

فراهمی فسفر خاک در اثر افزودن مقادیر مختلف کود فسفوری در خاکهای

استان همدان

محسن جلالی و زهرا کلاه چی^{*1}

چکیده

در اثر افزودن کود فسفر فسفر فراهمی فسفر خاک جهت ریشه گیاهان چه به صورت فسفر محلول و چه فسفر قابل جذب (فسفر قابل عصاره گیری با روش السن) افزایش می یابد. اطلاعات اندکی در ارتباط با تأثیر کود فسفوری بر روی افزایش همزمان فسفر محلول و قابل جذب در خاک وجود دارد. هدف این تحقیق بررسی رابطه بین فسفر افزوده شده به خاک و افزایش فسفر محلول و فسفر قابل جذب در خاک می باشد. بدین منظور به ده نمونه خاک سطحی فسفر به میزان 0، 21، 42، 104، 208 و 415 میلی گرم در کیلوگرم افزوده شد و خاکها در شرایط رطوبت مزرعه به مدت 21 روز در درجه حرارت 25 درجه سانتیگراد در انکوباتور قرار داده شدند. مقادیر بالای فسفر برای زمانی است که کود فسفوری در حجم کمتری از خاک استفاده می شود. در تمام خاکها رابطه بین فسفر محلول و فسفر قابل جذب با فسفر افزوده شده به صورت خطی بود. شیب خط رابطه بین فسفر افزوده شده با فسفر قابل جذب در گستره 0/8 - 0/25 قرار داشت. اندازه شیب بیانگر جزئی از فسفر افزوده شده به خاک است که توسط بی کربنات سدیم 0/5 مولار استخراج می شود. بدین ترتیب 78 درصد از کود مصرفی قابل عصاره گیری با بی کربنات سدیم 0/5 مولار نبوده و به احتمال زیاد شکل غیر قابل جذب تبدیل گردیده است. به منظور افزایش فسفر قابل جذب به میزان 10 میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاکهای مورد مطالعه، نیاز به مصرف 138 - 100 کیلوگرم فسفر در هکتار می باشد.

واژه های کلیدی: فسفر، انکوباسیون، فسفر قابل دسترس، کود فسفوری

مقدمه

فسفر یکی از عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان می باشد و معمولاً جهت تأمین نیاز گیاهان از کودهای فسفوری استفاده می شود. بررسی وضعیت فسفر قابل جذب در خاک به دلیل نقش آن در تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان حائز اهمیت می باشد. ظرفیت جذب فسفر خاک غلظت فسفر محلول را کنترل می نماید. آگاهی از ظرفیت جذب خاکها نقش مهمی در تعیین میزان مصرف کودهای فسفوری در خاک دارد. به دلیل ظرفیت بالای خاک برای جذب فسفر تحرک آن در خاک در مقایسه با سایر عناصر غذایی دلیل ظرفیت بالای خاک برای جذب فسفر پایین می باشد. بنابراین تمام کود فسفر مصرفی در زمان مصرف مورد استفاده گیاه قرار نمی گیرد. درجه جذب فسفر علاوه بر فاکتورهای محیطی و خواص و ترکیبات خاک به میزان کود مصرفی نیز بستگی دارد.

فسفر یکی از عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان می باشد و معمولاً جهت تأمین نیاز گیاهان از کودهای فسفوری استفاده می شود. بررسی وضعیت فسفر قابل جذب در خاک به دلیل نقش آن در تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان حائز اهمیت می باشد. ظرفیت جذب فسفر خاک غلظت فسفر محلول را کنترل می نماید. آگاهی از ظرفیت جذب خاکها نقش مهمی در تعیین میزان مصرف کودهای فسفوری در خاک دارد. به دلیل ظرفیت بالای خاک برای جذب فسفر تحرک آن در خاک در مقایسه با سایر عناصر غذایی دلیل ظرفیت بالای خاک برای جذب فسفر پایین می باشد. بنابراین تمام کود فسفر مصرفی در زمان مصرف مورد استفاده گیاه قرار نمی گیرد. درجه جذب فسفر علاوه بر فاکتورهای محیطی و خواص و ترکیبات خاک به میزان کود مصرفی نیز بستگی دارد.

1- دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

*- وصول: 83/4/14 و تصویب: 84/2/25

شامل هفت تیمار کودی 0، 21، 42، 104، 208، 415 و 1245 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک (هوا خشک) در سه تکرار بر روی نمونه های خاک اعمال گردید. فسفر از نمک KH_2PO_4 و به صورت محلول مصرف گردید. محلولهای حاوی فسفر به خاک مرطوب اضافه و بطورکامل با خاک مخلوط گردید. با توجه به ظرفیت مزرعه خاکها، حجم آب اضافه شده به نمونه خاک تعیین گردید. نمونه ها در دمای 25 درجه سانتیگراد به مدت 21 روز در انکوباسیون نگهداری شدند. در طول این دوره در صورت نیاز، آب به نمونه ها اضافه گردید تا رطوبت نمونه ها در سطح ظرفیت زراعی باقی بماند. بعد از گذشت این مدت نمونه‌ها هوا خشک شده و مجدداً از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. مقادیر بالای کود به این منظور بکاربرده شد تا حالتی را شبیه سازی نماید که کود به صورت نواری در حجم کمتری از خاک مصرف می‌شود (Barber و Kovar، 1988). فسفر محلول با آب مقطر (به نسبت 1:5 آب خاک) عصاره گیری گردید. فسفر قابل جذب با استفاده از محلول بی کربنات سدیم 0/5 مولار با پ هاش 8/5 و مدت نیم ساعت تماس در نسبت خاک به محلول 1:20 عصاره گیری (Summers و Olsen، 1982) و با استفاده از اسید آسکوربیک (Murphy و Riley، 1962) به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید.

محاسبه قدرت تامپونی¹ و ضریب پخشیدگی مؤثر²

قدرت تامپونی (b) توانایی فاز جامد خاک در مقابل تغییرات غلظت یونها در محلول خاک است. با استفاده از رابطه بین فسفر محلول و قابل جذب قدرت تامپونی محاسبه گردید. مقادیر ضریب پخشیدگی مؤثر با استفاده از معادله نای و تینکر (Nye و Tinker، 1977) محاسبه گردید:

$$D_e = D_1 \theta f_1 / b \quad (1)$$

که در آن D_e ضریب پخشیدگی مؤثر، D_1 ضریب پخشیدگی یون فسفر در آب، θ ظرفیت زراعی، f_1 ضریب پیچ خوردگی و b قدرت تامپونی می‌باشد. مقدار f_1 با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Barraclough و Tinker، 1981):

$$f_1 = 1.58 \theta - 0.172 \quad (2)$$

نتایج و بحث

جدول (1) نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاکها را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، دامنه پ هاش نمونه‌های خاک از 6/9 تا 7/9 متغیر می‌باشد.

افزوده شده را بدست می‌دهد. زمانیکه کود فسفوری به خاک افزوده می‌شود، بخشی از آن باعث افزایش فسفر محلول و بخشی دیگر فسفر قابل جذب را افزایش می‌دهد و مابقی رسوب نموده و یا با قدرت زیاد در خاک جذب می‌شود که به آسانی با فسفر محلول به تعادل نمی‌رسد. توزیع فسفر بین این دو جزء بر ضریب پخشیدگی و جذب فسفر در خاک تأثیر می‌گذارد. متأسفانه اطلاعات محدودی در رابطه با تأثیر کود فسفوری بر روی افزایش همزمان فسفر محلول و قابل جذب در خاک وجود دارد. این اطلاعات برای تعیین میزان فسفر مصرفی در خاک جهت تأمین نیاز گیاه و نیز برای تعیین تأثیر قرار دادن فسفر در خاک بر جذب آن توسط گیاه ضروری است (Barber و Kovar، 1988 و 1990). قرار دادن یک مقدار مشخص از فسفر در جزء کمی از خاک باعث افزایش میزان مصرف در واحد خاک کود داده شده خواهد شد. لذا ضروری است تأثیر مصرف گسترده وسیعی از مقادیر فسفر در خاک بر فسفر محلول و قابل جذب در خاک تعیین گردد. روابط بین پتاسیم مصرفی با پتاسیم محلول و تبدلی در خاکهای منطقه همدان مورد مطالعه قرار گرفته است (جلالی، 1381) ولی در رابطه با تأثیر فسفر مصرفی بر فسفر محلول و قابل جذب در خاکهای این منطقه مطالعه‌ای انجام نشده است. لذا هدف این تحقیق عبارتست از: بررسی تأثیر مقادیر مختلف کود فسفوری بر فراهمی فسفر در خاک با اندازه گیری فسفر محلول و قابل جذب در خاکهای استان همدان.

