تأثیر مصرف سوپرفسفات تریپل و کشت گندم بر شکل‌های معدنی فسفر در خاک‌های آهکی دشت قزوین

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۱۶)

چکیده

آگاهی از شکل‌های معدنی فسفر در خاک از نظر حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه مهم است. این پژوهش به‌منظور تعیین اشکال معدنی فسفر با مصرف سوپرفسفات تریپل و کشت گندم در شرایط خاک‌های آهکی در دو مرحله انکوباسیون و گلخانه به مرحله اجرا درآمد. آزمایش انکوباسیون روی سه خاک دیزان، قزوین ۱ و قزوین ۲ با مقادیر متفاوت فسفر قابل جذب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام پذیرفت. در هر خاک ۵۰ میلی‌گرم فسفر برکیلوگرم خاک از منبع سوپرفسفات تریپل به‌کار برده شد. در زمان‌های صفر، ۴۵ و۹۰ روز، شکل‌های معدنی فسفر خاک شامل: Ca_2P، Ca_8P، OP، FeP و $Ca_{10}P$ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تثبیت شکل‌های فسفر تحت تأثیر نوع خاک مورد مطالعه بود. در خاک دیزان، غلظت Ca_2P به‌ترتیب ۶۷/۵ و ۷۳/۸ درصد، Ca_8P ۷۴/۵ و ۵۹/۷ درصد، AlP ۳۱/۹ و ۵۰/۳ درصد، FeP ۴۷/۹ و ۶۳/۷ درصد، OP ۵۰/۷ و ۶۰ درصد و $Ca_{10}P$ ۶۲/۸ و ۶۹ درصد بیشتر از خاک‌های قزوین ۱ و قزوین ۲ بود. کاربرد فسفر تأثیر زیادی در افزایش غلظت شکل‌های Ca_2P و Ca_8P در هر سه خاک، و با شدت بیشتر در دیزان داشت. بیشترین غلظت اندازه‌گیری شده شکل‌های Ca_2P، Ca_8P، AlP، FeP و OP در زمان T_{45} و $Ca_{10}P$ در زمان T_{90} حاصل شد. آزمایش گلخانه بر روی سه خاک مذکور و با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم فسفر برکیلوگرم خاک از منبع سوپرفسفات تریپل با کشت گندم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. غلظت شکل‌های فسفر در شرایط گلخانه در خاک دیزان نسبت به سایر خاک‌ها بالاتر بود. در شرایط انکوباسیون، کاربرد ۵۰ میلی گرم برکیلوگرم فسفر، اشکال فسفر نسبت به شرایط کشت گندم با کاهش ۳۰/۶۳، ۱۲/۱، ۷/۱۷، ۳/۳۳ میلی‌گرم برکیلوگرم برای Ca_2P، Ca_8P، AlP و FeP همراه بود. مقادیر تثبیت Ca_2P با کشت گیاه کاهش محسوسی داشت.

واژه‌های کلیدی: آهک، انکوباسیون، سری خاک، شکل معدنی فسفر، گندم

۱-دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲- گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران (مکاتبه کننده)
۳ - بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران
۴- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
* پست الکترونیک:e.panahpour@iauahvaz.ac

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

تعیین توزیع فراوانی اجزای مختلف فسفر در خاک‌های آهکی، به ارزیابی هر چه بهتر وضعیت فسفر خاک کمک می کند. نظر به این که فراهمی فسفر برای گیاه به جایگزینی فسفر قابل دسترس توسط اجزای مختلف فسفر وابسته است، عصاره‌گیری جزء به جزء یک ابزار مناسب در ارزیابی وضعیت فسفر خاک و پتانسیل خاک در فراهمی فسفر برای گیاه می‌باشد. قابلیت جذب فسفر برای گیاهان، به مقدار شکل‌های مختلف فسفر بستگی دارد و تعیین شکل‌های مختلف فسفر، آن دسته از اجزایی را که در آزاد شدن فسفر طی مدت عصاره‌گیری فسفر قابل جذب نقش دارند، مشخص می‌کند. بنابراین مطالعات جداسازی اجزای مختلف فسفر برای به‌دست آوردن اطلاعاتی درباره پتانسیل فسفر قابل جذب و تحرک فسفر خاک مفید است. علی‌رغم فراوانی فسفر در خاک‌های آهکی، مقدار قابل جذب این عنصر در بسیاری از موارد کمتر از مقدار لازم برای تأمین رشد مناسب گیاه است. شکل عمده فسفر در خاک‌های آهکی فسفات‌های کلسیم (هیدروکسی آپاتیت و فلوئوروآپاتیت) می‌باشد. ملکوتی و کشاورز (Malakooti & Keshavarz, 2005) گزارش کردند که قابلیت جذب فسفر در خاک تحت تأثیر عوامل متعددی بوده که از جمله این عوامل می‌توان به واکنش قلیایی خاک، مقدار زیاد کربنات کلسیم (آهک)، مقدار اندک مواد آلی، وفور کاتیون‌های بازی و اثر متقابل سایر عناصر اشاره کرد.

محمودسلطانی و صمدی (Mahmoudsoltani & Samadi, 2003) در بررسی شکل‌های مختلف فسفر معدنی برخی خاک‌های آهکی استان فارس، گزارش دادند که در خاک‌های مورد مطالعه، فسفر معدنی ۷۳ درصد و فسفر آلی ۲۷ درصد از فسفر کل را شامل می‌شد. میزان فسفر کل در خاک‌های بافت سبک با میانگین ۴۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم کمتر از خاک‌های بافت سنگین با میانگین ۶۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. سماواتی و حسین‌پور (Samavati & Hosseinpoor, 2009) در بررسی اجزای مختلف فسفر معدنی در برخی از خاک‌های استان همدان مشخص کردند که دامنه اجزای مختلف فسفر دارای تغییرات نسبتاً زیادی بود. تغییرات فسفر کل خاک‌ها در دامنه ۲۶۸۶- ۹۲۶ با میانگین ۱۵۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. دامنه تغییرات فسفات‌های کلسیم ۱۸۷۲- ۱۰۴ با میانگین ۸۰۱ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک بود که ۷۸/۵ درصد فسفر معدنی و ۵۲/۳ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد که شکل غالب فسفر خاک است. دامنه تغییرات فسفات پیوند شده با آهن ۱۸۵ - ۱ با میانگین ۵۹ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک که ۵/۸ درصد از فسفر معدنی و ۳/۸ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. دامنه تغییرات فسفات پیوند شده با آلومینیوم ۵۲۳ - ۵ با میانگین ۱۲۸ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک که ۱۲/۵ درصد از فسفر معدنی و ۸/۳ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. فسفر محبوس شده درون اکسیدهای آهن ۳۷۱ - ۰ با میانگین ۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک که ۳/۲ درصد از فسفر معدنی و ۲/۲ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. تجدا و همکاران (Tejada *et al*., 2006) اعلام کردند که توزیع فسفر در خاک به‌صورت شکل‌های مختلف ژئوشیمیایی شامل محلول و تبادلی خاک، ترکیبات آلی پیوندیافته با کلسیم و آهن و آلومینیوم صورت می‌گیرد. این اجزاء فسفر به طور قابل ملاحظه‌ای در میزان تحرک، قابلیت دسترسی زیستی و رفتارهای شیمیایی در خاک، تفاوت داشته و تحت شرایط خاص تغییر شکل می‌دهند. این اطلاعات به‌طور بالقوه برای پیش بینی تغییر شکل فسفر بین شکل‌های شیمیایی در خاک های کشاورزی با ارزش هستند.

سماواتی و حسین‌پور (Samavati & Hosseinpoor, 2009) در بررسی اجزای مختلف فسفر معدنی در برخی از خاک‌های استان همدان، مشخص کردند که فسفات‌های کلسیم که شکل غالب فسفر خاک هستند، ۷۸/۵ درصد فسفر معدنی و ۵۲/۳ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهند فسفات پیوند شده با آهن ۵/۸ درصد از فسفر معدنی و ۳/۸ درصد از فسفر کل، فسفات پیوند شده با آلومینیوم ۱۲/۵ درصد از فسفر معدنی و ۸/۳ درصد از فسفر کل، فسفر محبوس شده درون اکسیدهای آهن نیز ۳/۲ درص۵۰د از فسفر معدنی و ۲/۲ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهند.

مستشاری (Mostashari, 2009) در بررسی ارزیابی شاخص‌های موثر بر راندمان جذب فسفر از خاک‌های آهکی در الگوهای کاشت، ترتیب فراوانی فسفر را به

Archive of SID

www.SID.ir

صورت آپاتیت > اکتا کلسیم فسفات > فسفات آلومینیوم > فسفات آهن > فسفر محبوس شده > دی‌کلسیم فسفات گزارش کرد.

