نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره پنجم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

تغییر قابلیت استفاده و اجزای روی در ریزوسفر ذرت در خاک آلوده تیمارشده با کلات‌کننده‌ها

***محمد رحمانیان[۱]، علیرضا حسین‌پور[۲]، حمیدرضا متقیان[۳] و ابراهیم ادهمی[۴]**

[۱]دانش‌آموخته دکتری تخصصی گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد و اکنون استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج،
[۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، [۳]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، [۴]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج
تاریخ دریافت: ۹٤/۸/۲٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۹

چکیده

سابقه و هدف: قابلیت استفاده و اجزای روی در ریزوسفر نسبت به توده خاک به‌دلیل تفاوت خصوصیات میکروبیولوژیک و شیمیایی آن، متفاوت است. این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات قابلیت استفاده و اجزای روی در ریزوسفر ذرت (*zea mays* L.) در یک خاک آلوده تیمار شده با کلات‌کننده‌ها (EDTA، اسید سیتریک و عصاره کود مرغی) در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها: اسید سیتریک و EDTA در سطوح غلظتی صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک و عصاره کود مرغی در سطوح غلظتی صفر، ۰/۵ و ۱ گرم بر کیلوگرم خاک استفاده شدند. تعداد سه بذر ذرت در هر ریزوباکس کاشته شد. بعد از ۱۰ هفته گیاهان برداشت شدند و خاک ریزوسفری و توده جدا شدند. کربن آلی محلول، کربن بیوماس میکروبی و روی قابل استفاده (با استفاده از ٤ روش عصاره‌گیری شیمیایی شامل DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیچ ۳ و روش بر پایه ریزوسفر) و جزءبندی روی در خاک ریزوسفری و توده تعیین شدند.

یافته‌ها: ویژگی‌های خاک ریزوسفری با خاک توده متفاوت بود. نتایج نشان داد که کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی در خاک ریزوسفری به‌صورت معناداری ($P<۰/۰۵$) از توده خاک بیش‌تر بود، در حالی‌که pH کاهش معناداری ($P<۰/۰۵$) در خاک ریزوسفری نسبت به خاک توده یافت. مقدار روی عصاره‌گیری شده به روش‌های مختلف (به‌جز روش بر پایه ریزوسفر) در خاک ریزوسفری کاهش معناداری ($P<۰/۰۵$) نسبت به توده خاک داشت. دامنه تغییرات روی استخراج شده با عصاره‌گیرها از ۰/۷۸ تا ۷۵/۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیش‌ترین مقدار روی با استفاده از روش مهلیچ ۳ و کم‌ترین مقدار آن با استفاده از روش بر پایه ریزوسفر عصاره‌گیری شد. با افزودن کلات‌کننده‌ها به خاک، مقدار روی قابل استفاده افزایش یافت. روی عصاره‌گیری شده به روش بر پایه ریزوسفر فقط در تیمار EDTA قابل تشخیص با دستگاه جذب اتمی بود. در خاک ریزوسفری و توده تیمارشده با کلات‌کننده‌ها، بیش‌ترین مقادیر روی به‌ترتیب در اجزاء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، باقی‌مانده، پیوندشده با ماده آلی، پیوندشده با کربنات‌ها و تبادلی بود. میانگین اجزای تبادلی و پیوندشده با ماده آلی در خاک ریزوسفری کم‌تر از خاک توده و میانگین اجزاء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوندشده با کربنات‌ها و باقی‌مانده در خاک ریزوسفری بیش‌تر از خاک توده بود. دامنه تغییرات اجزای روی از ۰/۱۳ تا ۵۸۳/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

* مسئول مکاتبه: m.rahmanian10@yahoo.com

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که روی قابل استفاده در خاک ریزوسفری کم‌تر از خاک توده است. بیش‌ترین مقدار روی در تیمار EDTA (۱ میلی‌مول بر کیلوگرم) و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد عصاره‌گیری شد. از لحاظ آماری تفاوت معناداری بین هر دو غلظت عصاره کود مرغی از نظر قابلیت استفاده روی وجود نداشت.

واژه‌های کلیدی: ریزوسفر، ذرت، جزءبندی، کلات‌کننده‌ها، قابلیت استفاده خاک

مقدمه

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیوشیمیایی خاک ریزوسفری به‌دلیل فعالیت‌های زیستی و تغییرات ریزمحیط ریزوسفر ممکن است کاملاً متفاوت از توده خاک باشد (۳۶، ۵۲). در نتیجه اجزای فلزات سنگین و قابلیت دسترسی آن‌ها در خاک ریزوسفری برای گیاهان متفاوت از توده خاک است (۱، ۴۵).

