

برهم کنش کود شیمیایی فسفره و ورمی کمپوست بر قابلیت استفاده، شکل های فسفر و شاخص های ذرت (*Zea Mays L.*) در یک خاک آهکی

فاطمه شهبازی، علیرضا حسین پور و حمیدرضا متقیان*

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

چکیده

برای افزایش فسفر قابل استفاده خاک از کودهای شیمیایی استفاده می شود، درحالی که فسفر کودهای شیمیایی با گذشت زمان به شکل های با قابلیت استفاده کم تبدیل می شود. برای افزایش قابلیت استفاده فسفر آزاد شده از کودهای فسفره می توان از اصلاح کنندگان آلی استفاده کرد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر کودهای فسفره و ورمی کمپوست بر قابلیت استفاده و جزءبندی فسفر و جذب آن توسط ذرت (*Zea Mays L.*) در یک خاک آهکی بود. این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کود شیمیایی فسفر (صفر و ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر) و ورمی کمپوست (صفر و یک درصد وزنی) بود. پس از دو ماه کشت در گلخانه، بخش هوایی ذرت برداشته و شاخص های گیاه ذرت (غلظت، ماده خشک و جذب) تعیین شد. سپس، از خاک گلدان ها نمونه برداری و فسفر قابل استفاده و شکل های فسفر به روش تغییر یافته هدلی و همکاران (۱۹۸۲) تعیین شد. نتایج نشان داد که برهم کنش کود شیمیایی فسفره و ورمی کمپوست بر فسفر قابل استفاده معنی دار بود. همچنین برهم کنش کود شیمیایی و ورمی کمپوست فقط بر فسفر محلول و تبادل (P<۰/۰۵) و فسفر آلی (P<۰/۰۱) معنی دار بود. با کاربرد کود شیمیایی یا یک درصد ورمی کمپوست همه شکل های فسفر به جز فسفر متصل به کلسیم افزایش یافت. نتایج نشان داد که برهم کنش کود شیمیایی و ورمی کمپوست بر غلظت فسفر، ماده خشک و جذب معنی دار نبود (P>۰/۰۵). با کاربرد ورمی کمپوست وزن ماده خشک از ۶/۹ به ۱۰/۵ گرم در گلدان افزایش یافت؛ درحالی که با کاربرد ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر، وزن خشک ذرت از ۷/۷ به ۹/۷ گرم در گلدان رسید. همچنین در اثر کاربرد ورمی کمپوست ۴۱/۲ درصد افزایش جذب فسفر مشاهده شد، درحالی که در اثر کاربرد ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر، جذب آن ۳۱/۱ افزایش یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر ورمی کمپوست بر افزایش ماده خشک و جذب فسفر بیش از کود شیمیایی فسفره بود. همچنین کودهای فسفره آلی با تأثیر بر شکل های فسفر، قابلیت استفاده آن را تغییر می دهد.

واژه های کلیدی: جزءبندی فسفر، کود آلی، اولسن

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

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

مقدمه

فسفر به عنوان 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، به صورت مستقیم و غیرمستقیم، تأثیر قابل توجهی بر فسفر قابل استفاده دارند (۴). کودهای آلی می‌توانند به روش‌های 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 به شکل آپاتیت می‌شوند (۲۰). همچنین مواد آلی می‌توانند قابلیت استفاده فسفر در خاک را به وسیله 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 در نتیجه 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. سابیرینا 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 در نهایت باعث افزایش ماده خشک می‌شود. ماو و همکاران (۱۸) به بررسی اثر طولانی مدت 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 به شکل‌های مختلفی وجود دارد که حلالیت آنها متفاوت است. این شکل‌ها می‌توانند بر قابلیت استفاده فسفر در خاک مؤثر باشند (۲۶). به عبارتی 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 به طور 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 به صورت قابل جذب برای گیاهان آزاد شد. حسین‌پور و همکاران (۱۱) با کاربرد کمپوست زباله شهری در چند خاک آهکی، افزایش در فسفات

