مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هجدهم، شماره دوم، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های شالیزاری و روابط آن‌ها با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مورد مطالعه: خاک‌های شالیزاری شهرستان صومعه‌سرا استان گیلان)

شهرام محمود سلطانی[۱]، *ناصر دواتگر[۱]، مسعود کاوسی[۱] و فرحناز دریغ‌گفتار[۲]

[۱]استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، [۲]کارشناس مؤسسه تحقیقات برنج کشور

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۲۶

چکیده

اثرات درازمدت کاشت گیاه برنج در اراضی شالیزاری و تحت شرایط متفاوتی از مدیریت منابع کودی بر روی شکل‌های مختلف فسفر از منظر تغذیه‌ای و زیست‌محیطی بسیار با اهمیت است. سنجش کمی و کیفی شکل‌های مختلف فسفر در خاک دیدگاه روشنی از توانایی تامین فسفر برای گیاهان زراعی را پیش روی ما قرار می‌دهد. در این پژوهش تلاش شده است تا با اندازه‌گیری کمی شکل‌های مختلف فسفر در اراضی شالیزاری و یافتن روابط آن‌ها با ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک، به تأثیر این شکل‌های فسفر بر روی میزان فسفر قابل استفاده پرداخته شود. در ۱۰۳ نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) از شالیزارهای شهرستان صومعه‌سرا در استان گیلان و بر پایه توزیع جغرافیایی یکنواخت، فسفر معدنی با دامنه تغییرات ۱٤۲۷/۵-٦۰ و با میانگین ۳۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، در حدود ٦۲/٦ درصد از فسفر کل و فسفر آلی با دامنه تغییرات ۵۲۵-۲۵ و میانگین ۲۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۳۷/٤ درصد از فسفر کل (با دامنه تغییرات ۱٦۷۷/۵-۲۱۸ و با میانگین ۵٦۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) را در بر می‌گیرد. در بین شکل‌های مختلف فسفر معدنی، فسفر پیوندیافته با کلسیم (٦٤ درصد) غالب و به‌دنبال آن فسفر پیوندیافته با آهن با میانگین (۳۱/۳٤ درصد)، فسفر پیوندیافته با آلومینیوم (٤/٤ درصد) و فسفر محلول (۰/۲٦ درصد) قرار داشتند. فسفر پیوندیافته با کلسیم با pH (**۰/۵٦)، فسفر پیوندیافته با آهن و آلومینیم

* مسئول مکاتبه: n_davatgar@yahoo.com

با کربن آلی (**۰/٤)، فسفر آلی با گنجایش تبادل کاتیونی (**۰/٦٦) و فسفر محلول با کربن آلی (*۰/۲۰۵-) دارای بیش‌ترین همبستگی خطی معنی‌دار بودند. همچنین گنجایش تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم معادل و کربن آلی نسبت به سایر ویژگی‌های خاک تأثیر بیش‌تری بر فسفر قابل استفاده از خود نشان می‌دهند. بر پایه ضریب تبیین شده مدل‌های رگرسیونی خطی چندمتغیره نشان می‌دهد که فسفر پیوندیافته با کلسیم در بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بیش‌ترین تأثیر را به‌ترتیب از اسیدیته، کربن آلی، مقدار رس، گنجایش تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم معادل (*$Adj.R^2$=۰/٤٥٥)، می‌پذیرد و فسفر پیوندیافته با آلومینیوم تنها از کربن آلی (*۰/۱۵)، و فسفر پیوندیافته با آهن از اسیدیته و کربن آلی (*۰/۲۷٤) و نیز فسفر آلی از گنجایش تبادل کاتیونی و کربن آلی (*۰/٤۷۱) تأثیر می‌پذیرند. همچنین فسفر قابل استفاده با تمام شکل‌های فسفر همبستگی معنی‌داری در سطح ۵ درصد از خود نشان می‌دهند. اما بیش‌ترین تأثیر را به‌ترتیب از فسفر پیوندیافته با آلومینیم، فسفر آلی، فسفر محلول و در نهایت از فسفر پیوندیافته با کلسیم می‌پذیرند.

واژه‌های کلیدی: شکل‌های مختلف فسفر، خاک‌های شالیزاری، گیلان، خصوصیات خاک

مقدمه

فسفر در بین عناصر غذایی بعد از نیتروژن مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در بیش‌تر مناطق جهان و ایران می‌باشد. منابع فسفر محدود بوده و امکان اتمام آن‌ها وجود دارد (سالاردینی، ۱۹۹۵). برنج برای تولید هر تن محصول در حدود ۳-۲ کیلوگرم فسفر را از خاک خارج می‌کند (تیم‌سینا و کونر، ۲۰۰۱؛ سالک و همکاران، ۲۰۰۱). هنگامی‌که ترکیبات محلول فسفر به خاک اضافه می‌شوند، به اشکال کم‌محلول یا غیرمحلول تبدیل می‌گردند و در نتیجه قابلیت استفاده آن توسط گیاه کاهش می‌یابد (دهیلون و دوو، ۱۹۸۸). غیرقابل استفاده شدن فسفر در خاک شامل دو فرایند جذب سطحی و رسوب است. معمولاً اعتقاد بر این است که در غلظت‌های بالای فسفر، رسوب و در غلظت‌های پایین‌تر از این عنصر جذب سطحی انجام می‌گیرد. اجزای مختلف خاک که در جذب سطحی فسفر نقش دارند، شامل اکسیدهای آهن و آلومینیوم، مواد آلی، کربنات کلسیم و کانی‌های سیلیکاته خاک می‌باشند (اولسن و خازاونه، ۱۹۸۰).

شیمی فسفر در خاک‌ها بسیار پیچیده است، چرا که فسفر معدنی می‌تواند با عناصری مانند کلسیم، آهن و آلومنیم واکنش نموده و به فسفات‌های با قابلیت انفصال مجدد تبدیل گردد. همچنین فسفر آلی می‌تواند به شکل‌های مختلف با مقاومت‌های متفاوت به تجزیه میکروبی در خاک یافت شود. برای انجام پژوهش در خصوص شکل‌های معدنی فسفر و پیگیری سرنوشت تغییر شکل‌های فسفر موجود در کودهای شیمیایی پس از کاربرد در خاک راهبرد اصلی، تعیین شکل‌های فسفر از راه عصاره‌گیری متوالی برای کمی‌سازی شکل‌های مختلف فسفر در خاک بوده است. در این راستا از روش اصلاح شده چانگ و جاکسون (۱۹۵۷) به‌طور گسترده برای تعیین شکل‌ها و تغییر شکل فسفر خاک استفاده شده است، اگرچه مشکلات زیادی در تفسیر آن‌ها وجود دارد. روش دیگر تعیین شکل‌های مختلف فسفر براساس عصاره‌گیری متوالی توسط هدلی و همکاران (۱۹۸۲) معرفی شد که طی آن فسفرهای قابل دسترس (فسفر محلول در آب و فسفر عصاره‌گیری شده توسط بی‌کربنات سدیم) و فسفر متصل به کلسیم (فسفر عصاره‌گیری شده توسط اسید کلریدریک) و فسفرهای معدنی متصل به آهن و آلومینیم (فسفر عصاره‌گیری شده با هیدروکسید سدیم) به‌خوبی فسفر قابل استفاده و پایدار آلی قابل کمی‌سازی هستند. از بررسی شکل‌های مختلف فسفر به‌منظور تعیین و تفسیر روابط میان این شکل‌ها و نتایج آزمون‌های فسفر خاک (شارپلی و اسمیت، ۱۹۸۵؛ هایلین و کوار، ۲۰۰۰؛ لوپز- پینریو و گارسیا- ناوارو، ۲۰۰۱؛ سالک و همکاران، ۲۰۰٤)، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (صمدی و جیلکز، ۱۹۹۸؛ صمدی و جیلکز، ۱۹۹۹؛ تیلر، ۲۰۰۲؛ محمود سلطانی و صمدی، ۲۰۰۳؛ سمواتی و حسین‌پور، ۲۰۰٦) و جذب سطحی و چرخه فسفر در خاک (هالفورد و متینگلی، ۱۹۷۵؛ شارپلی، ۱۹۸۵؛ ریان و همکارن، ۱۹۸۵؛ پناو تورنت، ۱۹۹۰؛ بخیت‌سعید و داکرمنجی، ۱۹۹۳؛ سویی و تامپسون، ۱۹۹۹؛ سویی و تامپسون، ۲۰۰۰؛ انووک و وان‌لائو، ۲۰۰۳؛ اختر و همکاران، ۲۰۰۳) نیز استفاده شده است. بک و سانچز (۱۹۹٤) و کولاول و تیان (۲۰۰۷) اثر کشت گیاهان زراعی و مک‌گیل و کول (۱۹۸۱) و گریفن و همکاران (۲۰۰۳) تأثیر مواد آلی را بر شکل‌های مختلف فسفر در خاک بررسی نمودند.

صمدی و جیلکز (۱۹۹۸) در مطالعات خود در خاک‌های آهکی غرب استرالیا نشان دادند که فسفر معدنی خاک در ٦ گروه شامل: فسفر پیوندیافته با کلسیم (Ca-p)، فسفر پیوندیافته با آلومینیوم (Al-P)، آپاتیت (Ca10-P)، اکتافسفات کلسیم (Ca8-P)، فسفر پیوندیافته با آهن (Fe-P) و فسفر محبوس شده درون اکسیدهای آهن (O-P) طبقه‌بندی می‌شود. تکچند و تومار (۱۹۹۳) از روش اصلاح‌شده چانگ و جکسون برای ارزیابی سرنوشت فسفر افزوده شده به خاک و اثر ویژگی‌های خاک در تغییر

شکل فسفر، در ۲۸ خاک قلیایی از مناطق هاریانا و اوتار پرادش هند استفاده کرده و نشان دادند که تغییر شکل فسفر افزوده شده، به فسفر آسان رها با افزایش گنجایش تبادل کاتیونی، قابلیت هدایت الکتریکی، آهن فعال، کربن آلی و فسفر قابل استفاده گیاه (قابل عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم) به‌طور لگاریتمی کاهش یافت. محمود سلطانی و صمدی (۲۰۰۳) در تعدادی از خاک‌های آهکی استان فارس گزارش کردند که فسفر آلی و فسفرهای پیوندیافته با کلسیم فقط با درصد رس و فسفرهای پیوندیافته با آهن و آلومینیوم با درصد رس و کربنات کلسیم دارای رابطه آماری معنی‌دار بودند. آن‌ها مهم‌ترین عامل در قابلیت استفاده فسفر در این خاک‌ها را درصد رس بیان کردند. سالک و کریک (۱۹۹۵) و سالک و همکاران (۲۰۰٤) در بررسی وضعیت شکل‌های مختلف فسفر در اراضی شالیزاری بنگلادش از تفکیک فسفر به شکل‌های فسفرهای پیوندیافته با کلسیم، فسفرهای پیوندیافته با آهن و آلومینیم، فسفر آلی، فسفر باقی‌مانده و شکل قابل جذب آن یاد کردند و بیان داشتند که در این خاک‌ها گیاه برنج بیش‌ترین مقدار فسفر مورد نیاز خود را در قالب فسفر قابل استفاده از فسفر آهن و آلومینیم و در نهایت از فسفر متصل به کلسیم دریافت می‌کند و تخلیه این سه شکل فسفر به معدنی شدن فسفر آلی و تغییر شکل انواع پایدارتر آن می‌انجامد. گیاه برنج در خاک‌هایی که محتوای تغذیه‌ای آن برای فسفر فقط از منابع بومی خاک تامین می‌شود، می‌تواند آن را از منابع ذخیره‌ای به شکل‌های مختلف فسفر در خاک جذب نماید (رددی و همکاران ۲۰۰۰).

شکل‌های مختلف فسفر در خاک می‌توانند بر حاصل‌خیزی خاک و فسفر قابل استفاده تأثیر داشته باشد. ملکوتی و کاووسی (۲۰۰٤) حد بحرانی فسفر قابل استفاده در اراضی شالیزاری را ۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اعلام نمودند. خروج پیوسته فسفر به همراه مصرف کم و یا مصرف نکردن منابع کودهای فسفره در اراضی شالیزاری شمال کشور در سال‌های اخیر باعث تغییر و کاهش احتمالی ذخیره شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های شالیزاری شده است و این موضوع ارزیابی وضعیت ذخیره فسفر را در خاک‌های شالیزاری کشور مهم می‌نماید. بررسی شکل‌های مختلف فسفر و آگاهی یافتن از وضعیت آن‌ها در بهینه‌سازی مصرف منابع کودی فسفره و کاهش اثرات سوء زیست‌محیطی آن مؤثر خواهد بود. این پژوهش با هدف تعیین شکل‌های مختلف فسفر در اراضی شالیزاری، یافتن روابط آن‌ها با ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک و اثر شکل‌های مختلف فسفر بر فسفر قابل استفاده انجام شد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: در این پژوهش ۱۰۳ نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) از شالیزارهای شهرستان صومعه‌سرا در استان گیلان به‌گونه‌ای انتخاب شدند که از توزیع جغرافیایی یکنواخت برخوردار باشند. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوا از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شدند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بافت خاک به روش هیدرومتر؛ pH خمیر اشباع با استفاده از الکترود شیشه‌ای، ماده آلی به روش والکی‌بلاک، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید، و گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم در pH ۷ اندازه‌گیری شد (کلوت، ۱۹۸۵).