فلزات سنگین از جمله روی از طریق فعالیت‌های بشری، فاضلاب‌های شهری، آفت‌کش‌ها، مواد رنگی و فرسایش طبیعی سنگ‌ها می‌توانند وارد بیوسفر شوند. آزادسازی روی از فازهای تبادلی، مواد آلی، کانی‌های بلوری و سایر ترکیبات به درون محلول خاک فرآیندی است که کنترل‌کننده تحرک روی و تعیین‌کننده مقدار روی قابل دسترس برای گیاه است. به‌منظور تعیین مقدار قابل استفاده فلزات برای گیاه از عصاره‌گیرهای مختلف شامل اسیدها، نمک‌ها و کلات‌کننده‌ها استفاده می‌شود (۵).

روی در خاک دارای اجزای مختلف از قبیل جزء تبادلی، جزء کربناتی، جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، جزء پیوندشده با ماده آلی و جزء باقی‌مانده می‌باشد. این اجزای روی در خاک بر حلالیت و زیست‌فراهمی آن تأثیرگذار است (۸، ۵۱). بررسی جزءبندی و زیست‌فراهمی فلزات برای ریشه‌های گیاه برای درک رفتار فلزات در سیستم خاک- گیاه ضروری است (۱۰). شناسایی و تعیین اجزای مختلف شیمیایی یک عنصر در یک نمونه جزءبندی نامیده می‌شود (۱۷). روش‌های عصاره‌گیری مختلفی برای شناسایی این اجزاء پیشنهاد شده است (۴۰، ۴۱، ۴۷). از بین روش‌های پیشنهاد شده، روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) بسیار مورد استفاده قرار گرفته است (۴۷).

اجزای روی در خاک ریزوسفری و توده توسط پژوهشگران زیادی بررسی شده است. وانگ و همکاران (۲۰۰۲) مشاهده کردند روی محلول در آب، روی تبادلی، روی پیوندشده با کربنات‌ها و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک ریزوسفری نسبت به خاک توده کاهش یافت، در حالی‌که مقدار روی پیوندشده با ماده آلی در خاک ریزوسفری افزایش یافت (۴۹). متقیان و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده نمودند که مقدار روی عصاره‌گیری‌شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی مختلف در خاک ریزوسفری گندم بیش‌تر از خاک توده بود. هم‌چنین، روی تبادلی و روی پیوندشده با ماده آلی در خاک ریزوسفری کاهش یافته و در مقابل روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و جزء باقی‌مانده افزایش یافت (۳۲).

در شرایط طبیعی خاک، فلزات دارای تحرک کمی هستند و قابلیت استفاده آن‌ها برای گیاه کم است. بنابراین استفاده از کلات‌کننده‌ها در خاک که قابلیت استفاده فلز را افزایش داده و در نتیجه اندوزش فلزات را توسط گیاهان افزایش می‌دهد، می‌تواند رهیافت مناسبی باشد (۵۰). در مورد تأثیر کلات‌کننده‌ها بر قابلیت استفاده و جذب فلزات سنگین توسط پژوهشگران نتایج متفاوتی گزارش شده است.

لی و شومان (۱۹۹۷) تأثیر آب مقطر، EDTA، $CaCl_2$ و عصاره کود مرغی بر قابلیت استفاده، تحرک و آبشویی روی در یک خاک غیرآلوده، خاک آلوده به فلزات سنگین (طبیعی) و خاکی که به‌صورت مصنوعی به فلزات سنگین (۴۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم) آلوده شده بود را بررسی نمودند. آنان مشاهده نمودند که در خاک آلوده شده به‌صورت مصنوعی مقدار زیادی روی به‌وسیله همه محلول‌ها خارج شد. در این پژوهش مقدار روی آبشویی شده توسط EDTA بیش‌تر از $CaCl_2$ و توسط $CaCl_2$ بیش‌تر از عصاره کود مرغی در خاک آلوده شده به فلزات به‌صورت مصنوعی بود که این احتمالاً به‌دلیل جذب مجدد کمپلکس‌های آلی- فلز در سطح خاک بود. روی آبشویی‌شده در خاک با آلودگی طبیعی توسط عصاره کود مرغی بیش‌تر از $CaCl_2$ بود، که نشان می‌دهد این فلزات به‌وسیله لیگاندهای آلی متحرک شده است (۱۹).

طهماسبیان و صفری‌سنجانی (۲۰۱۳) پایش اثر برخی عوامل کلات‌کننده و جریان الکتریکی بر اجزای فعال روی در یک خاک آلوده را بررسی کردند. EDTA به‌عنوان کلات‌کننده سنتزی، عصاره کود گاوی و عصاره کود مرغی به‌عنوان کلات‌کننده‌های طبیعی به‌میزان ۲ گرم بر کیلوگرم ۳۰ روز بعد از نخستین آبیاری به گلدان‌ها اضافه شد. نتایج نشان داد که بخش محلول- تبادلی روی در خاک نزدیک الکترود کاتد کاهش یافت، در حالی‌که بخش پیوندشده با کربنات‌ها افزایش یافت. در خاک نزدیک الکترود آند، با این حال، نتایج بر عکس نتایج نزدیک الکترود کاتد به‌دست آمد. EDTA بخش محلول- تبادلی فلز را در هر دو خاک نزدیک الکترودهای آندی و کاتدی را افزایش داد. علاوه بر این، مقدار روی پیوندشده با کربنات‌ها با استفاده از عصاره کود گاوی در هر دو خاک افزایش یافت. بخش پیوندشده روی با مواد آلی با استفاده از کلات‌کننده‌های آلی افزایش یافت در حالی‌که جریان الکتریکی اثر معناداری بر این بخش نداشت (٤٤).

در خاک‌های آلوده، تعیین جزء یا اجزای روی که قابلیت استفاده بیش‌تری را برای گیاهان دارند هنوز مشخص نیست، زیرا قابلیت استفاده فلزات به‌وسیله گیاه، به نوع خاک و گیاه بستگی دارد. همچنین، علی‌رغم اهمیت جزء یا اجزای فلزات در خاک‌های آلوده، در رابطه با تعیین قابلیت استفاده اجزای معدنی فلزات در این خاک‌ها مطالعات زیادی انجام نشده است. با توجه به این‌که عوامل کمپلکس‌کننده از مهم‌ترین و کارآمدترین روش‌ها در افزایش قابلیت استفاده و آلودگی‌زدایی فلزات سنگین از خاک شناخته شده است، همچنین، تراوشات و فعالیت ریشه و ریزجانداران می‌تواند بر اجزای فلزات و قابلیت استفاده و جذب آن‌ها به‌وسیله گیاهان مؤثر باشد، این پژوهش با هدف بررسی اثر کلات‌کننده‌ها (EDTA، اسید سیتریک و عصاره کود مرغی) بر قابلیت استفاده و جزءبندی روی در ریزوسفر ذرت در یک خاک آلوده انجام شد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک: این پژوهش بر روی یک نمونه خاک از لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری نزدیکی معادن سرب و روی (معدن باما) در جنوب شهر اصفهان انجام شد. نمونه خاک هوا خشک‌شده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، برای آنالیزهای آزمایشگاهی آماده شد. اندازه‌گیری تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه از جمله: بافت خاک به روش هیدرومتری، pH خاک در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب به خاک، EC در عصاره ۲ به ۱ آب به خاک، کربنات کلسیم معادل (۲۲) و مقدار ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (۳۳) تعیین شد.

مقدار کل روی با استفاده از اسید نیتریک ٤ نرمال (٤٣) و مقدار روی قابل استفاده در خاک با استفاده از عصاره‌گیر DTPA-TEA (٢١) اندازه‌گیری شد.

کشت گلخانه‌ای: این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به‌صورت کشت در ریزوباکس (٣٠، ٤٩) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. ابتدا عناصر غذایی لازم به خاک هر گلدان اضافه و رطوبت گلدان‌ها به حد ظرفیت زراعی رسانده شد. ٦ بذر ذرت رقم سینگل کراس ٧٠٤ در عمق مناسب کاشته شده و پس از استقرار و سبز شدن کامل بذور در پایان هفته دوم، تعداد گیاهان به ٣ بوته تنک گردید. در طول دوره رشد گیاه، سعی شد رطوبت گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی نگهداشته شود. اسید سیتریک و EDTA در سطوح غلظتی صفر، ٠/٥ و ١ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک (١٤) و عصاره کود مرغی در سطوح غلظتی صفر، ٠/٥ و ١ گرم بر کیلوگرم خاک (٤٤) در چهار مرحله (٣٨) به همراه آب آبیاری در طول دوره کشت به ریزوباکس‌ها اضافه شدند. برای تهیه عصاره کود مرغی، نسبت ١ به ٥ کود مرغی به آب مقطر همراه با ٢ ساعت تکان دادن و سپس ٢٠ دقیقه سانتریفوژ و بعد از صاف شدن با کاغذ صافی واتمن ٤٢ استفاده شد (٣٩). مقدار عصاره کود مرغی مورد نیاز بر اساس مقدار عصاره حاصل از حجم مشخصی از عصاره ١ به ٥ (کود مرغی به آب) محاسبه شد. در عصاره کود مرغی EC، pH و غلظت روی به روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین شد.