مواد و روشها

با توجه به سری خاکهای منطقه همدان (گزارش مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی منطقه همدان، 1356) و مناطق عمده تولید محصولات زراعی 10 نمونه خاک از افق سطحی (0 تا 30 سانتی متر) به صورت مرکب تهیه گردید. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای آزاد از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. اندازه‌گیری پ هاش و هدایت الکتریکی در عصاره 1:5، ظرفیت تبدلی کاتیونی به روش استات سدیم با پ هاش 8/2، مقدار فسفر قابل جذب با روش السن عصاره‌گیری (Olsen و Summers، 1982) و با استفاده از روش اسید آسکوربیک اندازه‌گیری شد (Murphy و Riley، 1962). کربنات کلسیم معادل به روش استفاده از اسید کلریدریک و سپس تیتره نمودن اسیدکلریدریک باقیمانده با محلول هیدروکسید سدیم اندازه گیری گردید (Rowell، 1994). ماده آلی به روش اکسیداسیون ماده آلی با اسید سولفوکرومیک و سپس تیتره کردن اسید سولفوکرومیک باقیمانده با فرسولفات اندازه‌گیری گردید (Rowell، 1994). آزمایش انکوباسیون

¹ - Buffer power

² - Effective diffusion coefficient

89 (خاک 3) میلی گرم در کیلوگرم می باشد. مقادیر h در کلیه خاکهای مورد مطالعه کمتر از 1 بوده (0/18-0/25) و نشان می دهد که بخش زیادی (82-75 درصد) از فسفر افزوده شده به خاک با بی کربنات سدیم استخراج نشده است و به شکل غیر قابل جذب در آمده است. نسبت های بدست آمده در مورد فسفر خیلی کمتر از پتاسیم (1/03-0/55) می باشد (جلالی، 1381). این امر اهمیت تثبیت و غیر قابل جذب شدن فسفر مصرفی در مقایسه با پتاسیم مصرفی را نشان می دهد.

Javid و Rowell (2002) در مطالعه انکوباسیون فسفر گزارش کردند که بعد از گذشت 90 روز 45 تا 80 درصد از فسفر مصرفی بصورت غیر قابل جذب در آمده و قابل عصاره گیری به روش السن نبوده است. بیشترین مقدار فسفر غیر قابل جذب شده مربوط به خاکهای آهکی بود. آنها اظهار داشتند که با مصرف کود فسفوری در مزرعه، بخش قابل توجهی از آن به سرعت به صورت غیر قابل جذب تبدیل می شود. Al-Khateeb و همکاران (1986) نیز گزارش کردند که بخش قابل توجهی از فسفر افزوده شده به خاک در همان ابتدای مصرف کود فسفوری به صورت غیر قابل جذب تبدیل می شود و با گذشت زمان میزان این تبدیل افزایش می یابد. جذب فسفر در خاک در مراحل اولیه سریع و به صورت جذب بر روی سطوح ذرات می باشد و سپس شدت جذب کند شده و فسفر در این مرحله به صورت اشکال با قابلیت جذب کم و به صورت فسفاتهای معدنی رسوب می کند (Javid و Rowell، 2002؛ Sui و همکاران، 1999؛ Thompson و همکاران، 2000). با گذشت زمان فسفر مصرفی به داخل مواضعی از کریستالهای کانی پخشیده می شود که کمتر قابل دسترس برای عصاره گیری می باشد و یا فسفر بر روی مکانهای جذبی باقی مانده ولی با قدرت زیاد پیوند شده و یا به صورت ترکیبات با حلالیت کم رسوب می کند (Javid و Rowell، 2002).

