برهم‌کنش کود شیمیایی فسفره و ورمی‌کمپوست بر قابلیت استفاده، شکل‌های فسفر و شاخص‌های ذرت (*Zea Mays* L.) در یک خاک آهکی

فاطمه شهبازی، علیرضا حسین‌پور و حمیدرضا متقیان*[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۹)

چکیده

برای افزایش فسفر قابل استفاده خاک از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود، درحالی که فسفر کودهای شیمیایی با گذشت زمان به‌شکل‌های با قابلیت استفاده کم تبدیل می‌شود. برای افزایش قابلیت استفاده فسفر آزاد شده از کودهای فسفره می‌توان از اصلاح کننده‌های آلی استفاده کرد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر کودهای فسفره و ورمی‌کمپوست بر قابلیت استفاده و جزءبندی فسفر و جذب آن توسط ذرت (*Zea Mays* L.) در یک خاک آهکی بود. این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کود شیمیایی فسفر (صفر و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر) و ورمی‌کمپوست (صفر و یک درصد وزنی) بود. پس از دو ماه کشت در گلخانه، بخش هوایی ذرت برداشته و شاخص‌های گیاه ذرت (غلظت، ماده خشک و جذب) تعیین شد. سپس، از خاک گلدان‌ها نمونه‌برداری و فسفر قابل استفاده و شکل‌های فسفر به‌روش تغییریافته هدلی و همکاران (۱۹۸۲) تعیین شد. نتایج نشان داد که برهم‌کنش کود شیمیایی فسفره و ورمی کمپوست بر فسفر قابل استفاده معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست فقط بر فسفر محلول و تبادلی ($P<۰/۰۵$) و فسفر آلی ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار بود. با کاربرد کود شیمیایی یا یک درصد ورمی‌کمپوست همه شکل های فسفر به‌جز فسفر متصل به کلسیم افزایش یافت. نتایج نشان داد که برهم‌کنش کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست بر غلظت فسفر، ماده خشک و جذب معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$). با کاربرد ورمی‌کمپوست وزن ماده خشک از ۶/۹ به ۱۰/۵ گرم در گلدان افزایش یافت؛ درحالی که با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، وزن خشک ذرت از ۷/۷ به ۹/۷ گرم در گلدان رسید. همچنین در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست ۴۱/۲ درصد افزایش جذب فسفر مشاهده شد، درحالی که در اثر کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، جذب آن ۳۱/۱ افزایش یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر ورمی‌کمپوست بر افزایش ماده خشک و جذب فسفر بیش از کود شیمیایی فسفره بود. همچنین کودهای فسفره و آلی با تأثیر بر شکل‌های فسفر، قابلیت استفاده آن را تغییر می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: جزءبندی فسفر، کود آلی، اولسن

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: motaghian.h@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

فسفر به‌عنوان عامل محدود کننده رشد گیاهان زراعی است و علت آن، پایین بودن مقدار فسفر کل در خاک‌ها نیست، بلکه فسفر خاک در اثر واکنش‌های پیچیده در خاک جذب و به شکل‌های غیرقابل استفاده برای گیاه تبدیل می‌شود (۲۴). اغلب خاک‌های آهکی، pH بالا دارند و بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها با کمبود مواد غذایی از جمله فسفر مواجه هستند (۲۵). بنابراین نیاز به استفاده از کودهای فسفره وجود دارد، درحالی که قابلیت استفاده فسفر حاصل از این کودها با زمان کاهش می‌یابد (۱۲ و ۲۰).

کودهای آلی، به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم، تأثیر قابل توجهی بر فسفر قابل استفاده دارند (۴). کودهای آلی می‌توانند به‌روش‌های مختلفی بر سرنوشت فسفر تأثیر گذارند. جذب فسفر در سطوح خاک می‌تواند از طریق رقابت اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم با فسفر برای جذب در سطوح ترکیبات خاک، کاهش یابد. علاوه بر این، اسیدهای آلی مانع رسوب فسفر به‌شکل آپاتیت می‌شوند (۲۰). همچنین مواد آلی می‌تواند قابلیت استفاده فسفر در خاک را به‌وسیله تعادل دینامیکی بین فاز محلول و فازهای جامد خاک که در تغییر و تبدیل فسفر اضافه شده اثر می‌گذارند، کنترل کند (۲۸). ورمی‌کمپوست از جمله کودهای آلی است که دارای ویژگی‌هایی مانند تخلخل زیاد، تهویه و زهکشی مناسب، قدرت جذب و نگهداری زیاد رطوبت، سطح جذب زیاد برای آب و مواد غذایی است و استفاده از آن در کشاورزی پایدار برای بهبود وضعیت تخلخل خاک و درنتیجه فراهمی بیشتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، بسیار مفید است (۲۷).

در تحقیقات متعددی (۱۰، ۱۸، ۲۳ و ۲۵) تأثیر مثبت کاربرد همزمان کود آلی و کود شیمیایی فسفره بر افزایش قابلیت استفاده فسفر و بازیابی فسفر گزارش شده است. سابرینا و همکاران (۲۵) اثر ترکیب ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی را بر رشد و جذب فسفر در علف ستاریا (*Setaria splendida* L.) بررسی کردند. آنها گزارش کردند که تیمار ورمی‌کمپوست غنی شده با کود فسفر بر دسترسی فسفر مؤثر است و درنهایت باعث افزایش ماده خشک می‌شود. ماو و همکاران (۱۸) به بررسی اثر طولانی‌مدت ترکیبات مختلف از جمله کود کمپوست، کاه برنج و کود معدنی روی خاک، پتانسیل جذب گیاه و محیط پرداختند. آنها گزارش کردند که مقدار فسفر کل، فسفر عصاره گیری شده با روش‌های اولسن و مهلیچ ۳ در تیمار ترکیبی کود کمپوست و کود شیمیایی بیشترین مقدار بود. در نتیجه آنها گزارش کردند که کاربرد همزمان کود فسفره و کود آلی یکی از راهکارهای مؤثر برای افزایش فسفر قابل دسترس است. پو و همکاران (۲۳) گزارش کردند که ترکیب کودهای آلی و شیمیایی فسفر روشی مفید در افزایش کربن آلی خاک و مقدار فسفر قابل استفاده است.

