آزادسازی فسفر قابل استفاده با کاربرد کودهای آلی و شیمیایی و جذب آن توسط گندم در خاک‌های آهکی

جعفر شهابی‌فر[۱]، ابراهیم پناه‌پور [۲*]، فرهاد مشیری [۳]، علی غلامی [۴] و مهرزاد مستشاری [۵]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران shahabifar1@yahoo.com

۲- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران e.panahpour@iauahvaz.ac.ir

۳- استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران fa.moshiri@yahoo.com

۴- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران ali.gholami54@ iauahvaz.ac.ir

۵- استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران mm_mohasses@yahoo.com

Phosphorus release and uptake in wheat using organic and chemical fertilizers on calcareous soils

Jafar Shahabifar[1], Ebrahim Panahpour[2*], Farhad Moshiri[3], Ali Gholami[4] and Mehrzad Mostashari[5]

1- Ph.D. student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Khouzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz,Iran shahabifar1@yahoo.com

*2- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran e.panahpour@iauahvaz.ac.ir**

3- Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural and Natural Resources Research Center (AREEO), Karaj, Iran fa.moshiri@yahoo.com

4- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran ali.gholami54@ iauahvaz.ac.ir

5- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural and Natural Resources Research Center(AREEO), Qazvin, mm_mohasses@yahoo.com

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی میزان آزادسازی فسفر قابل استفاده با کاربرد کودهای آلی و شیمیایی در سه خاک با مقادیر متفاوت فسفرقابل جذب خیلی کم (S_1)، کم (S_2) و متوسط (S_3) و در هر خاک با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم فسفر برکیلوگرم خاک از منابع کودهای گوسفندی، کمپوست زباله‌شهری و سوپرفسفات تریپل، در زمان‌های ۱، ۳، ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۰، ۶۰ و ۹۰ روز میزان فسفر قابل جذب اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تأثیر کاربرد فسفر از منابع کودی بر تغییرات فسفر قابل استفاده خاک در طول دوره انکوباسیون در خاک‌های مورد بررسی متفاوت بود، به گونه‌ای که در خاک ۱ در طول دوره زمانی انکوباسیون، گرچه قابلیت استفاده فسفر با کاربرد سوپرفسفات تریپل بالاتر از گوسفندی و کمپوست زباله شهری بود، اما با گذشت زمان این اختلاف به میزان قابل توجهی کاهش یافت. تفاوت غلظت فسفر قابل استفاده در خاک ۱ با کاربرد سوپرفسفات تریپل و گوسفندی در ابتدای دوره زمانی ۱۱/۰۱ و در پایان دوره ۰/۵ میلی‌گرم برکیلوگرم و با کمپوست زباله شهری به‌ترتیب ۱۵/۸۷ و ۱/۳۰ میلی‌گرم برکیلوگرم بود. در خاک ۲ کود گوسفندی به کاربرده شده توانست با آزادسازی فسفر در انتهای دوره انکوباسیون جایگزین مناسبی برای کود شیمیایی به‌کار برده شده جهت تأمین فسفر مورد نیاز در خاک باشد. میزان فسفر آزاد شده توسط کود سوپرفسفات تریپل ۱۲/۸۸ میلی‌گرم برکیلوگرم در پایان دوره بود که با کود گوسفندی این رقم به ۱۲/۷۰ میلی‌گرم برکیلوگرم رسید. مقادیر فسفر آزاد شده در خاک ۳ با کاربرد سوپرفسفات تریپل به میزان ۲۵/۵۱ میلی‌گرم برکیلوگرم در ابتدای زمان انکوباسیون و ۱۹/۰۸ میلی‌گرم برکیلوگرم در پایان دوره داشت. این مقادیر برای کود گوسفندی به ترتیب ۱۷/۴۵ و ۱۱/۶۳ میلی‌گرم برکیلوگرم و کمپوست زباله‌شهری ۸/۲۴ و ۸/۸۶ میلی‌گرم برکیلوگرم بود. در بخش گلخانه، خاک ۲ با تیمار سوپرفسفات تریپل، غلظت فسفر کل گیاه بیشتری را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. به‌طوری که این میزان نسبت به تیمار با کود گوسفندی، ۲۸/۷ درصد، کود کمپوست زباله شهری، ۱۵/۷ درصد و نسبت به شاهد، ۲۱/۲ درصد افزایش نشان داد.

کلمات کلیدی: انکوباسیون، سوپرفسفات، فسفر، کمپوست، گندم

فصلنامه زیست شناسی سلولی و مولکولی گیاهی

سال ۱۳۹۲، دوره ۸، شماره ۳و۴، صص ۳۹-۲۹

Abstract

This study was conducted to evaluate the release of Phosphorus available by application of organic and chemical fertilizers in three soils with different values available phosphorus: very low (S1), low (S2) and medium (S3), in each soil applied 50 mg of phosphorus per kg of soil from sheep manure, municipal solid waste compost and triple super phosphate. The amounts of phosphorus were measured at the time of 1, 3, 7, 14, 28, 40, 60 and 90 days. The results showed that the impact of the application of phosphorus fertilizer source was different on changes in available phosphorus in the S_1 during the incubation period. Even though phosphorus availability with the use of triple super phosphate was higher than municipal waste compost and sheep manure, but these differences are significantly reduced over time. In S_1, differences in phosphorus concentrations with the use of triple super phosphate and sheep manure at the beginning of the period was 11.01 and the end of incubation was 0.50 mg kg^{-1}. These amounts with the use of municipal waste compost were 15.87 and 1.30 mg kg^{-1}. In S_2, sheep manure was able to released available phosphorus at the end of incubation and was a suitable substitute for chemical fertilizer to supply phosphorus for the soil. Phosphorus released from triple super phosphate fertilizer was 12.88 mg kg^{-1} of period time. With the use of sheep manure, was 12.70 mg kg^{-1} of incubation. Phosphorus released in S_3 with triple super phosphate was 25.51mg kg^{-1} at the beginning of period and 19.08 mg kg^{-1} at the end of the incubation time. These values for sheep manure were 17.45 and 11.63 mg kg^{-1} and municipal waste compost 8.24 and 8.86 mg kg^{-1} respectively. In the greenhouse phase, plant total phosphorus concentration was larger amount than other treatments in S_2. So that the ratio to treatment with sheep manure, 28.7% of municipal solid waste compost, 15.7% and compared to the control, increased 21.2%.