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 به شکل غیرقابل استفاده تبدیل می‌شود. ورمی کمپوست می‌تواند بر قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های آهکی و مقدار جذب آن به وسیله گیاه مؤثر باشد. به همین منظور این پژوهش با هدف بررسی برهم‌کنش کود شیمیایی فسفره و ورمی کمپوست بر قابلیت استفاده و شکل‌های فسفر و شاخص‌های ذرت در یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه خاکی از لایه سطحی (۰-۳۰ 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 به روش 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) به روش تیتراسیون برگشتی (۳۲)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (۳۲)، گنجایش تبادل کاتیونی با استات سدیم در pH برابر با ۷ (۳۲) و نیتروژن کل (۲) اندازه‌گیری 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 ورمی کمپوست کود گاوی آن را هوا خشک کرده و از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شد. این ورمی کمپوست دارای pH برابر با ۷/۵، EC برابر با ۵/۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی و نیتروژن آن به ترتیب ۹/۳ و ۱/۱۲ درصد و فسفر عصاره‌گیری با روش اولسن و کل آن به ترتیب ۱۲۲۲ و ۴۷۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. تیمارهای مورد

استفاده در این آزمایش دو سطح ورمی کمپوست (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 سینگل کراس ۷۰۴) کاشته و بعد از جوانه‌زنی به ۳ عدد تنک شدند. آبیاری گلدان‌ها را در طول دوره رشد با در نظر 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 آن در دمای ۶۵ سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. نمونه‌های گیاهی پس از توزین به وسیله آسیاب برقی پودر شد. به منظور 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 به روش تغییر یافته هدلی و همکاران (۱۲) عصاره‌گیری (جدول ۱) و فسفر عصاره‌ها با روش رنگ‌سنجی (۲۱) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فسفر آلی، ۲ گرم از هر خاک را درون کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت قرار داده، همچنین ۲ گرم خاک نیز بدون قرار دادن در کوره در نظر گرفته خواهد شد. هر دو خاک را با ۵۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۰/۵ مولار به مدت 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 شکل‌های فسفر

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

شکل	عصاره‌گیر	زمان / شرایط
فسفر محلول	۲۰ میلی‌لیتر محلول پتاسیم کلرید ۲ مولار	۲ ساعت تکان دادن
فسفر متصل به آهن و آلومینیم	۲۰ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار	۱۷ ساعت با ۱۶۰ دور در دقیقه تکان دادن
فسفر متصل به کلسیم	۲۰ میلی‌لیتر 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

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

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

برهم‌کنش آنها بر فسفر عصاره‌گیری شده با روش‌های اولسن و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در جدول ۳ نشان داده شده است. برهم‌کنش ورمی کمپوست و کود شیمیایی فسفره، بر فسفر عصاره‌گیری شده با روش‌های اولسن ($P < 0/05$) و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار ($P < 0/01$) معنی‌دار بود. اثر کود شیمیایی بر فسفر قابل استفاده به کاربرد ورمی کمپوست بستگی دارد.

نتایج مقایسه میانگین فسفر قابل استفاده تحت تأثیر ورمی کمپوست و کود شیمیایی بعد از کشت در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان داد که کاربرد همزمان کود شیمیایی و ورمی کمپوست به‌طور معنی‌داری ($P < 0/05$) 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 ورمی کمپوست در تیمار شاهد فسفر عصاره‌گیری شده با این روش ۲۵/۴ درصد افزایش یافت. درحالی که اضافه کردن یک درصد ورمی کمپوست 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 ورمی کمپوست باعث افزایش

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:

$$Eta^2 = \frac{\text{مجموع مربعات هر عامل (SS}_{a.})}{\text{مجموع مربعات کل (SS}_{total})} \quad (1)$$

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 ($pH=8/0$) و قابلیت هدایت الکتریکی آن ۰/۱۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. گنجایش تبادل کاتیونی آن ۱۵/۸ سانتی‌مول 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 ورمی کمپوست بر فسفر قابل استفاده

نتایج تجزیه واریانس اثر ورمی کمپوست، کود شیمیایی و

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

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

ns و *، ** 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

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

فسفر- اولسن		فسفر- کلرید کلسیم		فسفر (mg/kg)
ورمی کمپوست (%)		ورمی کمپوست (%)		
۱	۰	۱	۰	
۳۰/۱ ^B	۲۶/۷ ^c	۰/۲۴ ^B	۰/۲۶ ^b	۰
۴۵/۵ ^a	۳۴/۶ ^b	۰/۲۸ ^A	۰/۲۴ ^b	۵۰
۳۹/۵ ^A	۳۰/۶ ^B	۰/۲۵ ^A	۰/۲۶ ^A	

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

ماو و همکاران (۱۸) گزارش کردند که اثر مثبت کود آلی بر فسفر می‌تواند به دلیل 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 CO₂ 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، به علاوه 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 به شکل غیرقابل استفاده تبدیل می‌شود ممکن است در اثر کاربرد کود آلی به صورت قابل استفاده باقی بماند. سورمی و

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

لنا ورما و مارشور (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 به صورت قابل استفاده نگه دارند (۳۰).

درصدی فسفر محلول و تبادل شد. کاربرد کود شیمیایی و ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار فسفر متصل شده به آهن و آلومینیم شد (جدول ۶). با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به صورت کود شیمیایی، فسفر متصل به آهن و آلومینیم ۹/۸ درصد و با کاربرد یک درصد ورمی کمپوست 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 ورمی کمپوست 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 ورمی کمپوست باعث افزایش فسفر آلی شده است. کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به صورت کود شیمیایی، فسفر آلی را نسبت به تیمار بدون کود فسفره ۵۵/۲ درصد افزایش داد. افزودن یک درصد ورمی کمپوست 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 ورمی کمپوست فسفر آلی را ۱۸/۹ درصد افزایش داد. افزایش فسفر آلی در تیمارهای کود شیمیایی احتمالاً به دلیل افزایش زیست‌توده ریزجانداران و در تیمار ورمی کمپوست و علاوه بر افزایش زیست‌توده ریزجانداران به دلیل افزایش مستقیم فسفر آلی خاک نیز است (۲۰).

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

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

با توجه به نتایج جدول ۶، کاربرد کود شیمیایی و ورمی کمپوست باعث افزایش فسفر محلول و تبادل شد. برهم‌کنش بین کود شیمیایی و ورمی کمپوست به این معنی است که مقدار افزایش شکل‌های فسفر در این خاک در اثر کاربرد کود شیمیایی به کود ورمی کمپوست بستگی دارد. با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به صورت کود شیمیایی در تیمار بدون ورمی کمپوست، فسفر محلول و تبادل نسبت به تیمار شاهد ۹۱/۵ درصد افزایش یافت. همچنین افزودن یک درصد ورمی کمپوست در تیمار بدون کود فسفره باعث افزایش ۹۳/۲

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

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییر
فسفر محلول و تبدالی	فسفر متصل به آهن و آلومینیم	فسفر متصل به کلسیم	فسفر باقیمانده	فسفر آلی		
۳۶/۹(۰/۳۷)**	۲۸/۷(۰/۲۱)**	۳۳/۸(۰/۱۱) ^{ns}	۶۵۵۸(۰/۸۳)**	۱۰۴۷(۰/۷۶)**	۱	کود شیمیایی
۳۹/۷(۰/۴)**	۹۲/۳(۰/۶۹)**	۷۷/۳(۰/۲۵) ^{ns}	۹۸۵(۰/۱۲)**	۹۲/۹(۰/۰۷)*	۱	ورمی کمپوست
۹/۷(۰/۱۰)*	۰/۱۹(۰/۰۰) ^{ns}	۴۸/۷(۰/۱۶) ^{ns}	۹۳/۵(۰/۱۱) ^{ns}	۱۵۹(۰/۱۲)**	۱	کود شیمیایی × ورمی کمپوست
۱/۶(۰/۱۳)	۱/۶(۰/۱۰)	۱۸۷(۰/۴۸)	۲۷/۰(۲/۷۴)	۹/۷۲(۰/۰۶)	۸	خطا
۱۲/۳	۳/۸	۲/۸	۳/۱	۴/۹		ضریب تغییرات (درصد)

**، * 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 محلول و تبدالی		فسفر متصل به آهن و آلومینیم		فسفر متصل به کلسیم		فسفر باقیمانده		فسفر آلی	
ورمی کمپوست		ورمی کمپوست		ورمی کمپوست		ورمی کمپوست		ورمی کمپوست	
mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg	
٪		٪		٪		٪		٪	
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
۵۰	۱۱/۳ ^a	۱۳/۱ ^a	۱۲/۲ ^A	۳۷/۵	۳۴/۶ ^A	۱۵۷	۱۴۷	۱۵۲ ^A	۱۷۸
۸/۶ ^B	۱۲/۲ ^A	۳۰/۳ ^B	۳۵/۹ ^A	۳۰/۳ ^B	۱۵۱ ^A	۱۵۶ ^A	۱۵۸ ^B	۱۷۶ ^A	۱۵۸ ^B

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

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 به صورت 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).

ماو و همکاران (۱۸) مطابقت داشت. ماو و همکاران (۱۸) گزارش کردند که فسفر باقیمانده قابلیت استفاده کمی دارد. صرف نظر از اینکه چه نوع کودی استفاده شده ظاهراً کاربرد کودهای آلی مانع از تغییر شکل فسفر کود شیمیایی به شکل غیرقابل استفاده و حتی منجر به تبدیل بخش اعظم فسفر به حالت قابل استفاده می‌شود. فسفر لبایل (محلول) و فسفر پیوند شده با آلومینیم و آهن به عنوان شکل‌های لبایل 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

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر کود شیمیایی، ورمی کمپوست و برهم کنش آنها بر شاخص‌های ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		غظلت فسفر	ماده خشک
جذب			
کود شیمیایی	۱	۱۴۹۰۶(۰/۱۲) ^{ns}	۱۳/۲(۰/۲۳)**
ورمی کمپوست	۱	۳۹۳۱۶(۰/۳۳)*	۳۸/۹(۰/۶۹)**
کود شیمیایی × ورمی کمپوست	۱	۱۸۴۷۳(۰/۱۵) ^{ns}	۰/۱۰(۰/۰۰) ^{ns}
خطا	۸	۶۰۲۸(۰/۴۰)	۰/۵۸(۰/۰۸)
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۸	۸/۷
			۶/۶

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی دار. اعداد داخل پرانتز (Eta²) نشان‌دهنده مجموع مربعات هر عامل بر مجموع مربعات کل

یافت. کاهش غظلت فسفر در گیاه رشد کرده در تیمار ورمی کمپوست می‌تواند به دلیل افزایش وزن ماده خشک ذرت و اثر رقت باشد.

نتایج نشان داد که کاربرد کود فسفره و ورمی کمپوست باعث افزایش ماده خشک و جذب فسفر در ذرت شد. کاشم و همکاران (۱۳) گزارش کردند که ورمی کمپوست به عنوان 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 ورمی کمپوست بر عملکرد گیاه دارویی گل راعی را در یک خاک آهکی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که کاربرد کود شیمیایی فسفره به همراه ورمی کمپوست 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 به صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود یا به عنوان آنیون در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفات آلی عمل