جداسازی شکل‌های شیمیایی فسفر معدنی و اندازه‌گیری فسفر آلی: برای جداسازی و تعیین شکل‌های شیمیایی فسفر معدنی از روش چانگ و جکسون اصلاح شده توسط کوئو (۱۹۹٦) استفاده شد. در این روش عصاره‌گیری دنباله‌ای شکل‌های مختلف فسفر با استفاده از: ۱) کلرید آمونیوم ۱ مولار برای عصاره‌گیری فسفر محلول، ۲) فلوراید آمونیوم ۰/۵ مولار برای استخراج فسفرهای پیوندیافته با آلومینیم، ۳) هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار برای استخراج فسفرهای پیوندیافته با آهن و ٤) اسید سولفوریک ۰/۲۵ مولار برای استخراج فسفرهای پیوندیافته با کلسیم به‌کار رفت (جدول ۱). فسفر قابل استفاده، فسفر کل و فسفر آلی به روش اولسون و سامرز (۱۹۸۲) تعیین شدند. فسفر موجود در همه عصاره‌ها به روش مورفی و رایلی (۱۹٦۲) اندازه‌گیری شده و محاسبات آمار توصیفی و تجزیه و تحلیل روابط آماری داده‌ها با استفاده از بسته نرم‌افزاری SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و شکل‌های مختلف فسفر: آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و شکل‌های مختلف فسفر ۱۰۳ نمونه از خاک‌های شالیزاری مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است. بر پایه نتایج این جدول، به غیر از کربنات کلسیم معادل بقیه خصوصیات پایه خاک از چولگی و کشیدگی کم برخوردار بودند. ضریب تغییرات کربنات کلسیم معادل نیز نسبت به سایر خصوصیات پایه بیش‌تر بود. فسفر محلول در میان شکل‌های مختلف فسفر محلول دارای بیش‌ترین ضریب تغییرات و به‌دنبال آن فسفر پیوندیافته با آلومینیم و فسفر پیوندیافته با آهن قرار دارد. بیش‌ترین چولگی و کشیدگی نیز در فسفر محلول خاک دیده شده است. بالا بودن چولگی، کشیدگی و ضریب تغییرات نشان‌دهنده توزیع فراوانی غیرنرمال در متغیر مورد بررسی می‌باشد.

شکل‌های مختلف فسفر: بر پایه نتایج آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و شکل‌های مختلف فسفر مندرج در جدول ۲، فسفر معدنی با دامنه تغییرات ۱٤۲۷/۵–٦۰ و میانگین ۳۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، ٦۲/٦ درصد از فسفر کل با دامنه تغییرات ۱٦۷۷/۵–۲۱۸ و میانگین ۵٦۳ میلی‌گرم در کیلوگرم را شامل می‌شود.

شکل‌های مختلف فسفر معدنی در اراضی شالیزاری شهرستان صومعه‌سرا شامل فسفر پیوندیافته با کلسیم (Ca-P) با دامنه تغییرات ۸۰۰–۲۰ و میانگین ۲۲٦ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد که ٦٤ درصد از فسفر معدنی را در بر می‌گیرد. بیش‌ترین غلظت Ca-P در یک نمونه خاک (که در آن Ca-P نزدیک به ۵۰ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد) با اسیدیته برابر با ۷/۵۵ و کربنات کلسیم معادل ٦/٦۸ درصد دیده می‌شود که مقدار کربنات کلسیم آن از مقدار میانگین بیش‌تر است. اما، همیشه بالا بودن pH و کربنات کلسیم منطبق با Ca-P زیاد نیست. بعضی از خاک‌های شالیزاری منطقه به‌رغم دارا بودن کربنات کلسیم زیاد (بیش از ۱۱ درصد) از Ca-P بالایی برخوردار نبودند. در این خاک شکل‌های فسفر پیوندیافته با آهن، آلومینیم و فسفر محلول نیز وجود نداشت. این موضوع می‌تواند ناشی از کشت مستمر گیاه برنج بدون مصرف کود فسفاته باشد که در نتیجه کاهش فسفر بومی (فسفر معدنی) خاک مانند Ca-P را به‌دنبال خود خواهد داشت. سالک و همکاران (۲۰۰٤) نشان دادند که Ca-P کمک فوری به غنی‌سازی منابع ذخیره‌ای فسفر در اراضی شالیزاری نمی‌کند مگر آن‌که سایر شکل‌های فسفر توسط گیاه مصرف شوند، در این صورت است که این شکل از فسفر قابلیت تحرک‌یافته و امکان جذب می‌یابد. سالک و کریک (۱۹۹۵) نیز در یک مطالعه گلخانه‌ای نشان دادندکه فقط ۰/۲۵ درصد از فسفر کل که توسط گیاه جذب می‌شود، مربوط به Ca-P است. کم‌ترین غلظت فسفر پیوندیافته با کلسیم در یک خاک با pH برابر با ۵/۵۷ و بافت لوم مشاهده شد. در این خاک فسفر پیوندیافته با آلومینیم بیش‌تر از سایر شکل‌های فسفر معدنی بود. همچنین غلظت فسفر معدنی در این خاک نیز بیش‌تر از بقیه خاک‌ها است.

دامنه تغییرات فسفر پیوندیافته با آلومینیوم (Al-P) و آهن (Fe-P) گسترده بود. دامنه تغییرات (Al-P) ۱۳۰–۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، با میانگین ۱۵/٦۳ میلی‌گرم درکیلوگرم بود که ۱۲/۵ درصد از فسفرهای پیوندیافته با آهن و آلومینیوم و ٤/٤ درصد از فسفر معدنی را تشکیل می‌دهد. در ٤٤ نمونه خاک (٤۳ درصد از خاک‌های مورد بررسی) فسفر پیوندیافته با آلومینیم (Al-P) وجود نداشت. نتایج نشان می‌دهند که ۳۲ درصد از این ٤٤ خاک دارای اسیدیته کم‌تر از ۷ و بقیه دارای pH بین ۷/۷–۷ بوده و کربن آلی در ۷۰ درصد از این خاک‌ها نیز بیش‌تر از ۲ درصد می‌باشد.

فسفر پیوندیافته با آهن (Fe-P) دارای دامنه ۵۹۰-۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، با میانگین ۲۲۰/٦ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که ۸۷/۵ درصد از فسفرهای پیوند شده با آهن و آلومینیم و ۳۱/۳٤ درصد از فسفر معدنی را تشکیل می‌دهند. کم‌ترین غلظت Al-P (صفر میلی‌گرم در کیلوگرم) در ۲۱ نمونه خاک منطقه دیده شده است. در ۷۰ درصد از این ۲۱ خاک pH بیش‌تر از ۷ می‌باشد. لازم به ذکر است که در ۱۷ نمونه خاک نیز غلظت فسفرهای پیوندیافته با آهن و آلومینیم بسیار ناچیز و قابل کمی‌سازی نبوده است. مقایسه میانگین‌های این دو شکل از فسفر معدنی با شکل‌های دیگر از فسفر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که این دو جزء در اراضی شالیزاری در فرآیند جذب مستمر فسفر توسط گیاه برنج بدون جایگزینی منابع کودی فسفر در خاک، کاهش بیش‌تری نشان می‌دهند. به احتمال زیاد این شکل‌های فسفر سهم بیش‌تری در تغذیه فسفر، قابلیت دسترسی بیش‌تری برای گیاه و افزایش منبع فسفر قابل استفاده خاک برخوردار هستند. بک و سانچز (۱۹۹٤) در یک ارزیابی ۱۸ ساله از وضعیت فسفر در خاک‌های اراضی شالیزاری گزارش کردند که فسفرهای پیوندیافته با آهن و آلومینیم شکل غالب فسفر برای دسترسی گیاه به نیاز غذایی فسفر بوده‌اند. شارپلی و اسمیت (۱۹۹۵) تغییرات این دو شکل از فسفر در ابتدا و انتهای فصل کشت را دلیل این موضوع بیان کردند. سالک و همکاران (۲۰۰٤) نیز عقیده دارند که گیاه برنج در اراضی شالیزاری بیش‌ترین مقدار فسفر مورد نیاز خود را پس از فسفر محلول از فسفرهای پیوندیافته با آهن و آلومینیم جذب می‌نماید.

فسفر محلول (Sol-P) دارای دامنه تغییرات غلظت بین ۱۲/۵-۰ با میانگین ۰/۵۵٦ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در ۸۷ نمونه خاک منطقه (بیش از ۸٤ درصد اراضی شالیزاری مورد بررسی) غلظت Sol-P بسیار ناچیز و قابل کمی کردن نبود. گریفن و همکاران (۲۰۰۳) عقیده دارند که اگرچه افزایش هر گونه منبع کود فسفره به خاک باعث افزایش سریع Sol-P می‌شود. اما، این فسفر به‌دلیل دسترسی آسان گیاه به آن در طی فصل رشد، از تغییرات معنی‌داری برخوردار نبود. سالک و همکاران (۲۰۰٤) بیان داشتند Sol-P به‌عنوان منبع حدواسطی برای جذب فسفر توسط گیاه بوده و غلظت آن کم و حتی میانگین آن در اعماق مختلف خاک‌های شالیزاری با هم تفاوت معنی‌داری ندارد.

فسفر آلی (Org-P) دارای دامنه تغییرات غلظت ۵۲۵-۲۵، با میانگین ۲۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که در حدود ۳۷/٤ درصد از فسفر کل را در بر می‌گیرد. بیش‌ترین غلظت آن منطبق با بیش‌ترین میزان کربن آلی (٦/٤٦ درصد) در یکی از خاک‌های مورد مطالعه دیده شده است. مقایسه میانگین غلظت شکل‌های مختلف فسفر نشان می‌دهد که فسفر آلی به همراه Ca-P دارای بیش‌ترین میانگین در

بین شکل‌های فسفر می‌باشند. سالک و کریک (۱۹۹۵) در ارزیابی اثر کاربرد کودهای شیمیایی و دامی در تعیین شکل‌های مختلف فسفر در اراضی شالیزاری فیلیپین نشان دادند که فسفر آلی دارای بیش‌ترین میانگین در بین شکل‌های مختلف فسفر بوده است. یکی از دلایل اختمالی برای بالا بودن غلظت این نوع از فسفر در اراضی شالیزاری منطقه مورد مطالعه به جذب کم‌تر فسفر مورد نیاز گیاه برنج از این منبع بر می‌گردد. سالک و کریک (۱۹۹۵) و سویی و تامپسون (۱۹۹۹) در بررسی مصرف شکل‌های مختلف فسفر به‌عنوان منبع فسفر قابل استفاده بر این نکته تأکید داشتند که شرایط غرقابی و بی‌هوازی ایجاد شده باعث محدود شدن فعالیت میکروبی مؤثر در فرآیند معدنی شدن فسفر آلی می‌شود و با کُند شدن این فرآیند، فسفر آلی در خاک تجمع پیدا می‌کند. به عقیده مک‌گیل و کول (۱۹۸۱) تنها در شرایطی که افزودن فسفر معدنی به خاک محدود شود، فرآیند معدنی شدن فسفر آلی رخ داده و جبران کمبود فسفر مورد نیاز گیاه را می‌نماید. سویی و تامپسون (۲۰۰۰) و اختر و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی تأثیر مواد آلی خاک بر شکل‌های مختلف فسفر بیان داشتند که افزودن مواد آلی یا زیاد بودن ذاتی مواد آلی خاک در اراضی شالیزاری سبب افزایش غلظت فسفر محلول و فسفر آلی در این خاک‌ها می‌شود، اگرچه این شکل از فسفر به‌طور مستقیم قابل دسترس برای گیاه برنج نبوده ولی از نظر بیوشیمیایی فعال بوده و می‌تواند پس از تخلیه فسفر قابل استفاده گیاه با معدنی شدن به افزایش آن کمک نماید. این پژوهندگان دلیل این تأثیر را کاهش توانایی خاک در تثبیت و نگه‌داری فسفر در خاک، افزایش منافذ بزرگ و کمک به تحرک بیش‌تر فسفر در نیم رخ خاک و فعالیت بیولوژیکی موجودات زنده خاک‌زی در اراضی شالیزاری عنوان نمودند.

فسفر قابل استفاده (عصاره‌گیری شده به روش اولسن) نیز دارای تغییرات وسیعی بود. دامنه غلظت این شکل از فسفر ۸۸/۲-۱/۳، با میانگین ۱۹/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است. با توجه به حد بحرانی فسفر در اراضی شالیزاری شمال کشور (۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم)، (ملکوتی و کاووسی، ۲۰۰٤) ٤٥/٦ درصد از خاک‌های منطقه مورد مطالعه از کمبود فسفر رنج می‌برند. علت بالا بودن فسفر قابل استفاده در بیش‌تر خاک‌های مطالعه شده را می‌توان به کوددهی مستمر و بی‌تحرکی فسفر در خاک که باعث افزایش مقدار فسفر ذاتی خاک در این مناطق می‌شود، نسبت داد که به‌عنوان منبعی برای جبران فسفری دانست که توسط گیاه مصرف می‌شود. سالک و کریک (۱۹۹۵) عنوان نمودند که در اراضی پست شالیزاری تحت شرایط اشباع و غرقابی غلظت فسفر قابل استفاده افزایش پیدا می‌کند. این تغییرات به‌علت تفاوت اسیدیته خاک در اطراف ریشه گیاه زراعی برنج است. اما، از آنجایی‌که این گیاه نمی‌تواند تمام فسفر در

دسترس ایجاد شده را مصرف نماید این فسفرهای محلول و قابل جذب در اثر پدیده پخشیدگی به نقاطی دورتر از اطراف ریشه رفته و توزیع یکنواخت‌تری را در خاک ایجاد می‌کند. از سوی دیگر مصرف بی‌رویه کودهای فسفره در سال‌های پیشین سبب تبدیل ارتو فسفات‌های قابل جذب به شکل‌های دیگر می‌شود. به عقیده کوئو (۱۹۹٦) تغییرات شدید غلظت فسفر قابل استفاده در خاک‌های یک منطقه دور از انتظار نیست. در این خاک‌ها احتمالاً به‌دلیل مصرف متفاوت کودهای فسفره و سرعت متفاوت تبدیل شکل‌های محلول فسفر به شکل‌های با حلالیت کم‌تر، غلظت‌های متفاوت از فسفر قابل استفاده در خاک می‌تواند وجود داشته باشد. سالک و همکاران (۲۰۰٤) نشان دادند که در خاک‌های به‌نسبت جوان مانند اینسپتی‌سول‌ها، در مقایسه با خاک‌های بالغ‌تر فسفر قابل استفاده بیش‌تری یافت می‌شود، زیرا در خاک‌های بالغ مانند التی‌سول‌ها و خاک‌های با pH پایین، به‌علت فراوانی یون‌های Fe^{+3} و Al^{+3} فسفر قابل جذب به شکل‌های کم‌محلول‌تر تبدیل می‌شود.