مستشاری و همکاران (Mostashari *et al.*, 2008) در آزمایشی تحت عنوان تأثیر تناوب زراعی و نوع خاک بر روی شکل‌های معدنی فسفر در شرایط با و بدون مصرف کود فسفره در کشت ذرت- گندم، نشان دادند که در شرایط بدون مصرف کود فسفره و بدون کشت گیاه، ابتدا کاهش و سپس افزایش فسفر اولسن مشاهده گردید. ولی در شرایط کشت گیاه، ابتدا افزایش و سپس کاهش فسفر اولسن وجود داشت. در شرایط مصرف کود فسفره، با گذشت زمان میزان فسفر اولسن خاک کاهش یافت. به طوری که این کاهش در نتیجه تثبیت فسفر در شرایط مصرف دو مرحله‌ای کود فسفره بیشتر به دست آمد. ضمناً سرعت تثبیت در شرایط کشت گیاه کندتر از شرایط بدون کشت بود.

صمدی و جیلکز (Samadi & Gilkes, 1999) به منظور بررسی شکل‌های فسفر در خاک‌های آهکی و دارای pH بالاتر از ۸ غرب استرالیا، روش جیانگ و گو (Jiang & Gu, 1989) را مورد استفاده قرار داده و دریافتند که فراوانی شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های غیرزراعی که کود دریافت نکرده‌اند، به‌صورت اکتا کلسیم فسفات< آپاتیت دی‌کلسیم فسفات < فسفاتهای آهن < فسفاتهای محبوس < فسفاتهای آلومینیوم، بود. اما در خاک‌های کود داده شده، این فراوانی به‌صورت فسفات - های محبوس< فسفات‌های آهن< آپاتیت < دی‌کلسیم فسفات < اکتاکلسیم فسفات< فسفات‌های آلومینیوم، تغییر کرد. لی‌لین‌فین و همکاران (Lilienfein *et al.*, 2000) و سینک و همکاران (Singh *et al.*, 2000) تأثیر معنی‌دار کشت گیاه بر شکل‌های معدنی فسفر را تأیید کرده اند. گو و همکاران (Guo *et al.*, 2000) به‌این نتیجه رسیدند که فسفر قابل استخراج با سدیم بیکربنات و سدیم هیدروکساید، بر اثر جذب فسفر توسط گیاه به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. آن‌ها همچنین در بررسی تغییرات شکل‌های فسفر در خاک‌های تحت کشت گیاه، نشان دادند در خاک‌هایی که مقادیر زیادی کود فسفری دریافت داشته‌اند، دی و اکتاکلسیم فسفات بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های جذب گیاهی داشته و می‌توانند در دراز مدت مورد استفاده قرار گیرند.

هارل و وانگ (Harrell & Wang, 2006) در تعدادی از خاک‌های آهکی نشان دادند که فسفات کلسیم و فسفر پیوند شده با آلومینیوم، همبستگی‌های معنی‌داری با شاخص‌های گیاهی داشته، ولی فسفر پیوند شده با آهن هیچگونه همبستگی را نشان نداد. سماواتی و حسین‌پور (Samavati & Hosseinpoor, 2009) در بررسی اجزای مختلف فسفر معدنی و قابلیت فراهمی آن در تعدادی از خاک‌های استان همدان، نشان دادند که شکل‌های کلسیمی فسفات (دی و اکتاکلسیم فسفات) بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های گیاهی و جذب فسفر داشتند.

گرچه پژوهش‌های فراوانی در خصوص شکل‌های معدنی فسفر انجام شده است، اما با توجه به‌اینکه فسفر به شکل‌های مختلفی در خاک وجود دارد (که می‌تواند برحاصلخیزی خاک و فسفر قابل جذب تأثیر داشته باشد) و از طرف دیگر در مورد وضعیت اجزای مختلف فسفر در خاک های دشت قزوین اطلاعات چندانی در دست نیست، این مطالعه با هدف تعیین شکل‌های مختلف فسفر در برخی از خاک‌های استان قزوین و چگونگی تأثیر کشت گیاه بر فراوانی این اشکال در شرایط انکوباسیون و گلخانه به مرحله اجرا در آمد.

مواد و روش ها

آزمایش در شرایط انکوباسیون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه در سه سری خاک دیزان، قزوین ۱ و قزوین ۲ با مقادیر متفاوت فسفر قابل استفاده انجام شد. در هر خاک مقادیر صفر و ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از منبع کود سوپرفسفات تریپل به‌کار برده شد. در زمان‌های صفر، ۴۵ و ۹۰ روز انکوباسیون، شکل‌های معدنی فسفر خاک اندازه‌گیری گردید. شکل‌های مورد بررسی در این آزمایش شامل Ca_2P (کلسیم دی‌فسفات)، Ca_8P (کلسیم اکتافسفات)، AlP (آلومینیوم فسفات)، OP (فسفر محبوس)، FeP (آهن فسفات) و $Ca_{10}P$ (آپاتیت) بود. در آزمایشات گلخانه، تیمارهای مورد استفاده شامل سه خاک دیزان، قزوین ۱ و قزوین ۲ با مقادیر متفاوت فسفر قابل استفاده با کاربرد صفر و ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از منبع کود سوپرفسفات تریپل و از رقم گندم پیشتاز استفاده شد. ابتدا بذور اصلاح و ضدعفونی شده گندم در رطوبت مناسب برای جوانه زنی

Archive of SID

www.SID.ir

قرار داده شدند و پس از رویت جوانه‌ها، به‌مدت ۷۲ ساعت در داخل یخچال جهت انجام ورنالیزاسیون قرار گرفتند. سپس جوانه‌ها در یک گلدان محتوی ۱/۵ کیلوگرم خاک تیمار شده در عمق سطحی کشت شده و در شرایط گلخانه نگهداری شدند. 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 گرفتند. پس از سپری شدن زمان مذکور، اقدام به نمونه‌برداری از خاک گلدان‌های تحت آزمایش در ناحیه توسعه ریشه و تعیین شکل‌های معدنی فسفر خاک 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 به‌نمونه‌برداری خاک گردید که نتایج آن‌ها به شرح جدول ۱ می‌باشد. pH خاک در گل اشباع (توماس Thomas, 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک به روش آلیسون و مودی (Allison & Moodie, 1965)، کربن آلی به روش سوزاندن والکلی و بلاک (نلسون و سامرز Nelson & Sommer, 1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (کائو Kuo, 1996)، فسفر کل به روش هضم با اسیدپرکلریک (کائو Kuo, 1996)، بافت خاک به روش هیدرومتری (بویکوس Bouyoucos, 1962) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (چپمن Chapman, 1965) تعیین گردید.

جدول ۱ - برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

Table 1. Some physical and chemical characteristics of studied soils

Soil series	CEC	Clay	Silt	Sand	OC	T.N.V	EC	Ptot.	Pava.	pH
	($cm_c\ kg^{-1}$)			(%)			($dS\ m^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)		
Dizan	17.30	18	52	30	0.87	28.32	1.22	677	13.2	7.9
$Qazvin_1$	16.22	8	32	60	0.58	8.20	0.80	241	4.4	7.5
$Qazvin_2$	15.97	8	34	58	0.96	7.40	0.70	330	8.4	7.6

pH: واکنش خاک؛ Pava: فسفر قابل جذب؛ Ptot: فسفرکل؛ ECe: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک؛ N.V: کربنات کلسیم؛ OC کربن آلی؛ CEC: ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک

Pava: Phosphorus available; Ptot: Phosphorus total; EC_e: Electrical Conductivity of soil saturation extract; T.N.V: Calcium carbonate; OC: Organic Carbon; CEC: Cation Exchangeable Capacity

جدول ۲- تعیین شکل‌های معدنی فسفر

Table 2. Determination of phosphorus mineral forms

Mineral phosphorus form	Measurement methods
di Calcium phosphate (Ca_2P)	1 hour shaker, pH =7.5, dry soil of the juicer (NaHCO3: 0.25 M) 1:50
octa Calcium phosphate (Ca_8P)	1 hour shaker, pH =4.5, dry soil of the juicer (NH_4AC: 0.50 M) 1:50
Aluminum phosphate (AlP)	1 hour shaker, pH =8.2, dry soil of the juicer (NH_4F: 0.50 M) 1:50
Iron phosphate (FeP)	2 hour shaker, dry soil of the juicer (Na_2CO_3 0.10 N & NaOH 0.10 N) 1:50
Phosphorus trapped (OP)	10 minutes shaker, dry soil of the juicer (citrate-bicarbonate-dithionite) 1:45
Apatite ($Ca_{10}P$)	1 hour shaker, dry soil of the juicer (H_2SO_4: 0.25 M) 1:50

نتایج و بحث

بخش انکوباسیون

میانگین مربعات شکل‌های فسفر مورد آزمایش در شرایط انکوباسیون (جدول ۳) نشان داد که اثرات اصلی خاک و کود به تنهایی بر کلیه شکل‌های معدنی فسفر در سطح بالایی معنی‌دار بود. برهمکنش خاک و کود بر شکل‌های Ca_2P ، Ca_8P، OP و $Ca_{10}P$ فسفر معنی‌دار بود. اثر اصلی زمان انکوباسیون و نیز برهمکنش خاک و زمان بر اشکال Ca_2P، Ca_8P، AlP، FeP و $Ca_{10}P$ معنی دار بود. برهمکنش کود و زمان بر اشکال Ca_2P، Ca_8P، FeP و OP معنی‌دار بود و بالاخره برهمکنش خاک، کود و زمان بر اشکال Ca_2P، Ca_8P و OP معنی‌دار شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- میانگین مربعات اشکال مورد آزمایش در شرایط انکوباسیون