Key words: Calcareous, Compost, Incubation, Phosphorus, Wheat

فصلنامه زیست شناسی سلولی و مولکولی گیاهی

سال ۱۳۹۲، دوره ۸، شماره ۳و۴، صص ۳۹-۲۹

مقدمه و کلیات

میزان فسفر قابل استفاده در ۷۰ درصد از خاک‌های آهکی ایران در محدوده متوسط تا کم می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده تقریباً ۵۰ درصد از خاک‌ها، میزان فسفر قابل استفاده (عصاره‌گیری به روش اولسن) کمتر از ۱۰، ۳۳ درصد بین ۱۰-۲۰ و ۱۷ درصد دارای فسفر بیش از ۲۰ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک می‌باشند (شهبازی و داودی،۱۳۹۱). برای جبران کمبود فسفر قابل استفاده در خاک می‌بایست از منابع کودی مختلف استفاده نمود. امروزه به‌دلایل زیست‌محیطی و اقتصادی مدیریت کاربرد توام کودهای شیمیایی و آلی در تأمین فسفر مورد نیاز محصولات کشاورزی رو به گسترش می‌باشد .(Mahajan and Gupta, 2009; Vanlauwe *et al* 2002) کاربرد کودهای آلی به‌دلیل توانایی جبران تمام و یا بخشی از فسفر مورد نیاز گیاه، آزادسازی فسفر و کاهش تثبیت آن در خاک، در مقایسه با کودهای شیمیایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Kpomblekou and Tabatabai, 1997) به‌دلیل وارد شدن فسفردر واکنش‌های مختلف با اجزای خاک فراهمی آن کاهش می‌یابد. کارایی مصرف کودهای فسفری در شرایط بهینه حدود ۲۵ درصد تخمین زده شده است که دلیل این کارایی کم، جذب فسفر توسط اجزای خاک و غیر قابل استفاده شدن آن به وسیله گیاه است (Jiao *et al* 2007) .از جمله راهکارهای مهم برای افزایش فراهمی استفاده از منابع آلی فسفردار می‌باشد. زیرا کودهای آلی قادر به تحرک فسفر تجمع یافته در خاک بوده و شکل‌های نامحلول فسفر (در ترکیب با آهن، آلومینیوم و کلسیم) را به شکل‌های محلول فسفر با تولید اسیدهای آلی و کلات کننده‌ها می‌کنند (Acharya and Reddy, 2000; Laboski and Lamb 2003). مواد آلی باعث افزایش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی می‌شوند. موادآلی و اسیدهای آلی حاصل از تجزیه آن، سطوح کربنات کلسیم را اشغال کرده و از تشکیل رسوب هیدروکسی آپاتیت جلوگیری می‌کنند مواد آلی با کلات کردن اکسیدهای آهن و آلومینیوم روی جذب فسفر تأثیر می‌گذارد و تشکیل اکسیدهای آهن و آلومینیوم در حضور اسیدهای آلی خاص متوقف می‌شوند (حلاج‌نیا و همکاران، ۱۳۸۵). استفاده دراز مدت از مواد آلی باعث می‌شود که فسفر با پیوندهای کم انرژی‌تر نگهداری شود و از این جهت قابلت فراهمی آن افزایش می‌یابد (Borggard *et al* 1990). پژوهشگران در مطالعات خود نشان دادند که با افزایش دوره زمانی خوابانیدن فسفر قابلیت دسترسی به این عنصر از هر دو منبع فسفر آلی و معدنی در خاک کاهش یافت (Akhtar and Alam. 2001). در پژوهشی با عنوان مقایسه تأثیر ماده آلی و کودهای شیمیایی بر خواص شیمیایی خاک، عملکرد و جذب عناصر به وسیله ذرت، نشان داده شد که کود گاوی و لجن فاضلاب از پتانسیل بالاتری در حاصلخیزی خاک و تأمین عناصر غذایی از جمله فسفر برخوردار بوده و کودهای شیمیایی و کمپوست در مرتبه بعد قرار داشتند (افیونی و رضایی نژاد،۱۳۷۸). (Laboski *et al* 2003) در بررسی تغییرات فسفر پس از دریافت کودهای حیوانی و شیمیایی گزارش کردند که در طول مدت ۹ ماه انکوباسیون، فسفر خاک در تیمارهائی که کود حیوانی دریافت کرده بودند تغییرات کمی داشته ولی میزان فسفر قابل استفاده در تیمارهائی که کود مایع حیوانی دریافت کرده بودند، در طی این مدت افزایش نشان داد. (Delgado and Torrent, 2000) شکل‌های فسفر خاک و الگوی جذب آن در خاک‌هائی که کود سنگین فسفره دریافت کرده بودند را مورد بررسی و اعلام کردند که فسفر قابل جذب خاک‌های کود داده شده کشاورزی و غیرکشاورزی از نظر آماری معنی‌دار بود. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که مواد آلی باعث افزایش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی می‌شود (Delgado *et al* 2002).

این پژوهش با هدف بررسی تفاوت کاربرد مواد آلی و کودهای شیمیایی در فراهمی فسفر در خاک در حد مطلوب گیاه در خاک‌های با مقادیر متفاوت فسفر اولیه به مرحله اجرا در آمد.

فرایند پژوهش

آزمایش در شرایط انکوباسیون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه در سه خاک با مقادیر فسفر قابل استفاده خیلی کم (S_1)، کم (S_2) و متوسط (S_3) انجام شد. در هر خاک مقادیر صفر و ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از منابع کود گوسفندی، کمپوست زباله شهری و سوپرفسفات تریپل به‌کار برده شد. در زمان‌های ۱، ۳، ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۰، ۶۰ و ۹۰ روز میزان فسفر قابل استفاده در خاک تعیین گردید.

در شرایط گلخانه که تیمارهای مورد استفاده شامل سه خاک S_1، S_2 وS_3 با مقادیر متفاوت فسفر قابل استفاده با کاربرد صفر و ۵۰ میلی‌گرم فسفر برکیلوگرم خاک از منابع کودهای گوسفندی، کمپوست زباله شهری و سوپرفسفات تریپل بود، از رقم گندم پیشتاز استفاده شد. ابتدا بذور اصلاح و ضدعفونی شده گندم را در رطوبت مناسب برای جوانه زنی قرار داده و پس از رویت جوانه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در داخل یخچال جهت انجام ورنالیزاسیون قرار داده سپس در ۱/۵ کیلوگرم خاک گلدان تیمار شده در عمق ۲ سانتی‌متری کشت شده و در شرایط گلخانه نگهداری شد. گلدان‌ها هر روز بر اساس رطوبت وزنی و رسیدن به نقطه ظرفیت زراعی با آب مقطر آبیاری شده و تا زمان پنجه‌زنی کامل به مدت ۶۰ روز تحت مراقبت و تیمار قرار داده شدند. پس از سپری شدن زمان مذکور، اقدام به نمونه‌برداری از خاک گلدان‌های تحت آزمایش در ناحیه توسعه ریشه و تعیین صفات مورد نظر گردید. هر دو آزمایش به صورت آزمایشات فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح ۱ و ۵ درصد استفاده شد.