فسفر در خاک‌ها به‌شکل‌های مختلفی وجود دارد که حلالیت آنها متفاوت است. این شکل‌ها می‌توانند بر قابلیت استفاده فسفر در خاک مؤثر باشند (۲۶). به‌عبارتی دیگر برخی از شکل‌های فسفر قابل استفاده و برخی غیرقابل استفاده هستند و می‌توانند تحت تأثیر کاربردهای مختلف قرار گیرند (۶ و ۸) همچنین اعتقاد بر این است که کمپوست بر توزیع شکل‌های فسفر که ممکن است در دسترس گیاه قرار بگیرد، تأثیر داشته باشد (۹).

یان و همکاران (۳۴) تغییر شکل فسفر را در اثر کاربرد کمپوست و کود شیمیایی فسفره در یک خاک آهکی بررسی کردند. آنها گزارش کردند که تیمار کمپوست به‌طور معنی‌داری فسفر متصل به کلسیم را کاهش و فسفر متصل به آهن را افزایش داد. سونگ و همکاران (۳۰) در آزمایشی ۴ ساله به بررسی اثر کود شیمیایی و کود آلی بر شکل‌های فسفر پرداختند. آنها گزارش کردند که در این مدت شکل‌های فسفر متصل به کلسیم، آهن و آلومینیم افزایش معنی‌داری داشتند، همچنین نتایج نشان دادند که مقدار زیادی از اکتا کلسیم فسفات، دی کلسیم فسفات و فسفر متصل به آلومینیم به‌صورت قابل جذب برای گیاهان آزاد شد. حسین‌پور و همکاران (۱۱) با کاربرد کمپوست زباله شهری در چند خاک آهکی، افزایش در فسفات

www.SID.ir

Archive of SID

آلومینیم را گزارش کردند.

با توجه به اینکه مقدار فسفر قابل استفاده در خاک‌های آهکی کم است و نیاز به تأمین آن از کودهای شیمیایی وجود دارد. اما فسفر آزاد شده از کودهای شیمیایی در خاک‌های آهکی به‌شکل غیرقابل استفاده تبدیل می‌شود. ورمی‌کمپوست می‌تواند بر قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های آهکی و مقدار جذب آن به‌وسیله گیاه مؤثر باشد. به‌همین منظور این پژوهش با هدف بررسی برهم‌کنش کود شیمیایی فسفره و ورمی‌کمپوست بر قابلیت استفاده و شکل‌های فسفر و شاخص‌های ذرت در یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه خاکی از لایه سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) خاک‌های آهکی دانشگاه شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری برداشت شد. پس از هوا خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک به‌روش هیدرومتر (۷)، pH خاک در سوسپانسیون دو به یک آب به خاک (۳۲)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره دو به یک آب به خاک (۳۲)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به‌روش تیتراسیون برگشتی (۳۲)، کربن آلی به‌روش اکسیداسیون تر (۳۲)، گنجایش تبادل کاتیونی با استات سدیم در pH برابر با ۷ (۳۲) و نیتروژن کل (۲) اندازه گیری شد. همچنین فسفر قابل استفاده خاک با روش اولسن (۲۲) و فسفر کل آن با هضم در اسید عصاره‌گیری (۲۹) و با روش رنگ‌سنجی (۲۱) تعیین شد.

پس از تهیه ورمی‌کمپوست کود گاوی آن را هوا خشک کرده و از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شد. این ورمی‌کمپوست دارای pH برابر با ۷/۵، EC برابر با ۵/۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی و نیتروژن آن به‌ترتیب ۹/۳ و ۱/۱۲ درصد و فسفر عصاره‌گیری با روش اولسن و کل آن به‌ترتیب ۱۲۲۲ و ۴۷۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش دو سطح ورمی‌کمپوست (صفر و یک درصد وزنی) و دو سطح کود شیمیایی فسفره (صفر و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر از منبع KH_2PO_4) بود. پس از یک دوره یک‌ماهه انکوباسیون خاک‌های تیمار شده در گلدان‌های حاوی ۳ کیلوگرم خاک ۴ عدد بذر ذرت (رقم سینگل‌کراس ۷۰۴) کاشته و بعد از جوانه‌زنی به ۳ عدد تنک شدند. آبیاری گلدان‌ها را در طول دوره رشد با درنظر گرفتن ۳۰ درصد تخلیه مجاز از طریق توزین گلدان‌ها صورت گرفت. دو ماه پس از جوانه زدن، گیاهان را از محل طوقه (نزدیک سطح خاک) قطع و پس از شستشو، در آون در دمای ۶۵ سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. نمونه‌های گیاهی پس از توزین به‌وسیله آسیاب برقی پودر شد. به‌منظور تجزیه گیاه یک گرم ماده خشک گیاه، پس از خاکسترسازی خشک با اسید کلریدریک عصاره‌گیری (۳) و غلظت فسفر عصاره‌ها با روش رنگ‌سنجی (۲۱) تعیین شد. شاخص‌های ذرت شامل ماده خشک اندام هوایی، غلظت فسفر و جذب فسفر (حاصل‌ضرب ماده خشک در غلظت فسفر) تعیین شد.

پس از کشت، نمونه خاکی از گلدان‌ها برداشته شد و فسفر قابل استفاده با روش‌های اولسن (۲۲) و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار (۱۵) و همچنین شکل‌های فسفر به‌روش تغییریافته هدلی و همکاران (۱۲) عصاره‌گیری (جدول ۱) و فسفر عصارها با روش رنگ‌سنجی (۲۱) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فسفر آلی، ۲ گرم از هر خاک را درون کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱ ساعت قرار داده، همچنین ۲ گرم خاک نیز بدون قرار دادن در کوره درنظر گرفته خواهد شد. هر دو خاک را با ۵۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۰/۵ مولار به‌مدت ۱۶ ساعت تکان داده و تفاوت فسفر عصاره‌گیری شده در خاک قرار داده شده در کوره و خاک بدون قرار دادن در کوره، مقدار فسفر آلی است (۱۵).

