

استفاده از هم دماهای جذب فسفر در تعیین نیاز کودی غلات

عباس صمدی و ابراهیم سپهر^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۲۸)

چکیده

به منظور تعیین غلظت بهینه فسفر محلول تعادلی با استفاده از هم دماهای جذب فسفر و یافتن مدل یا مدل‌هایی که بتواند با تلفیق غلظت فسفر محلول خاک، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و آزمون خاک (فسفر قابل استفاده) مقدار فسفر لازم برای رسیدن به حداکثر عملکرد (حد کفایت) را پیش‌بینی و برآورد کند، مطالعات آزمایشگاهی بر روی ۳۶ نمونه خاک متعلق به ۱۵ سری خاک و گلخانه‌ای بر روی ۱۴ نمونه خاک انجام گرفت. نتایج نشان داد مقدار فسفر جذب شده در سری‌های مختلف خاک تفاوت معنی‌داری داشت. غلظت فسفر محلول تعادلی خاک‌ها (EPC) در مقایسه با غلظت ۰/۲ میلی‌گرم فسفر بر لیتر که به‌عنوان حد کفایت برای اکثر گیاهان در نظر گرفته می‌شود، کمتر بود. مقدار فسفر جذب شده توسط خاک‌ها در EPC ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر از ۵ تا ۱۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متغیر بود. داده‌های جذب فسفر به‌خوبی با معادلات جذب فرندلیچ ($R^2 = 0.96$) و لانگمیر ($R^2 = 0.88$) قابل توصیف بودند. حداکثر جذب فسفر (X_m) بین ۱۲۷ تا ۲۳۸ و ضریب تجربی a_F (مقدار جذب سطحی) بین ۴۳ تا ۲۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متغیر بود. غلظت مناسب فسفر محلول (EPC) برای نیل به حداکثر عملکرد ماده خشک گیاهی گندم، ۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. علی‌رغم بالا بودن فسفر قابل استفاده (Olsen-P) در برخی از خاک‌های مورد مطالعه، گیاه گندم به مصرف فسفر که از روش هم دماهای جذب برآورد شده بود، پاسخ نشان داد. مقدار رس خاک رابطه معنی‌داری با شاخص‌های جذب فسفر از قبیل $P_{0.4}$ (فسفر جذب شده در غلظت تعادلی ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر، $r = 0.40$ ، $P < 0.01$)، PBC (ظرفیت بافری فسفر، $r = 0.54$ ، $P < 0.001$)، X_m ($r = 0.40$ ، $P < 0.001$) و ضریب تجربی a_F فرندلیچ ($r = 0.48$ ، $P < 0.01$) نشان داد. $CaCO_3$ کل و $CaCO_3$ فعال تأثیری کمتری در جذب فسفر داشتند. با استفاده از تجزیه رگرسیون چند متغیره گام به گام، مدل رگرسیونی مفیدی از ترکیب Olsen-P و مقدار رس برای پیش‌بینی نیاز کودی فسفر (P0.4) به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: نیاز کودی فسفر، هم دماهای جذب، گندم، معادله فرندلیچ، معادله لانگمیر

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: asamadi2@gmail.com

مقدمه

فراهمی فسفر برای ریشه‌های گیاه به غلظت یون‌های فسفات در محلول خاک و ظرفیت خاک‌ها در حفظ این غلظت بستگی دارد (۱۷). لذا در مدیریت کود فسفر توجه به دو نکته ضروری می‌باشد: ۱) غلظت فسفر محلول در محیط رشد گیاه جهت نیل به حداکثر عملکرد (۱۵) ۲) مقدار فسفوری که در خاک نیاز است تا غلظت فسفر محلول مورد نیاز گیاهان زراعی را حفظ کند (۱۴). عوامل خاکی و مدیریتی متعددی غلظت فسفر محلول خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۳۴). از میان عوامل خاکی الف) ظرفیت بافری فسفرخاک؛ ب) سطح مقطع انتشار فسفر به ریشه‌ها و وجود اعواج در مسیر انتشار؛ پ) عوامل خاکی مربوط به توسعه ریشه‌ها، به‌ویژه سیستم گسترش ریشه‌های موئین و ارتباط قارچ ریشه‌ها؛ ت) معدنی شدن فسفر آلی؛ ج) گونه‌ها و غلظت املاح در محلول خاک؛ چ) درجه حرارت و خ) ماهیت فاز جامد فسفر که می‌تواند در سرعت انحلال ترکیبات فسفر مؤثر می‌باشد، اشاره کرد. عوامل مدیریتی شامل الف) حجم خاک کوددهی شده و محل جای‌گذاری کود نسبت به ریشه‌ها و ب) زمان مصرف کود (۲۳).

رسم نمودار فسفر جذب شده (کمیت) در مقابل غلظت فسفر در محلول (شدت) منحنی‌های جذب فسفر را فراهم می‌کند که می‌تواند برای برآورد نیازهای فسفر گیاهان زراعی استفاده شوند (۱۴، ۱۸، ۲۸ و ۲۹). روابط جذب فسفر به‌طور موفقیت‌آمیزی برای مقایسه جذب فسفر توسط خاک‌های مختلف و تعیین نیازهای فسفر گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱ و ۳۴). هدف از برآورد نیاز فسفوری از هم دماهای جذب آنست که مقدار فسفر خاک با مصرف کود تا سطح بهینه ارتقا یابد و سپس با مصرف کود حفظ شود تا کاهش یا تلفات ناشی از جذب گیاه، برداشت از طریق فرسایش یا واکنش‌های کند و مداوم بین خاک و فسفات جبران گردد (۲۱). هم‌چنین توصیه می‌شود که فسفر توصیه شده از هم دماهای جذب به روش پخش سطحی مصرف شده و با خاک آمیخته گردد. این روش در خاک‌های مناطق

گرمسیری، نیمه گرمسیری و معتدل به خاطر ظرفیت جذب فسفر بسیار بالا برای تثبیت فسفر، نسبت به مناطق خشک و نیم خشک و خاک‌های آهکی توجه نسبتاً زیادی را به خود جلب کرده است. مطالعات انجام شده هم‌چنین در خاک‌های آهکی، مفید بودن روش استفاده از هم دماهای جذب فسفر در تعیین احتیاجات کودی فسفر محصولات زراعی را در این خاک‌ها تأیید می‌کند (۲۹).