قبل از اجرای پروژه اقدام به نمونه‌برداری خاک گردید. pH خاک در واکنش گل اشباع (Thomas, 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (Allison and Moodi, 1962)، کربن آلی به روش سوزاندن – والکلی و بلاک (Nelson and Sommer,1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Kuo, 1996)، فسفر کل به روش هضم با اسیدپرکلریک (Kuo,1996)، بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (Chapman, 1965) تعیین گردید.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های انتخاب شده

Table 1. Some physical and chemical properties determine the selected soils

Soil	pH	Pava.	Ptot.	EC	T.N.V	OC	Sand	Silt	Clay	CEC
		mg kg^{-1}		dS.m^{-1}			٪			cm_c kg^{-}
S_1	7.9	13.2	677	1.22	28.32	0.87	30	52	18	17.30
S_2	7.5	4.4	241	0.80	8.20	0.58	60	32	8	16.22
S_3	7.6	8.4	330	0.70	7.40	0.96	58	34	8	15.97

P_{ava}= Phosphorus available P_{tot}= Phosphorus total EC=Electrical Conductivity T.N.V= Calcium carbonate OC=Organic Carbon CEC=Cation Exchange Capacity

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کودهای آلی مورد آزمایش

Table 2. Some physical and chemical properties of organic fertilizers

Sample	N tot.	OC	Moisture	N- NH3	pH (1:5)	EC(1:5) dS.m-1	Drop 400 ° C	K tot.	P tot	Mn tot.	Zn tot.	Cu tot.	Fe tot.	NO3 tot.	Cd tot.	Pb tot.
	%							mg.kg-1								
Manure fertilizer	1.14	16.85	4.37	0.0107	8.06	16.05	27.98	2.67	.0447	484	111.8	25.7	10407	8320	2.1	28
Compost	1.67	21.82	1.91	0.023	7.13	12.13	34.07	1.00	.0508	468	1370	392	13123	18.36	4.0	200

نتایج و بحث

تغییر در فسفر قابل استفاده خاک: صرف‌نظر از نوع کود مصرفی، کاربرد فسفر سبب افزایش فسفر قابل استفاده خاک در طول دوره انکوباسیون گردید (جدول ۶). در تمام زمان‌ها، کاربرد فسفر از منبع کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل بیشترین میزان فسفر قابل استفاده در خاک را ایجاد نمود. تأثیر مصرف کود گوسفندی در افزایش فسفر قابل استفاده خاک در تمام طول مدت دوره انکوباسیون بیشتر از کمپوست زباله شهری بود. در بررسی اثر فاکتور کود، مقادیر فسفر آزاد شده در تیمارهای کودی، براساس منبع کود مورد استفاده متفاوت بود. کود سوپرفسفات تریپل نسبت به کودهای آلی مقادیر بیشتری فسفر قابل استفاده را در خاک نشان داد، علاوه بر اینکه میزان فسفر آزاد شده از این منبع کودی نیز بالاتر از سایر کودها بود. میزان فسفر قابل استفاده خاک با کاربرد کودهای گوسفندی و کمپوست زباله شهری نسبت به شاهد در ابتدای دوره انکوباسیون به ترتیب ۲۰/۲۰ و ۱۳/۱۵ میلی‌گرم برکیلوگرم بیشتر بود. اما کاربرد همین کودها نسبت به سوپر فسفات تریپل به ترتیب ۷/۸۸ و ۱۴/۹۳ میلی‌گرم برکیلوگرم کمتر بود در پایان دوره این اختلاف میزان فسفر قابل استفاده کمتر و برای کودهای گوسفندی و کمپوست زباله شهری نسبت به شاهد به ترتیب ۱۲/۵۸ و ۱۰/۰۸ میلی‌گرم برکیلوگرم برای شاهد و ۲/۷۱ و ۵/۲۱ میلی‌گرم برکیلوگرم نسبت به کود سوپرفسفات تریپل شد. نتایج نشان داد که با گذشت زمان تا حدود قابل ملاحظه‌ای کودهای آلی توانستند بخش مهمی از فسفر قابل استفاده در خاک را نسبت به کود سوپرفسفات تریپل تأمین نمایند. با کاربرد مواد آلی فسفر با پیوندهای کم‌انرژی‌تر نگهداری شده و قابلیت استفاده آن افزایش پیدا می‌کند، از طرف دیگر فعالیت‌های میکروبی در خاک با کاربرد کودهای گوسفندی و کمپوست زباله شهری بیشتر شد (Whalen and Chang, 2002; Mkhabela and. Warman, 2005) . مواد آلی فراهمی فسفر را در خاک‌های آهکی به سبب تشکیل شکل‌های بلورین فسفات با پایداری کمتری یا جزئی بلورین افزایش می‌یابد (Afif *et al,1993*).

جدول ۳- میانگین غلظت فسفر ناشی از کاربرد منابع مختلف فسفر در طول دوره انکوباسیون

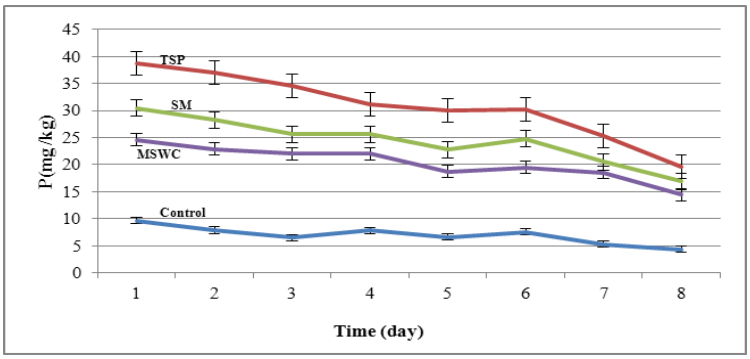
Table 3. Means of te concentations of phosphorus by different sources in the incubation