تجزیه و تحلیل آماری

مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد پس از انجام تجزیه واریانس انجام شد. همچنین همبستگی بین فسفر قابل استفاده و شکل¬های فسفر

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. تعیین شکل‌های معدنی فسفر با روش تغییر یافته هدلی و همکاران (۱۲)

شکل	عصاره‌گیر	زمان/ شرایط
فسفر محلول	۲۰میلی‌لیتر محلول پتاسیم کلرید ۲ مولار	۲ساعت تکان دادن
فسفر متصل به آهن و آلومینیم	۲۰ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار	۱۷ساعت با ۱۶۰ دور در دقیقه تکان دادن
فسفر متصل به کلسیم	۲۰میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک ۰/۵ مولار	۲۴ ساعت با ۱۶۰ دور در دقیقه تکان دادن
فسفر باقیمانده		از کسر مجموع شکل‌های فسفر از فسفر کل

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد مطالعه

pH	EC (dS/m)	شن	سیلت	رس	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	فسفر قابل‌استفاده (mg/kg)	فسفر کل (mg/kg)	CEC (cmolc/kg)	N (٪)	C/N
		درصد									
۸/۰	۰/۱۸	۴۰	۲۸	۳۲	۳۴	۰/۴۵	۲۰	۳۲۹	۱۵/۸۲	۰/۰۴	۱۱/۲۵

pH در سوسپانسیون با نسبت دو به یک و EC در عصاره صاف شده با نسبت دو به یک اندازه‌گیری شد.

و شاخص‌های ذرت نیز تعیین شد. همه آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار Statistica انجام شد. اندازه اثر (Eta^2) که نشان‌دهنده سهم هر یک از عوامل در تغییرات هر ویژگی است، به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$Eta^2 = \frac{\text{مجموع مربعات هر عامل } (SS_a.)}{\text{مجموع مربعات کل } (SS_{total})} \quad (۱)$$

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. خاک مورد مطالعه بافت لوم‌رسی داشت. این خاک دارای پ‌هاش این خاک قلیایی (pH=۸/۰) و قابلیت هدایت الکتریکی آن ۰/۱۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. گنجایش تبادل کاتیونی آن ۱۵/۸ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم، مقدار کربن آلی و کربنات کلسیم معادل به‌ترتیب ۰/۴۵ و ۳۴ درصد بود. فسفر قابل استفاده (با روش اولسن) و فسفر کل خاک به‌ترتیب ۲۰ و ۳۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

اثر کود فسفره و ورمی‌کمپوست بر فسفر قابل استفاده

نتایج تجزیه واریانس اثر ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی و برهم‌کنش آنها بر فسفر عصاره‌گیری شده با روش‌های اولسن و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در جدول ۳ نشان داده شده است. برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی فسفره، بر فسفر عصاره‌گیری شده با روش‌های اولسن ($P<۰/۰۵$) و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار بود. اثر کود شیمیایی بر فسفر قابل استفاده به کاربرد ورمی‌کمپوست بستگی دارد.

نتایج مقایسه میانگین فسفر قابل استفاده تحت تأثیر ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بعد از کشت در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان داد که کاربرد همزمان کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن را افزایش داد. با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن نسبت به تیمار شاهد ۲۹/۶ درصد و با کاربرد یک درصد ورمی‌کمپوست در تیمار شاهد فسفر عصاره‌گیری‌شده با این روش ۲۵/۴ درصد افزایش یافت. درحالی که اضافه کردن یک درصد ورمی‌کمپوست در تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کود فسفره، فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن را ۳۱/۵ درصد افزایش داد. کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به‌صورت کود شیمیایی در تیمار یک درصد ورمی‌کمپوست باعث افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش آنها بر فسفر عصاره‌گیری با روش‌های اولسن و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در خاک‌های مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		فسفر- اولسن	فسفر- کلرید کلسیم
کود شیمیایی	۱	۲۹۶(۰/۵۳)**	۰/۰۰۴(۰/۲۲)*
ورمی‌کمپوست	۱	۲۳۴(۰/۴۲)**	۰/۰۰۰۵(۰/۰۳) ns
کود شیمیایی × ورمی‌کمپوست	۱	۱۲/۴(۰/۰۲)*	۰/۰۰۹(۰/۴۵)**
خطا	۸	۲/۲(۰/۰۳)	۰/۰۰۰۸(۰/۳۰)
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۲	۱۰/۷

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌دار. اعداد داخل پرانتز (Eta2) نشان‌دهنده مجموع مربعات هر عامل بر مجموع مربعات کل

جدول ۴. مقایسه میانگین فسفر عصاره‌گیری با روش‌های اولسن و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در خاک‌های مورد مطالعه

فسفر (mg/kg)	فسفر- اولسن			فسفر- کلرید کلسیم		
	ورمی‌کمپوست (٪)			ورمی‌کمپوست (٪)		
	۰	۱		۰	۱	
۰	۲۶/۷^{c}	۳۳/۵^{b}	۳۰/۱^{B}	۰/۲۲^{b}	۰/۲۶^{b}	۰/۲۴^{B}
۵۰	۳۴/۶^{b}	۴۵/۵^{a}	۴۰/۰^{A}	۰/۳۱^{a}	۰/۲۴^{b}	۰/۲۸^{A}
	۳۰/۶^{B}	۳۹/۵^{A}		۰/۲۶^{A}	۰/۲۵^{A}	

میانگین‌های با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد هستند.

۳۵/۸ درصدی فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن شد. نتایج نشان داد که برهم‌کنش کود فسفره و ورمی‌کمپوست بر فسفر عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار معنی‌دار بود (P<۰/۰۱). با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به‌صورت کود شیمیایی، فسفر عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار نسبت به تیمار شاهد ۴۰/۹ درصد افزایش یافت. در حالی‌که اضافه کردن یک درصد ورمی‌کمپوست در تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، فسفر عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار را ۲۲/۶ درصد کاهش داد.