نیاز فسفوری که از هم دماهای جذب فسفر برآورد می‌شود (نیاز فسفر استاندارد) به‌عنوان غلظتی از فسفر محلول تعریف می‌شود که محدودکننده برای رشد گیاه نباشد (۲۰). برای بسیاری از گیاهان غلظت ۰/۲ میلی‌گرم فسفر بر لیتر در محلول خاک به‌عنوان غلظت سطح آستانه که بیش از آن پاسخ به فسفر مشاهده نمی‌شود، گزارش شده است (۲۴ و ۳۳). گرچه غلظت فسفر مورد نیاز گیاهان تغییر می‌کند، P0.2 (۰/۲ میلی‌گرم بر گیلوگرم) به‌عنوان مقدار فسفر استاندارد برای مقایسه نیاز فسفر خاک‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱). لکن، در برخی موارد ضروری است بسته به گونه‌های گیاهی و عوامل زراعی و تغذیه‌ای، نیاز کودی فسفر در غلظت‌های غیر از ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر به‌عنوان غلظت بحرانی تعیین گردد (۳۷). برای مثال، غلظت ۰/۱۱ میلی‌گرم فسفر بر لیتر به‌عنوان غلظت مناسب برای توتون در خاک‌های با قدرت تثبیت فسفر از کم تا متوسط گزارش شده است (۲۱). وارن (۴۲) نشان داد که حداکثر عملکرد ذرت وقتی به‌دست آمد که غلظت فسفر در محلول خاک ۰/۳ میلی‌گرم فسفر بر لیتر باشد. برعکس، کانگ و همکاران (۲۶) دریافتند که غلظت ۰/۰۴ میلی‌گرم فسفر بر لیتر برای رسیدن به ۹۵ درصد حداکثر محصول در گیاه گرمسیری کاساوا نیاز است که آنها این امر را به همزیستی میکوریزیایی بسیار مؤثر این گیاه و هم‌چنین به دوره رشد طولانی (۱۵ ماه) آن نسبت دادند. علاوه بر آن، با استفاده از روش جذب فسفر، نیاز فسفر گیاهان زراعی زیادی تحت شرایط اقلیمی و خاکی گوناگون تعیین شده است (۱۵، ۱۹، ۲۹ و ۴۰). چوه‌ری و همکاران (۸) نیاز فسفر ذرت را با استفاده از هم دماهای فسفر

مواد و روش‌ها

مشخصات و خصوصیات خاک‌ها

به منظور بررسی امکان استفاده از روش هم دماهای جذب فسفر در تعیین نیاز کودی فسفر در شرایط خاک‌های آهکی، ۳۶ نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) متعلق به ۱۵ سری خاک که در سه زیرگروه Typic Calcixerepts، Typic Endoaquepts و Haploxerepts در رده انسپتی سول قرار داشتند (۳۶)، از خاک‌های آهکی استان آذربایجان غربی جمع‌آوری و پس از تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و ایجاد هم دماهای فسفر و تعیین پارامترهای جذب، ۱۴ نمونه از ۳۶ نمونه خاک براساس مطالعات جذب فسفر برای تعیین نیاز کودی فسفر گندم در آزمایش گلخانه‌ای، انتخاب شدند. برخی خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک‌ها نظیر بافت به روش هیدرومتری (۷)، pH، در نسبت ۱ به ۵ کلرور کلسیم ۰/۰۱ مولار، کربن آلی به روش واکلی - بلک (۴۳)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش تیتراسیون (۳۸)، کربنات کلسیم فعال به روش نیم مولار اکسالات آمونیوم (۱۰)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم نرمال (۴۰) اندازه‌گیری شد.

مطالعات جذب فسفر

هم‌دماهای جذب فسفر با استفاده از روش فوکس و کامپرا (۱۳) که توسط محققین زیادی برای خاک‌های آهکی مورد استفاده قرار گرفته است (۱ و ۳۵)، تعیین شد. به ۲/۵ میلی‌گرم نمونه خاک، ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم حاوی سری از غلظت‌های فسفر (۰، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱ میلی‌گرم بر لیتر) اضافه شد. خاک‌ها بعد از ۲۴ ساعت تکان دادن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد از کاغذ صافی شماره ۴۲ عبور داده شد. غلظت فسفات در محلول نهایی تعیین شد. اختلاف بین مقدار فسفر در محلول قبل و بعد از تعادل به‌عنوان فسفر جذب شده محاسبه شد (۳۰). داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌های جذب فسفات به شکل‌های خطی معادلات جذب لانگمیر و فرندلیچ برازش داده شد. شکل خطی فرندلیچ به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

جذب تعیین کردند و داده‌های جذب را به معادلات فرندلیچ اصلاح شده و لانگمیر برازش داده و مقدار ۲۲ تا ۶۷ میلی‌گرم فسفر بر گیلوگرم خاک را برای حفظ غلظت ۰/۲ میلی‌گرم فسفر بر لیتر در محلول خاک سری‌های مختلف خاک گزارش کردند.

روش‌های متعدد عصاره‌گیری فسفر با استفاده از اسیدها، عوامل کمپلکس‌کننده آلی و معدنی، یا محلول‌های قلیایی ابداع و توسعه پیدا کرده‌اند (۱۳). عصاره‌گیرها اغلب همه یا بخشی از فسفر قابل دسترس که برای گیاهان در خلال دوره رشدشان قابل استفاده است را عصاره‌گیری می‌کنند. با توجه به این‌که خصوصیات زیادی از خاک در عصاره‌گیری فسفر مؤثر است، نمی‌توان از یک عصاره‌گیر برای همه شرایط استفاده کرد (۱۵). بررسی‌های انجام شده در کشور نشان می‌دهد روش رایج برای ارزیابی وضعیت فسفر قابل استفاده و توصیه کودی، استفاده از آزمون خاک و روش عصاره‌گیری با محلول قلیایی (استفاده از بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار (۳۴) می‌باشد. لکن، تک اندازه‌گیری فسفر خاک با عصاره‌گیر در آزمایشگاه می‌تواند تصویر گمراه‌کننده‌ای از فسفر قابل استفاده برای جذب گیاه زراعی را ارائه دهد. این امر تا اندازه‌ای به دلیل واکنش‌های جذب و واجذبی است که به‌طور دائم موجب ورود و خروج فسفات به‌درون محلول خاک و خارج از آن می‌شود (۴۲). به نظر می‌رسد که هم دماهای جذب با تلفیق جنبه‌های شدت، کمیت و ظرفیت فسفر خاک نسبت به روش‌های عصاره‌گیری (آزمون‌های خاک) در پیش‌بینی کارایی گیاهان در استفاده از فسفر قابل استفاده برتری داشته باشند. با این حال، روش استفاده از هم‌دماها زمانبر بوده و برای تجزیه‌های روتین خاک که معمولاً پاسخ سریع را می‌طلبند، مناسب نمی‌باشد. لذا هدف از این مطالعه پیدا کردن مدل یا مدل‌ها با استفاده از هم دماهای جذب فسفر که بتواند با تلفیق غلظت فسفر محلول خاک، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و آزمون خاک (روش عصاره‌گیری) مقدار فسفر لازم برای رسیدن به حداکثر عملکرد (نیاز فسفر استاندارد) را پیش‌بینی و برآورد و در توصیه کودی فسفر مورد استفاده قرار گیرد.

جوانه‌زنی به چهار گیاه تنک شد. بعد از ۴۵ رشد، گیاهان برداشت و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر در بافت گیاهی از روش سوزاندن خشک و واکنش خاکستر حاصله با اسید کلریدریک دو نرمال استفاده گردید. اندازه‌گیری فسفر در بافت گیاه با استفاده از روش رنگ‌سنجی (روش مولیدو وانادات و اندازه‌گیری شدت رنگ زرد حاصل از کمپلکس فسفر-مولیدو وانادات با اسپکتروفتومتر) انجام گردید. میزان جذب فسفر توسط گیاه از حاصل ضرب ماده خشک در غلظت فسفر محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک نشان داد خاک‌ها (۳۶ نمونه خاک مورد مطالعه) با بافت لوم تا رسی با درصد رس از ۱۵ تا ۵۹، قلیایی با pH از ۷/۵ تا ۸/۴، آهکی با میزان کربنات کلسیم معادل (CCE) از ۱۰ تا ۴۹ درصد و میزان مواد آلی از ۰/۳۱ تا ۱/۶ درصد متغیر بودند. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی ۱۴ نمونه خاکی که برای مطالعه آزمایش گلخانه‌ای انتخاب شدند، در جدول ۱ نشان داده شده است.

مقدار فسفر جذب شده توسط ۳۶ نمونه خاک مورد مطالعه با افزایش غلظت فسفر در محلول تعادلی افزایش یافت. حداکثر مقدار جذب فسفر در سری خاک درب رود مشاهده گردید. به نظر می‌رسد وجود مقدار رس و کربنات کلسیم فعال زیاد دلیلی بر جذب بیشتر فسفر در این سری خاک باشد (جدول ۱). نتایج مشابه توسط دهیلون و دهیلون (۹) نیز گزارش شده است.

داده‌های جذب فسفر در همه خاک‌ها برآزش خوبی با معادلات فروندلیچ و لانگمیر نشان دادند (جدول ۲). لکن، ضرایب تبیین (R^2) معادلات نشان داد معادله فروندلیچ بهتر توانست که داده‌های جذب فسفر را توصیف کند. مقادیر حداکثر جذب فسفر لانگمیر (X_m) از ۱۲۷ تا ۲۳۸ با میانگین ۱۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. ضریب a_F فروندلیچ که معیاری از تعداد مکان‌های جذب در خاک می‌باشد، از ۴۳ تا ۲۱۱ با میانگین ۱۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. برای

$$(a) \log x = \log a + 1/n \log c \quad (5)$$

که در آن c غلظت فسفر محلول تعادلی (میلی‌گرم بر لیتر)، x مقدار فسفر جذب شده بر واحد وزن خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، a و n ثابت‌های معادله که مربوط به سطح جذب و انرژی جذب می‌باشند.

شکل خطی معادلات لانگمیر به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$(b) \frac{c}{x/m} + \frac{1}{kx_m} = \frac{c}{x} \quad (5)$$

که در آن پارامترهای c و x مشابه رابطه فوق، k ثابت مربوط به انرژی پیوند و X_m حداکثر جذب فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشند. ضرایب معادله‌ای که داده‌های جذب را بهتر توصیف می‌کردند برای مطالعه همبستگی استفاده شد. مقادیر پارامترهای لانگمیر (X_m) و فروندلیچ (a_F) و شاخص‌های جذب فسفر (ظرفیت بافری فسفر و فسفر جذب شده در ۰/۲ میلی‌گرم فسفر بر لیتر) به خصوصیات خاک ارتباط داده شد. خصوصیتی که جذب فسفر را بهتر توصیف می‌کردند برای تجزیه رگرسیونی چند متغیره گام به گام انتخاب شدند.

آزمایش گلخانه‌ای

برای پیش‌بینی نیاز کودی فسفر با استفاده از هم دماهای جذب فسفر، آزمایش گلخانه‌ای روی ۱۴ نمونه از ۳۶ نمونه خاک مورد مطالعه انجام شد. یک کیلوگرم از هر خاک وزن به گلدان‌های پلاستیکی منتقل شد. قبل از ریختن خاک‌ها، به ته گلدان‌ها ۲۰۰ گرم ماسه اضافه شد. پنج سطح فسفر برای خاک‌ها در نظر گرفته شد. مقدار فسفر لازم برای رسیدن به سطوح ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر از منحنی‌های هم دمای جذب به دست آمد. تیمار شاهد بدون فسفر نیز در نظر گرفته شد. فسفر به صورت محلول $Ca(H_2PO_4)_2$ با خاک‌ها مخلوط و رطوبت خاک تا ظرفیت زراعی تنظیم و به مدت یک هفته به تعادل رسانده شد. مواد غذایی پایه نیتروژن، پتاسیم، روی، مس، آهن، و بور به صورت محلول مصرف گردید. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار در سه تکرار اجرا گردید. ده بذر گندم (*Triticum aestivum*, cv. Nowin) در گلدان‌ها کاشته و بعد از

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ۱۴ نمونه از ۳۶ نمونه خاک در آزمایش گلخانه‌ای