در خاکهای مورد مطالعه در صورتیکه در نظر باشد میزان فسفر قابل جذب را به اندازه 10 میلی گرم در کیلوگرم خاک افزایش داد، نیاز به مصرف 40-55 و یا بطور متوسط 46 میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک می باشد. در صورتیکه وزن یک هکتار خاک را برابر با 2500 تن در نظر بگیریم، بطور متوسط نیاز به مصرف 100-138 کیلوگرم فسفر در هکتار می باشد. اعداد بدست آمده با نتایج سایر محققان مقایسه گردید. Johnston (2001) و Johnston و همکاران (2001) نشان دادند که برای افزایش میزان فسفر قابل جذب به اندازه 10 میلی گرم در کیلوگرم (روش السن) نیاز به مصرف 29 تا 77 میلی گرم

قابلیت هدایت الکتریکی در دامنه 0/24-0/65 دسی زیمنس بر متر، ظرفیت تبادل کاتیونی 16-23/4 سانتی مول بار بر کیلوگرم، درصد رطوبت اشباع 26/5-53/3 و درصد ماده آلی در دامنه 0/19-1/55 قرار دارند. فسفر قابل جذب در دامنه 80-17/5 و با میانگین 36 میلی گرم در کیلوگرم خاک قرار دارد. بالا بودن فسفر اولیه خاک نشان دهنده مصرف بی رویه کودهای فسفوری در این منطقه است. نتایج بررسی وضعیت فسفر قابل جذب در این منطقه نشان می دهد که 70 درصد از خاکهای مورد مطالعه در منطقه دارای غلظتی بیش از 20 میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک هستند (جلالی و کلاه چی، 1380).

تأثیر فسفر مصرفی بر فسفر محلول شکل (1) رابطه بین فسفر اضافه شده و فسفر محلول را در تعدادی از خاکها نشان می دهد. افزایش غلظت فسفر محلول در اثر افزودن فسفر با استفاده از معادله زیر بیان گردید:

$$P_s = ax + d \quad (3)$$

که در آن x برابر با مقدار فسفر افزوده شده و a و d ثابت های معادله هستند. ضریب a درجه افزایش خطی فسفر محلول در اثر فسفر افزوده شده را نشان می دهد. دامنه ارقام a برابر است با 0/0125 (خاک 7) تا 0/0201 (خاک 1). 50 درصد از ارقام a در دامنه 0/0125-0/014 قرار دارند (جدول 2). مقادیر a به دلیل آنکه تنها بخشی از فسفر افزوده شده به خاک وارد فاز محلول می شود، کوچک می باشند. مقدار d نشان دهنده فسفر محلول خاک قبل از اضافه کردن فسفر به خاک می باشد. مقادیر آن از 0/08 (خاکهای 6 و 8) تا 1/6 میلی گرم در لیتر (خاک 5) تغییر می کند. این مقادیر انعکاسی از خصوصیات خاک و فسفر اولیه خاک می باشد.

تأثیر فسفر مصرفی بر فسفر قابل جذب

رابطه بین فسفر افزوده شده و فسفر قابل جذب در تمام خاکها خطی می باشد (شکل 2). در واقع بخشی از فسفر افزوده شده به خاک که به صورت قابل جذب باقی می ماند بستگی به میزان فسفر افزوده شده ندارد (Kovar و Barber، 1988). داده های مربوط به تمام خاکها با استفاده از معادله زیر توصیف گردیدند:

$$P_{avai} = hx + g \quad (4)$$

که در آن P_{avai} فسفر قابل جذب بر حسب میلی گرم در کیلوگرم خاک، g فسفر قابل جذب خاکها قبل از افزودن فسفر به خاک می باشد و h نسبتی از کود مصرفی است که به وسیله بی کربنات سدیم از خاک عصاره گیری می شود. در صورتیکه این نسبت بزرگتر از 1 باشد، بیانگر آن است که فسفر بیشتر از آنچه که به خاک افزوده شده از خاک استخراج شده است. دامنه g برابر با 40 (خاک 7) تا