بخش هوایی گیاهان ١٠ هفته پس از کاشت برداشته شد و ریزوباکس‌ها باز و خاک بخش مرکزی (خاک ریزوسفری) با الک کردن از ریشه‌ها جدا و ریشه‌های باقی‌مانده در خاک ریزوسفری با انبرک برداشته شد. دو ناحیه غیرریزوسفری با هم مخلوط شده و هر دو نمونه (خاک ریزوسفری و توده) برای آزمایش‌های بعدی آماده شد. مقدار روی قابل دسترس خاک ریزوسفری و توده با روش‌های DTPA-TEA (٢١)، AB-DTPA (٤٢)، مهلیچ ٣ (٢٩) و روش بر پایه ریزوسفر (٥) عصاره‌گیری و با دستگاه جذب اتمی (مدل جی بی سی، ٩٣٢) اندازه‌گیری شد. برای تعیین اجزای محلول و تبادلی، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوندشده با ماده آلی در خاک ریزوسفری و توده از روش تسیر و همکاران (١٩٧٩) و برای تعیین جزء باقی‌مانده روی از روش اسپوزیتو و همکاران (١٩٨٢) استفاده شد (٤٣، ٤٧).

بخش‌های هوایی و ریشه‌ها با آب مقطر شسته و به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ٧٠ درجه سلسیوس در آون تهویه‌دار خشک و پس از تعیین وزن خشک، با آسیاب برقی پودر شدند. غلظت روی در اندام‌های هوایی و ریشه با روش خشک سوزانی هضم شده (٢) و سپس غلظت روی در آن‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل جی بی سی، ٩٣٢) اندازه‌گیری شد.

کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)[1] در خاک ریزوسفری و توده با استفاده از روش تدخین با کلروفرم و خواباندن (١٢) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری مقدار کربن آلی محلول (DOC)[2] از عصاره ١ به ٢ خاک تازه به آب مقطر استفاده شد (٣). سپس سوسپانسیون در دمای اتاق به‌مدت ٢ ساعت تکان داده شد و سپس ٥ دقیقه سانتریفیوژ و محلول صاف رویی با استفاده از فیلتر پلاستیکی دارای قطر ٠/٤٥ میکرومتر جدا شد. مقدار کربن آلی محلول با استفاده از روش اکسیداسیون تر (٣٣) تعیین شد.

بررسی اثرات تیمارها بر قابلیت استفاده و اجزای روی با تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ٥٪ با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

1- Microbial Biomass Carbon
2- Dissolved Organic Carbon

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۱، بافت خاک مورد استفاده لوم شنی بود. خاک غیرشور، آهکی و با واکنش قلیایی بود. مقدار روی قابل استفاده (اندازه‌گیری شده با عصاره‌گیر DTPA-TEA) ۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، و مقدار سرب، مس و روی کل به‌ترتیب ۲۵۰، ۳۲ و ۸۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. غلظت روی در خاک بیش‌تر از سطح نرمال و حد بحرانی در خاک می‌باشد. سازمان سلامت جهانی محدوده هشدار غلظت کل سرب، روی، مس و کادمیم خاک رابه‌ترتیب ۳۵، ۹۰، ۳۰ و ۰/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین کرده است (٤٦).

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Physical and chemical characteristics of soil used in this study.

رس (٪) Clay	سیلت (٪) Silt	شن (٪) Sand	کربنات کلسیم معادل (٪) $CaCO_3$	ماده آلی (٪) OM	قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$) EC	واکنش خاک pH	روی قابل‌استفاده ($mg\ kg^{-1}$) Available Zn	سرب کل ($mg\ kg^{-1}$) Total Pb	روی کل ($mg\ kg^{-1}$) Total Zn	مس کل ($mg\ kg^{-1}$) Total Cu
18	25	57	32	0.82	0.44	8.2	9.7	250	850	32

pH عصاره کود مرغی استفاده شده در پژوهش ۷/۹، ماده آلی ۰/۹۲ درصد، قابلیت هدایت الکتریکی ۷/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر و مقدار کل روی ۱۰/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

میانگین pH، کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) و کربن آلی محلول در خاک ریزوسفری و توده در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که ویژگی‌های خاک ریزوسفر با خاک توده متفاوت بود. در خاک ریزوسفری میانگین MBC و DOC نسبت به خاک توده به‌صورت معناداری ($P<۰/۰۵$) بیش‌تر بودند، در حالی‌که میانگین pH کاهش معناداری ($P<۰/۰۵$) در خاک ریزوسفری به خاک توده داشت. نتایج مشابهی توسط متقیان و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است (۳۲).

متقیان و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به بررسی اثر ریزوسفر گندم بر DOC، کربن آلی کل (TOC)[1] و MBC پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین DOC، TOC و MBC در خاک ریزوسفری نسبت به خاک توده افزایش معناداری ($P<۰/۰۱$) داشتند (۳۲). در ریزوسفر کربن آلی به‌دلیل وجود ترشحات ریشه افزایش می‌یابد که این پدیده در نهایت منجر به افزایش کربن زیست‌توده میکروبی می‌شود. ریشه گیاهان مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از ترکیبات آلی قابل‌حل در آب شامل قندها، اسیدهای آلی و آمینو اسیدها و همچنین ترکیبات غیرقابل‌حل در آب از قبیل دیواره سلولی و موسیلاژها را در خاک آزاد می‌کنند. ریزجانداران خاک تعدادی از این ترکیبات را آزادانه تجزیه می‌کنند، تجزیه مستمر این مواد توسط ریزجانداران منجر به افزایش غلظت مواد آلی در خاک ریزوسفری نسبت به خاک توده می‌شود (۲۳). همبستگی معناداری بین کربن آلی محلول و جمعیت باکتریایی در خاک ریزوسفری توسط کیم و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شد. آن‌ها همچنین مشاهده کردند که جمعیت باکتریایی در خاک ریزوسفری بیش‌تر از توده خاک بود و افزایش کربن آلی محلول در خاک

1- Total Organic Carbon

ریزوسفری را به ترشحات ریشه گیاه و جمعیت میکروبی نسبت دادند (۱۶). لی و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه ریزوسفر گیاه لوبیا مشاهده کردند که pH در ریزوسفر ۱/۶۶ واحد نسبت به خاک کشت نشده (شاهد) کاهش یافت (۲۰).

تجزیه واریانس تیمارهای مورد مطالعه (جدول ۳) نشان داد که اثر کلات‌کننده‌ها و محیط (ریزوسفر و توده) و اثرات متقابل آن‌ها بر روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف معنی‌دار ($P<0/05$) بود.

جدول ۲- برخی از خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک ریزوسفری و توده.

Table 2. Some chemical and biological characteristics of rhizosphere and bulk soils.

کربن بیوماس محلول ($mg\ C\ kg^{-1}$) MBC		کربن آلی محلول ($mg\ C\ L^{-1}$) DOC		واکنش خاک pH		غلظت Concentration	نوع کلات Chelate type
توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher	توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher	توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher		
115.48^{a}	137.33^{a}	77.33^{b}	96.00^{a}	8.12^{cd}	8.03^{f}	0	شاهد
68.66^{defg}	87.39^{c}	37.33^{gh}	40.00^{fgh}	8.08^{de}	8.04^{f}	0.5	EDTA (میلی‌مول بر کیلوگرم)
65.54^{efg}	78.03^{cde}	24.00^{i}	29.33^{hi}	8.19^{b}	8.03^{f}	1	($mmol\ kg^{-1}$)
65.54^{efg}	74.90^{cdef}	40.00^{fgh}	48.00^{efg}	8.31^{a}	8.04^{f}	0.5	اسیدسیتریک (میلی‌مول بر کیلوگرم)
56.17^{g}	59.30^{fg}	34.66^{hi}	40.00^{fgh}	8.17^{b}	8.03^{f}	1	Citric acid ($mmol\ kg^{-1}$)
84.27^{cd}	90.51^{c}	64.00^{cd}	69.33^{bc}	8.12^{c}	8.05^{ef}	0.5	عصاره کود مرغی (گرم بر کیلوگرم)
68.66^{defg}	74.90^{cdef}	50.66^{ef}	56.00^{de}	8.09^{cd}	8.03^{f}	1	Poultry manure extract ($g\ kg^{-1}$)

حروف متفاوت برای هر ویژگی نشانه تفاوت معنادار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

different letters show significant differences at the 0.05 probability level for each treatment.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر کلات‌کننده‌ها بر روی عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف.

Table 3. Analysis of variance (mean squares) of chelators effect on Zn extracted by different extractants.

روش بر پایه ریزوسفر Rhizosphere-based method	مهلیچ ۳ Mehlich3	AB-DTPA	DTPA-TEA	درجه آزادی DF	منابع تغییر SV
254.21**	546.98**	60.18**	115.47**	8	کلات Chelat
3.18^{ns}	462.29**	52.96**	61.09**	1	محیط Environment
6.15*	26.01^{ns}	0.52^{ns}	1.69**	8	کلات × محیط Interaction
1.12	17.63	1.08	0.53	36	خطا Error
12.9	6.9	7.7	4.3		ضریب تغییرات (%) CV

^{ns} بدون تفاوت معنادار، * تفاوت معنادار در سطح احتمال پنج درصد، ** تفاوت معنادار در سطح احتمال یک درصد.

^{ns} Not significant, * Significant at the 0.05 probability level, ** Significant at the 0.01 probability level.

اثر کلات‌کننده‌ها بر مقادیر روی قابل استفاده در خاک ریزوسفری و توده در جدول ٤ نشان داده شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که روی عصاره‌گیری شده به روش‌های مختلف در خاک تغییرات زیادی داشت که نشان‌دهنده مکانیسم متفاوت عصاره‌گیرها در استخراج این عنصر است (جدول ٤). دامنه تغییرات روی عصاره‌گیری شده به روش DTPA-TEA، ١١/٦١ تا ٢٣/٤٩، AB-DTPA، ٩ تا ١٧/٤٨، مهلیچ ٣، ٤٦/٦٤ تا ٦٩/٨٠ و روش بر پایه ریزوسفر ٠/٧٨ تا ١٤/٧٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک ریزوسفری بود. در حالی‌که در توده خاک مقدار روی عصاره‌گیری شده به روش DTPA-TEA، ١٢/٤٤ تا ٢٧/٠٤، AB-DTPA، ١١/٣٨ تا ٢٠/٢٦، مهلیچ ٣، ٤٩/٣٦ تا ٧٤/٢٣ و روش بر پایه ریزوسفر ٠/٨٣ تا ١١/٥٨ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

در خاک‌های تیمارشده با کلات‌کننده‌ها، مقدار روی عصاره‌گیری شده به‌ترتیب مهلیچ ٣> AB-DTPA> DTPA-TEA<< روش بر پایه ریزوسفر بود. روی عصاره‌گیری شده با روش بر پایه ریزوسفر فقط زمانی که کلات‌کننده EDTA به خاک اضافه شده بود قرائت شد و در عصاره‌هایی که کلات‌کننده‌های اسید سیتریک و عصاره کود مرغی به خاک اضافه شده بود در محدوده تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود. به‌طورکلی روی عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف در شرایط ریزوسفری کم‌تر از توده خاک بود. بیش‌ترین مقدار روی عصاره‌گیری شده مربوط به زمانی بود که کلات‌کننده EDTA (١ میلی‌مول بر کیلوگرم) به خاک اضافه شده و کم‌ترین مقدار زمانی بود که کلات‌کننده‌ای به خاک اضافه نشده (شاهد) است.

جدول ٤- مقایسه میانگین روی عصاره‌گیری‌شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) با عصاره‌گیرهای مختلف در خاک ریزوسفری و توده.

Table 4. Comparison of the extracted Zn (mg kg^{-1}) by different exteractants in the bulk and the rhizosphere soils.

روش بر پایه ریزوسفر		مهلیچ ٣		AB-DTPA		DTPA-TEA		غلظت	نوع کلات Chelate type
توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher	توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher	توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher	توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher		
-	-	53.23^{cd}	50.36^{de}	11.38^{f}	9.00^{g}	15.35^{e}	13.77^{f}	0	شاهد
10.90^{b}	10.23^{c}	68.46^{ab}	54.96^{cd}	15.90^{bcd}	14.03^{e}	22.74^{b}	19.40^{d}	0.5	EDTA (میلی‌مول بر کیلوگرم)
11.58^{b}	14.72^{a}	74.23^{a}	69.60^{ab}	20.26^{a}	17.48^{b}	27.04^{a}	23.49^{b}	1	(mmol kg^{-1})
-	-	70.53^{ab}	58.13^{c}	16.08^{bcd}	13.94^{e}	19.30^{d}	15.88^{e}	0.5	اسید سیتریک (میلی‌مول بر کیلوگرم)
-	-	75.00^{a}	69.80^{ab}	16.03^{bcd}	14.96^{cde}	20.64^{c}	18.39^{d}	1	Citric acid (mmol kg^{-1})
-	-	70.70^{ab}	65.30^{b}	16.21^{bc}	14.96^{de}	12.44^{gh}	11.61^{h}	0.5	عصاره کود مرغی (گرم بر کیلوگرم)
-	-	49.36^{de}	46.64^{e}	11.45^{f}	10.35^{fg}	13.04^{fg}	12.03^{gh}	1	Poultry manure extract (g kg^{-1})

میانگین‌های با حروف لاتین مشابه در هر ستون و ردیف برای هر عصاره‌گیر فاقد اختلاف معنادار در سطح احتمال ٥ درصد، -، در محدوده تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود.

Mean with same letters in each column and row show no significant differences at the 0.05 probability level, -, wasnot in the range of atomic absorption detection.

جدول ٤ نشان می‌دهد که اثر کلات‌کننده‌ها بر روی عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف در خاک ریزوسفری نسبت به خاک توده (به‌جز روش بر پایه ریزوسفر در مقدار ۰/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم) معنادار (P<۰/۰۵) بود. به‌طورکلی روی عصاره‌گیری شده در خاک ریزوسفری کم‌تر از توده بود. روی در خاک دارای اجزای متفاوتی است که بر قابلیت استفاده آن برای گیاهان تأثیرگذار است. علاوه بر این شرایط بیولوژیکی و شیمیایی متفاوت محیط ریزوسفر نسبت به توده خاک می‌تواند بر قابلیت استفاده روی برای گیاهان تأثیرگذار باشد (۳۱، ٤۹). هینسینگر (۱۹۹۸) گزارش کرد که بخش قابل استفاده عناصر سنگین معمولاً در محیط ریزوسفر نسبت به توده خاک کم‌تر است، به‌صورتی‌که حتی در مواردی محیط ریزوسفر را به‌عنوان محیطی خالی از عنصر قابل‌استفاده گیاه ذکر می‌کنند (۹). کاهش pH در خاک ریزوسفری باعث افزایش قابلیت استفاده روی در خاک ریزوسفری نسبت به توده خاک شد (جدول ۲). کاهش مقدار روی قابل‌استفاده در محیط ریزوسفر نسبت به توده خاک می‌تواند به‌دلیل جذب روی توسط گیاه و جامعه میکروبی موجود در محیط ریزوسفری باشد.

در این مطالعه میانگین روی استخراج شده توسط DTPA-TEA، AB-DTPA و Mehlich3 پس از کاربرد EDTA و اسید سیتریک نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ٤). اضافه کردن EDTA و اسید سیتریک به خاک منجر به افزایش غلظت قابل‌استفاده فلزات سنگین در خاک شد (۲۷). لو و همکاران (۱۹۹۹) نیز گزارش کردند که افزودن EDTA و اسید سیتریک به خاک منجر به افزایش قابلیت استفاده روی در خاک شد (۲۵). افزایش قابلیت استفاده فلزات سنگین در خاک با افزودن EDTA به خاک را تعدادی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند (٤، ۲٤، ۲۸، ۳۵).

در پژوهش حاضر کاربرد ۱ میلی‌مول EDTA بر کیلوگرم بیش‌ترین افزایش غلظت روی قابل استفاده را سبب شد (جدول ٤). از لحاظ آماری روی قابل‌استفاده در هر دو سطح کاربرد عصاره کود مرغی تفاوت معناداری با یکدیگر نداشتند. کاربرد ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم عصاره کود مرغی باعث کاهش غلظت روی قابل‌استفاده نسبت به شرایط خاک شاهد شد.

در نتیجه کاربرد کلات‌کننده‌های طبیعی بخش آلی و فلزات پیوندشده با مواد آلی در خاک افزایش می‌یابد. کاهش مقدار روی قابل استفاده می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب روی توسط بخش آلی و افزایش پیوندهای آلی باشد. صفری‌سنجانی و احمدی (۲۰۱۲) نشان دادند که در نتیجه کاربرد کلات‌کننده‌های طبیعی عصاره کود مرغی و عصاره کود گاوی بخش پیوندشده کادمیم با مواد آلی افزایش یافت. همچنین در مورد سرب این افزایش فقط زمانی که عصاره کود مرغی استفاده شده بود، مشاهده شد (۳۹).

مقادیر اجزای شیمیایی روی در خاک ریزوسفری و توده در جدول ۵ نشان داده شده است. دامنه تغییرات اجزای روی، ۰/۱۳ تا ۱۳/۲۳ در جزء تبادلی، ۲/۹٤ تا ٦/٤٤ در جزء پیوندشده با کربنات‌ها، ۵۱۰ تا ۵۸۳ در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، ۷٦/٦ تا ۱۱۸ در جزء پیوندشده با ماده آلی و ۲۲۸ تا ۲۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جزء باقی‌مانده در خاک ریزوسفری بود، در حالی‌که در خاک توده ۰/۲۹ تا ۱٤/۹ در جزء تبادلی، ۲/۹۰ تا ٦/۱۲ در جزء پیوندشده با کربنات‌ها، ٤۹۷ تا ۵۷٦ در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، ۸۳/٤ تا ۱۲۷ در جزء پیوندشده با ماده آلی و ۲۱٦ تا ۲۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جزء باقی‌مانده بود.