Table 3. Mean Square forms in the conditions of incubation

Source of variation	df	Ca_2P	Ca_8P	AlP	FeP	OP	$Ca_{10}P$
Replication	2	24.6*	33.8^{ns}	0.8^{ns}	2.0*	0.001^{ns}	14.950^{ns}
Soil factor	2	4631.7**	44849.9**	352.0**	405.3**	368.8**	231579.8**
Fertilizer factor	1	10743.6**	5577.2**	32.5**	15.2**	39.2**	448.4**
Soil*Fertilizer	2	3194.0**	68.6**	5.6^{ns}	1.2^{ns}	17.3**	296.1**
Time factor	2	2508.0**	1230.2**	21.4**	2.9**	0.76^{ns}	294.3**
Soil*Time	4	910.7**	240.5**	13.3**	2.5**	1.6^{ns}	806.6**
Fertilizer*Time	2	198.8**	1637.8**	0.664^{ns}	3.5**	11.137**	87.9^{ns}
Soil*Fertilizer*Time	4	973.7**	66.6**	2.561^{ns}	0.6^{ns}	3.8**	92.2^{ns}
Error	34	5.9	27.021	4.186	0.6	0.7	54.725
CV (%)	-	11.69	5.08	16.43	8.26	9.29	4.32

*در سطح ۵ درصد معنی دار، ** در سطح ۱ درصد معنی دار، ns معنی‌دار نیست.

*significant at the 5% level, ** significant at 1%, ns: no significant

تأثیر نوع خاک بر تغییرات شکل‌های معدنی فسفر

در بین خاک‌های بررسی شده، خاک سری دیزان نسبت به سری‌های قزوین ۱ و قزوین ۲ مقادیر بالاتری از کلیه شکل‌های معدنی فسفر را نشان داد (جدول۴). با کاربرد ۵۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک (+P) کلیه شکل های معدنی فسفر در سری خاک دیزان، نسبت به سایر خاک‌ها با کاربرد فسفر به‌طور معنی‌داری بالا بود. این مسئله گویای ظرفیت بالای تثبیت توسط خاک دیزان بود. در سری دیزان غلظت اندازه‌گیری شده کلیه اشکال فسفر با کاربرد کود فسفری نسبت به‌عدم کاربرد (-P) به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. در حالی‌که مقادیر غلظت در اشکال Ca_2P و Ca_8P در خاک‌های قزوین ۱ و قزوین ۲ با کاربرد فسفر بالاتر بود، اما غلظت FeP و OP فقط در سری قزوین ۱ اختلاف معنی‌داری را در شرایط کاربرد فسفر نشان دادند (جدول ۵).

جدول ۴ - اثر اصلی خاک بر غلظت شکل‌های فسفر (دانکن ۵٪)*

Table 4. The main effect of soil on concentration of phosphorus forms (Duncan 5%)

Soil series	$Ca_{10}P$	OP	FeP	AlP	Ca_8P	Ca_2P
Dizan	310.7^{a}	14.02^{a}	14.31^{a}	17.20^{a}	158.8^{a}	39.21^{a**}
$Qazvin_1$	115.5^{b}	6.91^{b}	7.46^{b}	11.71^{b}	84.34^{b}	12.76^{b}
$Qazvin_2$	96.38^{c}	5.61^{c}	5.20^{c}	8.45^{c}	63.92^{c}	10.26^{c}

* واحدها برحسب میلی گرم بر کیلوگرم است. ** در هر ستون میانگین های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

*Unites per mg kg^{-1}. **In each column, means with dissimilar letters have significant difference

جدول ۵- میانگین مقادیر شکل‌های فسفر ناشی از کاربردسطوح مختلف فسفردر خاک (دانکن ۵٪)*

Table 5. Average amount phosphorus fractions from using of phosphorus levels in soil (Duncan 5%)

Soil series	$Ca_{10}P$	OP	FeP	AlP	Ca_8P	Ca_2P	Treatment
Dizan	308.80^{a}	16.00^{a}	15.10^{a}	18.47^{a}	171.2^{a}	68.68^{a**}	+P
	294.60^{b}	12.03^{b}	13.52^{b}	15.93^{b}	146.4^{b}	9.73^{d}	-P
$Qazvin_1$	118.00^{c}	7.26^{c}	7.99^{c}	12.60^{c}	93.11^{c}	19.76^{b}	+P
	112.90^{c}	6.57^{d}	6.92^{d}	10.82^{c}	75.57^{d}	5.76^{e}	-P
$Qazvin_2$	95.37^{d}	5.83^{de}	5.47^{e}	8.62^{d}	73.24^{d}	16.10^{c}	+P
	97.36^{d}	5.38^{e}	4.93^{e}	8.28^{d}	54.60^{e}	4.41^{e}	-P

* واحدها برحسب میلی گرم بر کیلوگرم است. ** در هر ستون میانگین های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

*Unites per mg kg^{-1}. **In each column, means with dissimilar letters have significant difference

تغییرات شکل‌های معدنی فسفر در طول انکوباسیون

بیشترین میزان تثبیت Ca_2P در زمان T_{45} مشاهده شد. به گونه‌ای که ترتیب ۳۰/۶۳ و ۱۱/۵۸ میلی‌گرم برکیلوگرم نسبت به تیمارهای T_0 و T_{90} به بالاتر بود. شکل Ca_8P با روندی مشابه Ca_2P اما با غلظت‌های بالاتر در دوره‌های زمانی انکوباسیون تثبیت شد. غلظت Ca_8P در زمان T_{45} بالاترین میزان را داشته و نسبت به زمان‌های T_0 و T_{90} به ترتیب ۱۷/۶۰ و ۱۴/۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم بالاتر بود. در زمان‌های T_0 و T_{90} میزان تثبیت AlP مشابه بود، اما نسبت به T_2 این رقم به طور

Archive of SID

www.SID.ir

معنی‌داری کمتر بود. FeP در زمان‌های T_0 و T_{90} از نظر میزان تثبیت شده مشابه، اما نسبت به T_{45} کمتر بود. OP در طول دوره انکوباسیون در برابر تثبیت مقاوم بود و تأثیر معنی‌داری را نشان نداد. $Ca_{10}P$ در زمان T_{45} کمترین میزان تثبیت را نشان داد، به‌گونه‌ای که این غلظت نسبت به زمان T_0 و T_{90} به ترتیب ۹/۳۰ و ۸/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمتر بود (جدول ۶).

جدول ۶- میانگین غلظت شکل‌های فسفر در طول دوره انکوباسیون (دانکن ۵٪)*

Table 6. Average concentrations of phosphorus forms during incubation period (Duncan 5%)

Treatment	Ca_2P	Ca_8P	AlP	FeP	OP	$Ca_{10}P$
T_0	8.03 ^{c**}	96.14 ^{b}	11.54 ^{b}	9.39 ^{a}	8.62 ^{a}	175.7 ^{a}
T_{45}	31.37 ^{a}	111.70 ^{a}	13.66 ^{a}	8.59 ^{b}	8.98 ^{a}	167.0 ^{b}
T_{90}	22.82 ^{b}	99.15 ^{b}	12.16 ^{b}	8.99 ^{ab}	8.93 ^{a}	170.0 ^{b}

* واحدها برحسب میلی گرم بر کیلوگرم است. ** در هر ستون میانگین های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

*Unites per mg kg^{-1}. ** In each column, means with dissimilar letters have significant difference

تأثیر نوع خاک بر تغییرات شکل‌های معدنی فسفر خاک در طول دوره انکوباسیون

با گذشت زمان انکوباسیون، در سری دیزان مقادیر غلظت‌های اندازه‌گیری شده شکل‌های Ca_2P، Ca_8P، AlP و OP در T_{45} بیشتر از T_0 و T_{90} بود. در سری قزوین ۲ غلظت اندازه‌گیری شده Ca_2P در T_{45} بیشتر از T_0 و T_{90} بود. Ca_8P در T_{45} و T_{90} یکسان و کمتر از T_0بود. $Ca_{10}P$ در T_0 و T_{45} یکسان و کمتر از T_{90} بود. با گذشت زمان انکوباسیون شکل‌های معدنی AlP، FeP و OP در برابر تثبیت مقاوم بودند. در سری قزوین ۲ غلظت اندازه‌گیری شده Ca_2P و Ca_8P درT_{45}بیشتر از در T_0 و T_{90} بود. مقادیر غلظت Ca_8P در T_{45}و T_{90} یکسان و کمتر از T_0 بود. غلظت $Ca_{10}P$ در T_0 و T_{45} از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت، اما کمتر از T_{90} بود. با گذشت زمان انکوباسیون، شکل‌های معدنی AlP، FeP و OP در برابر تثبیت مقاوم بودند (جدول ۷).

با گذشت زمان انکوباسیون، در سری دیزان، مقادیر غلظت‌های اندازه‌گیری شده شکل‌های Ca_2P، Ca_8P، AlP و OP در T_{45} بیشتر از T_0 و T_{90} بود. در سری قزوین ۱ غلظت اندازه‌گیری شده Ca_2P در T_{45} بیشتر از T_0 و T_{90} بود. غلظت Ca_8P در T45و T_{90} یکسان و کمتر از T_0 بود. غلظت $Ca_{10}P$ در T_0 و T_{45} یکسان و کمتر از T_{90} بود. با گذشت زمان انکوباسیون شکل‌های معدنی AlP، FeP و OP در برابر تثبیت مقاوم بودند. در سری قزوین ۲ غلظت اندازه‌گیری شده Ca_2P و Ca_8P در T_{45} بیشتر از T_0 و T_{90} بود. غلظتCa_8P در T_{45} و T_{90} یکسان و کمتر از T_{45} بود. غلظت $Ca_{10}P$ درT_0 و T_{45} از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت، اما کمتر از T_{90} بود. با گذشت زمان انکوباسیون شکل‌های معدنی AlP، FeP و OP در برابر تثبیت مقاوم بودند (جدول ۷).

جدول ۷- تأثیر نوع خاک بر شکل‌های فسفر در طول دوره انکوباسیون (دانکن ۵٪)*

Table 7. The effect of soil type on phosphorus forms during incubation period (Duncan 5%)

Soil series	Treatment	Ca_2P	Ca_8P	AlP	FeP	OP	$Ca_{10}P$
Dizan	T_0	11.28 ^{d**}	149.80 ^{b}	14.62 ^{b}	15.45 ^{a}	13.25 ^{b}	305.30 ^{b}
	T_{45}	62.78 ^{a}	176.10 ^{a}	20.13 ^{a}	13.25 ^{c}	14.70 ^{a}	285.50 ^{c}
	T_{90}	43.55 ^{b}	105.40 ^{b}	16.85 ^{b}	14.23 ^{b}	14.10 ab	314.20 ^{a}
$Qazvin_1$	T_0	7.55 ^{e}	79.25 ^{d}	11.40 ^{c}	7.27 ^{d}	7.1 2 c	118.70 ^{d}
	T_{45}	17.30 ^{c}	88.05 ^{c}	12.15 ^{c}	7.37 ^{d}	6.83 c	119.90 ^{d}
	T_{90}	13.42 ^{d}	85.72 ^{c}	11.58 ^{c}	7.73 ^{d}	6.78 cd	107.70 ^{e}
$Qazvin_2$	T_0	5.27 ^{e}	59.42 ^{f}	8.62 ^{d}	5.45 ^{e}	5.48 e	103.00 ^{ef}
	T_{45}	14.02 ^{d}	71.03 ^{e}	8.70 ^{d}	5.15 ^{e}	5.42 e	97.98 ^{f}
	T_{90}	11.48 ^{d}	1.32 ^{f}	8.03 ^{d}	5.00 ^{e}	5.92 de	88.15 ^{g}

* واحدها برحسب میلی گرم بر کیلوگرم است. ** در هر ستون میانگین های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

*Unites per mg kg^{-1}. ** In each column, means with dissimilar letters have significant difference

تأثیر نوع خاک و کود بر تغییرات شکل‌های معدنی فسفر خاک در طول دوره انکوباسیون

تأثیر نوع خاک و کود بر شکل‌های معدنی فسفر در طول دوره انکوباسیون در جدول ۸ آمده است. در سری دیزان با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک،

Archive of SID

www.SID.ir

شکل معدنی Ca_2P افزایش معنی‌داری را در زمان T_{45} نسبت به سایر تیمارها نشان داد. این افزایش غلظت ۲۷/ ۱۰۷ میلی‌گرم برکیلوگرم نسبت به زمان T_0 و ۴۲/۱۷ میلی‌گرم برکیلوگرم نسبت به T_{90} بود. در این خاک در شرایط عدم مصرف کود فسفری، مقادیر تثبیت Ca_2P به‌طور معنی‌داری در زمان T_{45} کاهش یافت. در این خاک غلظت Ca_8P با روندی مشابه در شرایط مصرف کود و متفاوت در شرایط شاهد همراه بود. به‌طوری‌که با افزایش غلظت ۵۱/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در زمان T_{45} و کاهش ۳۸/۸۰ میلی‌گرم برکیلوگرم نسبت به T_{90} داشت. در غلظت Ca_8P در شرایط شاهد، در زمان‌های T_0و T_{45} تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. اما با کاهش۱۲/۶۰میلی‌گرم بر کیلوگرم، تفاوت معنی‌داری نسبت به T_{90} داشت. در زمان T_{45}، غلظت AlP با افزایش معنی‌دار ۵/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به T_0 و ۴/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به T_{90} داشت. در شرایط شاهد، غلظت AlP در زمان‌های T_{45} و T_{90} تفاوت معنی‌داری با T_0 نشان داد و با افزایش۵/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به T_0 همراه بود. درحالی‌که در شرایط کاربرد فسفر شکل معدنی FeP از نظر آماری در طول دوره زمانی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد، در شرایط عدم کاربرد فسفر، در پایان دوره انکوباسیون با کمترین میزان تثبیت همراه بود. با گذشت زمان انکوباسیون غلظت شکل OP با کاربرد فسفر، در زمان های T_{45} و T_{90}از نظر آماری یکسان و به ترتیب ۳/۶۳ و ۴/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، بیشتر از T_0 بود. غلظت OP در شرایط عدم کاربرد فسفر در زمان‌های T_0 و T_{45} از نظر آماری یکسان و کمتر از T_{90} بود. در شکل $Ca_{10}P$ در زمان‌های T_0 و T_{45} از نظر آماری یکسان و کمتر از T_{90} بود. در شرایط عدم کاربرد فسفر در زمان T_{45} با کاهش ۲۰/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به T_0 و ۲۷/۱۰ میلی‌گرم برکیلوگرم نسبت به T_{90}، از کمترین میزان تثبیت برخوردار بود. در سری قزوین ۱ با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک، شکل معدنی Ca_2P افزایش معنی‌داری را در زمان T_{45} نسبت به T_0 و T_{90} نشان داد. این افزایش غلظت ۲۳/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به زمان T_0 و ۹/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به T_{90} بود. در شرایط عدم مصرف کود فسفری، مقادیر تثبیت Ca_2P در زمان‌های انکوباسیون معنی‌دار نبودند. در این خاک غلظت Ca_8P در شرایط کاربرد فسفر، در زمان T_0 کمترین میزان تثبیت را نشان داد. در حالی‌که در شرایط عدم مصرف فسفر، در زمان‌های مختلف اختلاف معنی‌داری در میزان غلظت این شکل معدنی فسفر مشاهده نشد. غلظت AlP با و بدون کاربرد فسفر، در همه زمان‌های انکوباسیون در برابر تثبیت مقاوم بود به‌طوری‌که افزایش معنی‌داری در این شکل معدنی فسفر مشاهده نشد. شکل معدنی FeP با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر در ابتدای دوره زمانی انکوباسیون، از تثبیت کمتری برخوردار بود. به‌گونه‌ای که در این زمان با کاهش ۰/۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، نسبت به T_{45} و ۱/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به T_{90}همراه بود. در شرایط عدم کاربرد فسفر، کمترین میزان تثبیت در زمان T_{45} دیده شد. غلظت OP با و بدون کاربرد فسفر، در همه زمان‌های انکوباسیون افزایش معنی‌داری را نشان نداد. در حالی‌که غلظت شکل معدنی $Ca_{10}P$ در شرایط کاربرد فسفر اختلاف آماری را نشان نداد، در شرایط عدم کاربرد فسفر، در پایان دوره انکوباسیون از کمترین غلظت برخوردار بود. در سری قزوین ۲ با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک، شکل معدنی Ca_2P افزایش معنی‌داری را در زمان T_{45} نسبت به T_0 و T_{90} نشان داد. این افزایش غلظت ۲۳/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به زمان T_0 و۹/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به T_{90} بود. در شرایط عدم مصرف کود فسفری، مقادیر تثبیت Ca_2P در زمان‌های انکوباسیون معنی‌دار نبودند. در این خاک غلظت Ca_8P در شرایط کاربرد فسفر، در زمان T_0 کمترین میزان تثبیت را نشان داد. در حالی‌که در شرایط عدم مصرف فسفر، در زمان‌های مختلف اختلاف معنی‌داری در میزان غلظت این شکل معنی فسفر مشاهده نشد. غلظت شکل‌های AlP و FeP با و بدون کاربرد فسفر در همه زمان‌های انکوباسیون در برابر تثبیت مقاوم بود. به‌طوری‌که افزایش معنی‌داری در این شکل معدنی فسفر مشاهده نشد. غلظت شکل معدنی $Ca_{10}P$ با کاربرد فسفر در زمان های T_{45} و T_{90} از نظر آماری یکسان بود، اما در زمان T_{90} با کاهش معنی‌دار ۱۵/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به ابتدای دوره انکوباسیون همراه بود. در شرایط عدم کاربرد فسفر این شکل معدنی در پایان دوره انکوباسیون کمترین میزان تثبیت را نشان داد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۸- تاثیر خاک و کود بر شکل‌های فسفر در طول دوره انکوباسیون (دانکن ۵٪)*

Table 8. The effect of soil and fertilizer on phosphorus forms during the incubation period (Duncan 5%)

Soil series	Fertilizer treatment	Time treatment	Ca_2P	Ca_8P	AlP	FeP	OP	$Ca_{10}P$
Dizan	+P	T_0	11.23 f**	149.90 c	16.37 bc	15.50 a	13.40 b	305.40 b
	+P	T_{45}	118.5 a	201.20 a	21.60 a	14.30 a	17.03 a	295.30 b
	+P	T_{90}	76.33 b	162.40 b	17.43 b	15.50 a	17.57 a	325.60 a
	-P	T_0	11.33 f	149.70 c	12.87 cd	15.40 a	13.10 b	305.10 b
	-P	T_{45}	7.10 g	151.00 c	18.67ab	12.20 b	12.37 b	275.80 c
	-P	T_{90}	10.77 f	138.40 d	16.27bc	12.97 b	10.63 c	302.90 b
$Qazvin_1$	+P	T_0	7.57 fg	79.33 g	11.43 de	7.27 de	7.13 d	121. 40 d
	+P	T_{45}	30.60 c	101.90 e	13.47 cd	8.10 cd	7.10 d	120.30 d
	+P	T_{90}	21.10 de	98.10 e	12.90 cd	8.60 c	7.50 d	112.40 def
	-P	T_0	7.53 fg	79.17 g	11.37 de	7.27 de	7.10 d	116.10 de
	-P	T_{45}	4.00 g	74.20 g	10.83de	6.63 fg	6.57 de	119.60 d
	-P	T_{90}	5.73 g	73.33 g	10.27 de	6.87 def	6.03 de	103.00 fg
$Qazvin_2$	+P	T_0	5.27 g	59.27 h	8.60 e	5.47 hi	5.47 e	103.30 fg
	+P	T_{45}	24.47 d	88.93 f	8.83 e	5.87 fgh	5.47 e	94.63 gh
	+P	T_{90}	18.57 e	71.53 g	8.43 e	5.07hi	6.57 de	88.13h
	-P	T_0	5.27 g	59.57 h	8.63 e	5.43 hi	5.50 e	102.70 fg
	-P	T_{45}	3.57 g	53.13 h	8.57 e	4.43 i	5.37 e	101.30 fg
	-P	T_{90}	4.40 g	51.10 h	7.63 e	4.93 hi	5.27 e	88.17h

P+= با فسفر P-= بدون فسفر * واحدها برحسب میلی گرم بر کیلوگرم. ** در هر ستون میانگین های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی دار هستند.

*Unites per mg kg^{-1}. * In each column, means with dissimilar letters have significant difference

خاک سری دیزان نسبت به قزوین ۱ و قزوین ۲ مقادیر بالاتری از میزان تثبیت کلیه شکل‌های معدنی فسفر را نشان داد (جدول۴). یکی از دلایل این موضوع می‌تواند وجود آهک و ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر این سری خاک نسبت به دیگر خاک‌ها باشد. البته مقدار فسفر کل در این خاک نیز بالاتر بود. در سری قزوین ۱ شکل‌های معدنی Ca_2P، Ca_8P، FeP و OP و در سری قزوین ۲ شکل‌های معدنیCa_2P، Ca_8P و OP در شرایط کاربرد فسفر نسبت به شاهد معنی‌دار شدند. در حالی‌که شکل‌های AlP و $Ca_{10}P$ در سری قزوین ۱ و AlP، FeP و $Ca_{10}P$ در سری قزوین ۲ حتی با کاربرد فسفر نسبت به شرایط شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۵). این نکته مبین این بود که با کاربرد فسفر از میزان تثبیت این شکل‌های معدنی در چنین خاک‌هایی جلوگیری به‌عمل آمده است. فراوانی غلظت Ca_2P که نسبت به سایر اشکال معدنی کلسیم‌دار فسفر در هر دو خاک مورد مطالعه کمتر از اشکال دیگر فسفر بود، در سری دیزان از تثبیت بالاتری برخوردار بود. دلیل این موضوع وجود آهک و pH بالاتر نسبت به دیگر خاک‌ها بود (جدول ۸). نظر به این‌که شکل معدنی Ca_2P که از جمله ترکیبات اولیه است که در خاک تشکیل می‌گردد، فراهمی آن به دلیل تثبیت کمتر در خاک برای استفاده گیاه اهمیت زیادی دارد. این شکل معدنی فسفر ناپایدار بوده و به اشکال دیگر کلسیمی تبدیل می‌گردد (Foth & Ellis, 1997). فراوانی غلظت Ca_8P نسبت به Ca_2P و نیز اشکال آهن و آلومینیوم در هر سه خاک بالاتر بود. غلظت این شکل معدنی فسفر در خاک سری دیزان بیشتر شد (جدول ۸). Ca_8P که پس از گذشت حدود ۲ الی ۳ ماه از Ca_2P به‌وجود می‌آید، یکی از فراوان‌ترین شکل‌های معدنی فسفاته در خاک‌های آهکی است. دهقان و همکاران (Dehghan *et al*., 2008) در بررسی شکل‌های فسفر خاک در چهار ردیف ارضی در مناطق اصفهان و شهر کرد، بیش از نیمی از فسفر معدنی را به شکل فسفات‌های کلسیم گزارش کردند که نشان دهنده نقش مهم کلسیم و آهک در این خاک‌ها می‌باشد. ادهمی و همکاران (Adhami *et al.*, 2008) کلسیم اکتا فسفات را بخش عمده فسفات‌های کلسیمی در تعدادی از خاک‌های آهکی ایران اعلام کردند. از میزان تثبیت شکل معدنی AlP در سری خاک دیزان با کاربرد فسفر در زمان T_{90} کاسته شد. در حالی‌که در شرایط بدون

Archive of SID

www.SID.ir

کاربرد فسفر در T_0 این کاهش دیده شد. با گذشت زمان در این شرایط به میزان تثبیت اضافه شد. در سری قزوین ۱ و قزوین ۲ این شکل معدنی فسفر با و بدون کاربرد کود فسفری تحت تأثیر تثبیت قرار نگرفت (جدول ۸). شکل معدنی FeP در شرایط کاربرد فسفر در سری خاک دیزان از نظر آماری تغییر غلظتی نشان نداد که حاکی از عدم تأثیر کود فسفری بر غلظت این شکل معدنی در طول دوره انکوباسیون بود. در شرایط بدون کاربرد فسفر با گذشت زمان انکوباسیون در زمان‌های T_{45} و T_{90} نسبت به آغاز انکوباسیون کاهش معنی‌دار تثبیت را نشان داد. در سری قزوین ۱ در شرایط با و بدون کاربرد فسفر تنها در انتهای دوره زمانی انکوباسیون کمترین میزان تثبیت را نشان داد که بیانگر تأثیر زمان بر چگونگی معدنی شدن فسفر بود. در سری قزوین ۲ در شرایط با و بدون کاربرد فسفر تنها در انتهای دوره زمانی انکوباسیون، این شکل معدنی فسفر تحت تأثیر تغییرات معنی‌دار غلظت قرار نگرفت (جدول ۸). شکل‌های معدنی آهن و آلومینیوم‌فسفات در خاک‌های مورد مطالعه با غلظت‌های کمتری از اشکال معدنی کلسیم فسفاتی همراه بود که نشان‌دهنده فراوانی کمتر آنها بود. بدیهی است در شرایط خاک‌های آهکی به‌دلیل غالبیت یون کلسیم به واسطه وجود آهک، اشکال معدنی کلسیم فسفات نسبت به سایر اشکال دیگر غلبه پیدا می‌کند. همان‌طوری که در شرایط خاک‌های اسیدی با pH پایین شکل‌های معدنی آهن و آلومینیوم فسفات ممکن است بیشتر باشد (Abolfazli *et al*, 2012). فراوانی کمتر شکل‌های آهن و آلومینیوم فسفات در خاک‌های آهکی توسط سماواتی و حسین‌پور (Samavati & Hosseinpoor, 2009) گزارش شده است. میزان تثبیت شکل معدنی OP در سری خاک دیزان با کاربرد فسفر در زمان T_0 و در شرایط بدون کاربرد فسفر در T_{90} کاهش یافت. در سری‌های قزوین ۱ و قزوین ۲، این شکل معدنی فسفر با و بدون کاربرد کود فسفری تحت تأثیر تثبیت قرار نگرفت (جدول ۸). با گذشت زمان انکوباسیون، در سری خاک دیزان، شکل معدنی $Ca_{10}P$ در شرایط کاربرد فسفر از تثبیت بیشتری برخوردار شد. در شرایط بدون کاربرد فسفر در زمان T_{45} از کمترین میزان تثبیت برخوردار بود. در سری قزوین ۱، مقادیر غلظت تحت تأثیر فسفر مصرفی قرار نگرفت. اما در شرایط شاهد (بدون فسفر) در انتهای دوره زمانی از تثبیت کمتری برخوردار شد. در خاک قزوین ۲ روند کاهشی غلظت این شکل معدنی فسفر با گذشت زمان انکوباسیون با کاربرد فسفر مشاهده شد و در انتهای دوره زمانی به کمترین میزان خود رسید. این وضعیت برای شرایط عدم کاربرد فسفر نیز صادق بود (جدول ۸). این شکل معدنی فسفر مقادیر غلظت بالاتری را از کلیه شکل‌های دیگر در هر سه نوع خاک مورد بررسی نشان داد. این شرایط هم با کاربرد فسفر و هم بدون کاربرد آن دیده شد. آپاتیت که از تبدیل کلسیم اکتا فسفات در خاک تشکیل می‌گردد، یکی از فراوان‌ترین اشکال معدنی فسفات‌های کلسیم بوده و شکل نهایی فسفر در مقادیر تثبیت بالا می‌باشد. بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نشان دهنده صحت این موضوع می باشد. فوث و الیس (Foth & Ellis, 1997) بخش اعظم فسفر در خاک‌های آهکی را از نوع شکل معدنی آپاتیت دانستند. فراوانی این شکل معدنی نسبت به سایر اشکال توسط مستشاری و همکاران (Mostashari *et al.*, 2009) گزارش گردید. سینک و همکاران (Singh *e t al*,. 2000) در تغییر شکل‌های معدنی فسفر به شکل قابل جذب نیز مشخص نمودند که مصرف کود فسفری سبب تثبیت فسفر به شکل آپاتیت می‌گردد.