شماره خاک	سری خاک	طبقه‌بندی خاک ها +	pH کلرور کلسیم	کربن آلی	کربنات کلسیم		رس	بافت خاک	گنجایش تبادل کاتیونی (cmol _c /kg)	Olsen-P (mg/kg)
					فعال	معادل				
1	رشکان	Typic Calcixerepts	۷/۷	0/69	19	49	51	C	14	10
2	رشکان	Typic Calcixerepts	۷/۷	0/54	9	25	57	C	19	6
3	دیدان	Fluventic Haploxerepts	۷/۶	0/69	6	26	39	SCL	12	5
5	کوکیا	Typic Calcixerepts	۷/۸	1/4	10	28	29	CL	17	20
7	کوکیا	Typic Calcixerepts	۷/۸	1/0	6	20	30	CL	12	14
9	دش آغور	Typic Calcixerepts	۷/۸	1/1	8	28	35	CL	16	7
11	بالانج	Typic Calcixerepts	۷/۸	1/4	7	24	45	C	19	5
18	آغچه زیوه	Fluventic Haploxerepts	۷/۷	0/92	7	23	31	CL	17	6
20	آغچه زیوه	Fluventic Haploxerepts	۷/۶	1/5	7	15	39	CL	25	13
24	هفتستان	Fluventic Haploxerepts	۷/۵	1/4	7	33	31	CL	16	10
27	چوب تراش	Typic Endoaquepts	۸/۱	1/6	12	30	35	CL	14	9
28	ساراجوق	Typic Endoaquepts	۸/۴	1/6	8	35	25	L	15	5
30	درب رود	Fluquentic Endoaquepts	۷/۹	1/1	20	32	45	C	18	7
32	گوی تپه	Vertic Endoaquepts	۸/۰	0/85	14	26	53	C	20	9

† براساس تاکسونومی خاک (۱۹۹۹): L، لوم؛ CL، لوم رسی؛ SCL، لوم رسی شنی

هم دماهای ایجاد شده برای هر خاک امکانی را فراهم نمود تا نیاز استاندارد فسفر (SPR) را برای سطوح ویژه غلظت فسفر تعادلی (EPC) برآورد کرد. محققین زیادی SPR را در غلظت ۰/۲ میلی گرم بر لیتر را برآورد نمودند (۱۸، ۲۸). این غلظت به عنوان مبنایی برای مقایسه خاک‌ها انتخاب شده اما در کل به عنوان غلظت بهینه فسفر برای گیاه به خصوص یا گیاهان زارعی پیشنهاد نگردید. با وجود این برخی از محققین (۱۴) از مقدار ۰/۲ میلی گرم بر لیتر در محلول به عنوان غلظتی که اکثر گیاهان زارعی تقریباً به حداکثر رشد می‌رسد، استفاده نمودند. برآورد فسفر جذب شده در دو غلظت استاندارد فسفر محلول (۰/۲ و ۰/۴ میلی گرم بر لیتر) برای همه خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج مطالعات گلخانه‌ای، غلظت ۰/۴ میلی گرم بر لیتر به عنوان غلظت بهینه

خاک‌های آهکی مورد مطالعه، مقادیر به دست آمده برای ضرایب معادلات هم‌دماهای لانگ‌مویر و فرندلیچ، مشابه نتایجی که است که برای خاک‌های آهکی مصر (۱۹) و مناطق مدیترانه‌ای (۳۶) گزارش شده است.

وقتی همه خاک‌ها با هم در نظر گرفته شود، شاخص‌های aF و ظرفیت بافری خاک (PBC) همبستگی خوبی با X_m نشان داد. ثابت‌های به دست آمده مربوط به انرژی پیوند از معادلات لانگمیر (k) و فرندلیچ (nF) همبستگی معنی‌داری با X_m نشان ندادند. تفسیر ممکن که توسط بورلینگ و همکاران (۶) ارائه شده است بدین صورت است که مقدار فسفر جذب شده به تعداد مکان‌های جذب شده موجود مربوط است تا به انرژی پیوند مکان‌ها؛ این استدلال توسط بک و ویلیام (۳) نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

جدول ۲. خصوصیات جذب فسفر خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	لانگمیر				فروندلیچ			فسفر جذب شده در EPC=0/2, 0/4 mg/L		
	X_m	k	$PBC_{0/2}$	R^2	n_F	a_F	R^2	1EPC	$P_{0/2}$	$P_{0/4}$
	$mgkg^{-1}$	$L\ mg^{-1}$	Lkg^{-1}			$mgkg^{-1}$		mgL^{-1}	$mgkg^{-1}$	
1	200	4/5	249	0/89	2	171	0/98	0/19	5	71
2	179	3/7	218	0/95	2/4	118	0/99	0/13	25	64
3	238	0/9	153	0/73	1/3	92	0/98	0/14	18	57
4	175	3/4	211	0/93	2/5	113	0/98	0/15	16	56
5	204	1/9	203	0/90	1/6	119	0/95	0/24	0	40
6	217	1/7	206	0/85	1/4	123	0/92	0/032	66	92
7	222	0/9	146	0/73	1/3	88	0/96	0/17	8	47
8	196	10	216	0/99	2/3	179	0/96	0/002	119	137
9	185	2/9	215	0/95	2	116	0/98	0/029	68	92
10	156	1/1	113	0/84	2	63	0/98	0/23	0	24
11	200	1/2	158	0/86	1/7	90	0/98	0/071	40	67
12	192	2/7	220	0/87	1/9	125	0/99	0/13	26	69
13	127	0/9	80	0/84	1/8	43	0/99	0/55	0	0
14	196	10	216	0/55	1/1	44	0/92	0/69	0	0
15	185	0/8	112	0/79	1/4	63	0/96	0/15	11	41
16	169	1/5	151	0/93	1/9	79	0/99	0/25	0	25
17	192	5/8	239	0/97	2/1	174	0/98	0/083	58	100
18	189	7/6	229	0/96	2/8	151	0/99	0/092	52	95
19	172	5/8	214	0/97	3/8	121	0/98	0/14	19	61
20	189	2/2	200	0/94	1/9	107	0/99	0/15	17	57
21	233	2/5	259	0/74	1/5	181	0/83	0/13	35	90
22	185	1/5	167	0/93	1/8	89	0/98	0/11	27	58
23	189	4/4	235	0/96	2/1	140	0/92	0/12	33	76
24	167	2/1	175	0/91	2/6	90	0/98	0/16	12	45
25	189	2/0	191	0/95	1/8	104	0/93	0/15	15	55
26	175	0/9	116	0/76	1/4	66	0/96	0/66	0	0
27	182	1/3	122	0/97	1/1	139	0/95	0/23	0	46
28	196	1/7	172	0/97	2/8	211	0/99	0/053	95	144
29	227	2/2	241	0/75	1/5	159	0/99	0/071	60	98
30	196	13	198	0/95	2/8	198	0/99	0/063	89	98
31	192	7/4	231	0/94	4/8	139	0/92	0/042	80	114
32	189	3/7	231	0/93	2/4	129	0/99	0/051	63	94
33	161	1/4	137	0/92	2/1	72	0/99	0/31	0	15
34	189	7/6	226	0/92	8/2	130	0/85	0/043	80	14
35	217	3/8	267	0/91	1/6	185	0/98	0/11	50	100
36	208	1/7	195	0/88	1/5	113	0/97	0/12	27	66
r	-	0/012 ^{ns}	0/44*		-0/21 ^{ns}	0/48**				