رابطه شکل‌های مختلف فسفر با یکدیگر و با خصوصیات خاک: ضریب‌های همبستگی خطی بین شکل‌های مختلف فسفر و ویژگی‌های خاک‌های مطالعه شده در جدول ۳ نشان داده شده است. بیش‌ترین همبستگی خطی معنی‌دار بین فسفر پیوندیافته با کلسیم با pH (۰/٥٦**) و سپس با کربنات کلسیم معادل (۰/۳۷**)، فسفر پیوندیافته با آهن با کربن آلی (۰/٤**)، فسفر آلی با گنجایش تبادل کاتیونی (۰/٦٦**) و به‌دنبال آن با کربن آلی (۰/٥۸**) می‌باشد. همبستگی خطی فسفر محلول تنها با کربن آلی معنی‌دار اما ضعیف است (۰/۲۱). به‌نظر می‌رسد علت آن به متفاوت بودن گونه‌های شیمیایی فسفر در محلول خاک مربوط باشد که از نظر تحرک و اثر متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک در شرایط متفاوتی قرار دارد. تأثیر ویژگی‌های خاک مانند pH، کربن آلی، درصد رس و گنجایش تبادل کاتیونی بر شکل‌های مختلف فسفات، به‌وسیله پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (ریان و همکاران، ۱۹۸٥؛ صمدی و جیلکز، ۱۹۹۸؛ صمدی و جیلکز، ۱۹۹۹؛ محمود سلطانی و صمدی، ۲۰۰۳؛ سمواتی و حسین پور، ۲۰۰٦). بخیت‌سعید و داکرمنجی (۱۹۹۳) نشان دادند که بین فسفر قابل استفاده و میزان کربنات کلسیم همبستگی معنی‌دار وجود ندارد. ریان و همکاران (۱۹۸٥) دریافتند که میان اکسیدهای آهن و فسفر قابل استفاده رابطه معنی‌داری برقرار است. در حالی‌که کربنات کلسیم هیچ تأثیری بر آن نداشته است. شارپلی و اسمیت (۱۹۸٥) رابطه منفی و معنی‌داری بین قابلیت استفاده فسفر با میزان کربنات کلسیم برای گروهی از خاک‌های آهکی ایالات متحده آمریکا به‌دست آوردند. از

سایر خصوصیات که در فسفر قابل استفاده در خاک مهم می‌باشد، اسیدیته خاک است. کاهش فسفر قابل استفاده در خاک با افزایش pH، توسط انووک و وان‌لائو (۲۰۰۳) نشان داده شد که علت آن افزایش بار منفی یا بار متغیر کلوئیدهای خاک می‌باشد، که سبب دفع الکترواستاتیک یون‌های ارتوفسفات می‌شود. تیلر (۲۰۰۲) در خاک‌های غیرحاصل‌خیز شرق سوئد نشان داده که اجزای فسفر معدنی پیوند شده با آهن، آلومینیوم و کلسیم رابطه نزدیکی با اسیدیته خاک دارند و بین یون‌های ارتوفسفات پیوند شده با آهن و pH رابطه خطی و منفی وجود دارد. محمود سلطانی و صمدی (۲۰۰۳) در تعدادی از خاک‌های آهکی استان فارس به‌منظور یافتن بهترین مدل رگرسیونی گزارش کردند که برای فسفر آلی و فسفر پیوندیافته با کلسیم فقط درصد رس و برای فسفر پیوندیافته با آهن و آلومینیوم، درصد رس و کربنات کلسیم معادل از نظر آماری معنی‌دار بودند. آن‌ها عوامل مهم در قابلیت استفاده فسفر در این خاک‌ها را میزان رس بیان کردند. پژوهش‌گران بسیاری تأثیر کم و یا تأثیر نداشتن مقدار کربنات کلسیم معادل را در جذب فسفر گزارش کرده‌اند. سمواتی و حسین‌پور (۲۰۰۶) در بررسی شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های همدان بیان داشتند که بر پایه ضرایب همبستگی بین اجزای مختلف فسفر و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: درصد رس، گنجایش تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی خاک، اثر معنی‌داری بر شکل‌های مختلف فسفر معدنی و فسفر آلی داشتند.

اثر متقابل ویژگی‌های خاک با غلظت فسفر استخراج شده به‌وسیله عصاره‌گیرهای مختلف و با استفاده از مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی گام به گام نشان می‌دهد که متغیرهای درصد رس، اسیدیته، گنجایش تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل و کربن آلی رابطه معنی‌داری با فسفر پیوندیافته با کلسیم داشتند. این ٤ متغیر بر پایه ضریب تبیین تعدیل شده ٤٥/٥ درصد از تغییرات Ca-P را تشریح می‌نمایند (جدول ٤). در میان این متغیرها pH و به‌دنبال آن کربن آلی با توجه به ضرایب β بیش‌ترین سهم را در تغییرات Ca-P داشتند. سهم درصد رس و گنجایش تبادل کاتیونی در مقایسه با مقدار کربنات کلسیم در این مدل بیش‌تر و به‌نظر می‌رسد اندازه ذرات کربنات کلسیم به‌ویژه در ابعاد رس نقش مهم‌تری در جذب سطحی فسفر در مقایسه با مقدار کل کربنات کلسیم معادل داشته باشد. پژوهندگان بسیاری از جمله محمود سلطانی و صمدی (۲۰۰۳)، صمدی و جیلکز (۱۹۹۸) و تکچند و تومار (۱۹۹۳) تأثیر مهم رس، گنجایش تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم معادل را بر قابلیت فراهمی

فسفر در خاک‌های آهکی بیان کرده‌اند. هالفورد و متینگلی (۱۹۷۵) گزارش کردند واکنش‌پذیری کربنات کلسیم به مقدار کل کربنات کلسیم بستگی نداشته بلکه به سطح ویژه کربنات کلسیم، که در ارتباط با توزیع اندازه ذره کربنات کلسیم است، بستگی دارد. ریان و همکاران (۱۹۸۵) اهمیت اکسیدهای آهن و اندازه ذرات کربنات کلسیم را در جذب فسفر به‌وسیله خاک‌های آهکی، با استفاده از ضرایب همبستگی و رگرسیونی بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که مقدار کربنات کلسیم تأثیر چندانی بر جذب فسفر ندارد. همچنین پنا و تورنت (۱۹۹۰) گزارش کردند واکنش‌پذیری کربنات کلسیم به سطح ویژه کربنات کلسیم، که نشانه توزیع اندازه ذرات کربنات کلسیم خاک است، بستگی دارد، نه به مقدار کل کربنات کلسیم.

فسفر پیوندیافته با آهن دارای رابطه معنی‌دار، اما ضعیف با pH و کربن آلی است. فسفر آلی با گنجایش تبادل کاتیونی و کربن آلی ارتباط معنی‌دار داشته و با توجه به ضریب β سهم کربن آلی در مقایسه با گنجایش تبادل کاتیونی بیش‌تر است (جدول ٤). فسفر پیوندیافته با آلومینیوم و فسفر محلول تنها با کربن آلی دارای رابطه معنی‌دار اما ضعیف هستند. نکته دارای اهمیت این است که به‌استثنای Ca-P، در بقیه شکل‌های فسفر، کربن آلی به‌عنوان یک عامل مؤثر نقش مهمی در توجیه رفتار این شکل‌ها دارد. کولاول و تیان (۲۰۰۷) بیان کردند مواد آلی دارای ظرفیت کلاته‌کننده معنی‌داری هستند که فعالیت کاتیون‌های چندظرفیته (Al، Fe و Ca) تثبیت‌کننده فسفر را کم می‌کنند تا با تشکیل کمپلکس آلی- فلزی، فسفر را از شکل‌های تثبیت شده آن به محلول خاک آزاد کنند.

