uptake by corn plant. The high correlation of PBC (Olsen-P/ Paauw-P) data with the shoot content of phosphorus was confirmed. PBC linear correlation with shoot P content was separated in two positive and negative parts and the positive value of the correlation was 0.91^{**} and negative value was -0.89^{**}. Critical level of soil P for corn with PBC method based on 90% relative dry matter was determined as 2.2, 2.44 and 1.19 by using graphical Cate-Nelson, Cate-Nelson analysis of variance and Mitscherlich-Bray methods, respectively. Mitscherlich-Bray equation coefficient C_1 and C, for PBC, were 0.08411 and 0.0122 respectively.

Keywords: Buffering capacity, Corn, Critical level, Phosphorus

* Corresponding Authors; Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir