نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۸، ص. ۶۰۳-۵۹۱

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 4, Sep-Oct. 2019, p. 591-603

برهمکنش سولفات روی و ورمی‌کمپوست بر قابلیت استفاده و جزءبندی روی در یک خاک آهکی

فاطمه محمدی ناوچی‌نژاد[۱]- علیرضا حسین‌پور[۲]- حمیدرضا متقیان[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱

چکیده

کمبود روی از مشکلات خاک‌های آهکی است و برطرف کردن آن منجر به افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود. کودهای شیمیایی روی با گذشت زمان غیر قابل استفاده شده و کودهای آلی می‌تواند با تأثیر بر توزیع روی در خاک‌ها باعث بهبود قابلیت استفاده آن شوند. اما نحوه تأثیر و برهمکنش آنها با کودهای شیمیایی نیازمند بررسی دقیق تغییر قابلیت استفاده و اجزاء روی در خاک‌های تیمارشده با کودهای آلی و شیمیایی است. هدف این تحقیق بررسی برهمکنش سولفات روی و ورمی‌کمپوست بر قابلیت استفاده و جزءبندی روی در طی زمان در یک خاک آهکی رسی بود. این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل فاکتور اول ورمی‌کمپوست (دو سطح ۰ و ۱ درصد) و فاکتور دوم روی (سه سطح ۰، ۲ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات روی) با ۳ تکرار انجام شد. نمونه‌های خاک تیمارشده در دمای ۱± ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ظرفیت زراعی به‌مدت ۱۲۰ روز در انکوباتور خوابانده شدند. در شروع آزمایش، ۶۰ و ۱۲۰ روز پس از خوابانden نمونه‌ای از هر تیمار برای تعیین قابلیت استفاده با روش DTPA-TEA و اندازه‌گیری اجزاء روی با روش BCR برداشته شد. نتایج نشان داد که در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست میانگین روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA به‌صورت معنی‌داری ($P<0/05$) افزایش یافت. برهمکنش ورمی‌کمپوست و زمان بر روی قابل استفاده معنی‌دار نبود ($P>0/05$). با گذشت زمان روی قابل استفاده در حضور سولفات روی کاهش یافت ($P<0/05$). علاوه بر آن، در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست در خاک‌های تیمارشده با روی، اجزاء روی با گذشت زمان افزایش یافتند. به‌جز روی باقیمانده که با گذشت زمان کاهش یافت. بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که رابطه معنی‌داری بین روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و اجزاء مختلف روی وجود داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست اجزاء روی در خاک رسی تیمارشده با سولفات روی تغییر کرده و قابلیت استفاده آن افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: جزء بندی، خاک رسی، سولفات روی، ورمی کمپوست

مقدمه

اغلب خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، آهکی و دارای واکنش قلیایی هستند. این شرایط همراه با فقر این خاک‌ها از نظر مواد آلی باعث می‌شود که بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها با کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف به ویژه روی روبه‌رو شوند (۲۱). روی در بیش از ۳۰۰ آنزیم درگیر در فرآیندهای متابولیسمی در انسان، دام و گیاه وجود دارد (۲۰). بنابراین تأمین این عنصر به میزان کافی برای رشد طبیعی انسان ضروری است. برای رفع مشکل کمبود روی می‌توان از چند روش استفاده کرد، یکی از روش‌های رایج استفاده از کودهای شیمیایی حاوی روی مانند سولفات روی است (۶). کاربرد کودهای آلی از جمله دیگر روش‌های افزایش قابلیت استفاده عناصر برای گیاه است. علاوه بر آزادشدن روی در طی تجزیه کودهای آلی، افزایش قابل ملاحظه غلظت روی قابل جذب در خاک‌های دارای کمبود این عنصر پس از استفاده از کودهای آلی به دلیل تشکیل کمپلکس‌های محلول روی با مواد آلی می‌باشد (۳). نتایج تحقیقات نشان داده است که کاربرد تلفیقی کودهای آلی با کودهای شیمیایی می‌تواند ضمن کاهش هزینه تولید، عملکرد کمی و کیفی گیاهان را نیز افزایش دهد (۲۵).

ورمی‌کمپوست از جمله کودهای آلی مورد استفاده در کشاورزی است. ورمی‌کمپوست در واقع کمپوست حاصل از فعالیت کرم‌های خاکی روی پسمانده‌ها و بقایا می‌باشد که نه تنها شامل لاشه و اجساد کرم‌ها است بلکه مواد بستری و نیز پسمانده‌های آلی در مراحل مختلف تجزیه را نیز در بر می‌گیرد. این کود دارای ذرات با سطح ویژه بالایی می‌باشد که باعث بهبود وضعیت فضاهای ریز خاک از نظر

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: motaghian.h@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.v0i0.78662

فعالیت میکروبی و قابلیت نگهداری بالای عناصر غذایی می‌شود (۲). ورمی‌کمپوست راه‌کاری پایدار برای حفظ تولید و بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با ورودی کم مواد آلی است (۵).

خاک از ترکیبات مختلف مانند کانی‌های رسی، اکسیدهای آهن، آلومینیوم و منگنز، کربنات‌ها، مواد آلی و دیگر اجزای جامد تشکیل شده است و با پیوند عناصر با این ترکیبات اجزاء مختلف عناصر تشکیل می‌شود (۳۱). جابجایی عناصر در خاک‌ها وابسته به جزءبندی آنها است (۸). بر همین اساس جداسازی و تعیین اجزاء عناصر در برآورد مقدار قابل‌استفاده آنها حائز اهمیت است.

درباره بررسی اثر مواد آلی بر تغییر قابلیت استفاده و اجزاء روی، کمالی و همکاران (۲۰۱۱) تحقیقی انجام دادند که در آن اثر کود گاوی، کاه و کلش گندم و ورمی‌کمپوست را بر سولفات روی اضافه‌شده به یک خاک آهکی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که در خاک‌های تیمارنشده روی بیشتر در جزء باقیمانده قرار می‌گیرد که در دسترس گیاه نیست. با افزایش میزان روی بکار برده شده همه اجزاء روی افزایش یافت. بیشترین مقدار روی استفاده شده به جزء پیوند شده با کربنات‌ها تبدیل شد که به علت pH بالا و مقادیر زیاد کربنات کلسیم در خاک مورد مطالعه بود. با اضافه کردن سولفات روی مقدار روی در جزء باقیمانده افزایش یافت، اما مقدار نسبی این جزء کاهش یافت، زیرا سایر اجزاء با اضافه کردن سولفات روی افزایش یافتند در نتیجه درصد نسبی روی باقیمانده کاهش یافت. استفاده از مواد آلی همه اجزاء به‌جز روی پیوندشده با اکسیدهای منگنز را افزایش داد که به علت مقادیر کم اکسیدهای منگنز در خاک گزارش شد (۱۵). همچنین کمالی و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی اثر ورمی‌کمپوست و زمان خوابانیدن بر سولفات روی اضافه‌شده به یک خاک آهکی پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که در خاک‌های تیمارنشده بیشتر روی در جزء باقیمانده بود. با افزایش میزان روی بکار برده شده به‌طور معنی‌داری همه اجزاء روی افزایش یافت و اجزاء پیوندشده با کربنات‌ها و باقیمانده بیشترین افزایش را نشان دادند. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست همه اجزاء روی به‌جز روی پیوندشده با اکسیدهای منگنز را افزایش داد. با گذشت زمان خوابانیدن روی پیوندشده با ماده آلی و روی محلول و تبادلی کاهش و سایر اجزاء روی افزایش یافتند. بنابراین آن‌ها گزارش کردند که این تغییرات به معنی کاهش قابلیت استفاده روی در خاک با زمان است (۱۴). حسین‌پور و متقیان (۲۰۱۴) تأثیر کاربرد ۰، ۰/۵ و ۱ درصد کود گاوی و ورمی‌کمپوست را بر جزءبندی و قابلیت استفاده روی بعد از گذشت ۳۰ روز مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که کمترین و بیشترین مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA- TEA به ترتیب در خاک شاهد، خاک‌های تیمارشده با ۱ درصد کود دامی و ۱ درصد ورمی‌کمپوست بود. بین روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های تیمارشده با سطوح مختلف هر کود تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P>0/05$). روی پیوندشده با ماده آلی در خاک‌های تیمارشده با ۰/۵ و ۱ درصد کود دامی و ورمی‌کمپوست با خاک شاهد تفاوت معنی‌داری ($P>0/05$) داشت. درحالی‌که تفاوت روی پیوندشده با ماده آلی در خاک‌های تیمارشده با سطوح مختلف کودها معنی‌دار نبود ($P>0/05$). بیشترین مقدار روی پیوندشده با ماده آلی در خاک تیمارشده با کود دامی و پس از آن در خاک تیمارشده با ورمی‌کمپوست مشاهده شد (۱۱). همچنین، ضرابی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر سولفات روی و کمپوست لجن فاضلاب بر اجزاء روی در ۸ نمونه خاک آهکی پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که میانگین غلظت روی در همه اجزاء با کاربرد سولفات روی و کمپوست لجن فاضلاب افزایش یافت (۳۳).

به‌طورکلی بر اساس بررسی‌های انجام شده، به دنبال ورود روی به خاک، به سرعت قابلیت استفاده آن کاسته شده و با گذشت زمان جزء محلول به جزءهایی با حلالیت کمتر تبدیل می‌شود (۲۳). کودهای آلی می‌توانند با روش‌های مختلف به افزایش قابلیت استفاده روی در خاک کمک کنند. بنابراین آگاهی از تأثیر کودهای آلی بر قابلیت استفاده این عنصر در طی زمان ضروری است. در این تحقیق به بررسی اثر گذر زمان، سولفات روی و ورمی‌کمپوست بر قابلیت استفاده و اجزاء روی در یک خاک آهکی رسی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

این تحقیق در یک نمونه خاک رسی و آهکی دارای کمبود روی (کمتر از یک میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۲۰) انجام شد. این خاک از زمین‌های دانشگاه شهرکرد برداشته شد. نمونه جمع‌آوری‌شده هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی ویژگی‌های خاک شامل بافت به روش هیدرومتر (۹)، pH در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب به خاک (۳۱)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۲ به ۱ آب به خاک (۲۶)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (۲۲)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید هیدروکلریک و تیتراسیون اسید باقیمانده با هیدروکسید سدیم (۱۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استات سدیم در pH برابر ۷ (۲۹)، روی قابل استفاده با دی‌اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (DTPA-TEA) (۱۶) و روی کل در خاک با استفاده از هضم با اسید نیتریک ۴ مولار (۲۸) تعیین شد.

ورمی‌کمپوست

ورمی‌کمپوست کود گاوی هوا خشک و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی ویژگی‌های کود شامل pH (۳۱)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۵ به ۱ آب به کود (۲۶)، کربن آلی (۲۲)، روی عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA (۱۶) و روی کل با

استفاده از هضم با اسید نیتریک ۴ مولار (۲۸) تعیین شد.

انکوباسیون

این مطالعه به‌صورت آزمایش فاکتوریل شامل فاکتور اول ورمی‌کمپوست (دو سطح ۰ و ۱ درصد) و فاکتور دوم روی (سه سطح ۰، ۲ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات روی) با سه تکرار انجام گرفت. نمونه‌های خاک تیمارشده به‌مدت ۱۲۰ روز در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد خوابانده شد. برای حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه (۱۷ درصد) در طول دوره خوابانیدن نمونه‌ها وزن و به مقدار کافی آب مقطر به نمونه‌ها اضافه شد. در شروع آزمایش (۳ ساعت)، ۶۰ و ۱۲۰ روز پس از خوابانـدن، نمونه‌ای از هر تیمار برای آزمایش‌های تعیین قابلیت استفاده و جزءبندی روی برداشت شد.

تعیین قابلیت استفاده و جزءبندی روی

برای تعیین روی قابل استفاده در نمونه‌های تیمارشده از روش DTPA-TEA استفاده شد (۱۶). برای تعیین اجزاء محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها از روش Community Bureau of Reference; BCR (۲۴) و برای تعیین جزء باقیمانده از روش اسپوزیتو و همکاران (۱۹۸۲) (۲۸) استفاده شد. جزءبندی به این صورت انجام شد که به ۱ گرم خاک، ۴۰ میلی‌لیتر CH_3COOH ۰/۱ مولار افزوده و در دمای ۲±۲۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت قرار داده شد (روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها)، به خاک مرحله قبل ۴۰ میلی‌لیتر $NH_2OH.HCl$ ۱ مولار (pH= ۱/۵ با HNO_3 ۲ مولار) افزوده و در دمای ۲±۲۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت قرار داده شد (روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز)، به خاک مرحله قبل ۱۰ میلی‌لیتر H_2O_2 ۳۰٪ (۱ ساعت و در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد) + ۵۰ میلی‌لیتر CH_3COONH_4 ۱ مولار (۲ =pHبا HNO_3 ۲ مولار) افزوده و در دمای ۲±۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت قرار داده شد (روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها) و روی باقیمانده با افزودن ۷ میلی‌لیتر HNO_3 ۴ نرمال به خاک قبل در دمای ۲±۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت عصاره‌گیری خواهد شد.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از بررسی فرضیات تجزیه واریانس شامل همگنی واریانس‌ها و نرمال بودن باقیمانده‌ها اثر عوامل تغییرات (ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی در طی زمان) بر روی قابل استفاده و اجزاء روی با استفاده از تجزیه واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر (repeated measure ANOVA) و مدل جامع خطی (GLM) بررسی شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. ضریب همبستگی پیرسون بین روی قابل استفاده با اجزاء روی تعیین شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistica انجام شد. اندازه اثر (Eta^2) نشان‌دهنده سهم هر یک از عوامل در تغییرات کل ویژگی‌ها می‌باشد و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۳۰):

$$Eta^2 = \frac{\text{مجموع مربعات هر عامل}}{\text{مجموع مربعات کل}}$$

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک و ورمی‌کمپوست

برخی از ویژگی‌های خاک و ورمی‌کمپوست مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. خاک مورد مطالعه آهکی با pH برابر با ۸ و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) برابر با ۰/۱۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین مقدار کربنات کلسیم معادل آن ۳۴ درصد بود. روی قابل استفاده ۰/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که کمتر از حد بحرانی این عنصر (یک میلی‌گرم در کیلوگرم) است (ملکوتی، ۲۰۰۳). مقدار روی کل در خاک مورد مطالعه ۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. ورمی‌کمپوست مورد استفاده دارای ۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و روی کل ۱۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

روی قابل استفاده

نتایج تجزیه واریانس مقادیر روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش DTPA- TEA در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که اثر ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی، زمان و برهمکنش زمان و کود شیمیایی بر مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA- TEA معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). نتایج نشان داد کود شیمیایی سولفات روی بیشترین تأثیر را بر روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA داشت.

مقایسه میانگین برهمکنش زمان و کود شیمیایی نشان داد که روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA در همه زمان‌ها با کاربرد روی افزایش معنی‌داری یافت ($P<۰/۰۵$). در تیمار بدون کاربرد روی، روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA با گذشت زمان تغییری نداشت ($P>۰/۰۵$). در خاک‌های تیمارشده با ۲ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، با گذشت زمان روی عصاره‌گیری شده کاهش یافت و در زمان‌های ۶۰ و ۱۲۰ روز پس از انکوباسیون تفاوت معنی‌داری نداشت ($P>۰/۰۵$) (جدول ۳).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ورمی‌کمپوست

Table 1- Some chemical and physical properties of soil and vermicompost

ویژگی Properties	خاک Soil	ورمی‌کمپوست Vermicompost
pH	8	7.5
EC ($dS\ m^{-1}$)	0.18	2.6
CEC ($cmol_+\ kg^{-1}$)	15.8	-
OC (%)	0.33	7
شن Sand (%)	16	-
سیلت Silt (%)	34	-
رس Clay (%)	50	-
بافت Texture	رسی clay	-
$CaCO_3$ (%)	34	-
DTPA-TEA - Zn ($mg.kg^{-1}$)	0.37	19
روی کل Total Zn ($mg.kg^{-1}$)	48	116

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مقادیر روی عصاره‌گیری شده با استفاده از DTPA-TEA

Table 2- Results of ANOVA of extracted Zn using DTPA-TEA

منابع تغییرات Sources of variation	df	میانگین مربعات MS
بین عوامل Between-Subject Effect		
ورمی‌کمپوست (V)	1	1.12(0.76)**
کود شیمیایی (F)	2	23.81(0.99)**
V×F	2	0.05(0.22) ns
خطا Error	12	0.03
درون عوامل Within- Subject Effect		
زمان (T)	2	6.94(0.95)**
T×V	2	0.02(0.05) ns
T×F	4	3.90(0.96)**
T×F×V	4	0.01(0.05)ns
خطا Error	24	0.03
آزمون کرویت (p)		0.26
اپسیلون		1

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار

اعداد داخل پرانتز Eta^2 است.

** Significant at P< 0.01, and ns no significant.

The numbers in parentheses are Eta^2.

$$Eta^2 = \{ss_{effect}/(ss_{effect}+ss_{error})\}$$

همچنین مقایسه میانگین اثر کاربرد ورمی‌کمپوست نشان داد که کاربرد این کود سبب افزایش معنی‌دار روی عصاره‌گیری شده نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۱). حسین‌پور و متقیان (۲۰۱۴)، ابطحی و همکارن (۲۰۱۳) و حسین‌پور و متقیان (۲۰۱۶) گزارش کردند که افزودن کودهای آلی به خاک، منجر به افزایش معنی‌دار روی قابل استفاده می‌شود (۱، ۱۱ و ۱۲). ما و اورن (۲۰۰۶) و کمالی و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که با گذشت زمان قابلیت استفاده روی کاهش یافت (۱۴ و ۱۹). افزایش مقدار روی قابل جذب خاک در اثر کاربرد کودهای آلی، علاوه بر وجود این عنصر در ورمی‌کمپوست به تجزیه مواد آلی آن، تشکیل اسیدهای آلی و گاز دی‌اکسیدکربن که سبب افزایش اسید کربنیک خاک و در نهایت با کاهش pH خاک می‌تواند بر قابلیت جذب روی اثر بگذارد (۲۷).

جدول ۳- اثر کاربرد سولفات روی و زمان انکوباسیون بر روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 3- Effect of applied Zn and incubation time on extracted Zn (mg kg^{-1}) with DTPA-TEA

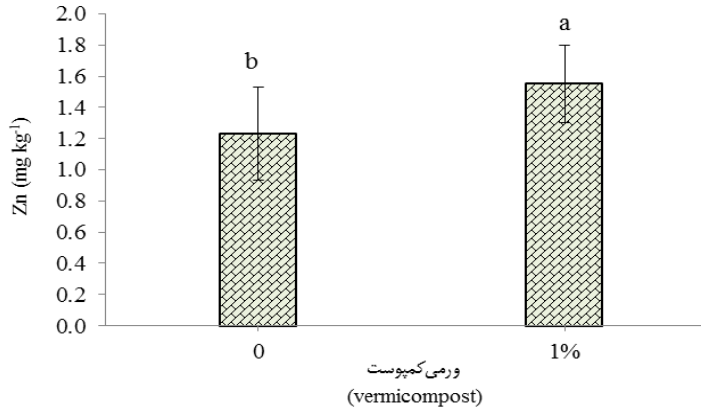
Zn (mg.kg^{-1})	زمان Time		
	1h	60 d	120 d
0	0.29(0.04)Ac	0.41(0.05)Ac	0.43 (0.06)Ac
2	1.67(0.05)Ab	0.95(0.06)Bb	0.89(0.08)Bb
5	4.38(0.11)Aa	1.87(0.16)Ba	1.68(0.13)Ba

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد (SE) هستند.

حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در هر ردیف و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

The numbers in parentheses are standard errors (SE).

The uppercase letters indicate the significant difference between the means in each row and the lowercase letters indicate the significant difference between the means in each column based on the LSD test at the 5 % level.



شکل ۱- اثر کاربرد ورمی‌کمپوست بر روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

Figure 1- Effect of applied vermicompost on extracted Zn (mg.kg^{-1}) with DTPA-TEA

The diffrent letters indicate the significant difference between the means based on the LSD test at the 5 % level.

اجزاء روی در خاک

نتایج تجزیه واریانس مقادیر اجزاء مختلف روی در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، برهمکنش زمان و کود شیمیایی بر روی باقیمانده در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. برهمکنش زمان، ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها و روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها در سطح احتمال ۱ درصد و بر روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، در حالی‌که این اثر بر روی باقیمانده معنی‌دار نبود ($P > ۰/۰۵$). بین عوامل تغییر، بیشترین تأثیر را به‌ترتیب زمان و ورمی‌کمپوست بر روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها و روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها و زمان و کود شیمیایی بر روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و روی باقیمانده داشتند.

روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی و زمان بر روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به نتایج این جدول یک ساعت پس از انکوباسیون، این جزء روی در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافت و تفاوت معنی‌داری بین کاربرد ورمی‌کمپوست و روی بر آن وجود نداشت. بیشترین مقدار روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها در ۶۰ روز پس از انکوباسیون در تیمار ۱٪ ورمی‌کمپوست به همراه ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی بدست آمد.

روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی و زمان بر روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در جدول ۶ ارائه شده است. در همه تیمارها (به جزء خاک تیمارشده با ورمی‌کمپوست و

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس مقادیر اجزاء مختلف روی
Table 4- Results of ANOVA of different fractions of Zn

منابع تغییرات Sources of variation	df	میانگین مربعات MS			
		محلول، تبادلی و پیوندشده با کربناتها Soluble, exchangeable, and associated with carbonates	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز associated with Fe-Mn oxides	پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها associated with organic matter and sulfids	باقیمانده residual
بین عوامل Between-Subject Effect					
ورمی‌کمپوست (V)	1	0.79(0.99)**	10.47(0.89) **	23.08(0.91) **	0.07(0.01) ns
کود شیمیایی (F)	2	0.20(0.90)**	12.55(0.95) **	18.96(0.94) **	4.28(0.51) **
V×F	2	0.002(0.10)ns	0.12(0.15)ns	0.47(0.28)ns	0.76(0.16)ns
خطا Error	12	0.003	0.11	0.20	0.68
درون عوامل Within- Subject Effect					
زمان (T)	2	2.54(0.99)**	54.73(0.97) **	52.27(0.85) **	182.7(0.94) **
T×V	2	0.10(0.79)**	0.66(0.31) **	0.59(0.06) ns	2.02(0.14)ns
T×F	4	0.07(0.83)**	0.63(0.47) **	1.08(0.19)ns	3.04(0.33) *
T×F×V	4	0.02(0.53)**	0.40(0.36) *	3.91(0.46) **	2.52(0.29)ns
خطا Error	24	0.002	0.12	0.77	1.05
آزمون کرویت (p)		0.01	0.09	0.01	0.76
اپسیلون		1	1	1	1

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار

اعداد داخل پرانتز Eta^2 است.

** Significant at P< 0.01 , * Significant at P< 0.05 and ns no significant.

The numbers in parentheses are Eta^2.

$$Eta^2 = \{SS_{effect}/(SS_{effect}+SS_{error})\}$$

۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی) روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در ابتدای آزمایش با ۶۰ روز پس از انکوباسیون تفاوت معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). اما ۱۲۰ روز پس از انکوباسیون این جزء افزایش یافت (P<۰/۰۵). در هر زمان با کاربرد روی، روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز افزایش یافت (P<۰/۰۵). در این تیمار، این جزء نسبت به شاهد ۱۸۸ درصد افزایش یافت. همچنین، با کاربرد ورمی‌کمپوست بر تیمارهای دارای ۲ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، این جزء به ترتیب ۶۴ و ۶۰ درصد افزایش یافت. پس از ۹۰ روز از انکوباسیون، بیشترین مقدار روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربناتها در تیمارهای دارای ۲ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی به همراه ورمی‌کمپوست بدست آمد. این تیمارها نسبت به شاهد ۴۰ تا ۴۲ درصد افزایش یافتند. همچنین با افزودن ورمی‌کمپوست به تیمارهای ۲ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، این جزء را به ترتیب ۲۹ و ۴۰ درصد افزایش داد. توری و لاوادو (۲۰۰۸)، کمالی و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۱۱)، گزارش کردند که افزودن کودهای آلی و شیمیایی به خاک، منجر به افزایش معنی‌دار روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربناتها گردید (۱۴، ۱۵ و ۳۲). همچنین، جلالی و خانلری (۲۰۰۸) و کمالی و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۱۱) بیان کردند که با گذشت زمان روی محلول و تبادلی کاهش و روی پیوندشده با کربناتها افزایش یافت (۱۳، ۱۴ و ۱۵). با افزودن کود آلی به خاک آهکی، روی به صورت کربنات روی رسوب کرده و درصد زیادی از روی قابل جذب حاصل از تجزیه ماده آلی و کود روی افزوده شده به خاک در شکل کربناتی رسوب می‌کند (۱۱ و ۱۲). در این مطالعه با گذشت زمان روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربناتها افزایش یافت. با توجه به اینکه در این مطالعه اجزاء روی به روش BCR تعیین گردید و در این روش جزء محلول، تبادلی و پیوندشده با کربناتها در مرحله اول و با یک عصاره‌گیر استخراج شد؛ این افزایش می‌تواند مربوط به افزایش روی پیوندشده با کربناتها باشد.

جدول ۵- اثر کاربرد، ورمی‌کمپوست، روی و زمان انکوباسیون بر روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 5- Effect of applied vermicompost, Zn, and incubation time on exchangeable, soluble Zn and Zn associated with carbonates (mg.kg^{-1})

Vermicompos (%)	Zn (mg.kg^{-1})	زمان time		
		1h	60 d	120 d
0	0	0.36(0.00)Bb	0.40(0.05)Bc	0.96(0.02)Ad
	2	0.42(0.01)Bab	0.50(0.01)Bd	0.96(0.04)Ad
	5	0.45(0.01)Cab	0.72(0.00)Bc	1.10(0.01)Ac
1	0	0.50(0.03)Ba	0.56(0.00)Bd	1.32(0.06)Ab
	2	0.44(0.02)Cab	0.82(0.06)Bb	1.34(0.01)Aa
	5	0.50(0.00)Ca	1.15(0.03)Ba	1.42(0.01)Aa

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد (SE) هستند.

حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در هر ردیف و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

The numbers in parentheses are standard errors (SE).

The uppercase letters indicate the significant difference between the means in each row and the lowercase letters indicate the significant difference between the means in each column based on the LSD test at the 5 % level.

بیشترین مقدار روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، یک ساعت پس از شروع انکوباسیون در تیمار دارای ۱ درصد ورمی‌کمپوست و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی بود. افزودن ۱ درصد ورمی‌کمپوست به خاک دارای ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی به افزایش ۲۱۱ درصد انجامید. ۶۰ روز پس از انکوباسیون این جزء در همه تیمارها به‌جز ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین مقدار این جزء در ۱۲۰ روز پس از انکوباسیون، در خاک دارای ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی بدست آمد. هی و همکاران (۲۰۰۷)، کمالی و همکاران (۲۰۱۱) و حسین‌پور و متقیان (۲۰۱۴) گزارش کردند که افزودن کودهای آلی و شیمیایی به خاک، منجر به افزایش معنی‌دار روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز گردید (۱۰، ۱۲ و ۱۵). در برخی تحقیقات بیان شده است که با گذشت زمان روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز افزایش یافت (۱۳، ۱۹ و ۳۲). لو و کریسته (۱۹۹۸) گزارش کردند که افزایش مقدار روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در اثر کاربرد کودهای آلی و شیمیایی، به دلیل تمایل زیاد روی به جذب بر سطوح اکسیدهای آهن و منگنز به خصوص در pHهای بالا می‌باشد. به همین دلیل ممکن است مقداری از روی افزوده شده به خاک و همچنین روی موجود در مواد آلی پس از آزاد شدن به این اکسیدها متصل شده و بنابراین مقادیر مربوط به این اجزاء افزایش یابد (۱۸). بنابراین، با اضافه شدن روی در اثر کاربرد کودهای آلی و شیمیایی به خاک، روی اضافه شده جذب و به داخل منافذ ریز خاک منتشر می‌شود، در نتیجه قابلیت استفاده روی با گذشت زمان کاهش و از اجزاء محلول و تبادلی به اجزاء با قابلیت استفاده کمتر مانند جزء اکسیدی انتقال می‌یابد (۱۹).

جدول ٦- اثر کاربرد ورمی‌کمپوست، روی و زمان انکوباسیون بر روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 6- Effect of applied vermicompost, Zn, and incubation time on Zn associated with Fe/Mn oxides (mg.kg^{-1})

Vermicompos (%)	Zn (mg.kg^{-1})	زمان time		
		1h	60 d	120 d
0	0	1.60(0.05)Bd	1.52(0.02)Bb	4.22(0.03)Ad
	2	1.81(0.13)Bd	1.73 (0.08)Bb	4.92(0.39)Ac
	5	3.17(0.04)Bb	2.81(0.10)Ba	6.57(0.10)Aa
1	0	2.59(0.14)Bc	2.46(0.08)Ba	5.25(0.26)Ac
	2	2.98(0.13)Bbc	2.52(0.00)Ba	5.85(0.35)Ab
	5	4.98(0.5)Ba	2.98(0.08)Ca	6.68(0.16)Aa

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد (SE) هستند.

حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در هر ردیف و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

The numbers in parentheses are standard errors (SE).

The uppercase letters indicate the significant difference between the means in each row and the lowercase letters indicate the significant difference between the means in each column based on the LSD test at the 5 % level.

روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی و زمان بر روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به نتایج این جدول در همه تیمارها روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها ۶۰ روز پس از انکوباسیون نسبت به ابتدای آزمایش افزایش یافت (P<۰/۰۵). اما ۱۲۰ روز پس از انکوباسیون این جزء (به جزء خاک تیمارشده با ورمی‌کمپوست و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی) نسبت به ابتدای آزمایش تفاوت معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها یک ساعت پس از انکوباسیون در همه تیمارها به‌جز ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی افزایش یافت. این افزایش نسبت به شاهد ۱۱ تا ۲۰ درصد بود. این جزء ۶۰ روز پس از انکوباسیون در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافت (۱۱ تا ۳۳ درصد). اما بین تیمارهای مختلف کوددادده شده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵). ۱۲۰ روز پس از شروع انکوباسیون، این جز در تیمار ورمی‌کمپوست به همراه ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی بیشترین مقدار را داشت و در مقایسه با شاهد ۳۱ درصد افزایش یافت. هی و همکاران (۲۰۰۷) و کمالی و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۱۱) گزارش کردند که افزودن کودهای آلی و شیمیایی منجر به افزایش معنی‌دار روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها گردید (۱۰، ۱۵ و ۱۶). افزایش روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها در اثر کاربرد کودهای آلی و شیمیایی به وجود این عنصر در کودها و تشکیل کمپلکس با مواد آلی مربوط می‌شود (۴). جلالی و خانلری (۲۰۰۸) بیان کردند که با گذشت زمان روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها افزایش یافت (۱۳)؛ به نظر می‌رسد دلیل احتمالی این امر انتقال روی از جزءهای تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها به پیوندشده با مواد آلی باشد (۸). در حالی‌که بگوسز و الیسزوک (۲۰۱۸) گزارش کردند که با گذشت زمان روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها کاهش یافت و دلیل کاهش روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها با زمان را انحلال و تخریب ترکیبات آلی موجود در کود در طی زمان دانستند (۷).

روی باقیمانده

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کودشیمیایی و زمان بر روی باقیمانده در جدول ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد در همه تیمارها با گذشت زمان روی باقیمانده کاهش یافت. در هر زمان (به جزء ابتدای آزمایش) با کاربرد ۲ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی، روی باقیمانده نسبت به تیمار بدون کاربرد روی تفاوت معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). ما و اورن (۲۰۰۶) و کمالی و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۱۱) گزارش کردند که با گذشت زمان روی باقیمانده افزایش یافت که این تغییرات به دلیل کاهش قابلیت استفاده روی در خاک با زمان و تبدیل آن به اجزاء با قابلیت استفاده کمتر می‌باشد (۱۵، ۱۶ و ۱۹). در حالی‌که در تحقیق حاضر، جزء باقیمانده با گذشت زمان کاهش یافت. توری و لاوادو (۲۰۰۸) و بگوسز و الیسزوک (۲۰۱۸) بیان کردند که با گذشت زمان روی، باقیمانده کاهش یافت (۷ و ۳۲). دلیل احتمالی این کاهش می‌تواند انحلال و تخریب ترکیبات غیر آلی موجود در خاک و انتقال آن‌ها به اجزاء با قابلیت استفاده بیشتر باشد (۷).

جدول ۷- اثر کاربرد ورمی‌کمپوست، روی و زمان انکوباسیون بر روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 7- Effect of applied vermicompost, Zn, and incubation time on Zn associated with organic matter and sulfides ($mg.kg^{-1}$)

Vermicompos (%)	Zn ($mg.kg^{-1}$)	زمان time		
		1h	60 d	120 d
0	0	11.70(0.00)Bc	13.05(0.25)Ab	12.15(0.03)Bc
	2	11.87(0.36)Bbc	16.18(1.12)Aa	12.53(0.50)Bc
	5	14.00(0.06)Ba	16.77(0.04)Aa	13.10(0.09)Bc
1	0	13.17(0.52)Ba	16.60(0.00)Aa	12.18(0.13)Bc
	2	12.98(0.57)Bcb	16.60(0.52)Aa	14.33(0.42)Bb
	5	14.08(0.62)Ba	17.35(0.58)Aa	15.84(0.08)Ca

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد (SE) هستند.

حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در هر ردیف و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

The numbers in parentheses are standard errors (SE).

The uppercase letters indicate the significant difference between the means in each row and the lowercase letters indicate the significant difference between the means in each column based on the LSD test at the 5 % level.

جدول ۸- اثر کاربرد روی و زمان انکوباسیون بر روی باقیمانده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 8- Effect of applied Zn and incubation time on residual Zn (mg.kg^{-1})

Zn (mg.kg^{-1})	زمان Time		
	1h	60 d	120 d
0	36.07(0.56)Ab	35.00(0.33)Ba	31.37(0.53)Ca
2	37.52(0.64)Aa	35.89(0.40)Ba	30.60(0.48)Ca
5	38.46(0.07)Aa	35.67(0.29)Ba	31.18(0.20)Ca

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد (SE) هستند.

حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در هر ردیف و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

The numbers in parentheses are standard errors (SE).

The uppercase letters indicate the significant difference between the means in each row and the lowercase letters indicate the significant difference between the means in each column based on the LSD test at the 5 % level.

جدول ۹- ضریب همبستگی پیرسون بین روی عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA با اجزاء روی (n=٥٤)

Table 9- Pearson correlation matrix between Zn-DTPA and fractions of Zn (n=54)

زمان انکوباسیون Incubation time	محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها Soluble, exchangeable, and associated with carbonates	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز Associated with Fe-Mn oxides	پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها Associated with organic matter and sulfids	باقیمانده Residual	کل Total
1h	0.41ns	0.77**	0.64**	0.64**	0.81**
60 d	0.87**	0.76**	0.25	0.56**	0.74**
120 d	0.51*	0.89**	0.79**	0.86**	0.82**

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار

** Significant at P< 0.01, * Significant at P< 0.05 and ns no significant.

همبستگی بین روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و اجزاء روی

نتایج مطالعات همبستگی مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA با اجزاء آن در زمان‌های مختلف در جدول ۹ آورده شده است. نتایج این جدول نشان داد که که همبستگی معنی‌داری بین روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها در ۶۰ روز پس از انکوباسیون، روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در ابتدای آزمایش، ۶۰ و ۱۲۰ روز پس از انکوباسیون و روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها در ابتدای آزمایش و ۱۲۰ روز پس از انکوباسیون وجود داشت. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و روی باقیمانده و کل در هر سه زمان مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که عصاره‌گیر مورد استفاده، روی را از این اجزاء عصاره‌گیری می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست در خاک آهکی رسی میانگین روی قابل استفاده را افزایش داد و اثر ورمی‌کمپوست بر روی قابل استفاده به زمان وابسته نبود. با گذشت زمان روی قابل استفاده در حضور کود شیمیایی (به جزء شاهد) کاهش یافت. در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست در خاک‌های تیمارشده با روی، اجزاء روی افزایش یافتند. همچنین با گذشت زمان روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها و پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز افزایش یافتند. بین روی قابل استفاده و روی محلول، تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها، روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و روی پیوندشده با مواد آلی و سولفیدها همبستگی معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده نقش مؤثر این اجزاء در تأمین روی مورد نیاز گیاه می‌باشد. طبق نتایج بدست آمده در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست اجزاء روی در خاک تیمارشده با سولفات روی تغییر کرده و قابلیت استفاده آن در زمان افزایش یافت.

منابع

1- Abtahi A., Hoodaji M., and Afyuni M. 2013. The effect of biosolids (sewage sludge, urban compost, manure) on soil chemical properties and bioavailability of micronutrients (zinc, iron) by corn in two calcareous soils. Water and Soil 27(1): 14-23. (In Persian with English abstract)

2- Ahmad Abadi Z., Ghajar Sepanlou M., and Rahimi Alashti S. 2012. Effect of vermicompost on physical and chemical properties of soil. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 15(58): 125-137. (In Persian with English abstract)
3- Alloway B.J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris.
4- Almas A., Sing B.R., and Salbu B. 1999. Mobility of cadmium-109 and zinc-65 in soil influenced by equilibration time, temperature and organic matter. Journal of Environmental Quality 64: 955-962.
5- Atiyeh R.M., Subler S., Edwards C.A., Bachman G., Metzger J.D., and Shuster W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. Pedobiology 44: 579-590.
6- Baghbani Arani A., Modarres Sanavy A.M., and Kadkhodaie A. 2015. Effect of wheat and bean residue along with zinc sulfate on zinc and iron concentration and grain yeild of wheat. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 3(25): 91-102. (In Persian with English abstract)
7- Bogusz A., and Oleszczuk P. 2018. Sequential extraction of nickel and zinc in sewage sludge-or biochar/sewage sludge-amended soil. Science of the Total Environment 636: 927-935.
8- Brazauskiene D.M., Paulauskas V., and Sabiene N. 2008. Speciation of Zn, Cu, and Pb in the soil depending on soil texture and fertilization with sewage sludge compost. Journal of Soils and Sediments 8: 184-192.
9- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. p. 404-407. In Klute A (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
10- He M.M., Tian G.M., Liang X.Q., Yu Y.T., Wu J.Y., and Zhou G.D. 2007. Effects of two sludge application on fractionation and phytotoxicity of zinc and copper in soil. Environmental Science 19: 1482-1490.
11- Hosseinpur A.R., and Motaghian H.R. 2014. Effect of sewage sludge application and wheat (*Triticum aestivum* L.) planting on availability and fractionation of zinc in some calcareous soils. Journal of Water and Soil 27: 1100-1110. (In Persian with English abstract)
12- Hosseinpur A.R., and Motaghian H.R. 2016. The effect of cow manure and vermicompost application on fractionation and availability of zinc and copper in wheat planting. Journal of Water and Soil 30: 2005-2018. (In Persian with English abstract)
13- Jalali M., and Khanlari Z.V. 2008. Effect of aging proesses on fractionation of heavy metals in some calcareous soil of Iran. Geoderma 143: 26-40.
14- Kamali S., Ronaghi A., and Karimian N. 2010. Zinc transformation in a calcareous soil as affected by applied zinc sulfate, vermicompost, and incubation time. Communications in Soil Science and Plant Analysis 41: 2318-2329
15- Kamali S., Ronaghi A., and Karimian N. 2011. Soil zinc transformations as affected by applied zinc and organic materials. Communications in Soil Science and Plant Analysis 42: 1038-1049.
16- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal 42: 421-428.
17- Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437-474. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
18- Luo Y.M., and Chiristie P. 1998. Bioavailability of copper and zinc in soils treated with alkaline stabilized sewage sludge. Journal of Environmental Quality 27: 335-342.
19- Ma Y.B., and Uren N.C. 2006. Effect of aging on the availability of zinc added to a calcareous clay soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems 76: 11-18.
20- Malakouti M. J. 2003. The role of zinc in plant growth and enhancing animal and human health. Regional Expert Consultation in Plant, Animal and Human Nutrition: Interaction and Impact, Damascus, Syria.
21- Malakouti M.J., and Homaee M. 2006. Fertility of arid and semi-arid soils "Problems and Solutions". Tarbiat Modares University, Office of Scientific Publications. Tehran. (In Persian)
22- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In D.L. Sparks, (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
23- Rajaei M., and Karimian N.A. 2005. Variation of time variation of cadmium in soils treated with different levels and sources of this element. 9th Soil Science Congress of Iran. Tehran. pp. 483-484.
24- Rauret G., Lopez-Sanchez J.F., Sahuquillo A., Rubio R., Davidson C., Ure A. and Quevauviller P. 1999. Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials. Environmental Monitoring 1(1): 57-61.
25- Rezaei-chiyaneh E., Tajbakhsh M., Ghiyasi M., and Amirnia R. 2015. Effect of integrated organic and chemical fertilizers onquantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry farming coditions. Research in Field Crops 1(3): 55-69. (In Persian with English abstract)
26- Rhoades J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-435. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
27- Sharifi M., Afyuni M., and Khoshgoftarmanesh A.H. 2011. Effects of sewage sludge, compost and cow manure on availability of soil fe and zn and their uptake by corn, alfalfa and tagetes flower. Water and Soil Sience 15(56): 141-154. (In Persian with English abstract)
28- Sposito G.L., Lund J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage

sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal 46: 260-265.

29- Sumner M.E., and Miller P.M. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. p. 1201-1230. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.

30- Tabachnick B.G., and Fidell L.S. 2012. Using Multivariate Statistics, 6th ed. Pearson publisher New Jersey. pp. 54-55.

31- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.

32- Torri S.I., and Lavado R. 2008. Zinc distribution in soils amended with different kinds of sewage sludge. Journal of Environmental Managment 88: 1571-1579.

33- Zarrabi A., Yasrebi J., Ronaghi A., Ghasemi Fasaei R., and Sameni A. 2018. Influence of zinc sulfate and municipal solid waste compost on chemical forms of zinc in calcareous soils. Arid Land Research and Management 32(2): 170-183.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 4, Sep-Oct. 2019, p. 591-603

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۸، ص. ۶۰۳-۵۹۱

Intraction Effect of Zinc Sulphate and Vermicompost on Availability and Fractions of Zinc in a Calcareous Soil

F. Mohammadi Navchinejad[1]- A. R. Hosseinpur[2] - H. R. Motaghian[3*]

Received: 28-01-2019
Accepted: 02-09-2019

Introduction: Application of organic fertilizers such as vermicompost to agricultural calcareous soils with low organic matter content is a way to add nutrients to these soils. Different organic fertilizers have different effects on soil nutrient availability. Moreover, the study of nutrients distribution in the soil allows us to investigate their mobility and bioavailability. Zinc (Zn) deficiency is an important problem in many calcareous soils due to its effect on increasing the yield of agricultural products. Organic fertilizers can improve availability of Zn by impact on its fractionation. On the other hand, their interaction with chemical fertilizers requires careful consideration of availability and fractionation of Zn in soils treated with organic and chemical fertilizers. The aim of this research was to investigate the interaction effect of zinc sulphate, and vermicompost on availability and fractions of Zn in a calcareous clay soil.

Materials and Methods: This study was performed as a completely randomized factorial design including two levels of vermicompost (0 and 1% w/w) and three levels of Zn (0, 2, and 5 mg kg^{-1} as $ZnSO_4$) with three replications. All treated soils were incubated for 120 days at 22 ± 1 ^{0}C and constant moisture (17% w/w). Zinc availability (DTPA-TEA) and other fractions (BCR method) were determined at the beginning of experiment, 60 days, and 120 days after incubation. The soil samples were sequentially extracted using an operationally defined sequential fractionation procedure, based on that employed by BCR in which increasingly strong extractants were used to release Zn associated with different soil fractions. Four Zn -fractions were extracted in the following sequence: Step 1: soluble, exchangeable, and associated with carbonates fraction (a 40 ml of 0.1 M CH_3COOH for 16 h at room temperature), Step 2: iron-manganese oxides-associated fraction (40 ml of 1 M $NH_2OH.HCl$ in 1.5 M HNO_3 for 16 h at 22 ^{0}C), Step 3: organic matter-associated fraction (50 ml of 1 M CH_3COONH_4 in 1.5M HNO_3 for 16 h at 85 ^{0}C) and Finally step 4: residual fraction was determined using 4 M HNO_3 (a 12.5 ml volume of 4 M HNO_3, for 16 h at 80 ^{0}C). Concentrations of Zn in all extractants were determined by Atomic absorption spectroscopy..

Results and Discussion: The results of this study showed that the mean of Zn extracted by DTPA-TEA after vermicompost application increased significantly ($P<0.05$). The interaction between vermicompost and time on Zn extracted by DTPA-TEA was not significant ($P>0.05$). Zinc extracted by DTPA-TEA decreased with increasing incubation time. All forms of Zn increased by vermicompost application in soil samples treated with $ZnSO_4$. Soluble, exchangeable, and bound to carbonates Zn and Zn associated to Fe-Mn oxides fractions (except vermicompost with 5 mg kg^{-1} Zn at 60 days after incubation) increased with increasing incubation time. Zinc associated to organic matter increased 60 days after incubation compared to the beginning of the experiment. However, difference between Zn associated to organic matter at 120 days after incubation and beginning of the experiment was not significant (except vermicompost with 5 mg kg^{-1} Zn at 60 days after incubation). The results of this study showed that residual Zn decreased with increasing incubation time. Results of this study demonstrated that the fractions of Zn in the soil samples treated with $ZnSO_4$ were modified after vermicompost application and its availability increased. Therefore, the application of chemical fertilizers with organic fertilizers leads to increase Zn in the soil. The results of correlation study showed that the relation between available Zn and Zn associated to Fe-Mn oxides at 1 h ($r=0.77$ $p<0.05$), 60 days after incubation ($r=0.95$ $p<0.05$), and 120 days after incubation ($r=0.95$, $p<0.05$) was significant. There was a significant correlation between available Zn and Zn in forms of solution, exchangeable and associated with carbonates, associated with Fe-Mn oxides, and associated with organic matter, which indicate the effective role of these fractions in supplying the required Zn to plant.

Conclusion: Vermicompost application in calcareous soils increased available Zn and the effect of vermicompost was not dependent on time. Over time, there was a decrease in available Zn in the presence of chemical fertilizer. Vermicompost application in calcareous soils increased all Zn fractions. According to these

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Professor, and Assistant Professor of Soil Science and Engineering of Agriculture Faculty, Shahrekord University, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Motaghian.h@yahoo.com)

results, the Zn fractions in the soil treated with zinc sulfate had been changed and its availability increased during incubation time. The results of this study demonstrated that the fractions of Zn in the soils treated with $ZnSO_4$ and vermicompost were modified and its availability increased. Therefore, the application of chemical fertilizers with organic fertilizers can increase Zn in calcareous clay soils

Keywords: Calcareous clay soil, Fractionation, Vermicompost zinc sulfate