بخش گلخانه

تجزیه واریانس

میانگین مربعات اشکال فسفر مورد آزمایش در شرایط گلخانه در جدول ۹ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر اصلی خاک بر کلیه شکل‌های معدنی فسفر در سطح بالایی معنی‌دار بود. همچنین اثر اصلی فاکتور کود به جز $Ca_{10}P$ بر سایر شکل‌های فسفر، معنی‌دار بود. برهمکنش خاک و کود بر اشکال Ca_2P، AlP، FeP، OP و $Ca_{10}P$ معنی‌دار بود. آزمون میانگین مربعات فسفر در گیاه و خاک مورد آزمایش (جدول ۱۰) نشان داد که فاکتور خاک بر غلظت فسفر پس از برداشت گیاه در خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. فاکتور کود بر وزن تر، غلظت فسفر پس از برداشت، فسفسر کل و فسفر جذب شده توسط گیاه در سطوح یک و ۵ درصد معنی‌دار شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۹- میانگین مربعات شکل‌های فسفر مورد آزمایش در شرایط گلخانه (دانکن ۵٪)

Table 9. Mean Square phosphorus forms in greenhouse conditions (Duncan 5%)

Source of variation	df	Ca_2P	Ca_8P	AlP	FeP	OP	$Ca_{10}P$
Replication	2	4.3 ^{ns}	70.8 ^{ns}	3.0 **	0.5 *	0.8**	91.6 ^{ns}
Soil factor	2	641.8 **	13568.9 **	51.5 **	116.6 **	152.6**	82273.6 **
Fertilizer factor	1	409.2 **	435.1 *	38.7 **	6.6 **	9.4**	13333.9 ^{ns}
Soil*Fertilizer	2	337.9 **	18.2 ^{ns}	3.0 **	7.6 **	6.7**	201.4 *
Error	10	1.20	49.9	0.46	0.10	0.30	34.50
CV (%)	-	8.52	7.00	6.36	4.06	5.52	3.40

*در سطح ۵ درصد معنی دار، ** در سطح ۱ درصد معنی دار، ns معنی‌دار نیست.

*significant at the 5% level, ** significant at 1%, ns: no significant

جدول ۱۰- میانگین مربعات فسفر در گیاه و خاک در شرایط گلخانه (دانکن ۵٪)

Table 9. Mean Squares of phosphorus in plant and soil in greenhouse conditions (Duncan 5%)

Source of variation	P uptake by plant (g pot^{-1})	Plant Total P (%)	Soil after harvest P concentration (mg kg^{-1})	Fresh weight (g)	df
Replication	0.346^{ns}	0.000^{ns}	2.934^{ns}	2.722^{ns}	2
Soil factor	1.015^{ns}	0.007^{ns}	18.288*	4.740^{ns}	2
Fertilizer factor	11.513*	0.091**	1398.582**	36.69**	1
Soil*Fertilizer	0.762^{ns}	0.008^{ns}	2.504^{ns}	0.429^{ns}	2
Error	0.45	0.006	4.45	1.27	10
CV (%)	39.43	33.66	14.14	18.71	-

*در سطح ۵ درصد معنی دار، ** در سطح ۱ درصد معنی دار، ns معنی‌دار نیست.

*significant at the 5% level, ** significant at 1%, ns: no significant

اثر اصلی خاک بر غلظت شکل‌های فسفر معدنی

در بررسی و تعیین شکل‌های معدنی فسفر در شرایط گلخانه و پس از برداشت ۶۰ روزه گندم در خاک‌های تحت کشت، مقادیر متفاوتی از غلظت شکل‌های معدنی فسفر بر اساس رفتار خاک‌ها مشاهده شد. در سری دیزان مقادیر شکل‌های معدنی فسفر، نسبت به سری قزوین ۱ و قزوین ۲ بیشتر بود (جدول ۱۱). در شرایط کشت گندم مقادیر غلظت شکل‌های Ca_2P، Ca_8P، AlP و FeP نسبت به شرایط انکوباسیون (جدول ۴) افزایش نشان داد. تأثیر خاک سری قزوین ۱ بر غلظت فسفر پس از برداشت گیاه در خاک تفاوت معنی‌داری با سری‌های قزوین ۲ و دیزان داشت. در بررسی وزن تر گیاه، سری‌های قزوین ۲ و دیزان تفاوت معنی‌داری با قزوین ۱ نشان دادند. به‌طوری که مقادیر وزن تر گیاه در سری‌های قزوین ۲ و دیزان به ترتیب: ۱/۷ و ۱/۳ گرم بیشتر از سری قزوین ۱ بود. گرچه تأثیر خاک بر میزان جذب فسفر توسط گیاه معنی‌دار نشد، اما بیشترین غلظت جذب فسفر در خاک قزوین ۲ بود. بررسی نتایج نشان داد که از میان شاخص‌های بررسی شده، فقط غلظت فسفر باقی‌مانده پس از برداشت در خاک به طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع خاک بود.

تفاوت معنی‌داری با قزوین ۱ نشان دادند. به‌طوری که مقادیر وزن تر گیاه در سری‌های قزوین ۲ و دیزان به ترتیب: ۱/۷ و ۱/۳ گرم بیشتر از سری قزوین ۱ بود. گرچه تأثیر خاک بر میزان جذب فسفر توسط گیاه معنی‌دار نشد، اما بیشترین غلظت جذب فسفر در خاک قزوین ۲ بود. بررسی نتایج نشان داد که از میان شاخص‌های بررسی شده، فقط غلظت فسفر باقی‌مانده پس از برداشت در خاک به طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع خاک بود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۱- اثر اصلی خاک بر غلظت شکل‌های فسفر و جذب آن در گیاه در شرایط گلخانه (دانکن ۵٪) *

Table 11. The main effect of soil on the concentration of phosphorus forms and uptake under greenhouse conditions (Duncan 5%)

Soil series	P uptake by plant	Plant Total P	P conc. in soil after harvest	Fresh weight	$Ca_{10}P$	OP	FeP	AlP	Ca_8P	Ca_2P
	(g pot $^{-1}$)	(%)	(mg kg^{-1})	(g)	(mg kg^{-1})					
Dizan	1.891^{a}	0.23^{a}	16.51^{a}	7.32^{a}	307.20^{a}	15.07^{a}	13.58^{a}	13.70^{a}	154.20^{a}	24.73^{a*}
$Qazvin_1$	1.235^{a}	0.19^{a}	13.05^{b}	6.02^{b}	116.20^{b}	7.03^{b}	7.17^{b}	11.27^{b}	86.10^{b}	7. 82^{b}
$Qazvin_2$	1.994^{a}	0.26^{a}	15.19^{ab}	7.72^{a}	94.30^{c}	5.77^{c}	4.95^{c}	7.81^{c}	61.65^{c}	5.97^{c}

* در هر ستون میانگین های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی دار هستند.