لتا ورما و مارشنر (۱۶) گزارش کردند که فسفر قابل استفاده در اثر استفاده از کمپوست در خاک‌های آهکی افزایش پیدا می‌کند. مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن در تیمارهای کود شیمیایی و کود آلی افزایش یافت. مواد آلی می‌توانند فسفر کود را به‌صورت قابل استفاده نگه دارند (۳۰). ماو و همکاران (۱۸) گزارش کردند که اثر مثبت کود آلی بر فسفر می‌تواند به‌دلیل ۱- افزایش مقدار فسفر از طریق کود-های آلی ۲- مانع از تشکیل شکل‌های کمپلکس‌های جذب سطحی در خاک می‌شوند و ۳- باعث بهبود حرکت فسفر در خاک‌ها باشد. افزایش فسفر اولسن ممکن است به علت آزاد شدن مقدار قابل توجه CO_2 برای تجزیه مواد آلی و کمپلکس با کاتیون‌های مسئول تثبیت فسفر در خاک‌های آهکی باشد (۱۳). کاربرد کود آلی با افزایش باکتری‌های فعال همراه است که باعث حل شدن فسفر معدنی می‌شوند، به‌علاوه مواد آلی و مشتقات آن می‌توانند کمپلکس‌هایی با آهن و آلومینیم تشکیل دهند و منجر به کاهش تثبیت فسفر در خاک شود (۳۴). بنابراین بخش زیادی از فسفر کودهای شیمیایی که می‌تواند به‌شکل غیرقابل استفاده تبدیل می‌شود ممکن است در اثر کاربرد کود آلی به‌صورت قابل استفاده باقی بماند. سورمی و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران (۳۱) گزارش کردند که در اثر استفاده از کود مرغی میزان فسفر قابل استفاده افزایش یافت. آنها بیان کردند که آزادسازی فسفر از کود آلی به‌دلیل ترشحات اسیدهای آلی توسط میکروب‌ها و آنزیم‌های موجود در کود باعث آزاد شدن فسفر غیرقابل استفاده می‌شود و این امر موجب افزایش فسفر قابل استفاده خاک شد. پو و همکاران (۲۳) گزارش کردند که ترکیب کود آلی و کود شیمیایی فسفر به‌عنوان یک روش مؤثر در افزایش کربن آلی خاک و درصد فسفر قابل استفاده است. لیو و همکاران (۱۷) نشان دادند که ترکیب کود آلی و معدنی باعث تحرک بیشتر فسفر می‌شود و فسفر قابل استفاده را افزایش می‌دهد؛ بنابراین نتیجه گرفتند که کود دادن خاک با ترکیب منابع آلی و غیرآلی می‌تواند تثبیت فسفر را کاهش و تحرک آن را افزایش دهد.

تأثیر کود شیمیایی فسفره و ورمی‌کمپوست بر جزءبندی فسفر

اثر کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست بر شکل‌های فسفر (به‌غیر از فسفر متصل به کلسیم) معنی‌دار بود ($P<0/01$). همچنین برهم‌کنش بین کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست بر فسفر محلول و تبادلی ($P<0/05$) و فسفر آلی ($P<0/01$) معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج اندازه اثر نشان می‌دهد که در این خاک اثر ورمی‌کمپوست بر همه شکل‌ها (غیر از فسفر آلی) بیش از کود شیمیایی فسفر و برهم‌کنش آنها بود. درحالی که اثر کود شیمیایی بر فسفر آلی بیشتر بود.

با توجه به نتایج جدول ۶، کاربرد کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش فسفر محلول و تبادلی شد. برهم‌کنش بین کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست به این معنی است که مقدار افزایش شکل‌های فسفر در این خاک در اثر کاربرد کود شیمیایی به کود ورمی‌کمپوست بستگی دارد. با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به‌صورت کود شیمیایی در تیمار بدون ورمی‌کمپوست، فسفر محلول و تبادلی نسبت به تیمار شاهد ۹۱/۵ درصد افزایش یافت. همچنین افزودن یک درصد ورمی‌کمپوست در تیمار بدون کود فسفره باعث افزایش ۹۳/۲ درصدی فسفر محلول و تبادلی شد. کاربرد کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار فسفر متصل شده به آهن و آلومینیم شد (جدول ۶). با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به‌صورت کود شیمیایی، فسفر متصل به آهن و آلومینیم ۹/۸ درصد و با کاربرد یک درصد ورمی‌کمپوست این شکل، ۱۸/۴ درصد افزایش یافت. میانگین فسفر متصل شده به کلسیم در تیمارهای مختلف در جدول ۶ نشان داده شده است. فسفر متصل به کلسیم در اثر کاربرد کودها تغییر نکرد. کلاه‌چی و جلالی (۱۴) گزارش کردند که همه شکل‌های فسفر به‌جز فسفر عصاره‌گیری شده با HCl با کاربرد کود معدنی افزایش پیدا کردند. با کاربرد ورمی‌کمپوست فسفر باقیمانده ۱۱/۴ درصد و با کاربرد کود شیمیایی این شکل ۳۲/۹ درصد افزایش یافت (جدول ۶).

با توجه به نتایج جدول ۶ کاربرد کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش فسفر آلی شده است. کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به‌صورت کود شیمیایی، فسفر آلی را نسبت به تیمار بدون کود فسفره ۵۵/۲ درصد افزایش داد. افزودن یک درصد ورمی‌کمپوست باعث افزایش ۲۷/۴ درصدی فسفر آلی در تیمار بدون کود فسفره شد. درحالی که اضافه کردن ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر در تیمار یک درصد ورمی‌کمپوست فسفر آلی را ۱۸/۹ درصد افزایش داد. افزایش فسفر آلی در تیمارهای کود شیمیایی احتمالاً به‌دلیل افزایش زیست‌توده ریزجانداران و در تیمار ورمی‌کمپوست و علاوه بر افزایش زیست‌توده ریزجانداران به‌دلیل افزایش مستقیم فسفر آلی خاک نیز است (۲۰).

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش شکل‌های فسفر (غیر از فسفر متصل به کلسیم) در خاک شد. همچنین برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر فسفر آلی و فسفر محلول معنی‌دار بود. توزیع نسبی اجزای فسفر در خاک به‌ترتیب فسفر متصل به کلسیم≤فسفر باقیمانده> فسفر متصل به آهن و آلومینیم >فسفر محلول بود که با نتایج جلالی و رنجبر (۱۲) و

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر کود شیمیایی فسفره، ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش آنها بر شکل‌های فسفر در خاک‌های مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		فسفر محلول و تبادلی	فسفر متصل به آهن و آلومینیم	فسفر متصل به کلسیم	فسفر باقیمانده	فسفر آلی
کود شیمیایی	۱	۳۶/۹(۰/۳۷)**	۲۸/۷(۰/۲۱)**	۳۳/۸(۰/۱۱)ns	۶۵۵۸(۰/۸۳)**	۱۰۴۷(۰/۷۶)**
ورمی‌کمپوست	۱	۳۹/۷(۰/۴)**	۹۲/۳(۰/۶۹)**	۷۷/۳(۰/۲۵)ns	۹۸۵(۰/۱۲)**	۹۲/۹(۰/۰۷)*
کود شیمیایی × ورمی‌کمپوست	۱	۹/۷(۰/۱۰)*	۰/۱۹(۰/۰۰) ns	۴۸/۷(۰/۱۶)ns	۹۳/۵(۰/۱۱) ns	۱۵۹(۰/۱۲)**
خطا	۸	۱/۶(۰/۱۳)	۱/۶(۰/۱۰)	۱۸/۷(۰/۴۸)	۲۷/۰(۲/۷۴)	۹/۷۲(۰/۰۶)
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۳	۳/۸	۲/۸	۳/۱	۴/۹

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌دار. اعداد داخل پرانتز (Eta2) نشان‌دهنده مجموع مربعات هر عامل بر مجموع مربعات کل است.

جدول ۶. مقایسه میانگین شکل‌های فسفر در خاک‌های مورد مطالعه

فسفر mg/kg)	فسفر محلول و تبادلی			فسفر متصل به آهن و آلومینیم			فسفر متصل به کلسیم			فسفر باقیمانده			فسفر آلی		
	ورمی‌کمپوست (٪)			ورمی‌کمپوست (٪)			ورمی‌کمپوست (٪)			ورمی‌کمپوست (٪)			ورمی‌کمپوست (٪)		
	۰	۱		۰	۱		۰	۱		۰	۱		۰	۱	
۰	۵/۹^{b}	۱۱/۴^{a}	۸/۷^{B}	۲۸/۹	۳۴/۲	۳۱/۵^{B}	۱۵۶	۱۵۵	۱۵۵^{A}	۱۳۷	۱۵۰	۱۴۳^{B}	۴۷/۱^{c}	۶۰/۰^{b}	۵۳/۵^{B}
۵۰	۱۱/۳^{a}	۱۳/۱^{a}	۱۲/۲^{A}	۳۱/۷	۳۷/۵	۳۴/۶^{A}	۱۵۷	۱۴۷	۱۵۲^{A}	۱۷۸	۲۰۲	۱۹۰^{A}	۷۳/۱^{a}	۷۱/۳^{a}	۷۲/۲^{A}
	۸/۶^{B}	۱۲/۲^{A}		۳۰/۳^{B}	۳۵/۹^{A}		۱۵۶^{A}	۱۵۱^{A}		۱۵۸^{B}	۱۷۶A		۶۰/۱^{B}	۶۵/۶^{A}	

میانگین‌های با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد هستند.

ماو و همکاران (۱۸) مطابقت داشت. ماو و همکاران (۱۸) گزارش کردند که فسفر باقیمانده قابلیت استفاده کمی دارد. صرف‌نظر از اینکه چه نوع کودی استفاده شده ظاهراً کاربرد کودهای آلی مانع از تغییر شکل فسفر کود شیمیایی به‌شکل غیرقابل استفاده و حتی منجر به تبدیل بخش اعظم فسفر به حالت قابل استفاده می‌شود. فسفر لابیل (محلول) و فسفر پیوند شده با آلومینیم و آهن به‌عنوان شکل‌های لابیل فسفر هستند (۸). آدت و همکاران (۱) با اضافه کردن مقادیر مختلف کودهای آلی و شیمیایی به خاک، شکل‌های فسفر را در زمان‌های ۴، ۱، ۸، ۱۱ و ۱۸ هفته بررسی می‌کردند. نتایج نشان داد که شکل‌های فسفر در طول زمان تغییر نکردند و کود شیمیایی فسفره سبب کاهش دی و اکتا کلسیم فسفات شد. سونگ و همکاران (۳۰) گزارش کردند که افزایش کاربرد فسفر در خاک‌ها، شکل فسفر متصل به کلسیم و فسفر متصل به آلومینیم را افزایش داد؛ درحالی که فسفر محبوس شده (occluded P) و متصل به آهن را کاهش می‌دهد. همچنین آنها بیان کردند که مصرف بیش از حد فسفر به‌صورت کود شیمیایی در مقایسه با نیاز محصول می‌تواند کارایی مصرف کود را کاهش دهد. خاک‌های مناطق خشک و با هوادیدگی کم تمایل به تجمع فسفر متصل به کلسیم دارند (۱۴). درباره فسفر باقیمانده باید بیان کرد که حدود ۵۷ تا ۶۷ درصد آن را ارتوفسفات و ۲ تا ۷ درصد آن را پیروفسفات تشکیل می‌دهد، همچنین ۲۱ تا ۴۲ درصد فسفر باقیمانده را فسفر آلی است (۳۳).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش آنها بر شاخص‌های ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		غلظت فسفر	ماده خشک	جذب
کود شیمیایی	۱	۱۴۹۰۶(۰/۱۲) ns	۱۳/۲(۰/۲۳)**	۴۲/۸(۰/۳۸)**
ورمی‌کمپوست	۱	۳۹۳۱۶(۰/۳۳)*	۳۸/۹(۰/۶۹)**	۶۳/۶(۰/۵۶)**
کود شیمیایی × ورمی‌کمپوست	۱	۱۸۴۷۳(۰/۱۵)ns	۰/۱۰(۰/۰۰) ns	۰/۴۷۸(۰/۰۰) ns
خطا	۸	۶۰۲۸(۰/۴۰)	۰/۵۸(۰/۰۸)	۰/۸۴۸(۰/۰۶)
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۸	۸/۷	۶/۶

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌دار. اعداد داخل پرانتز (Eta2) نشان‌دهنده مجموع مربعات هر عامل بر مجموع مربعات کل

بنابراین در اثر کاربرد کودها این شکل فسفر می‌توانند تغییر کند.