گیاهان زراعی در سالهای بعد قرارگیرد (Sanchez و Beck, 1996). بهر حال با گذشت زمان میزان فسفر باقیمانده کاهش می‌یابد. زیرا فسفر بوسیله جریان پخشیدگی به قسمتهایی از کانی که با انرژی زیادی نگهداری می‌شوند حرکت می‌نمایند (Rowell و Javid, 2002). همچنین فسفر ممکن است بر روی مکانهای جذبی باقی بماند اما به شدت جذب شده و به صورت ترکیبات با حلالیت کم رسوب نماید (Barrow و Shaw, 1975؛ Bramley و Barrow, 1992؛ Rowell و reeman, 1981؛ Javid و Rowell, 2002).

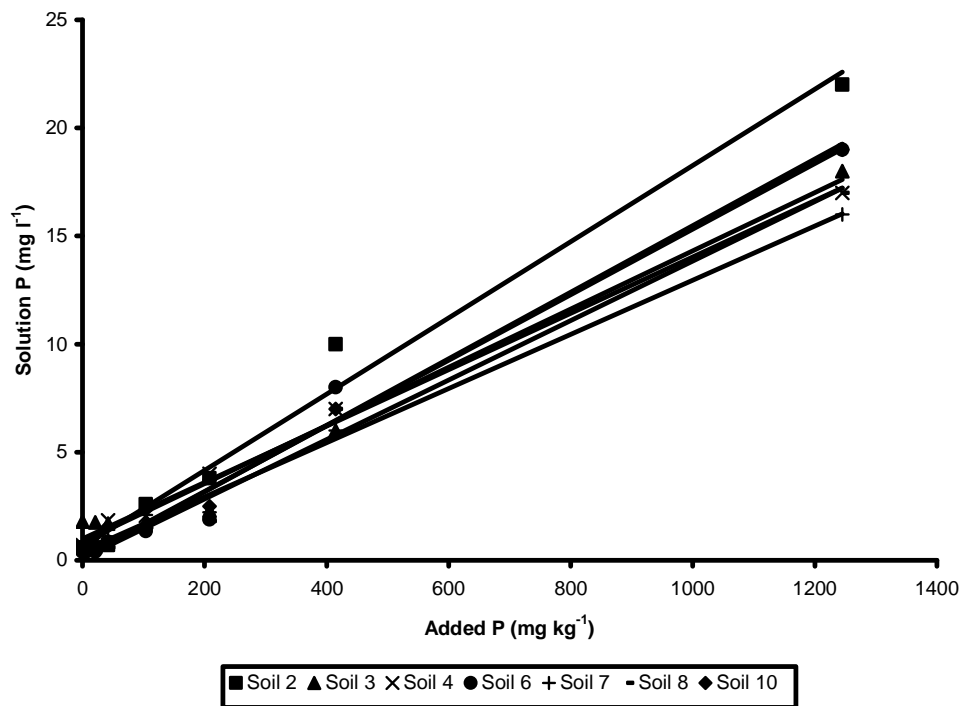
فسفر در کیلوگرم خاک می‌باشد. همچنین Rowell و Javid (2002) گزارش کردند که برای همین مقدار افزایش فسفر قابل جذب نیاز به مصرف 30-130 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک می‌باشد. لذا نتایج بدست آمده به خوبی با نتایج سایر تحقیقات مطابقت دارد. با مصرف کود فسفوری در خاک تنها بخشی از آن مورد استفاده گیاه در همان سال اول قرار می‌گیرد و بخش قابل توجهی از آن در خاک به صورت فسفر باقیمانده بوسیله فرآیندهای جذب و رسوب نگهداری می‌شود (Rowell, 1994). فسفر باقیمانده می‌تواند مورد استفاده