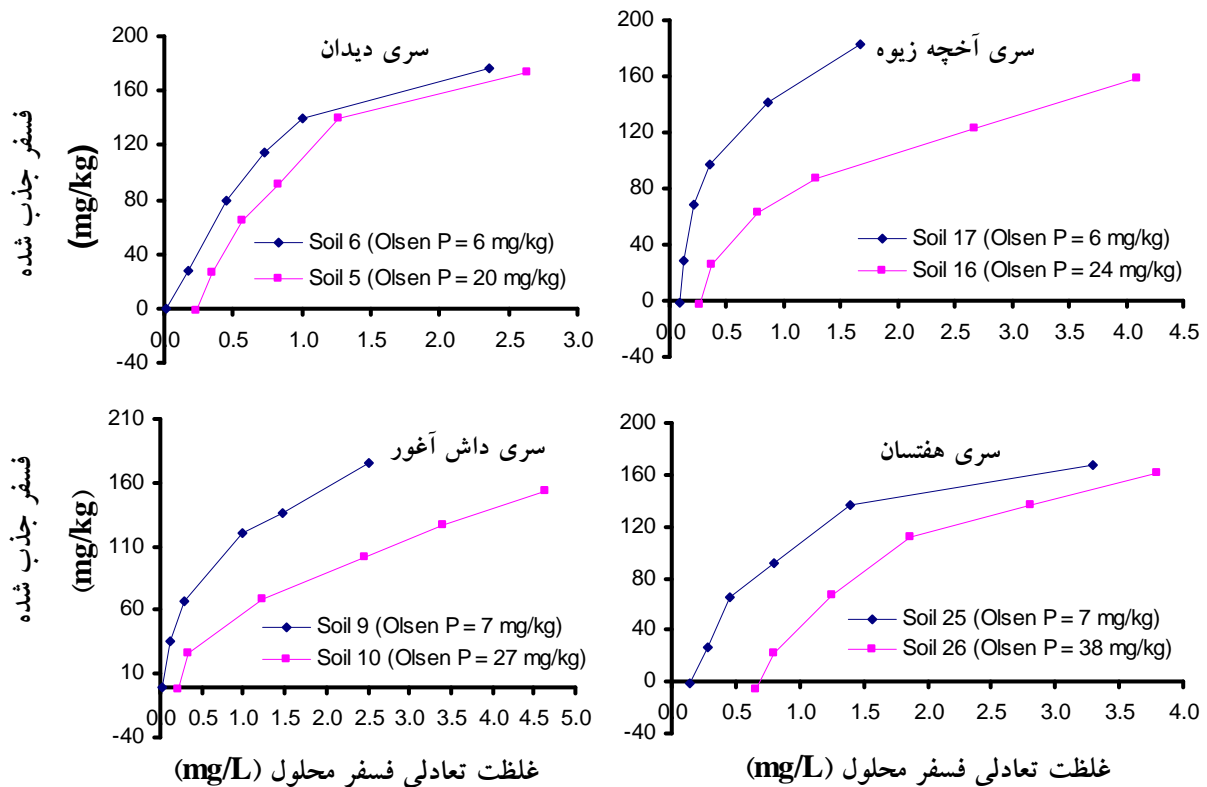
¹EPC = Equilibrium P concentration. * : معنی دار در سطح $P \leq 0.05$; ** : در سطح $P \leq 0.01$; ns : غیر معنی دار

ضرایب تبیین (R^2) بیانگر نیکویی برازش به انواع هم دماهای جذب، ضرایب همبستگی (r) بین X_m و شاخص‌های جذب فسفر

جدول ۳. ماده خشک (گرم)، غلظت فسفر (درصد) و جذب فسفر (دیلی گرم بر کیلوگرم) گندم در سری‌های خاک مورد مطالعه در ارتباط با سطوح تنظیم شده فسفر در محلول خاک توسط هم دماهای جذب فسفر

سری خاک	سطوح تنظیم شده فسفر، میلی‌گرم بر لیتر														
	بدون مصرف فسفر			0.2			0.4			0.8			1.2		
	ماده	غلظت	جذب	ماده	غلظت	جذب	ماده	غلظت	جذب	ماده	غلظت	جذب	ماده	غلظت	جذب
ریشگان	0/34	0/14	0/046	0/4	0/19	0/078	0/4	0/22	0/087	0/38	0/27	0/101	0/42	0/32	0/133
دیپان	0/28	0/13	0/036	0/25	0/19	0/047	0/42	0/24	0/101	0/39	0/3	0/113	0/32	0/36	0/12
کوکا	0/71	0/21	0/149	0/66	0/27	0/174	0/73	0/33	0/239	0/74	0/34	0/256	0/71	0/32	0/157
دانش آغور	0/27	0/18	0/051	0/34	0/2	0/067	0/61	0/29	0/18	0/63	0/31	0/195	0/62	0/33	0/205
بالاج	0/36	0/15	0/053	0/56	0/29	0/159	0/73	0/32	0/233	0/63	0/27	0/169	0/83	0/36	0/297
آنچه زیوه	0/44	0/15	0/066	0/75	0/23	0/17	0/89	0/32	0/291	0/8	0/19	0/145	0/72	0/34	0/245
هفتستان	0/33	0/11	0/036	0/55	0/16	0/088	0/97	0/22	0/219	0/84	0/28	0/238	0/92	0/29	0/276
چوب	0/33	0/049	0/017	0/56	0/073	0/042	0/7	0/088	0/062	0/74	0/15	0/112	1/1	0/21	0/241
تراش	0/36	0/069	0/024	0/55	0/16	0/089	0/69	0/22	0/156	0/74	0/21	0/156	0/67	0/24	0/169
درب رود	0/38	0/11	0/045	0/51	0/11	0/058	0/81	0/16	0/127	0/73	0/25	0/18	0/61	0/28	0/17
گری تپه															

مقادیر در جدول میانگین تیمارهای مختلف فسفر می‌باشند.