زمان (روز)								
تیمار	1	3	7	14	28	40	60	90
	(mg kg^{-1})							
شاهد	9.63 ^{d*}	7.86 ^{d}	6.53 ^{d}	7.82 ^{d}	6.60 ^{d}	7.85 ^{d}	5.26 ^{c}	4.33 ^{d}
کود سوپرفسفات تریپل	38.72 ^{a}	37.00 ^{a}	34.61^{a}	31.14 ^{a}	29.97 ^{a}	30.17 ^{a}	25.29 ^{a}	19.62^{a}
کود گوسفندی	30.44 ^{b}	28.52 ^{b}	26.73^{b}	26.51 ^{b}	22.79 ^{b}	24.74 ^{b}	20.51^{b}	16.91 ^{b}
کودکمپوست زباله شهری	24.59 ^{c}	22.87 ^{c}	19.86 ^{c}	22.00 ^{c}	18.81 ^{c}	19.43 ^{c}	18.51 ^{b}	14.41 ^{c}
CV(%)	11.99	14.50	8.07	7.70	6.72	5.56	9.33	5.96

*** حروف غیر یکسان در جدول نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست**

میزان تأثیر کاربرد فسفر از منابع مختلف بر تغییرات فسفر قابل استفاده خاک در طول دوره انکوباسیون در خاک‌های مورد بررسی متفاوت بود. در خاک ۱ در ۹۰ روز پس از شروع آزمایش، مقدار فسفر قابل استفاده با کاربرد سوپرفسفات تریپل ۵۵/۶۳ درصد، گوسفندی ۴۱/۳۲ درصد و کمپوست زباله شهری ۲۷/۵۸ درصد نسبت به ابتدای آزمایش کاهش یافت. در خاک ۱ در زمان‌های مورد بررسی کاربرد سوپرفسفات تریپل بیشترین میزان فسفر قابل استفاده در خاک را ایجاد نمود. اما در روز چهاردهم، فسفر کمتری از کود گوسفندی آزاد کرد. هر سه نوع کود به کاربرده شده در پایان دوره اینکوباسیون از نظر غلظت فسفر قابل استفاده خاک، به مقادی نزدیک هم رسیدند. این نکته بیان‌گر این است که گرچه مقادیر فسفر قابل استفاده در تیمارهای مختلف کودی با خاک ۱ متفاوت بود، اما در نهایت از نظر تأمین فسفر مورد نیاز گیاه، هرسه نوع

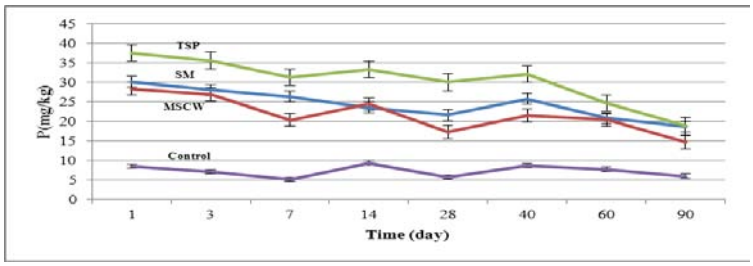
کود به نقطه مشترکی رسیدند (شکل ۱). مقادیر فسفر آزاد شده (تفاوت فسفر اولسن اندازه گیری شده در زمان مورد نظر نسبت به تیمار شاهد) نشان داد که در این خاک کود سوپرفسفات تریپل بیشترین فسفر آزاد شده را به میزان ۳۳/۵۱ میلی‌گرم برکیلوگرم در ابتدای زمان انکوباسیون و ۱۳/۹۲ میلی‌گرم برکیلوگرم در پایان دوره داشت. این مقادیر برای گوسفندی به ترتیب ۲۳/۳۰ و ۱۳/۴۲ میلی‌گرم برکیلوگرم و کمپوست زباله شهری ۱۶/۸۵ و ۱۲/۶۲ میلی‌گرم برکیلوگرم بود (شکل ۱). این مسئله بیانگر این است که منابع کودهای آلی به کاربرده شده می‌توانند همانند کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل در پایان بازه زمانی مورد نظر در آزمایش تا حد قابل ملاحظه‌ای فسفر مورد نیاز گیاه را در خاک تأمین نمایند. با افزودن مقادیر یکسان فسفر از منابع گوناگون کودی به خاک ظرفیت خاک برای تثبیت فسفر کاهش و سرعت آزاد شدن فسفر در خاک افزایش یافت و میزان فسفر قابل جذب در تیمارهای کودی مواد آلی معادل کود شیمیایی شد (Mozaffari and Sims, 1996; Allen and Mallarino, 2006; Laboski and Lamb, 2003).



شکل ۱- تأثیر کاربرد سوپرفسفات تریپل (TSP)، کودگوسفندی (SM) و کمپوست زباله شهری (MSWC)در تغییرات فسفر قابل استفاده در S_1

Figure1. The effect of applying TSP (triple superphosphate), SM (sheep manure) and MSWC (municipal solid waste compost) on the changes of available P in S_1

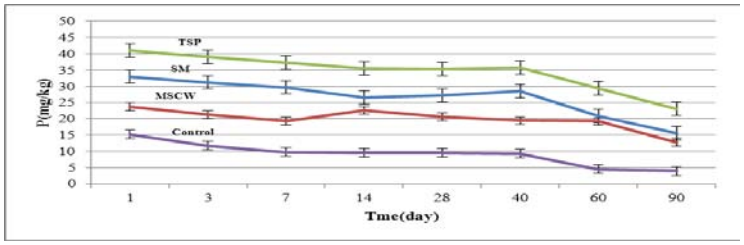
در خاک ۲ در ۹۰ روز پس از شروع آزمایش، مقدار فسفر اندازه‌گیری شده با کاربرد سوپرفسفات تریپل ۴۸/۹۳ درصد، گوسفندی ۳۸/۴۸ درصد و کمپوست زباله شهری ۴۸/۱۷ درصد نسبت به ابتدای آزمایش کاهش یافت. در خاک ۲ در تمام زمان‌های مورد بررسی کاربرد سوپرفسفات‌تریپل بیشترین میزان فسفر قابل استفاده در خاک را ایجاد نمود. درتیمار خاک ۲ با کودهای سوپرفسفات تریپل و کود دامی، گرچه در کل دوره زمانی انکوباسیون، قابلیت استفاده فسفر در کود سوپرفسفات بیشتر بود، اما در انتهای دوره، کود گوسفندی در تیمار با خاک ۲ توانست به اندازه کود سوپرفسفات قابلیت کاربرد این عنصر را افزایش دهد (شکل ۲). مقادیر فسفر آزاد شده نشان داد که در این خاک کود سوپرفسفات تریپل بیشترین فسفر آزاد شده را به میزان ۲۸/۲۴ میلی‌گرم برکیلوگرم در ابتدای زمان انکوباسیون و ۱۲/۸۸ میلی‌گرم برکیلوگرم در پایان دوره داشت. این مقادیر برای گوسفندی به‌ترتیب ۲۱/۶۸ و ۱۲/۷۰ میلی‌گرم برکیلوگرم و کمپوست زباله شهری ۱۹/۷۷ و ۸/۷۷ میلی‌گرم برکیلوگرم بود (شکل ۲). در این خاک کود گوسفندی به کاربرده شده در آزمایش توانست با آزادسازی فسفر در انتهای دوره جایگزین مناسبی برای کود شیمیایی به‌کار برده شده جهت تأمین فسفر مورد نیاز در خاک باشد، در حالی که این ویژگی برای کود کمپوست زباله شهری به همانند کود گوسفندی حاصل نشد.