جدول 1- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه

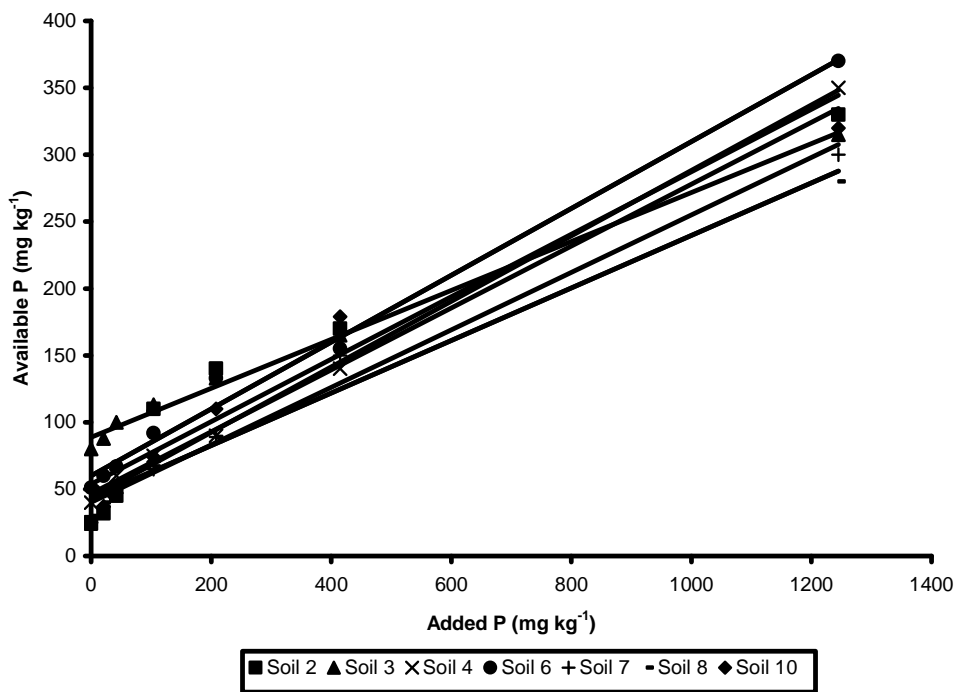
شماره خاک	پ هاش	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	کربنات کلسیم معادل (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol _c kg ⁻¹)	فسفر قابل عصاره گیری (mgkg ⁻¹)	سلیت رس ماده آلی			شن
						(g kg ⁻¹)			
1	7/4	0/65	19	23/4	17/5	1/9	205	631	164
2	7/3	0/34	14/2	19	24	12/7	147	484	368
3	7/2	0/40	18/2	21/5	80	13/1	232	514	254
4	7/4	0/25	16/4	22/2	40	7/1	226	393	381
5	7/3	0/27	10/2	20/8	44	5/2	164	394	443
6	7/1	0/32	4/9	16/2	51	5/9	75	315	610
7	7/9	0/51	21/4	22	30	10/7	210	430	360
8	6/9	0/48	3/3	16/5	30	15/5	107	516	376
9	7/6	0/24	9/3	16	50	3/5	179	371	450
10	7/3	0/30	5/1	16/3	25	4/7	127	312	562