شکل ۱. تغییر در موقعیت هم دماها با سطح فسفر اولیه در اثر کوددهی فسفر که با آزمون خاک (Olsen-P) مشخص شده است.

موقعیت هم دما می‌تواند با وضعیت اولیه فسفر تغییر کند (شکل ۱)، اما شیب در همان غلظت تعادلی می‌تواند یکسان باشد. با وجود این، بارو (۴) دریافت که در برخی موارد حتی شیب هم دما می‌تواند با اضافه شدن فسفر تغییر کند. نظر به این که خاک‌های با فسفر قابل استفاده بالا (Olsen-P) کود فسفاتی بیشتری در طول زمان دریافت کرده بودند، انتظار می‌رفت فسفر جذب شده اولیه نسبت به خاک‌های با فسفر قابل استفاده پایین، بیشتر باشد (شکل ۱).

پارامترهای رشد گیاه

نتایج آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که همه سری‌های خاک به فسفر مصرف شده پاسخ نشان دادند (جدول ۳). در اکثر خاک‌ها ۹۵ تا ۹۹ درصد از حداکثر عملکرد ماده خشک در غلظت تعادلی فسفر محلول (EPC) ۴/۰ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. نتایج مشابه (EPC > ۳/۰ mg/L) هم‌چنین برای خاک‌ها از سایر

جهت نیل به عملکرد حداکثر تشخیص داده شد. این مقدار نزدیک به نیاز استاندارد فسفوری (۳۲/۰ میلی‌گرم بر لیتر) است که برای گیاه ذرت و آفتابگردان در خاک‌های آهکی پاکستان گزارش شده است (۲۷).

کل ظرفیت جذب فسفر خاک شامل مجموع میزان فسفر اولیه خاک و فسفر جذب شده می‌باشد. فسفر جذب شده نشان‌دهنده مکان‌های جذب قابل دسترس می‌باشد، در حالی که فسفر اولیه بیانگر مکان‌هایی است که قبلاً اشغال شده است. در صورتی که مقدار فسفر اولیه بالا باشد، فسفر جذب شده کمتر از کل ظرفیت جذب فسفر خواهد بود. وقتی روشی برای برآورد ظرفیت جذب انتخاب شود، برخی از شاخص‌های جذب فسفر تحت تأثیر سطح اولیه فسفر قرار می‌گیرند پارامترهای X_m و aF هر دو تحت تأثیر جذب اولیه فسفر خاک قرار گرفتند. بر طبق نظر بک و ویلیام (۳)، PBC مستقل از غلظت اولیه فسفر می‌باشد، چون این پارامتر مقدار شیب هم دما را نشان می‌دهد.

جدول ۴. معادلات رگرسیونی چند متغیره گام به گام برای برآورد نیاز استاندارد فسفر (مقدار فسفر مورد نیاز جهت رسیدن به غلظت ۰/۴ میلی گرم فسفر بر لیتر) با استفاده از خصوصیات خاک و فسفر قابل استفاده (Olsen-P).

معادله رگرسیون	R ²
$P_{0.4} = 106 - 4.1 \text{ Olsen P}$	0.52***
$P_{0.4} = 78.4 - 3.7 \text{ Olsen P} + 0.65 \text{ Clay}$	0.54***
$P_{0.4} = 84 - 3.7 \text{ Olsen P} + 0.73 \text{ Clay} - 0.99 \text{ ACCE}$	0.55***

***: معنی دار در سطح $P \leq 0.001$

می کند. این نتایج موافق با اطلاعاتی است که برای خاک های کالورینای شمال شرقی و مرکزی گزارش شده است (۱۴).

پیش بینی نیاز استاندارد فسفر گندم (P_{0.4}) با استفاده از خصوصیات خاک و آزمون فسفر خاک

مطالعات تجزیه رگرسیونی نشان داد بین Olsen-P و فسفر جذب شده در ۰/۴ میلی گرم بر لیتر غلظت فسفر محلول تعادلی (P_{0.4}) رابطه منفی معنی داری ($R^2 = 0.59$, $P \leq 0.001$) وجود داشت که بیانگر آن است که با افزایش Olsen-P، مقدار فسفر مورد نیاز برای رساندن خاک ها به ۰/۴ میلی گرم بر لیتر غلظت فسفر محلول کمتر خواهد بود. لکن، نتایج آزمایش گلدانی نشان داد که در برخی از خاک های مورد مطالعه مقدار فسفر قابل استفاده با آزمون فسفر خاک (Olsen-P) کافی (حدود کفایت ۱۵-۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم (۱۲)) است، در صورتی که با روش هم دماهای جذب فسفر نیاز به مصرف بیشتر فسفر می باشد (جدول ۲). بنابراین شناسایی و به کارگیری برخی از خصوصیات خاک و وارد کردن آنها به مدل رگرسیونی جهت برآورد نیاز استاندارد فسفر ممکن است برای این خاک ها در مقایسه با استفاده از روش تجربی آزمون خاک بیشتر مفید باشد. نتایج مطالعه تجزیه رگرسیونی چند متغیره گام به گام نشان داد مدل رگرسیونی مفید برای پیش بینی نیاز استاندارد فسفر شامل ترکیبی از فسفر قابل استفاده (Olsen-P) و میزان رس بود که با هم ۵۴ درصد از تغییرات را توصیف می کرد (جدول ۴). وارد کردن میزان رس به مدل ضریب تبیین را به ۵۵ درصد افزایش داد، لکن از نظر آماری معنی دار نبود.

مناطق دنیا گزارش شده است (۲، ۳۱). نتایج نشان داد که در برخی از خاک های مورد مطالعه، فسفر قابل استفاده با آزمون فسفر خاک (Olsen-P) در حد کفایت ولی با روش هم دمای جذب فسفر نیاز به مصرف کود فسفر بود. این امر ممکن است یا به خاطر این امر باشد که حجم زیاد ریشه ها در گلدان به غلظت فسفر زیادی نیاز داشته باشد و یا ممکن است عصاره گیر بیکربنات سدیم فسفر بیشتری را حل و اشتبهاً فسفر قابل استفاده بالاتری را نشان دهد. همان ترکیبات واکنش پذیری که مسئول سطوح بالای فسفر کم محلول هستند ممکن است مقادیر قابل توجهی از کود فسفر را به ترکیبات کم محلول تثبیت کنند. سایر خاک ها ممکن است با هر دو آزمون در کمبود باشند، ولی به خاطر تفاوت در واکنش هایشان با مصرف کود به مقادیر کاملاً متفاوت کود نیاز داشته باشند (۲۶ و ۲۹). برای توصیه کودی فسفر، نتایج مطالعه گلدانی باید تحت شرایط مزرعه واسنجی گردد.