همبستگی خطی شکل‌های مختلف فسفر با یکدیگر و با فسفر قابل استفاده در جدول ٥ نشان داده شده‌اند. بیش‌ترین همبستگی خطی معنی‌دار فسفر قابل استفاده با فسفر پیوندیافته با آلومینیم (**٠/٩٤) و به‌دنبال آن فسفر پیوندیافته با آهن (**٠/٨٤) است. همبستگی خطی فسفر پیوندیافته با آهن با فسفر پیوندیافته با آلومینیوم قوی و معنی‌دار می‌باشد (**٠/٨٥) و فسفر پیوندیافته با آلومینیم نیز با فسفر محلول (**٠/٧٣) همبستگی قوی و معنی‌دار داشته است. رابطه سایر شکل‌های فسفر با یکدیگر معنی‌دار ولی ضعیف است. بر پایه ضریب تبیین تعدیل شده فسفر قابل استفاده در خاک‌های مورد ارزیابی تحت‌تأثیر فسفر پیوندیافته با آلومینیم، فسفر آلی، فسفر محلول و در نهایت فسفر پیوندیافته با کلسیم قراردارد و این شکل‌های فسفر ۹۰ درصد از رفتار فسفر قابل استفاده را توجیه می‌کند (جدول ٤). در این میان سهم فسفر پیوندیافته با آلومینیم بیش از دیگر شکل‌ها می‌باشد. این روابط نشان می‌دهند که این اجزاء احتمالاً می‌توانند در تأمین فسفر قابل استفاده گیاه نقش داشته باشند.

صمدی و جیلکز (۱۹۹۸) گزارش کردند که در خاک‌های استرالیا فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن همبستگی معنی‌داری با فسفر پیوندیافته با آلومینیم، فسفر پیوندیافته با آهن، آپاتیت، دی‌کلسیم فسفات و فسفر کل داشت. لوپز- پینریو و گارسیا- ناوارو (۲۰۰۱) گزارش کردند که در خاک‌های اسپانیا فسفر قابل دسترس عصاره‌گیری شده با کلرید آمونیوم ۱ مولار همبستگی معنی‌داری با فسفر پیوندیافته با آلومینیوم داشت. سمواتی و حسین‌پور (۲۰۰٦) در بررسی وضعیت فسفر در ۵۳ خاک منطقه همدان براساس نتایج مطالعات همبستگی نشان داد که فسفر قابل دسترس (فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن) همبستگی معنی‌داری با فسفر پیوندیافته با کلسیم، فسفر پیوندیافته با آلومینیوم، و فسفر پیوندیافته با آهن و فسفر محلول داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که فسفر معدنی با میانگین ۳۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، در حدود ٦۲/٦ درصد از فسفر کل و فسفر آلی با میانگین ۲۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۳۷/٤ درصد از فسفر کل را در بر می‌گیرد. در بین شکل‌های مختلف فسفر معدنی، فسفر پیوندیافته با کلسیم غالب و به‌دنبال آن فسفر پیوندیافته با آهن با میانگین، فسفر پیوندیافته با آلومینیوم و فسفر محلول قرار داشتند. دامنه تغییرات فسفر قابل استفاده و همچنین شکل‌های فسفر در خاک‌های منطقه زیاد بوده و با برخی از ویژگی‌های خاک همبستگی معنی‌داری دارند. گنجایش تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل و کربن آلی نسبت به سایر ویژگی‌های خاک تأثیر بیش‌تری بر فسفر قابل استفاده از خود نشان دادند. فسفر پیوندیافته با کلسیم در بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بیش‌ترین تأثیر را به‌ترتیب از اسیدیته، کربن آلی، مقدار رس، گنجایش تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم معادل، فسفر پیوندیافته با آلومینیوم تنها از کربن آلی، فسفر پیوندیافته با آهن از اسیدیته و کربن آلی و فسفر آلی از گنجایش تبادل کاتیونی و کربن آلی می‌پذیرند. فسفر قابل استفاده با فسفر پیوندیافته با کلسیم، فسفر پیوندیافته با آهن، فسفر پیوندیافته با آلومینیوم و فسفر محلول همبستگی معنی‌داری قوی دارند که نشان می‌دهد این شکل‌ها احتمالاً می‌توانند به‌عنوان منبع بومی در تأمین فسفر قابل استفاده گیاه نقش داشته باشند. در اراضی شالیزاری مورد بررسی بیش‌ترین تأثیر را از فسفر پیوندیافته با آلومینیم و فسفر محلول و در نهایت از فسفر پیوندیافته با کلسیم می‌پذیرند.

جدول ۱- تفضیل روش عصاره‌گیری دنباله‌دار برای تعیین شکل‌های مختلف فسفر.

مرحله	عصاره‌گیر	نسبت سوسپانسیون	زمان تکان دادن (دقیقه)	شکل فسفر
۱	۱ مولار NH_4Cl	۱:۵۰	۳۰	فسفر محلول
۲	۰/۵ مولار NH_4F	۱:۵۰	٦۰	فسفر پیوندیافته با آلومینیم
۳	۰/۱ مولار NaOH	۱:۵۰	۱۰۲۰	فسفر پیوندیافته با آهن
٤	۰/۲ مولار H_2So_4	۱:۵۰	٦۰	فسفر پیوندیافته با کلسیم
۵	۲ مولار H_2So_4	۱:۲۵	۱۰۲۰	فسفر آلی

جدول ۲- آمار توصیفی شکل‌های مختلف فسفر و خصوصیات خاک.

خصوصیت	کمینه	بیشینه	میانگین	واریانس	چولگی*	کشیدگی**	ضریب تغییرات
اسیدیته	٤/۹۳	۷/۹٦	٦/۹٦	۰/۵٤۵	-۰/۸۸۸	-۰/۱۹۳	۱
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۰/۰	۲۱/٦	۳/۰۷	۱۳/۷	۲/٤۱۳	۷/۱۳۷	۱۲
گنجایش تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بر کیلوگرم)	۱۳/۰	۵۵/۰	۲۹/۰۲	۸٦/۲۷	۰/۵۹۹	-۰/۱۵۹	۳
کربن آلی (درصد)	۰/۹۹	٦/٤٦	۲/٤۳	۱/۱۷	۱/۳۷٤	۲/۵٦٤	٤
شن (درصد)	۳/۰	٤۸/۰	۱۹/۳۷	۸٦/۵۷	۱/۰۰٤	۰/٦٤۲	٤/۷
سیلت (درصد)	۳٤/۰	٦٦/۰	٤۹/۰۸	۵۹/۹۳	۰/۱۳۸	-۰/۸۲۳	۱/۵
رس (درصد)	۱۱/۰	۵٤/۰	۳۱/۳۸	۹۰/٤۵	۰/۳۰۸	-۰/۵۵۵	۳
فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱/۳	۸۸/۲	۱۹/۹۳	۳۵٤/٤٤	۱/٦۲۹	۲/۲۱۷	۹/٤
فسفر آلی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۵/۰	۵۲۵/۰	۲۱۱/۰۰	۱۰۳۷۲/۸	۰/٦۳۷	۰/۱۷۲	٤/۷
فسفر پیوندیافته با کلسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۰/۰	۸۰۰/۰	۲۲٦/۰۷	۱۹۷۲۳/۳٦	۰/۹۳۹	۱/۵٦۹	٦
فسفر پیوندیافته با آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۰	۵۹۰/۰	۱۱۰/٦	۱۹۹۲۱/۲۷	۱/۵٦۱	۱/۸٤۲	۱۲
فسفر پیوندیافته با آلومینیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۰	۱۳۰/۰	۱۵/٦۳	٦۹۷/۳۹۲	۲/۵۳۲	٦/۷٤۳	۱٦/٦
فسفر محلول (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۰	۱۲/۵	۰/٦٦	۳/٤	۳/۸۲۲	۱۹/۹٦۸	۲۷
فسفر معدنی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۵۵/۰	۱٤۲۷/۵	۳۵۲/۹٤	۵۱٦۰۷/٤	۱/۸۰۲	۵/۲۵۹	٦
فسفر کل (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۱۸/۰	۱٦۷۷/۰	۵٦۳/۷۰	۵۰۹٦۹/٤۸	۱/٦۰۲	۵/۲۳۲	٤