* In each column, means with dissimilar letters have significant difference

برهمکنش تأثیر خاک و کود بر شکل‌های معدنی فسفر خاک در دوره رشد گندم

میانگین داده‌های تأثیر خاک و کود بر شکل‌های معدنی فسفر خاک پس از برداشت گندم، در جدول ۱۲ نشان داده شده است. در سری خاک دیزان، با کاربرد کود فسفری، میزان تثبیت شکل‌های معدنی Ca_2P، AlP، FeP و OP اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. به‌طوری‌که در مورد Ca_2P و OP در شرایط کاربرد کود فسفری میزان تثبیت بیشتر از شاهد (بدون کود فسفری) بود، اما در مورد AlP وFeP تثبیت در شرایط شاهد بیشتر بود. یعنی زمانی‌که گیاه کشت شود، کاربرد کود فسفری موجب تثبیت شکل‌های اخیر فسفر می‌گردد. مقایسه غلظت شکل‌های معدنی فسفر در شرایط انکوباسیون و کاربرد فسفر (جدول ۵) با شرایط کاشت گیاه (جدول ۱۲) با کاهش غلظت Ca_2P از ۶۸/۶۸ به ۳۸/۱۷، Ca_8P از ۱۷۱/۲ به ۱۵۹/۱، AlP از ۱۸/۴۷ به ۱۱/۳۰، FeP از ۱۵/۱۰ به ۱۱/۷۷ میلی گرم برکیلوگرم همراه بود. اما در خصوص شکل‌های معدنی OP و $Ca_{10}P$، با افزایش غلظت از ۱۶ به ۱۷ و ۳۰۸ به ۳۱۱ میلی‌گرم برکیلوگرم در شرایط کاربرد فسفر همراه بود. در سری خاک قزوین ۱ در شرایط کاربرد فسفر و انکوباسیون، نسبت به شرایط کشت گیاه غلظت Ca_2P ۷۳/۱۱، Ca_8P ۰/۳۴، AlP ۲/۴۳، OP ۰/ ۲۶ و $Ca_{10}P$ ۶/۶ میلی‌گرم برکیلوگرم کاهش یافت. شکل معدنی FeP در این شرایط با افزایش ۰/۱۴ میلی‌گرم برکیلوگرم همراه بود. در خاک قزوین ۲ در شرایط کاربرد فسفر و انکوباسیون، نسبت به شرایط کشت گیاه غلظت Ca_2P ۹/۴۷، Ca_8P ۷/۴۱، AlP ۱/۶۵، FeP ۰/۹۴ و $Ca_{10}P$ ۸/۲۷ میلی‌گرم برکیلوگرم کاهش یافت. شکل معدنی0P در این شرایط با افزایش۰/۲۰ میلی‌گرم برکیلوگرم همراه بود. کاربرد کود در شرایط کشت گیاه نسبت به انکوباسیون فقط غلظت AlP را در هر سه خاک به‌طور معنی‌داری کاهش داد. غلظت FeP تنها در خاک دیزان و $Ca_{10}P$ در خاک قزوین ۲ کاهش یافت. این شرایط کاملاً متفاوت با شرایط انکوباسیون (جدول ۵) بود. این امر می‌تواند ناشی از کشت گیاه باشد. افزایش غلظت شکل‌های معدنی فسفر (HCl-P > NaOH-P > Resin-P > bic-P > Water-P, with NaOH-P and HCl-P) به خاک در طول کشت گندم توسط یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2002) گزارش شد. بلیک و همکاران (Blake *et al.*, 2003) نشان دادند که کشت گیاه بدون مصرف کود فسفری سبب کاهش فسفر به شکل کلسیم دی‌فسفات می‌گردد که نشان دهنده قابلیت جذب این شکل از فسفر توسط گیاه می‌باشد. دی‌کلسیم فسفات‌های موجود در خاک-های آهکی یکی از منابع فسفر قابل جذب برای گیاه گندم می‌باشند. مقادیر قابل ملاحظه‌ای فسفر از شکل دی‌کلسیم فسفات آزاد و توسط برنج توسط نجفی و توفیقی (Najafi & Towfighi, 2012) و گیاهان علفی توسط ما و همکاران (Ma *et al*,. 2009) گزارش شده است.

نقی‌زاده و دردی‌پور Naghizadeh & Dordipoor, (2013) در بررسی اثر کشت گندم بر شکل‌های فسفر معدنی، به‌این نتیجه رسیدند که در خاک‌های لسی استان گلستان، کشت گندم به‌طور عمده شکل‌های دی-کلسیم فسفات، اکتاکلسیم فسفات و آلومینیوم‌فسفات را کاهش داد. این سه شکل را می‌توان به عنوان منبع عمده فسفر قابل جذب گندم در نظر گرفت. هدلی و همکاران (Hedly *et al*,. 1982) در آزمایشی اعلام کردند

Archive of SID

www.SID.ir

که میزان Ca_2P، Ca_8P و AlP تحت تأثیر کشت ذرت بود. به‌طوری‌که در شرایط بدون کشت، خاکی که میزان فسفر بیشتری دریافت کرده است، اشکال معدنی فسفر در حالت‌های فوق بیشتر از خاک کشت شده به دست آمد. ولی میزان FeP در خاک‌های کشت شده بیشتر از کشت نشده بود و اثر کود فسفری و کشت گیاه ذرت تأثیر معنی‌داری بر روی $Ca_{10}P$ نداشت.

جدول ۱۲- برهمکنش تأثیر خاک و کود بر شکل‌های فسفر در دوره رشد گندم (دانکن ۵٪) *

Table 12. The interaction of soil and Fertilizer on phosphorus forms in wheat growing period (Duncan 5%)

Soil series	$Ca_{10}P$	OP	FeP	AlP	Ca_8P	Ca_2P	Treatment
	mg kg^{-1}						
Dizan	311.00 a	17.00 a	11.77 b	11.30 bc	159.10 a	38.17 a*	+P
	303.40 a	13.13 b	15.40 a	16.10a	149.30 a	11.30 b	-P
$Qazvin_1$	111.40 bc	7.00 c	8.13 c	10.17 c	92.77 b	8.03 c	+P
	121.00 b	7.07 c	7.30 d	12.37 b	79.43 c	7.60 c	-P
$Qazvin_2$	87.100 d	6.03 d	4.53 f	6.97 e	65.83 d	6.63 cd	+P
	101.50 c	5.50 d	5.37 e	8.77 d	59.47 d	5.30 d	-P

P + = با فسفر P- = بدون فسفر * در هر ستون میانگین های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی دار هستند.

* In each column, means with dissimilar letters have significant difference

در بررسی تاثیر خاک و کود بر عملکرد و میزان جذب فسفر در طول دوره رشد گندم در شرایط گلخانه (جدول ۱۳) داده‌ها نشان داد در تمامی خاک‌ها عملکرد تر اندام هوایی در تیمار کود داده شده نسبت به شاهد (کود داده نشده) بیشتر بود. تأثیر کاربرد فسفر بر عملکرد به عواملی نظیر مقدار فسفر قابل استفاده برای گیاه بستگی دارد. در خاک دیزان میزان فسفر قابل استفاده در خاک بیشتر از خاک قزوین ۱ بود. در خاک قزوین ۲ میزان فسفر قابل استفاده در خاک بیشتر از قزوین ۱ بود. به همین دلیل وزن تر بیشتری را هم نشان داد (جداول ۱ و ۱۱). میزان فسفر باقی‌مانده در خاک در تیمارهای کود داده شده نسبت به شاهد بالاتر بود. سری‌های دیزان و قزوین ۲ که از فسفر قابل جذب بالاتری برخوردار بودند، فسفر باقی‌مانده در خاک بیشتری را هم نشان دادند. در سری‌های دیزان و قزوین ۲، غلظت جذب فسفر توسط گیاه در تیمارهای کود داده شده نسبت به شاهد بالاتر از قزوین ۱ بود. سری‌های دیزان و قزوین ۲ که از فسفر قابل جذب بالاتری برخوردار بودند، فسفر باقی‌مانده در خاک بیشتری را هم نشان دادند. فسفر کل گیاه در خاک دیزان در شرایط تیمار کودی بیشتر از شاهد شد. در سایر خاک‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. زاهدی فر و همکاران (Zahedifar *et al.*, 2009) وزن ماده خشک بخش هوایی ذرت را با مصرف فسفر افزایش دادند. غلظت جذب فسفر با کاربرد این عنصر افزایش یافت. پتی‌پاس (Pettipas, 2004) ، اسکودرا و اسکودرا (Skudra & Skudra, 2004) همبستگی معنی‌داری بین غلظت فسفر در برگ‌های گندم گزارش کردند. کوزمینا (Kuzmina, 1997) بین غلظت فسفر در گیاه و غلظت فسفر قابل استفاده خاک در مراحل مختلف رشد رابطه مشخصی را مشاهده نکرد.

جدول ۱۳- برهمکنش تأثیر خاک و کود بر میزان جذب فسفر در دوره رشد گندم (دانکن ۵٪) *

Table 13. The interaction of soil and Fertilizer on phosphorus uptake in the wheat period growing (Duncan 5%)

Soil series	P uptake by plant (g pot^{-1})	Plant Total P (%)	P concentration in soil after harvest (mg kg^{-1})	Fresh weight (g)	Treatment
Dizan	3.10 a	0.34 a	25.91a	9.00 a	+P
	0.68 c	0.12 b	7.12 c	5.63 cd	-P
$Qazvin_1$	1.88 abc	0.25ab	21.17 b	7.47 b	+P
	0.60 c	0.13 b	4.93 c	4.57 d	-P
$Qazvin_2$	2.46 ab	0.30 a	24.12 ab	8.87 a	+P
	1.44 c	0.21ab	6.26 c	6.57 bc	-P

p+ = با فسفر P- = بدون فسفر * در هر ستون میانگین های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی دار هستند.