شکل ۲- تأثیر کاربرد سوپرفسفات تریپل (TSP)، کودگوسفندی ((SMو کمپوست زباله شهری (MSWC)در تغییرات فسفر قابل استفاده در S_2

Figure2. The effect of applying TSP (triple superphosphate), SM (sheep manure) and MSWC (municipal solid waste compost) on the changes of available P in S_2

در خاک ۳ در پایان دوره زمانی مقدار فسفر قابل جذب با کاربرد سوپرفسفات تریپل ۴۳/۷۷ درصد، گوسفندی ۵۲/۶۶ درصد و کمپوست زباله شهری ۴۵/۹۳ درصد نسبت به ابتدای آزمایش کاهش یافت. در خاک ۳ در تمام زمان‌های مورد بررسی کاربرد سوپرفسفات تریپل بیشترین میزان فسفر قابل استفاده در خاک را ایجاد نمود. در این خاک در تیمارهای کودی، قابلیت استفاده فسفر در سوپرفسفات بیشتر از گوسفندی و در گوسفندی بیشتر از کمپوست زباله‌شهری در کل دوره انکوباسیون بود. مقادیر فسفر آزاد شده نشان داد که در این خاک کود سوپرفسفات تریپل بیشترین فسفر آزاد شده را به میزان ۲۵/۵۱ میلی‌گرم برکیلوگرم در ابتدای زمان انکوباسیون و ۱۹/۰۸ میلی‌گرم برکیلوگرم در پایان دوره داشت. این مقادیر برای کود گوسفندی به‌ترتیب ۱۷/۴۵ و ۱۱/۶۳ میلی‌گرم برکیلوگرم و کمپوست زباله شهری ۸/۲۴ و ۸/۸۶ میلی‌گرم برکیلوگرم بود (شکل ۳).



شکل ۳- تأثیر کاربرد سوپرفسفات تریپل (TSP)، کودگوسفندی ((SMو کمپوست زباله شهری (MSWC)در تغییرات فسفر قابل استفاده در S_3

Figure 3. The effect of applying TSP (triple superphosphate), SM (sheep manure) and MSWC (municipal solid waste compost) on the changes of available P in S_3

علت آزادسازی بیشتر فسفر اولسن در خاک ۳ با کاربرد سوپرفسفات تریپل به‌دلیل میزان فسفر قابل جذب بیشتر این خاک (۱۳/۲ میلی‌گرم برکیلوگرم) نسبت به مقادیر فسفر سایر خاک‌ها بوده است. بنابراین با مقدار فسفر افزوده شده به خاک، فسفر قابل استخراج بیشتر شد (Yang) *et al* 2002 و (جلالی و کلاهچی، ۱۳۸۴). از طرف دیگر میزان فسفر قابل جذب کود که در منبع سوپرفسفات تریپل بیشتر از کودهای گوسفندی و کمپوست بود نیز می‌تواند در این موضوع دخالت داشته باشد(McDowell and Sharpley, 2001) . تغییرات مقادیر فسفر اولسن در طی مدت ۹۰ روز انکوباسیون با نوساناتی همراه بود، اما در نهایت منجر به کاهش آن‌ها شد (Agbenin and Tissen, 1994).

جذب فسفر توسط گیاه: خاک ۱ در تیمار با کود گوسفندی میزان وزن‌تر بیشتری را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. به‌طوری که این میزان نسبت به تیمار با کود کمپوست زباله شهری، ۳۷/۷ درصد، سوپرفسفات تریپل، ۱۱/۴ درصد و نسبت به شاهد، ۵۶/۱ درصد افزایش نشان داد. وزن خشک گیاه با روندی مشابه به‌ترتیب با افزایش ۱۳/۰، ۱۶/۹ و ۳۱/۲ درصد افزایش نشان داد. با عرضه فسفر از منابع کودهای شیمیایی و آلی به‌دلیل جذب این عنصر توسط گیاه میزان بیوماس افزایش می‌یابد. افزایش عملکرد ماده

خشک گیاهی، غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه، توسط محققان گزارش شده است (بیابانکی و حسین پور ۱۳۸۶) و (شهبازی و داودی، ۱۳۹۱). میزان فسفر باقی‌مانده خاک پس از برداشت گیاه در خاک ۱ در تیمار با کود سوپرفسفات تریپل بیشتر از سایر تیمارها شد، به‌طوری که این میزان نسبت به تیمار با کود گوسفندی، ۲۸/۴ درصد، کود کمپوست زباله شهری، ۷۰/۱ درصد و شاهد ۷۶/۱ درصد افزایش نشان داد که به‌دلیل غلظت بالاتر فسفر قابل جذب در کود سوپرفسفات تریپل بود.