برهم‌کنش اثر کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست بر شاخص‌های ذرت

نتایج تجزیه واریانس اثر ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی و برهم‌کنش آنها بر شاخص‌های ذرت در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که اثر کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست بر ماده خشک گیاه و جذب فسفر معنی‌دار بود (P<۰/۰۱)، اما فقط اثر ورمی‌کمپوست بر غلظت فسفر در گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش کود فسفره و ورمی‌کمپوست بر شاخص‌های گیاهی معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). نتایج اندازه اثر (Eta^2) نشان داد که اثر ورمی‌کمپوست از اثر کود شیمیایی فسفره بر شاخص‌های ذرت بیشتر بود.

میانگین شاخص‌های ذرت کشت شده در خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۸ آورده شده است. نتایج اثر اصلی نشان می دهد که با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، ماده خشک گیاه و جذب فسفر به‌ترتیب ۲۵/۹ و ۳۱/۱ درصد افزایش یافت (P<۰/۰۱). با کاربرد یک درصد ورمی‌کمپوست غلظت فسفر در گیاه ۶/۹ درصد کاهش یافت. با کاربرد یک درصد ورمی‌کمپوست نسبت به سطح صفر ورمی‌کمپوست ماده خشک گیاه و جذب به‌ترتیب ۵۲/۱ و ۴۱/۲ درصد افزایش معنی‌دار یافت. کاهش غلظت فسفر در گیاه رشد کرده در تیمار ورمی‌کمپوست می‌تواند به‌دلیل افزایش وزن ماده خشک ذرت و اثر رقت باشد.

نتایج نشان داد که کاربرد کود فسفره و ورمی‌کمپوست باعث افزایش ماده خشک و جذب فسفر در ذرت شد. کاشم و همکاران (۱۳) گزارش کردند که ورمی‌کمپوست به‌عنوان منبع بالقوه عناصر مورد نیاز برای رشد گیاه است. اقبال و همکاران (۵) گزارش کردند که با کاربرد کمپوست، فسفر در دسترس گیاه افزایش می‌یابد. همچنین کمپوست می‌تواند در طولانی مدت به جذب فسفر توسط گیاه حتی بدون اضافه کردن کود شیمیایی فسفره کمک کند. آنها همچنین گزارش کردند که مصرف کمپوست و یا کود دامی می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه ذرت نسبت به شاهد شود که دلیل آن را بهبود وضعیت عناصر غذایی و pH خاک دانستند. شفیعی ادیب و همکاران (۲۷) اثر کاربرد کود شیمیایی فسفره و ورمی‌کمپوست بر عملکرد گیاه دارویی گل راعی را در یک خاک آهکی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که کاربرد کود شیمیایی فسفره به همراه ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی دار عملکرد گیاه شد. آنها بیان کردند با توجه به اینکه در خاک‌های آهکی بیشتر کود فسفره مصرفی، تثبیت می‌شود؛ بنابراین مواد آلی می‌تواند به‌صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود یا به‌عنوان آنیون در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفات آلی عمل

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های ذرت در خاک‌های موردمطالعه

فسفر (mg/kg)	غلظت فسفر (mg/kg)			ماده خشک (گلدان/g)		جذب (گلدان/mg)		
	ورمی‌کمپوست (٪)			ورمی‌کمپوست (٪)		ورمی‌کمپوست (٪)		
	۰	۱		۰	۱	۰	۱	
۰	۱۵۷۵	۱۵۳۹	۱۵۵۷^{A}	۵/۹	۹/۳	۹/۴۱	۱۴/۴	۱۱/۹^{B}
۵۰	۱۷۲۴	۱۵۳۱	۱۶۲۷^{A}	۷/۸	۱۱/۶	۱۳/۵	۱۷/۷	۱۵/۶^{A}
	۱۶۴۹^{A}	۱۵۳۵^{B}		۶/۹^{B}	۱۰/۵^{A}	۱۱/۴^{B}	۱۶/۱^{A}	

میانگین‌های با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد هستند.

جدول ۹. ضرایب همبستگی (r) بین شکل‌های فسفر، فسفر قابل استفاده و شاخص‌های ذرت (n=۱۲)

	جذب	ماده خشک	غلظت فسفر در ذرت	فسفر- کلرید کلسیم	فسفر- اولسن	فسفر آلی	فسفر باقیمانده	فسفر متصل به کلسیم	فسفر متصل به آهن و آلومینیم	فسفر محلول و تبادلی
فسفر محلول و تبادلی	۰/۸۹**	۰/۸۳**	−۰/۰۳^{ns}	۰/۴۶ ^{ns}	۰/۸۱**	۰/۷۳**	۰/۷۱**	−۰/۳۴ ^{ns}	۰/۸۱**	۱/۰۰
فسفر متصل به آهن و آلومینیم	۰/۹۲**	۰/۹۷**	−۰/۴۴ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۸۶**	۰/۵۸*	۰/۶۹*	−۰/۵۳ ^{ns}	۱/۰۰	
فسفر متصل به کلسیم	−۰/۵۷^{ns}	−۰/۵۸*	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	−۰/۶۶*	−۰/۳۱ ^{ns}	−۰/۶۲*	۱/۰۰		
فسفر باقیمانده	۰/۸۱**	۰/۷۲**	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۹۱**	۰/۸۶**	۱/۰۰			
فسفر آلی	۰/۷۱**	۰/۵۸*	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۵۳ ^{ns}	۰/۷۴**	۱/۰۰				
فسفر – اولسن	۰/۹۴**	۰/۹۰**	−۰/۱۱ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۱/۰۰					
فسفر- کلرید کلسیم	۰/۲۹^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۴۲ ^{ns}	۱/۰۰						
غلظت فسفر در ذرت	−۰/۱۷^{ns}	−۰/۴۲^{ns}	۱/۰۰							
ماده خشک	۰/۹۶**	۱/۰۰								
جذب	۱/۰۰									

**، * و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌دار.

کند که در اثر همه این اثرات قابلیت استفاده فسفر برای گیاه افزایش یافته و آزادسازی تدریجی فسفر در محلول خاک می‌شود.

همبستگی بین شکل‌های فسفر، فسفر قابل استفاده و شاخص‌های ذرت

ضرایب همبستگی بین شکل‌های فسفر و فسفر قابل استفاده (جدول ۹) نشان داد که فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن با همه شکل‌های فسفر همبستگی مثبت و معنی‌دار به‌غیر از فسفر متصل به کلسیم نشان داد. فسفر متصل به کلسیم با فسفر باقیمانده (۰/۶۲−)، فسفر عصاره‌گیری به‌روش اولسن (۰/۶۶−) و ماده خشک (۰/۵۸−) همبستگی منفی و معنی‌دار ($P<0/05$) نشان داد. همبستگی بین فسفر عصاره‌گیری شده با روش کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار با همه شکل‌ها و شاخص‌های ذرت معنی‌دار نبود ($P>0/05$). نتایج نشان داد که با افزایش شکل‌های فسفر به‌جز فسفر متصل به کلسیم، فسفر قابل استفاده افزایش یافت. درحالی که با افزایش فسفر متصل به کلسیم، فسفر قابل استفاده کاهش یافت. همچنین، فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن با ماده خشک و جذب فسفر توسط ذرت همبستگی قوی داشت. به‌علاوه همه شکل‌های فسفر به‌جز فسفر متصل به کلسیم در جذب فسفر در گیاه اهمیت دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد همزمان ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی فسفره باعث افزایش فسفر قابل استفاده شد که می‌تواند به‌دلیل تغییر شکل‌های فسفر (غیر از فسفر متصل به کلسیم) در خاک باشد. اثر کود شیمیایی فسفره بر غلظت فسفر، ماده خشک و جذب فسفر در ذرت به کاربرد ورمی‌کمپوست بستگی نداشت و اثر ورمی‌کمپوست بر افزایش ماده خشک و جذب فسفر بیش از کود شیمیایی فسفره بود. بنابراین برای خاک‌های مشابه می‌توان از ورمی‌کمپوست به‌عنوان جایگزین کود شیمیایی فسفره برای کشت ذرت استفاده کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در خاک‌های دارای کمبود شدید فسفر نیز این مطالعه انجام شود.

منابع مورد استفاده

1. Audette, Y., I. P. O'Halloran and R. P. Voroney. 2016. Kinetics of phosphorus forms applied as inorganic and organic amendments to a calcareous soil. *Geoderma* 262: 119-124.
2. Bremner, J. M. and C. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy and Soil Science of America. Madison. Wisconsin. pp. 595-624.
3. Campbell, C. R. and C. O. Plank. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. PP. 37-50. *In*: Kalra Y. P. (Eds.), Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press.
4. Delgado, A., A. Madrid, S. Kassem, L. Andreu. and M. D. C. Del Campillo. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant and Soil* 245: 277-286.
5. Eghball, B., D. Ginting and J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal* 96: 442-447.
6. Fathi Gerdelidani, A. and H. Mirseyed Hosseini. 2018. Effects of sugar cane bagasse biochar and spent mushroom compost on phosphorus fractionation in calcareous soils. *Soil Research* 56: 136-144.
7. Gee, G. and J. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 383-409. *In*: A. Klute (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2 physical properties. American Society of Agronomy Madison. Wisconsin.
8. Halajnia, A., G. H. Haghnia, A. Fotovat and R. Khorasani. 2009. Phosphorus fractions in calcareous soils amended with P fertilizer and cattle manure. *Geoderma* 150: 209-213.
9. Hashimoto, Y., A. Takamoto, R. Kikkawa, K. Murakami and N. Yamaguchi. 2014. Formations of hydroxyapatite and inositol hexakisphosphate in poultry litter during the composting period: Sequential fractionation, P K-edge XANES and solution ^{31}P NMR investigations. *Environmental Science and Technology* 48: 5486-5492.
10. Hejazi Mehrizi, M., M. Ayeeneheydari and F. Abbaszadeh. 2016. An investigation of phosphorus dynamics in a calcareous soil treated with different levels of poultry manure and chemical fertilizer. *Knowledge of Water and Soil* 26(3): 293-303.
11. Hosseinpur, A., S. Kiani and M. Halvaei. 2012. Impact of municipal compost on soil phosphorus availability and mineral phosphorus fractions in some calcareous soils. *Environmental Earth Sciences* 67: 91-96.
12. Jalali, M. and F. Ranjbar. 2010. Aging effects on phosphorus transformation rate and fractionation in some calcareous soils. *Geoderma* 155: 101-106.
13. Kashem, M. A., A. Sarker, I. Hossain and M. S. Islam. 2015. Comparison of the effect of vermicompost and inorganic fertilizers on vegetative growth and fruit production of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Open Journal of Soil Science* 5: 53-58.
14. Kolahchi, Z. and M. Jalali. 2012. Speciation of phosphorus in phosphorus-amended and leached calcareous soils using chemical fractionation. *Polish Journal of Environmental Studies* 21: 395-400.
15. Kuo, S. 1996. Phosphorus. PP: 869-919. *In:* Sparks D. L. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods, SSSA. Madison. WI.
16. Lata Verma, S. and P. Marschner. 2013. Compost effects on microbial biomass and soil P pools as affected by particle size and soil properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13: 313-328.
17. Liu, J., H. Aronsson, B. Ulen and L. Bergström. 2012. Potential phosphorus leaching from sandy topsoils with different fertilizer histories before and after application of pig slurry. *Soil Use and Management* 28: 457-467.
18. Mao, X., X. Xu, K. Lu, G. Gielen, J. Luo, L. He, A. Donnison, Z. Xu, J. Xu and W. Yang. 2015. Effect of 17 years of organic and inorganic fertilizer applications on soil phosphorus dynamics in a rice-wheat rotation cropping system in eastern China. *Journal of Soils and Sediments* 15: 1889-1899.