* In each column, means with dissimilar letters have significant difference

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری کلی

مقادیر تثبیت فسفر در خاک دیزان از خاک‌های قزوین ۱ و قزوین ۲ بیشتر بود. در این بررسی مقادیر غلظت اندازه گیری شده $Ca_{10}P$ (آپاتیت) بیش از سایر اشکال معدنی بود. کاربرد کود به میزان ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر از منبع کودی سوپرفسفات تریپل، تأثیر زیادی در افزایش غلظت اندازه‌گیری در شکل‌های کلسیم دی‌فسفات و کلسیم اکتافسفات در هر سه خاک و با شدت بیشتر در سری دیزان داشت. در این خاک با کاربرد فسفر از منبع کود سوپرفسفات تریپل، بیشترین غلظت اندازه‌گیری شده شکل‌های Ca_2P، Ca_8P، AlP، FeP و OP در زمان T_{45} و $Ca_{10}P$ در زمان T_{90} به‌دست آمد. گرچه میزان تثبیت فسفر تحت کشت گندم در سری دیزان در کلیه شکل‌های معدنی فسفر بالاتر بود، اما کاهش قابل ملاحظه‌ای در شکل Ca_2P حاصل شد. این کاهش غلظت در سری‌های قزوین ۱ و قزوین ۲ به میزان کمتری دیده شد. این مسئله گویای آزادسازی فسفر و تثبیت کمتر آن به واسطه کشت گیاه بوده است. اهمیت این مسئله آنگاه بیشتر روشن می شود که توجه داشته باشیم Ca_2P اولین شکل معدنی فسفر آزاد شده در خاک است که در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه موثر می‌باشد.

References

Abolfazli F., Forghani A. and Norozi M. 2012. Effect of phosphorous and organic fertilizers fractions in submerged soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12 (2): 349-362.

Adhami E., Maftoon M., Rounaghi A., Karimian N., Yasrebi J. and Assad M.T. 2006. Inorganic phosphorus fractionation of highly calcareous soils of Iran. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 37: 1877-1888.

Allison L.E. and Moodie C.D. 1965. Carbonate. *In*: "Methods of Soil Analysis". Black C.A., Evans D.D., White L.J., Ensminger L.E. and Clark F.E. (Ed.) American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 1379-1396.

Blake L., Johnston A.E., Poulton P.R. and Goulding K.W.T. 2003. Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. *Plant and Soil*, 254: 245-261.

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*: C.A. Black (Ed.) Methods of Soil Analysis- Chemical and Microbiological Properties. *Agronomy*, 9: 891-901.

Dehgan R., Shariatmadari H. and Khademi H. 2008. Soil phosphorus forms in four toposequence of Isfahan and Shahrekord regions. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11(42): 463-472. (In Persian)

Foth H.D. and Ellis B.G. 1997. Soil Fertility .2nd Edition, CRC. Press. Boca, Raton, Florida 290p.

Guo F., Yost R.S., Hue N., Evensen C.I. and Silva J. A. 2000. Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. *Soil Science Society of America*, 64: 1681-1689.

Harrell D.L. and Wang J.J. 2006. Fractionation and sorption of inorganic phosphorus in Louisiana calcareous soils. *Soil Science*, 171: 39-51.

Hedly M.J., Stewart W.B. and Chauhan, B.S. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America*, 46: 970-976.

Jiang B. and Gu Y. 1989. A suggested fractionation scheme of inorganic phosphorus in calcareous soils. *Fertilizer Research*, 20: 159-165.

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.

Kuzmina N.A. 1997. Nitrogen, phosphorus and potassium concentrations and their balance in durum wheat plants during different growth stages. *In*: *Proceedings of the 13th International Plant Nutrition Colloquium on plant nutrition for sustainable food production and environment* (ed. T. Ando et al.), 13-19 Sept. 1997, Tokyo, Japan, pp. 97-98.

Archive of SID

www.SID.ir

Lilienfein J., Wilcke W., Ayarza M.A., Vilela L., Lima S.U.C. and Zech W. 2000. Chemical fractionation of phosphorus, sulphur, and molybdenum in Brazilian savannah oxisols under different land use. *Geoderma,* 96: 31-46.

Ma B., Zhou Z.Y., Zhang C.P., Zhang G. and Hu Y.J. 2009. Inorganic phosphorus fractions in the rhizosphere of xerophytic shrubs in the Alxa Desert. *Journal of Arid Environments,* 73, 55-61.

Mahmoudsoltani Sh. and Samadi A. 2003. Phosphorus fractionation of some calcareous soils in Fars province and their relationships with some soil properties. *Journal of Water and Soil Science,* 3(7): 119-128. (In Persian)

Malakooti M.J. and Keshavarz P. 2005. A Glance on the Fertility Status of Iranian Soils (Evaluation and Utilizeation). Ministry of Jihade- Agriculture, 514p. (In Persian)

Mostashari M., Muazardalan M., Karimian N., Hosseini H. and Rezai H. 2008. Phosphorus fractions of selected calcareous soils of Qazvin province and their relationships with soil characteristics. *American-Eurasian Journal Agriculture & Environment Science,* 3(4): 547-553.

Mostashari M. 2009. Evaluation of the efficiency of phosphorus uptake of calcareous soil in the planting process. Ph.D Thesis, Department of Soil Science, Agricultural Faculty. University of Tehran. 83p. (In Persian)

Naghizadeh-Asl Z. and Dordipoor E. 2013. The effect of wheat planting on forms of mineral phosphorus in loess soil of Golestan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production,* (4): 330-313. (In Persian)

Najafi N. and Towfighi H. 2012. Effects of rhizosphere of rice plant on the inorganic phosphorus fractions in the paddy soils (in North Iran) following P fertilizer application. *Iranian Journal of Soil and Water Research,* 43 (3): 231-242. (In Persian)

Nelson D.W. and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In*: Sparks D.L (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. SSSA Book Series No. 5. *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy*, Madison. pp. 961-1010.

Pettipas F.C. 2004. Soil and plant nutrient relationships in processing carrots. MSc. Thesis, Nova Scotia Agricultural College, Truro, Nova Scotia.

Samadi A. and Gilkes R.J. 1999. Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of southern Western Australia. *Soil Science Society of America,* 63: 809-815.

Samavati M. and Hosseinpoor A.R. 2009. Phosphorus fractions in some soils of Hamadan Province and their relation to available phosphorus soil. *Journal of Water and Soil Science,* 20 (2)**:** 234-248. (In Persian)

Singh Y., Dobermann A., Singh B., Bronson K.F., Bronson C.S. and Khind C.S. 2000. Optimal phosphorus management. Strategies for wheat-rice cropping on loamy sand. *Soil Science Society of America,* 64: 1413-1420.

Skudra I. and Skudra A. 2004. Phosphorus concentration in soil and in winter wheat plants. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress. Brisbance, Australia. Available at http://www.cropscience.org.au.

Tejada M., Hernandez M.T. and Garcia C. 2006. Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties. *Journal of Environmental Quality*, 35: 1010-1017.

Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. *In*: Sparks D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, pp. 1123-1184.

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

Zahedifar M., Karimian N., Ronaghi A.M., Yasrebi J. and Emam Y. 2011. Phosphorus and zinc distribution in different parts and various growth stages of wheat under field conditions. *Journal of Water and Soil Science*, 25 (3): 436-445. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of Triple Superphosphate and Wheat Cultivation on Mineral Phosphorus Forms in Calcareous Soils of Qazvin Plain

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

(Received: May 2016 Accepted: April 2017)

Abstract

Knowledge of soil phosphorus (P) mineral forms is important in soil fertility and plant nutrition. This study was conducted to evaluate of mineral P fractions with addition of triple superphosphate fertilizer and wheat cultivation in incubation and greenhouse conditions. Incubation test was performed in three soil types: Dizan, $Qaznin_1$ and $Qaznin_2$ with various amounts of available P which in each soil 50 mg kg^{-1} P used from triple super phosphate. Soil's P fractions including: Ca_2P, Ca_8P, AlP, FeP, OP and $Ca_{10}P$ were measured at 0, 45 and 90 days of incubation based on a complete randomized block design with three replications. Results showed that soil type effect on fixation of mineral P under incubation conditions and Dizan soil ranked in the first place. In this soil, Ca_2P: 67.5 and 73.8%, Ca_8P: 74.5 and 59.7%, AlP: 31.9 and 50.3 %, FeP: 47.9 and 63.7%, OP: 50.7 and 60% and $Ca_{10}P$: 62.8 and 69% were more than $Qaznin_1$ and $Qaznin_2$, respectively. By addition of 50 mg kg^{-1} P from TSP, concentrations of Ca_2P and Ca_8P increased in all soils and more in Dizan. The highest concentrations of Ca_2P, Ca_8P, AlP, FeP and OP achieved by T_{45} and $Ca_{10}P$ by T_{90} times. Greenhouse trial was conducted on three soils mentioned with 50 mg kg^{-1} P used from triple super phosphate and cultivated with wheat based on a complete randomized block design with three replications. The concentration of mineral P was higher than other soils under wheat cultivation in Dizan. Comparison of mineral P fractions under incubation and greenhouse conditions proved a reduction in P concentrations for Ca_2P: 30.63, Ca_8P: 12.1, AlP: 7.17 and FeP: 3.33 mg kg^{-1} .The amount of P fixation forms (Ca_2P) had an obvious decrease in association with wheat planting in the greenhouse.

Keywords: Calcareous, Incubation, Mineral phosphorus fractions, Soil series, Wheat

Archive of SID

1-PhD student of Soil Science, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Khuzestan, Iran.
2- Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3-Soil and Water Research Section, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural and Natural Resources Research Center, (AREEO), Qazvin, Iran.
4- Soil and Water Research Institute (AREEO), Karaj, Iran.
* Corresponding Author Email: e.panahpour@iauahvaz.ac.ir

www.SID.ir