درخاک ۱ با تیمار کود گوسفندی غلظت فسفر کل گیاه، مقادیر بیشتری را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. این میزان نسبت به تیمار با کود کمپوست زباله شهری، ۴۳/۵ درصد، سوپرفسفات تریپل، ۱۲/۹ درصد و نسبت به شاهد، ۴۹/۴ درصد افزایش نشان داد. در خصوص غلظت جذب فسفر توسط گیاه نیز روندی مشابه به ترتیب با افزایش ۴۹/۵، ۲۴/۳ و ۳۳/۵ درصد مشاهده گردید. غلظت فسفر گیاه در خاک ۱ درتیمار با کود گوسفندی و سوپرفسفات تریپل تفاوت معنی‌داری با هم نشان ندادند، گرچه نسبت به سایر تیمارها معنی‌دار بودند. این مسئله بیان کننده این موضوع است که در عرضه فسفر در خاک و جذب آن توسط گیاه، در خاک ۱ فاکتورهای کود گوسفندی و سوپرفسفات تریپل مشابه هم عمل کردند. این خاک دارای عرضه فسفر بالایی بوده که شاید دلیل آن میزان آهک کم، و pH پایین آن باشد. البته دلیل احتمالی افزایش فعالیت‌های زیستی و در نتیجه آزادسازی فسفر در طول معدنی‌شدن مواد آلی نیز می‌تواند مطرح باشد (میرزا شاهی و کیانی، ۱۳۸۷) (Mkhabela and Warman, 2005; Barrow, 1992; Khan and Schnitzer, 1972)

حلاج‌نیا و همکاران (۱۳۸۵) گزارش کردند که استفاده از کود گوسفندی به همراه فسفرمعدنی مقدار بازیافت فسفر را افزایش می‌دهد. فسفر کود گوسفندی در مقایسه با فسفر معدنی در طول زمان ممکن است برای گیاه بیشتر قابل استفاده باشد. همچنین کونگ و مرک (۲۰۰۵) در خاکی با فسفر قابل استفاده ۶/۶ میلی‌گرم برکیلوگرم نشان دادند که مصرف کودهای آلی می‌تواند قابلیت استفاده فسفر را در خاک‌های اسیدی از طریق افزایش pH خاک، افزایش بار منفی، کاهش بار مثبت در سطوح جذبی خاک و کاهش غلظت آلومینیوم در محلول خاک، افزایش دهد. خاک ۲ در تیمار با کود گوسفندی میزان وزن‌تر برابر با تیمار سوپرفسفات تریپل و بیشتر از تیمار با کود کمپوست زباله شهری نشان داد. این میزان نسبت به تیمار با کود کمپوست زباله شهری، ۲۴/۰ درصد و نسبت به شاهد، ۳۶/۰ درصد افزایش نشان داد. در خصوص وزن خشک گیاه نیز روندی مشابه به ترتیب با افزایش ۱۲/۲ درصد و ۱۷/۱ درصد مشاهده گردید. بدیهی است با عرضه فسفر توسط منابع کودهای شیمیایی و آلی نسبت به شرایط عدم عرضه این عنصر غذایی، به دلیل تأثیر فسفر بر رشد گیاه، میزان عملکرد وزن خشک و تر افزایش می‌یابد. میزان فسفر باقی‌مانده خاک پس از برداشت گیاه در خاک ۲ در تیمار با کود سوپرفسفات تریپل بیشتر از سایر تیمارها شد، به‌طوری که این میزان نسبت به تیمار با کود گوسفندی، ۱۶/۹ درصد، کود کمپوست زباله شهری، ۵۸/۵ درصد و شاهد ۷/ ۷۴ درصد افزایش نشان داد. مقایسه میانگین داده‌ها مقادیر بالاتر فسفر قابل جذب خاک (اولسن) را در خاک ۲ نسبت به ۱ در تیمار با کود سوپرفسفات تریپل نشان داد که به دلیل میزان فسفر قابل جذب اولیه بالاتر و نوع کود به کار برده شده در این خاک بود. در خاک ۲ با تیمار کود سوپرفسفات تریپل، غلظت فسفر کل گیاه، مقادیر بیشتری را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. به‌طوری که این میزان نسبت به تیمار با کود گوسفندی، ۲۸/۷ درصد، کود کمپوست زباله شهری، ۱۵/۷ درصد و نسبت به شاهد، ۲۱/۲ درصد افزایش نشان داد. در

خصوص غلظت جذب فسفر توسط گیاه نیز روندی مشابه به ترتیب با افزایش ۱۷/۸ درصد، ۵۲/۷ درصد و ۶۵/۶ درصد مشاهده گردید. به دلیل سهولت آزادسازی فسفر قابل جذب در کود سوپرفسفات تریپل، نسبت به سایر کودهای آلی به کاربرده شده، غلظت فسفر گیاه افزایش یافت. آزاد سازی فسفر با کاربرد کودهای آلی و شیمیایی شامل کود گوسفندی و سوپرفسفات تریپل و تلفیق آن‌ها در حدی که میزان فسفر قابل جذب را بری گیاه در یک فاصله زمانی مشخص تأمین نماید به‌وسیله محمد زاده و میوه چی (۱۳۷۷) گزارش شد. (Smith, 1996) شکل‌های فسفر را در خاک‌های زیر کشت تعیین و مشاهده کردند که با افزودن مقادیر زیاد کود فسفره مقدار فسفر معدنی قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم افزایش و در مقادیر کم کود فسفره کاهش یافت، همچنین (Guo, 2000)اثر کشت را بر شکل‌های فسفر معدنی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فسفر معدنی قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم بر اثر جذب فسفر توسط گیاه به مقدار زیادی کاهش یافت. خاک ۳ در تیمار با کود سوپرفسفات تریپل، وزن‌تر بیشتری را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. به‌طوری که این میزان نسبت به تیمار با کود گوسفندی، ۲۶/۶ درصد، کمپوست زباله شهری، ۳۱/۵ درصد و نسبت به شاهد، ۴۵/۵ درصد افزایش نشان داد. در خصوص وزن خشک گیاه خاک ۳ در تیمار با کود گوسفندی وزن خشک بیشتری را نسبت به سایر تیمارها نشان داد و نسبت به تیمار با کود کمپوست زباله شهری، ۲۶/۲۰ درصد، سوپرفسفات تریپل، ۲۰/۱ درصد و نسبت به شاهد، ۲۲/۶ درصد افزایش نشان داد. میزان فسفر باقی‌مانده خاک پس از برداشت گیاه در خاک ۳ در تیمار با کود سوپرفسفات تریپل بیشتر از سایر تیمارها شد، به‌طوری که این میزان نسبت به تیمار با کود گوسفندی، ۳۳/۳ درصد، کود کمپوست زباله شهری، ۶۱/۷ درصد و شاهد ۴/ ۷۲ درصد افزایش نشان داد. دلیل مقادیر بالاتر فسفر قابل جذب خاک (اولسن) را در خاک ۳ نسبت به ۱ و ۲ در تیمار با کود سوپرفسفات تریپل و نیز سایر منابع کودی، میزان فسفر اولسن اولیه بالاتر این خاک و نوع کود به کاربرده شده بود. درخاک ۳ با تیمار کود سوپرفسفات تریپل، غلظت فسفر کل گیاه، مقادیر بیشتری را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. این میزان نسبت به تیمار با کود گوسفندی، ۳۴/۳ درصد، کود کمپوست زباله شهری، ۹/ ۲۰ درصد و نسبت به شاهد، ۶۵/۷ درصد افزایش داشت. در خصوص غلظت جذب فسفر توسط گیاه نیز روندی مشابه به‌ترتیب با افزایش ۲۸/۸ درصد، ۳۵/۲ درصد و ۷۷/۷ درصد مشاهده گردید. (Leytem and Westermann,2005) در بررسی قابلیت دسترسی فسفر برای گیاه جو در خاک‌هائی که کود حیوانی و شیمیایی دریافت کرده بودند، عملکرد، غلظت فسفر در گیاه و فسفر محلول و عصاره‌گیری شده خاک توسط بی‌کربنات سدیم را افزایش دادند.