www.SID.ir

Archive of SID

19. Marschner, H., 2011. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic, London.
20. Moghimi, N., A. Hosseinpur and H. Motaghian. 2018. The effect of vermicompost on transformation rate of available P applied as chemical fertilizer in a calcareous clay soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49(17): 2131-2142.
21. Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27: 31-36.
22. Olsen, S. and L. Sommers. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties of Phosphorus. ASA Monograph, 9, pp. 403-430.
23. Pu, S., X. -H. He, M. -G. Xu, H. -M. Zhang, P. Chang, H. -J. Gao, L. Hua, Y. -M. Xu, Q. Song and H. -J. Xiao. 2014. Soil organic carbon accumulation increases percentage of soil Olsen-P to total P at two 15-year mono-cropping systems in Northern China. *Journal of Integrative Agriculture* 13: 597-603.
24. Rezvanimoghaddam, P. and M. sayyedi. 2014. The role of organic and biological fertilisers in the absorption of phosphorus and potassium. *Journal of Horticultural Science* 28(1): 43-53.
25. Sabrina, D. T., M. M. Hanafi, A. W. Gandahi, M. T. Muda Mohamed and N. A. Abdul Aziz. 2013. Effect of mixed organic-inorganic fertilizer on growth and phosphorus uptake of setaria grass (*Setaria splendida*). *Australian Journal of Crop Science* 7: 75-83.
26. Samrit, P., R. I. C. Mai, J. Chanchareonsook, C. Suwannarat and N. Tungkananuruk. 2002. Changes of some chemical properties, inorganic phosphate fractions and available P in some paddy soils in Thailand. 17. World Congress of Soil Science, Bangkok (Thailand), 14-21 Aug.
27. Shafiee Adib, Sh., M. Amini Dehaghi and F. Shahbazi. 2017. The effects of vermicompost and chemical phosphorous fertilizers on the quantity and quality yield of John's wort. *Journal of Crops Improvement* 19(1): 203-213.
28. Siddique, M. T., and J. S. Robinson. 2003. Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manures and sewage sludge. *Journal of Environmental Quality* 32: 1114-1121.
29. Sommers, L., and D. Nelson. 1972. Determination of total phosphorus in soils: a rapid perchloric acid digestion procedure. *Soil Science Society of America Journal* 36: 902-904.
30. Song, K., Y. Xue, X. Zheng, W. Lv, H. Qiao, Q. Qin, and J. Yang. 2017. Effects of the continuous use of organic manure and chemical fertilizer on soil inorganic phosphorus fractions in calcareous soil. *Scientific Reports* 7: 1164-1173.
31. Soremi, A., M. Adetunji, J. Azeez, C. Adejuyigbe and J. Bodunde. 2017. Speciation and dynamics of phosphorus in some organically amended soils of southwestern Nigeria. *Chemical Speciation and Bioavailability* 29: 42-53.
32. Sparks, D. L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston and M. E. Sumner. 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3: chemical methods. Soil Science Society of America: Madison, WI, USA.
33. Velásquez, G., P. -T. Ngo, C. Rumpel, M. Calabi-Floody, Y. Redel, B. L. Turner, L. M. Condron and M. de la Luz Mora. 2016. Chemical nature of residual phosphorus in Andisols. *Geoderma* 271: 27-31.
34. Yan, Z., S. Chen, B. Dari, D. Sihi and Q. Chen. 2018. Phosphorus transformation response to soil properties changes induced by manure application in a calcareous soil. *Geoderma* 322: 163-171.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science
Vol. 24, No. 1, Spring 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Interaction between P Fertilizer and Vermicompost on the Availability, Fractions of P and (*Zea Mays* L.) Growth Indices in a Calcareous Soil

F. Shahbazi, A. R. Hosseinpur and H. R. Motaghian[1*]

(Received: September 3-2018 ; Accepted: June 19-2019)

Abstract

In order to increase the available Phosphorous (P), chemical fertilizers are applied; however, P chemical fertilizers are transformed into low available forms over time. Organic amendments could be effective in improving the efficiency of P fertilizers. The aim of this study was to investigate the effect of P fertilizers and vermicopost on the availability and fractions of P and maize (*Zea Mays* L.) indices in a calcareous soil. This study was performed in a factorial completely randomized design with three replicates. The experimental factors included chemical fertilizer (0 and 50 mg/kg P) and vermicopost (0 and 1 %W). After 2 months of planting in greenhouse, the shoots of maize were removed and the maize indices (P concentration, dry matter and P uptake) were determined. Then, the soil samples taken from each pot, P available, and P fractions were evaluated by a modified method developed by Hedley et al (1982). The results showed that the effect of the interaction beyween P fertilizer and vermicopost on the available P was significant. Also, the interaction of P fertilizer and vermicopost on the soluble and exchangeable P ($P<0.05$) and organic P ($P<0.01$) was significant. By applying the P fertilizer or % 1 vermicompost, all P fractions (except Ca bound P) were increased. The results, therefore, showed that the effect of the interaction between P fertilizer and vermicopost on P concentration, dry matter and P uptake was not significant ($P>0.05$). Vermicopost application increased the dry matter from 6.9 to 10.5 g pot^{-1}, while application of 50 mg kg^{-1} P as fertilizer increased the dry matter from 7.7 to 9.7 g pot^{-1}. Also, by adding vermicopost (11.1%), the i P uptake was increased, as compared to 50 mg kg^{-1}. The results, therefore, indicated that the beneficial effect of vermicompost on the dry matter and P uptake in maize was more than that of the chemical fertilizer. Moreover, P fertilizer and manure could influence P fractions and P availability.

Keywords: P fractions, Organic materials, Olsen.

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
*: Corresponding author, Email: motaghian.h@yahoo.com

www.SID.ir