جدول 2- روابط بین میزان مصرفی و غلظت فسفر محلول و قابل جذب در خاکهای مورد مطالعه

شماره خاک	رابطه بین فسفر محلول (P _s) با فسفر مصرفی		رابطه بین فسفر قابل جذب (P _{avai}) با فسفر مصرفی		رابطه بین فسفر قابل جذب (P _{avai}) با فسفر محلول (P _s)	
	R ²	معادله	R ²	معادله	R ²	معادله
۱	0.9963	P _s =0.0201X+0.42	0.9668	P _{avai} =0.2235X+42.4	0.945	P _{avai} =10.965 P _s +47.8
۲	0.9855	P _s =0.0176X+0.63	0.9287	P _{avai} =0.2335X+53.7	0.937	P _{avai} =13.205 P _s +45.6
۳	0.9829	P _s =0.0135X+0.85	0.9955	P _{avai} =0.1829X+88.8	0.9642	P _{avai} =13.259 P _s +78.8
۴	0.9954	P _s =0.0130X+0.99	0.9981	P _{avai} =0.2447X+43.6	0.9918	P _{avai} =18.656 P _s +25.5
۵	0.9396	P _s =0.0156X+1.65	0.9749	P _{avai} =0.2134X+66.8	0.9259	P _{avai} =12.956 P _s +48.9
۶	0.984	P _s =0.0154X+0.08	0.991	P _{avai} =0.2498X+60.0	0.9549	P _{avai} =15.793 P _s +60.6
۷	0.9947	P _s =0.0125X+0.43	0.9878	P _{avai} =0.2149X+40.1	0.986	P _{avai} =17.10 P _s +32.9
۸	0.9876	P _s =0.0138X+0.08	0.9842	P _{avai} =0.1962X+43.4	0.9829	P _{avai} =14.162 P _s +42.6
۹	0.9881	P _s =0.0141X+0.26	0.9834	P _{avai} =0.224X+60.0	0.9724	P _{avai} =15.681 P _s +56.7
۱۰	0.9958	P _s =0.0152X+0.15	0.9625	P _{avai} =0.2313X+46.6	0.9574	P _{avai} =15.180 P _s +44.6



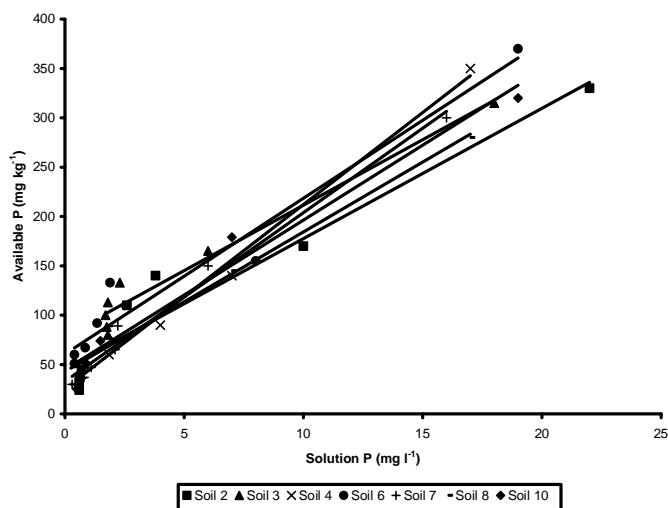
شکل (7) رابطه بین فسفر مصرفی و فسفر محلول در هفت نمونه از خاکهای مورد مطالعه



شکل (8) رابطه بین فسفر مصرفی و فسفر قابل جذب در هفت نمونه از خاکهای مورد مطالعه

جدول 3- ضریب پخشیدگی موثر یون فسفر در خاکهای مورد مطالعه

شماره خاک	ضریب پخشیدگی موثر ($m^2 s^{-1}$)
1	$1/68 \times 10^{-8}$
2	$2/5 \times 10^{-8}$
3	$7/8 \times 10^{-9}$
4	$6/9 \times 10^{-9}$
5	$5/58 \times 10^{-9}$
6	$4/66 \times 10^{-8}$
7	$1/15 \times 10^{-8}$
8	$1/74 \times 10^{-8}$
9	$1/2 \times 10^{-8}$
10	$5/39 \times 10^{-9}$



شکل ۱) رابطه بین فسفر محلول و فسفر قابل جذب در هفت نمونه از خاکهای مورد مطالعه

نتیجه گیری

تبدیل شده است. از آنجاییکه در بین کشاورزی معمولاً، فصل پاییز زمان مصرف کودهای فسفوری بوده و تا زمان استفاده فسفر توسط گیاه در بهار امکان غیر قابل جذب شدن فسفر مصرفی زیاد است، لذا توصیه می‌شود که از مصرف کود فسفوری در پاییز اجتناب شود و زمان مصرف نزدیک به زمان کشت گیاه در نظر گرفته شود.