جدول ۴- میانگین بر هم‌کنش خاک و کود برصفات مورد آزمایش

Table 4. Average measured characteristics of soil application of fertilizer sources (mg kg^{-1})

نوع خاک	تیمار کودی	وزن‌تر g pot^{-1}	وزن خشک g pot^{-1}	فسفر خاک پس از برداشت mg kg^{-1}	فسفر کل گیاه٪	جذب فسفر توسط گیاه g pot^{-1}
	SM	9.633 a*	2.567 abc	15.12 c*	0.2833 bc	0.7133 d
	MSWC	6.000 de	2.233 abcd	6.22 g	0.1600 def	0.3600 gh
S_1	TSP	8.533 ab	2.133 cd	21.12 bc	0.2467 c	0.5400 ef
	COTROL	4.233 f	1.767 d	5.04 g	0.1433 ef	0.2433 hi
	SM	9.733 a	2.733 ab	9.97 f	0.2033 cde	0.4700 fg
S_2	MSWC	7.400 bc	2.400 abc	24.02 ab	0.3600 a	0.9933 a
	TSP	9.733 a	2.767 a	6.08 g	0.1433 ef	0.3333 hi
	COTROL	6.233 cde	2.267 abcd	17.29 de	0.2300 cd	0.6600 de
	SM	9.267 a	2.800 a	9.93 f	0.2767 bc	0.6000 def
S_3	MSWC	6.533cd	2.067 cd	25.91a	0.3500 ab	0.9267 ab
	TSP	9.533 a	2.233 abcd	7.15 fg	0.1200 f	0.2067 i
	COTROL	5.200 ef	2.167 bcd	15.12 c*	0.2833 bc	0.7133 d

*** حروف غیر یکسان در جدول نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست .سوپرفسفات تریپل (TSP)، کودگوسفندی ((SMکمپوست زباله شهری (MSWC)**

نتیجه‌گیری کلی

صرف نظر از نوع کود مصرفی، کاربرد فسفر سبب افزایش فسفر قابل استفاده خاک در طول دوره انکوباسیون گردید. در اوایل دوره زمانی انکوباسیون، اختلاف میزان فسفر قابل استفاده در کودهای آلی به کاربرده شده نسبت به کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل بیشتر بود، همچنین این مقادیر برای کود گوسفندی بیشتر از کود کمپوست زباله شهری بود. اما با گذشت زمان این اختلاف غلظت فسفر در کودهای آلی کمتر از کود شیمیایی گردید. این روند تغییرات در خاک‌های مورد مطالعه باهم اختلاف داشتند زیرا رفتار فسفر در آنها متفاوت بود، به گونه‌ای که در خاک ۱ این اختلاف برای کودهای گوسفندی و کمپوست زباله شهری در مقایسه با سوپرفسفات تریپل، حداقل بود و در خاک‌های ۲ و ۳ برای کود گوسفندی بیشتر از کمپوست زباله شهری شد. این مسئله نشانگر این نکته است که در طی دوره زمانی درتامین فسفر مورد نیاز، کودهای های آلی می‌توانند تا حدود زیادی همانند کودهای شیمیایی عمل کنند و بدین ترتیب درتامین فسفر مورد نیاز گیاه نقش داشته باشند.

در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه در شرایط گلخانه، مقادیر فسفر پس از برداشت در خاک‌های ۲ و ۳ تقریباً یکسان، ولی بالاتر از خاک ۱ بود. مقادیر فسفر کل گیاه در خاک‌های ۲ و ۳ بالاتر از خاک ۱ و مقدار فسفر جذب شده توسط گیاه، در خاک ۲ بیشتر از خاک‌های ۳ و ۱ بود. کود کمپوست زباله شهری بیشترین میزان فسفر خاک پس از برداشت را شامل شد. همچنین این کود مقادیر فسفر کل گیاه و میزان جذب فسفر را در شرایط گلخانه در مقادیر بالاتری از سایر تیمارهای کودی نشان داد. خاک‌های ۲ و ۳ نیز در تیمار با سوپر فسفات تریپل، مقادیر فسفر خاک پس از برداشت، فسفر کل گیاه و میزان جذب فسفر بالاتری را از خود نشان دادند.

منابع

افیونی، م. و رضایی نژاد، ی. ۱۳۷۸. اثر مواد آلی بر خواص شیمیایی خاک، عملکرد و جذب عناصر به وسیله ذرت. ششمین کنگره علوم خاک ایران. ۹-۶ شهریور. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد).

بیابانکی، ف. و حسین پور، ع. ۱۳۸۶ سینتیک آزاد شدن فسفر و همبستگی ضرایب مدل‌های سینتیکی با برخی ویژگی‌های خاک و شاخص‌های گیاهی در تعدادی از خاک‌های همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی. سال یازدهم. شماره ۴۲(ب). صفحه ۴۹۱- ۵۰۳.

جلالی، م و کلاهچی، ز. ۱۳۸۴. فراهمی فسفر خاک در اثر افزودن مقادیر مختلف کودهای فسفری در خاک‌های استان همدان. مجله علوم خاک و آب. جلد ۱۹. شماره ۱. صفحات ۵۹-۶۶.