* اشتباه استاندارد برای همه داده‌ها ۰/۲۳۸، ** اشتباه استاندارد برای همه داده‌ها ۰/٤۷۲.

جدول ۳- ضریب‌های همبستگی خطی بین شکل‌های مختلف فسفر و فسفر قابل استفاده با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

شکل‌های مختلف فسفر / ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و خاک	فسفر آلی	فسفر پیوندیافته با کلسیم	فسفر پیوندیافته با آهن	فسفر پیوندیافته با آلومینیم	فسفر محلول	فسفر قابل استفاده
	میلی‌گرم در کیلوگرم					
کربن آلی (درصد)	۰/۵۸**	-۰/۲۱*	-۰/٤**	۰/٤**	-۰/۲۰**	۰/٤۲۲**
گنجایش تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بر کیلوگرم)	۰/٦٦**	۰/۱۱ns	-۰/۳٥**	-۰/۲٥**	-۰/۱ns	۰/۲۷٥**
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۰/۲۰*	۰/۳۷**	-۰/۳**	-۰/۱۱ns	۰/۰۷٤ns	-۰/۱٤۷ns
رس (درصد)	۰/٤**	-۰/۱۱ns	-۰/۲٦**	-۰/۱٤ns	۰/۰٥۳ns	-۰/۱۹٦ns
اسیدیته	۰/۲۰*	۰/٥٦**	-۰/۳۷**	-۰/۰٦ns	۰/۱٥۷ns	-۰/۰٦ns

*معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، **معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، nsغیرمعنی‌دار.

جدول ٤- روابط رگرسیون خطی چندمتغیره شکل‌های مختلف فسفر و فسفر قابل استفاده با برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Pava =۱۲/۲٥۲ + ۰/۷۱ Al-P – ۱/٥٤ Sol-P – ۰/۰۲ Org-P – ۰/۰۰۹٤ Ca-P ($Adj.R^2$=۰/۹*)

β	متغیر
۰/۹۹۷	Al-p
۰/۱۱۷	Sol-p
۰/۱٥۲	Org-p
۰/۰۷	Ca-p

Ca-P = –۲۲٥/۹٤ + ۸۱/۱٦٥ pH + ٥/٦ CLAY – ٥۰ OC + ٥/٦۳ CEC +۷/۱٤ NTV ($Adj.R^2$=۰/٤٥٥*)

β	متغیر
۰/٤٤۱	pH
۰/۳۷۹	CLAY
۰/۳۸٥	OC
۰/۳۷۲	CEC
۰/۱۸۸	TNV

Fe-P = ٦۹۳/۹۷ – ٥۱/۱ OC – ٦٦/۱ pH ($Adj.R^2$=۰/۲۷٤*)

β	متغیر
۰/۳۹۲	OC
۰/۳٥۷	pH

Org-P = –۷/٥۸ + ٥/۳٥ CEC + ۸/٦٥ OC ($Adj.R^2$=۰/٤۷۱*)

β	متغیر
۰/٤۸٦	OC
۰/۲۷۸	CEC

*معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، **معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

Ca-P= فسفر پیوندیافته با کلسیم، Fe-P= فسفر پیوندیافته با آهن، Org-P= فسفر آلی، Al-P= فسفر پیوند یافته با آلومینیم، Sol-P= فسفات‌های محلول، Pava= فسفر قابل استفاده، CLAY= رس، OC= کربن آلی، CEC= گنجایش تبادل کاتیونی، TNV= کربنات کلسیم معادل، pH= اسیدیته و $Adj.R^2$= ضریب تبیین تعدیل شده.

جدول ۵- ضریب‌های همبستگی خطی بین شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های شالیزاری منطقه مورد مطالعه.

شکل‌های مختلف فسفر[۱]	فسفر آلی	فسفر پیوندیافته با کلسیم	فسفر پیوندیافته با آهن	فسفر پیوندیافته با آلومینیم	فسفر محلول	فسفر قابل استفاده
فسفرآلی	۱	-۰/۰۵۱^{ns}	-۰/۲۸**	-۰/۲۵**	-۰/۱۳۹	-۰/۳۵**
فسفر پیوندیافته با کلسیم		۱	-۰/۰۵٤^{ns}	۰/۳۱**	۰/۳۳**	۰/۳۳**
فسفر پیوندیافته با آهن			۱	۰/۸۵**	۰/٤٤**	۰/۸٤**
فسفر پیوندیافته با آلومینیم				۱	۰/۷۳*	۰/۹٤**
فسفرهای محلول					۱	۰/۸٤**
فسفر قابل استفاده						۱

*معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، **معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

[۱] واحد شکل‌های مختلف فسفر میلی‌گرم در کیلوگرم است.

سپاسگزاری

با توجه به تهیه این مقاله از پروژه تحقیقاتی با شماره ۸۷۰۰۵-۰٤-۰٤-۲، به این وسیله از مؤسسه تحقیقات برنج کشور جهت تأمین اعتبار این پروژه قدردانی می‌شود. همچنین از سرکار خانم معصومه بصیری برای تایپ و ویرایش این مقاله و از همکاران آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب برای تلاش سخت‌کوشانه آن‌ها در تجزیه نمونه‌های آزمایشگاهی سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1.Akhtar, M.S., Richards, B.K., Medrano, P.A., DeGroot, M., and Steenhuis, T.S. 2003. Dissolved phosphorus from undisturbed soil cores: Related to adsorption strength, flow rate, or soil structure. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 458-470.

2.Bakheit-Said, M., and Dakermanji, H. 1993. Phosphate adsorption and desorption by calcareous soils of Syria.Commun. Soil Sci. Plant Annal. 24: 197-210.

3.Beck, M.A., and Sanchez, P.A. 1994. Soil phosphorus fraction dynamic during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1424-1431.

4.Chang, S.C., and Jackson, M.L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84: 133-144.

5.Dhillon, N.S., and Dev, G. 1988. Transformation of soil inorganic phosphorus reactions under various crop rotations. J. Indian Soc. Soil Sci. 39: 709-713.