گرچه عملکرد گیاه در همه خاک ها با افزایش سطوح تنظیم شده فسفر به غلظت ۰/۴ میلی گرم بر لیتر به حداکثر رسید، شواهدی وجود داشت که بافت خاک به طور مستقیم یا غیرمستقیم در الگوی فراهمی فسفر مؤثر بود. برای مثال، مقایسه سری های خاک در جدول ۳ نشان داد که ماده خشک و جذب فسفر توسط گندم به طور معنی دار ($P < 0.05$) با افزایش میزان رس خاک ها کاهش یافت (جدول ۱). این اثر با افزایش سطوح فسفر کمتر مشاهد شد. غلظت فسفر در محلول خاک اطلاعات مفیدی را در مورد تغذیه فسفر ارائه داد، زیرا شیب غلظت نیروی محرک لازم برای حرکت فسفر به سوی ریشه ها را فراهم

نتیجه گیری

می‌باشند، بنابراین سودمند است با به‌کارگیری معادله رگرسیونی و وارد کردن خصوصیات مربوطه خاک در معادله، نیاز استاندارد فسفر محصولات زراعی پیش‌بینی و برآورد گردد. با تلفیق غلظت فسفر محلول تعادلی خاک، خصوصیات روتین خاک (میزان رس) و آزمون فسفر خاک (Olsen-P) مدل رگرسیون چند متغیره‌ای به‌دست آمد که می‌توان در توصیه کودی فسفر به‌کار برد. با این حال ضروری است نتایج مربوط به نیاز فسفر استاندارد به‌دست آمده در این خاک‌ها (۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر) و همچنین اعتبار و کارایی مدل رگرسیونی به‌دست آمده در شرایط مزرعه واسنجی شوند.

می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد هم دماهای جذب فسفر در تعیین نیاز فسفر گیاه کاملاً مؤثر بود. نیاز فسفر محلول خارجی جهت نیل به ۹۵ درصد عملکرد نسبی گیاه گندم ۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. وجود همبستگی بین نیاز فسفر پیش‌بینی شده با روش هم دماهای جذب فسفر و پاسخ عملکرد ناشی از کود بیانگر آن است که استفاده از منحنی‌های جذب در توصیه کودی فسفر نسبت به روش رایج آزمون فسفر خاک موفقیت‌آمیز بود. با توجه به این‌که ایجاد هم دماهای جذب فسفر زمانبر و از نظر هزینه‌ها در تجزیه‌های روتین پرهزینه

منابع مورد استفاده

1. Afif, A., A. Matar and J. Torrent. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of west Asia and north Africa. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57: 756-760.
2. Ahmed, A.M., R.W. Taylor, and J.W. Shuford. 1990. Prediction of fertilizer phosphate requirement using the Langmuir adsorption maximum. *Plant Soil* 122: 267-270.
3. Bache, B.W. and E.G. Williams. 1971. A phosphate sorption index for soils. *J. Soil Sci.* 22: 289-301.
4. Barrow, N.J. 1974. Effect of previous addition of phosphate on phosphate adsorption by soils. *Soil Sci.* 118: 82-89.
5. Barrow, N.J. 1978. The description of phosphate adsorption curves. *J. Soil Sci.* 29: 447-462.
6. Borling, K., E.Otabong and E.Barberis. 2001. Phosphorus sorption in relation to soil properties in some cultivated Swedish soils. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 59: 39-46.
7. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.* 54: 464-465.
8. Chaudhry, E.H., A.M. Ranjha, M.A. Gill and S.M. Mehdi. 2003. Phosphorus requirement of maize in relation to soil characteristics. *Intl. J. Agric. Biol.* 5: 625-9.
9. Dhillon, S.K. and K.S. Dhillon. 1984. Availability and management of phosphorus in wet land soils in relation to sod characteristic. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 32: 250.
10. Drouineau, G. 1942. Dosage rapide du calcaire actif du sol; nouvelles donnees sur la separation et la nature des fractions calcaires. *Ann. Agron.* 12: 441-450.
11. Duffera, M. and W.P. Robarge. 1999. Soil characteristics and management effects on phosphorus sorption by highland plateau soils of Ethiopia. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 63: 1455-1462.
12. FAO. 2007. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletins*, 18.
13. Fixen, P.E. and J.H. Grove. 1990. Testing soils for phosphorus. PP.141-180. *In: R. L. Westerman (Ed.)*, Soil testing and plant analysis, *Soil Sci. Soc. Amer. Inc.*, Madison, Wisconsin.
14. Fox R.L. and E.J. Kamprath. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34:902-907.
15. Fox, R.L. 1979. Comparative response of field grown crops to phosphate concentrations in soil solution. PP. 81-106. *In: H. Mussell and R. Staples(Eds.)*. Stress Physiology in Crop Plants, Wiley Pub., New York.
16. Fox, R.L. 1981. External phosphorus requirement of crops. PP. 223- 39. *In: M. Stelly et al. (Ed.)*, Chemistry in the Soil Environment. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA
17. Gartley, K.L. and J.T. Sims. 1994. Phosphorus soil testing: Environmental uses and implications. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 1565-1582.
18. Jones J.P. and J.A. Benson. 1975. Phosphate sorption isotherms for fertilizer P needs of sweet corn (*Zea mays*) grown on high phosphorus fixing soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 6:465-477
19. Juo, A.S.R. and R.L. Fox. 1977. Phosphate sorption characteristics of some bench-mark soils of West Africa. *Soil Sci.* 124: 370-376.
20. Hassan, M.M., A. Rashid and M.S. Akhtar. 1994. Phosphorus requirement of maize and sunflower on selected bench mark soils of Pakistan. *In: Proc. 4th Natur. Cong. Soil Sci.*, PP. 327-32. May 24-26, 1992. NARC,

Islamabad.