حلاج نیا، الف، حق نیا، غ، فتوت، الف و خراسانی، ر. ۱۳۸۵ . تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاکهای آهکی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال ۱۰، شماره ۴، ص ۱۳۲-۱۲۱.

شهبازی، ک. و داودی، م.ح. ۱۳۹۱. ارزیابی نیاز فسفر گندم در خاکهای آهکی با استفاده از همدما های جذب فسفر. مجله پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب(الف، جلد ۲۶ شماره ۱. صفحه ۱۷-۱.

محمد زاده، ع و میوه چی لنگرودی، ح. ۱۳۷۷. روش مصرف توام کود حیوانی و فسفره در خاک برای کاهش مصرف کودهای فسفره در خاک‌های استان بوشهر. مجله علوم خاک و آب ویژه نامه مصرف بهینه کود. جلد ۱۲ شماره ۱.

میرزاشاهی، ک. و کیانی، ش. ۱۳۸۷. تأثیر کمپوست کود گوسفندی بر میزان مصرف کودهای شیمیایی در زراعت ذرت دانه‌ای .مجله پژوهش در علوم کشاورزی، جلد4 ، شماره ۲ .صفحات ۱۸۶-۱۷۴.

Acharya, C. l. and D. D. Reddy. 2000. Crop residue addition effects on myriad forms and sorption of phosphorus in vertisol. Bioresour. Technol. 80:93-99.

Afif, E., A. Matar and J. Torrent. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:756-760.

Agbenin, J. O. and H. Tissen. 1994. The effects of soil properties on the differential

Jiao, Y., Whalen, J.K., and Hendershot, W.H. 2007. Phosphate sorption and release in a sandy-loam soil as influenced by fertilizer sources. Soil Sci. Soc. Am. J. 71: 118-124.

Khan, S. V. and M. Schnitzer. 1972. Permanganate oxidation of humic acids, folvic acids, and humins, Exteracted Ah horizons of black chernozem ablack solod and ablack solonetz soil. Can. J. Soil Sci. 52(1): 43-57.

Kuo, S. 1996. Phosphorus. p.869-919. InD. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. 3nd ed. American Society ofAgronomy, Madison, WI.

Kpomblekou-A, K. and M. A. Tabatabai. 1997. Effect of cropping system on quantity-intensity relationships of soil phosphorus. Soil Sci. 162: 56- 68.

Kuo S. 1996. Phosphorus. In: Sparks D.L. (Ed.), Methods of soil analysis-Part 3. Chemical Methods No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, pp. 869-919.

Laboski, C. A. M. and Lamb, J. A. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. Soil Sci. Soc. Amer. J. 67, 544-554.

Leytem, A. B., D. T. Westermann. 2005. Phosphorus availability to barley from manures and fertilizers on a calcareous Soil.. Soil sci. 170: 401-408.

Mahajan, A. and Gupta, R. D. 2009. Integrated nutrient management (INM) in *a* sustainable rice-wheat cropping system. Springer, Distribution rights in India: Atlantic Pub. & Distr. (P) Ltd., New Delhi, India.

McDowell, R.W. and A.M. Sharpley. 2001. Soil phosphorus fractions in solution: influence of fertilizer and manure, filtration and method of determination. National Center for Biotechnology. 45(6-7):737-48.

Mkhabela, M. S. and P. R. Warman. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystems & Environment. 106: 57-67.

Mozaffari, M., and J.T. Sims. 1996. Phosphorus transformations in poultry litter-amended soils of the Atlantic coastal plain. J. Environ. Qual. 25:1357–1365.

phosphate sorption by semiarid soils from northeast Brazil. Soil Sci. 157:36-45.

Akhtar,M. and S. m. Alam. 2001. Effect of incubation period of phosphate sorption from two P sources. Bio Sci. 3:124-125.

Allen, B. L. and Mallarino, A. P. 2006. Relationships between extractable soil phosphorus and phosphorus saturation after long-term fertilizer or manure application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 454- 463.

Allison L.E., and Moodi C. D. 1962. Carbonates. In: Black C.A. *et al.*, (Ed.), Methods of Soil Analysis- part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 1379-1396.

Barrow, N. J. 1992. The effect of time on the competition between anions for sorption. Journal of Soil Science, 43: 421–428. Do: 10.1111/j. 1365-2389.1992. tb00148. x

Borggard, O. K., S. S. Jorgensen, J. P. Meberg and B. Raben-Lange. 1990. Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminum and iron oxides in sandy soils. J. Soil Sci. 41:443-449.

Bouyoucos C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agronomy Journal, 45, 464-465.

Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black C.A. *et al.*, (Ed.), Methods of Soil Analysis- part 2. ASA, Madison,WI. pp. 891-902.

Delgado, A. and Torrent. 2000. Phosphorus forms and adsorption patterns in heavily fertilized calcareous and limed acid soils. Soil Sci Soc. Am. J. 64:2031-2037.

Delgado, A., A. Madrid, S. Kassem, L. Andreu and M. C. Campillo. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from alcareous soils amended with humic and fulvic acids. Plant and Soil 245:277-286.

Garrie, A.M.Laboski, J.A. Lamb. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol 67. Iss. 2, pg. 544, 11pgs.

Cong, P. T., and Merckx, R. 2005. Improving phosphorus availability in two upland soils of Vietnam using *Tithonia diversifolia* H. *Plant and Soil*, 269: 11-23.

Guo, F., R. S. Yost, N. Hue., C. I. Evensen, and J. A. Silva. 2000. changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1681-1689.

Nelson D.W. and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks DL. (Ed.), Methods of Soil Analysis- Part 3. Chemical Methods. pp. 961-1010.

Smith A, N. 1996. The supply of soluble phosphorus to wheat plant from inorganic soil phosphorus. Plant Soil. 22: 314-316.

Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. In" Methods of soil analysis. Part3. Chemical methods" (Ed. Dl. Sparks). pages 475-490. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.

Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N. and Merckx, R. 2002. Integrated plant nutrient management in sub-saharan Africa, from concept to practice. CAB International, Oxford, UK.

Whalen, J.K. and C. Chang. 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soil receiving cattle manure application for 25 years. Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 23:1011-1026.

Yang, J. E., C. A. Gones, H. J. Kim, and J. S. Jacobsen. 2002. Soil inorganic phosphorus fraction and Olsen-P in phosphorus responsive calcareous soils: Effects of fertilizer amount and incubation time. Common. Soil Sci. Plant Anal. 35:855-871.