اطلاعات حاصل از تأثیر میزان فسفر مصرفی در خاک بر غلظت فسفر محلول و قابل جذب در تعیین فراهمی فسفر برای گیاهان اهمیت دارد. زیرا فراهمی فسفر تحت تأثیر فسفر محلول و قابل جذب می‌باشد. نتایج نشان داد که بطور متوسط 78 درصد از کود مصرفی طی مدت سه هفته به شکل غیر قابل جذب در خاک

فهرست منابع:

1. جلالی، م. و کلاه چی، ز. 1380. بررسی وضعیت فسفر قابل جذب و تأثیر کود فسفوری بر قابلیت جذب فسفر در خاکهای همدان. هفتمین کنگره علوم خاک ایران. شهرکرد.
2. جلالی، م. 1381. اثر تیمارهای پتاسیم بر پتاسیم محلول و تبادل خاک. مجله علوم خاک و آب. جلد 16. ص 11-1.
3. کریمیان، ن. ع. 1377. پیامدهای زیاده روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفوری. مجله خاک و آب. جلد 12 شماره 4 صفحه 14.
4. گزارش مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی منطقه همدان. 1356. نشریه شماره 516. موسسه تحقیقات خاک و آب.
5. Al-Khateeb, I.K., M.J. Rajhan and S.R. Askar. 1986. Phase equilibria and kinetics of orthophosphate in some Iraqi soils. *Soil Sci.* 141:31-37.
6. Barraclough, A.B., and P.B. Tinker. 1981. The determination of ionic diffusion coefficients in field soils. 1. Diffusion coefficients in sieved soils in relation to water content and bulk density. *J. Soil Sci.* 32: 225-236.
7. Barrow, N.J., and T.C. Shaw. 1975. The slow reaction between soil and anions: 2. Effect of time and temprature on the decrease in phosphate concentration in the soil solution. *Soil Sci.* 119: 167-177.
8. Beck, A.M., and A.P. Sanchez. 1996. Soil phosphorus movement and budget after 13 years of fertilized cultivation in the Amazons basin. *Plant Soil.* 184: 23-31.
9. Bramley, R.G.V., and N.J. Barrow. 1992. The reaction between phosphate and dry soil. II. The effect of time, temperature and moisture status during incubation on the amount of plant available P. *J. Soil Sci.* 43: 759-766.
10. Freeman, J.S., and D.L. Rowell. 1981. The adsorption and precipitation of phosphate onto calcite. *J. Soil Sci.* 32:75-84.
11. Javid, S., and D.L. Rowell. 2002. A laboratory study of the effect of time and temperature on the decline in Olsen P following phosphate addition to calcareous soils. *Soil Use Manag.* 18:127-134.
12. Johnston, A.E. 2001. Principles of crop nutrition for sustainable food production. Proceeding No. 459. International Fertilizer Society, York. Pp.1-38.
13. Johnston, A.E., P.R. Poulton and J.K. Syers. 2001. Phosphorous, potassium and sulfur cycles in agricultural soils. Proceeding No. 465 International Fertilizer Society, York, pp.1-44.
14. Kovar, J.L., and S.A. Barber. 1988. Phosphorous supply characteristics of 33 soils as influenced by seven rates of phosphorous addition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:160-165.
15. Kovar, J.L., and S.A. Barber. 1990. Potassium supply characteristics of thirty-three soils as influenced by seven rates of potassium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54 :1356-1361.
16. Murphy, J., and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for detrmiation of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27: 31-36.
17. Nye, P.H., and P.B. Tinker. 1977. Local movement of solutes in soil. P. 69-91. In P.H. Nye and P.B. Tinker (ed.) *Solute movement in the soil-root system.* Blackwell Sci. Publ., Oxford, England.
18. Olsen, S.L., and L.E. Summers. 1982. Phosphorus in methods of soil analysis, part 2, 2nd Ed. AL Page et al. (eds.). *Agron. Monogr. No. 9,* ASA, Madison WI, pp403-427.
19. Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications.* Longman Group, Harlow.
20. Sui, Y., M.L. Thompson and C.W. Mize. 1999. Redistribution of biosoils-derived total P applied to a Mollisol. *J. Environ. Qual.* 28 :1068-1074.
21. Sui, Y., and M.L. Thompson. 2000. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosoils-amended Mollisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 164-169.