21. Henry, P.C. and Smith, M.F. 2004. An improved phosphorus desorption index for the routine determination of the Ambic-2 phosphorus requirement factor of the South African soils. *South Africa J. Plant Soil*. 21: 13-20
22. Henry, P.C and M.F. Smith. 2006. Two-step approach to determine some useful phosphorus characteristics of South African soils: A review of work done at the ARC-Institute for Soil, Climate and water. *South Africa J. Plant Soil* 23: 64-72.
23. Hue, N.V. and R.L. Fox. 2010. Predicting Plant Phosphorus Requirements for Hawaii Soils using a Combination of Phosphorus Sorption Isotherms and Chemical Extraction Methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41:133-143
24. Iyamuremye, F., Dick, R.P. and Baham J. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. *Soil Sci. J.* 161: 426-435.
25. Kang, B.T., R. Islam, F.E. Sanders and A. Ayanaba. 1980. Effect of phosphate fertilization and inoculation with VA mycorrhizal fungi on performance of cassava grown on an Alfisol. *Field Crops Res.* 3: 83-94.
26. Klages, M.G., R.A. Olsen and V.A. Haby. 1988. Relationship of phosphorus isotherms to NaHCO₃-extractable phosphorus as affected by soil properties. *Soil Sci.* 146: 85-91.
27. Mahmood Ul Hassan, M. 1993. Phosphorus Requirement of Corn and Sunflower Grown On Calcareous Soils of Pakistan. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 1529-1541
28. Memon K.S. 1985. Determining phosphorus fertilizer requirements of crops under different soil and agroclimatic conditions. Training Bulletin 6, National Fertilizer Development Centre, Islamabad, 69-76.
29. Memon, K.S., H.K. Puno and R.L. Fox. 1991. Phosphate sorption approach for determining phosphorus requirements in calcareous soils. *Fert. Res.* 28:67-72.
30. Nair, P.S., T.J. Logan, A.N. Sharpley, L.E. Somers, M.A. Tabatabai and T.L. Yuan. 1994. Inter laboratory Comparison of a Standardized Phosphorus Adsorption Procedure. *J. Environ. Qual.* 13: 591-595.
31. Niskanen, R. 1990. Sorption capacity of phosphate in mineral soils. II. Dependence of sorption capacity on soil properties. *J. Agric. Sci. Finland* 62: 9-15.
32. Nishimoto, R., R.L. Fox and P.E. Parvin. 1977. Response of vegetable crops to phosphorus concentration in soil solution. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 102: 705-709.
33. Nziguheba, G., C.A. Palm, R.J. Buresh and P.A. Smithson. 1998. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. *Plant Soil.* 198: 159-168.
34. Olsen S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circ* 1939.
35. Peaslee, D.E. and R.L. Fox. 1978. Phosphorus fertilizer requirements as estimated by phosphate sorption. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 9:975-993.
36. Pena, F. and J. Torrent. 1990. Predicting phosphate sorption in soil of Mediterranean regions. *Fert. Res.* 23: 173-179.
37. Raven, K.P. and L.R. Hossner. 1994. Sorption and desorption quantity-intensity parameters related to plant available soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 58: 405-410.
38. Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. Soil carbonates. *In: Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods*. Inkata Press., Melbourne.
39. Soil Survey. 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA-NRCS, Agriculture Handbook No. 436. U.S. Government Printing Office. p. 870. *South Africa J. Plant Soil* 21: 13-20.
40. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cation. *In: A.L. Page et al.* (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. ASA Monograph. 9: 159-165.
41. Vander Zaag, P., R.L. Fox, R. de la Pena, W.M. Laughlin, A. Rhyskamp, S. Villagarcia, and D.T. Westermann. 1979. The utility of phosphate sorption curves for transferring soil management information. *Tropical Agric. (Trinidad)* 56:153-160.
42. Warren, G.P. 1992. Fertilizer phosphorus sorption and residual value in tropical African soils. *NRI Bulletin* 37. Natural Resource Institute, Chatham, England.
43. Walkely, A. 1947. A critical examination of a rapid determining soil organic carbon in soils. Effect of variations indigestion conditions and inorganic soil constituent. *Soil Sci.* 63: 251-263

Use of Phosphorus Adsorption Isotherms for Determining Fertilizer Requirement of Wheat

A. Samadi and E. Sepehr^{1*}

(Received : Dec. 29-2010 ; Accepted : Nov. 18 -2012)

Abstract

In order to determine optimum equilibrium solution phosphorus (P) concentration using P adsorption isotherm and obtain model(s) by integrating soil solution P concentration, physicochemical properties, and soil P test (available P) which predict standard P requirements to achieve maximum yield, laboratory and glasshouse experiments were conducted on 36 soil samples belonging to 15 soil series and 14 soil samples, respectively. Using wheat as a test crop, the glasshouse experiment was laid out with five P levels in a completely randomized design with three replications. Concentrations of P in solution established by adding P in the pots estimated from the sorption curve ranged from 0.2 to 1.2 mg P/L including check treatment (no P). The results showed that equilibrium solution P concentration (EPC) was almost low in comparison with the requirement for most crops (<0.2 mg/L). The amount of P adsorbed by the soils at 0.2 mg/L EPC ranged from 5 to 114 mg/kg soil. The phosphate adsorption was well described by Freundlich ($R^2 = 0.96$) and Langmuir ($R^2 = 0.88$) isotherms. Langmuir maximum adsorption (X_m) and Freundlich coefficient (a_F) estimated from Langmuir and Freundlich equations ranged from 127 to 238 mg P /kg soil and from 43 to 211 mg P/kg, respectively. Yield of wheat in all soils approached maximum as adjusted P levels were increased to 0.4 mg P/L. The results showed that some soils studied were adequate in available P by the NaHCO_3 test, but required an amount of P fertilizer by the isotherm P requirement test to obtain maximum biomass production. Soil clay content was significantly related to the soil P sorption indices, $P_{0.4}$ (P sorbed at 0.4 mg P/L EPC) ($R = 0.40$, $P < 0.01$), PBC (P buffering capacity) ($R = 0.54$, $P < 0.001$), a_F ($R = 0.48$, $P < 0.01$), and X_m ($R = 0.40$, $P < 0.01$). Total CaCO_3 and Active CaCO_3 were found to be less important factors affecting P adsorption. Using stepwise regression analysis resulted in a useful regression model including the combination of Olsen P and clay content for the prediction of standard P requirement ($P_{0.4}$).

Keywords: Fertilizer phosphate requirement, Adsorption isotherms, Soil test, Freundlich equation, Langmuir equation.

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

*: Corresponding Author, Email: asamadi2@gmail.com