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

برهم کنش اثر کود شیمیایی و ورمی کمپوست بر شاخص‌های ذرت

نتایج تجزیه واریانس اثر ورمی کمپوست، کود شیمیایی و برهم کنش آنها بر شاخص‌های ذرت در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که اثر کود شیمیایی و ورمی کمپوست بر ماده خشک گیاه و جذب فسفر معنی دار بود ($P < 0/01$)، اما فقط اثر ورمی کمپوست بر غظلت فسفر در گیاه در سطح ۵ درصد معنی دار بود. برهم کنش کود فسفره و ورمی کمپوست بر شاخص‌های گیاهی معنی دار نبود ($P > 0/05$). نتایج اندازه اثر (Eta^2) نشان داد که اثر ورمی کمپوست 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 می‌دهد که با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، ماده خشک گیاه و جذب فسفر به ترتیب ۲۵/۹ و ۳۱/۱ درصد افزایش یافت ($P < 0/01$). با کاربرد یک درصد ورمی کمپوست غظلت فسفر در گیاه ۶/۹ درصد کاهش یافت. با کاربرد یک درصد ورمی کمپوست نسبت به سطح صفر ورمی کمپوست ماده خشک گیاه و جذب به ترتیب ۵۲/۱ و ۴۱/۲ درصد افزایش معنی دار

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های ذرت در خاک‌های مورد مطالعه

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

فسفر محلول و تبادل	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 تبادل
۰/۸۹**	۰/۸۳**	۰/۰۳ ^{NS}	۰/۴۶ ^{NS}	۰/۸۱**	۰/۷۳**	۰/۷۱**	۰/۳۴ ^{NS}	۰/۸۱**	۱/۰۰	
۰/۹۲**	۰/۹۷**	۰/۴۴ ^{NS}	۰/۱۷ ^{NS}	۰/۸۶**	۰/۵۸*	۰/۶۹*	۰/۵۳ ^{NS}	۱/۰۰	۱/۰۰	
۰/۵۷ ^{NS}	۰/۵۸*	۰/۲۳ ^{NS}	۰/۲۱ ^{NS}	۰/۶۶*	۰/۳۱ ^{NS}	۰/۶۲*	۱/۰۰			
۰/۸۱**	۰/۷۲**	۰/۱۱ ^{NS}	۰/۲۷ ^{NS}	۰/۹۱**	۰/۸۶**	۱/۰۰				
۰/۷۱**	۰/۵۸*	۰/۲۵ ^{NS}	۰/۵۳ ^{NS}	۰/۷۴**	۱/۰۰					
۰/۹۴**	۰/۹۰**	۰/۱۱ ^{NS}	۰/۱۵ ^{NS}	۱/۰۰						
۰/۲۹ ^{NS}	۰/۱۳ ^{NS}	۰/۴۲ ^{NS}	۱/۰۰							
۰/۱۷ ^{NS}	۰/۴۲ ^{NS}	۱/۰۰								
۰/۹۶**	۱/۰۰									
جذب	۱/۰۰									

*, ** و ^{NS} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌دار.

و ماده خشک (۰/۵۸-) همبستگی منفی و معنی‌دار ($P < 0.05$) و 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.

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-)

نتیجه گیری

بستگی نداشت و اثر ورمی کمپوست بر افزایش ماده خشک و جذب فسفر بیش از کود شیمیایی فسفره بود. بنابراین برای خاک‌های مشابه می‌توان از ورمی کمپوست به‌عنوان جایگزین کود شیمیایی فسفره برای کشت ذرت استفاده کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در خاک‌های دارای کمبود شدید فسفر نیز این مطالعه انجام شود.

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد همزمان ورمی کمپوست و کود شیمیایی فسفره باعث افزایش فسفر قابل استفاده شد که می‌تواند به دلیل 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 ورمی کمپوست

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. Ayeenehdyari 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. Hosseinpour, 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.

19. Marschner, H., 2011. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic, London.
20. Moghimi, N., A. Hosseinpour 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 monocropping 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. Condrón 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.

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. Hosseinpour 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 between 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 vermicopost, 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 vermicopost 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