6.Griffin, T.S., Honeycutt, C.W., and He, Z. 2003. Changes in soil phosphorus from manure application. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 645-653.
7.Hailin, Z., and Kovar, J.L. 2000. Phosphorus fractionation. P 50-59, In: Methods of P Analysis. (ed.). USDA /ARS. Ames, IA.
8.Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., and Chuhan, B.S. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorous fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Sci. Am. J. 46: 970-976.
9.Holford, I.C.R., and Mattingly, G.E.G. 1975. The high–and low-energy phosphate adsorption surfaces in calcareous soils. J. Soil Sci. 26: 407-417.
10.Klute, A. 1985. Methods of soil analysis .Part I and II .Agronomy. Mad. Wis. USA, 1188p.
11.Kolawole, G.O., and Tian, G. 2007. Phosphorus fractionation and crop performance on an alfisol amended with phosphorus rock combined with and without plant residues. Afr. J. Biotech. 6: 16. 1972-1978.
12.Kuo, S. 1996. Total organic phosphorus. P 869-919, In: Methods of Soil Analysis. Sparks, D.L. (ed.), Part 3. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.
13.Lopez-Pinerio, A., and Garcia-Navarro, A. 2001. Phosphate fractions and availability in vertisols of South-Western Spain. Soil Sci. Soc. Am. J. 166: 548-556.
14.Mahmoud Soltani, Sh., and Samadi, A. 2003. Phosphorus fractionation of some calcareous soils in Fars province and their relationships with some soil properties. Agr. Sci. Nat. Res. J. 3: 7. 119-128.
15.Malakooti, M.H., and Kavoosi, M. 2004. Balance nutrition of rice. Sena Pub. Iran, 611p. (In Persian)
16.McGill, W.B., and Cole, C.V. 1981. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S, and P through soil organic matter. Geoderma, 26: 267-286.
17.Murphy, I.C.R., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27: 31-143.
18.Nwoke, O.C., and Vanlauwe, B. 2003. Assessment of labile phosphorus fractions and adsorption characteristics in relation to soil properties of West Africa savanna soils. Agriculture, Ecosystems and Enviroment, 100: 285-294.
19.Olsen, S.R., and Sommers, J.F. 1982. Phosphorus. P 403-430, In: A.L. Page (ed.), Methods of soil Analysis. Agron. No. 9, part 2: Chemical and microbiological properties, 2nd edition, Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
20.Olsen, S.R., and Khasawneh, F.E. 1980. Use and limitation of physical-chemical criteria for assessing the state of phosphorus in soils. P 361-404, In: The Role of Phosphorus in Agriculture. (eds.), Khasawneh, F.E., Sample, E.C., and Kamprath, E.J. 361-404. Pub SSSA. Madison, WI.
21.Pena, F., and Torrent, J. 1990. Predicting phosphate sorption in soils of Mediterranean regions. Fertil Res. 23: 173-179.
22.Reddy, D.D., Rao, A.S., and Rupa, T.R. 2000. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic in a Vertisol. Bioresource Technol. 75: 113-118.

23.Ryan, J., Curtin, D., and Cheema, M.A. 1985. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 74-76.
24.Salardini, A. 1995. Soil fertility. Tehran University Pub. Iran, 441p. (In Persian)
25.Saleque, M.A., Adedin, M.J., Ahmed, Z.U., Hasan, M.A., and Panaullah, M. 2001. Influences of phosphorus deficiency on the uptake of nitrogen, potassium, calcium, magnesium, sulfur, and zinc in lowland rice varieties. J. Plant Nutr. 24: 1621-1632.
26.Saleque, M.A., and Krik, G.J. 1995. Root-induced solubilization of phosphorus in the rhizosphere of lowland rice. New Phytol. 129: 325-336.
27.Saleque, M.A., Nahar, U.A., Islam, A., Pathan, A.B.M.U., and Hossain, T.M.S. 2004. Inorganic and organic phosphorus fertilizer effects on the phophorus fractionation in wetland rice soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1635-1644.
28.Samadi, A., and Gilkes, R.J. 1999. Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of south Western Australia. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 809-815.
29.Samadi, A., and Gilkes, R.J. 1998. Forms of phosphorus in virgin and fertilized calcareous soils of Western Australia. Austral. J. Soil Res. 36: 585-601.
30.Samavati, M., and Hossainpoor, A. 2006.Phosphorus fractionation of some soils in Hamedan and their relationships with some soil properties.Soil and water J. 20: 2. 246-259.
31.Sharpley, A.N. 1985. Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 905-911.
32.Sharply, A.N., and Smith, S.J. 1985. Fractionation of inorganic phosphorus in virgin and cultivated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 127-130.
33.Sui, Y., and Thompson, M.L. 1999. Fractionation of phosphorus in a Mollisol amended with biosolids. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1174-1180.
34.Sui, Y., and Thompson, M.L. 2000. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in biosolids-amended molisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 164-169.
35.TekChand, A., and Tomar, N.K. 1993. Effect of soil properties with phophate fixation in some alkaline calcareous soils. J. Indian. Soc. Soil Sci. 41: 56-61.
36.Timsina, J., and Connor, D.J. 2001. Productivity and management of rice-wheat ropping systems: Issues and challenges.Field Crop Res. 69: 93-132.
37.Tyler, G. 2002. Phosphorus fractions in grassland soils. Chemosphere, 48: 343-349.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(2), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Phosphorous fractionation of paddy fields and their relations with physical and chemical properties of soils (Case study: Some-e-Sara city, Guilan province)

Sh. Mahmoud Soltani[1], *N. Davatgar[1], M. Kavoosi[1] and F. Darighgoftar[2]

[1]Research Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran,
[2]Senior Expert, Rice Research Institute of Iran
Received: 2009/12/16; Accepted: 2011/01/16

Abstract

Long-term effects of Rice (*Oryza Sativa L.*) cultivation with different management on soil P fraction are important to understanding from soil nutritional and environment point of view.Soil P fraction gives an idea about the soil supplying capacity to plants. This experiment was conducted to evaluate different soil P fractionation under paddy fileds condition and their relation with soil properties at rice root depth (0-30 cm).Soil samples were collected from 103 paddy fields at Some-e-sara city in Guilan provience with grids of 2x2 km.Soils were analyzed to determine of their characters (pH, CEC, T.N.V, Clay, O.C) and sequentialy extracted to determine organic and inorganic P fractions.The results showed total phosphorus concentration range between 218- 1677.5 (mean of 563), inorganic phosphorus 60-1427.5 (mean of 353 mg/kgsoil) and organic phosphorus with range of 25-525 (mean of 210). The persent of inorganic phosphorus were observed 62.6% of total phosphorus in comparison of organic phosphorus, 37.4%. Inorganic phosphorus fractionations in study area were Ca-p (mean=226), Al-p (mean=15.63), Fe-p (mean=220.4) and soluble and weak bounded phosphorus (Sol-p) (mean= 0.655 mg/kg soil), whereas the available phosphorus with mean of 29.02 mg/kg soil was more than Iranian paddy fields critical level.The Ca-p with pH,TNV, and OC%, Fe-p with pH, TNV, OC%, Clay content and CEC, Al-p with OC% and CEC, Sol-p with OC%, organic phosphorus with CEC, OC%, pH, TNV and Clay content available phosphorus with CEC, TNV and OC% showed significant correlation, respectively. The linear multiple regression equations the available phosphorus was affected from Al-p more than other fractions in rice fields.

Keywords: Phosphorus fractionation, Paddy fields, Guilan, Soil peroperties

* Corresponding Author; Email: n_davatgar@yahoo.com