در این پژوهش غلظت روی در اجزای تبادلی و پیوندشده با ماده آلی در خاک ریزوسفری کم‌تر از توده خاک بود (جدول ۵). کاهش غلظت روی تبادلی در خاک ریزوسفری ممکن است به‌دلیل جذب روی

توسط گیاهان باشد (۷، ٤٥). جزء تبادلی می‌تواند با ترکیبات آلی ترشح‌شده از ریشه‌ها پیوند یابد بنابراین، این جزء در خاک ریزوسفری کاهش می‌یابد (٤٩). ترشحات و متابولیت‌های آزاد شده توسط ریشه و جمعیت میکروبی در خاک ریزوسفری ممکن است باعث تغییر اجزای فلزات سنگین در خاک ریزوسفری شود (۱۸، ۲٦). در ناحیه ریزوسفر ذرت، جمعیت ریزجانداران افزایش یافته بود (جدول ۲). جمعیت میکروبی می‌توانند ترکیبات آلی را اکسید کرده (۱۳) و بنابراین روی پیوندشده با ماده آلی در خاک ریزوسفری کاهش یافت.

در این پژوهش مقادیر روی در اجزای پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، جزء پیوندشده با ماده آلی و جزء باقی‌مانده در خاک ریزوسفری بیش‌تر از توده خاک بود. بیش‌ترین مقادیر روی به‌ترتیب در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، جزء باقی‌مانده، جزء پیوندشده با ماده آلی، جزء پیوندشده با کربنات‌ها و جزء تبادلی بود. نتایج این پژوهش متفاوت از نتایج پژوهش‌های زیادی است که گزارش کردند که بیش‌ترین مقدار روی در جزء باقی‌مانده و بعد از آن در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز قرار دارد (۳۲، ۳٤). ریحانی‌تبار و همکاران (۲۰۰٦) و قانع و کریمیان (۲۰۰۳) به‌ترتیب در خاک‌های آهکی استان‌های تهران و فارس گزارش کردند که بیش‌ترین مقدار روی در جزء باقی‌مانده بود (٦، ۳۷). خانلری و جلالی (۲۰۰۸) گزارش کردند که بیش‌ترین مقدار روی در خاک‌های آهکی کشاورزی استان همدان در جزء باقی‌مانده بود (۱۵). حسین و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده نمودند که بیش‌ترین مقدار روی در خاک‌ها به‌ترتیب در جزء باقی‌مانده، جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، جزء پیوندشده با ماده آلی، جزء پیوندشده با کربنات‌ها و جزء تبادلی بود (۱۱). بر اساس نتایج ادویچ و لستان (۲۰۰۹) بیش‌ترین مقدار روی در جزء باقی‌مانده وجود داشت (٤٨).

میانگین جزء تبادلی روی ۰/۱۲ درصد از روی کل، روی پیوندشده با کربنات‌ها ۰/۵ درصد از روی کل، روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز ٦۱/۱٦ درصد از روی کل، روی پیوندشده با ماده آلی ۱۱/۵۸ درصد از روی کل و جزء باقی‌مانده روی ۲٦/٦٤ درصد از روی کل در خاک ریزوسفری بود در حالی‌که میانگین روی برای اجزای فوق به‌ترتیب ۰/۱۵ درصد، ۰/٤۷ درصد، ٦۰/۱۷ درصد، ۱۳/۱۱ درصد و ۲٦/۱۰ درصد از روی کل در توده خاک بود.

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج این پژوهش، کربن آلی محلول و کربن زیست‌توده میکروبی در خاک ریزوسفری نسبت به خاک توده افزایش معناداری داشتند. در حالی‌که pH ریزوسفری نسبت به توده کاهش معناداری یافت. نتایج نشان داد که روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی (به‌جز روش بر پایه ریزوسفر) در خاک ریزوسفری کم‌تر از خاک توده بود. اجزای تبادلی و پیوندشده با ماده آلی روی در خاک ریزوسفری کم‌تر از توده خاک بود. همچنین اجزای پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوندشده با کربنات‌ها در خاک ریزوسفری بیش‌تر از توده خاک بود. بیش‌ترین مقدار روی زمانی عصاره‌گیری شد که کلات‌کننده EDTA (۱ میلی‌مول بر کیلوگرم) به خاک اضافه شد و کم‌ترین مقدار آن زمانی به‌دست آمد که کلات‌کننده‌ای به خاک اضافه نشد. همچنین، در خاک‌های ریزوسفری و توده تیمارشده و تیمارنشده با کلات‌کننده‌ها در بین اجزای روی، جزء تبادلی حداقل و جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز حداکثر مقدار را به‌طور مطلق داشتند. بعد از جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز جزء باقی‌مانده قرار داشت. نتایج این پژوهش نشان داد مطالعه قابلیت استفاده و جزءبندی روی ریزوسفر با توجه به اهمیت آن در مطالعات کشاورزی و زیست‌محیطی به‌دلیل مجاورت با ریشه‌ها ضروری است.

جدول ۵- اثر کلات‌کننده‌ها بر مقادیر اجزای روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک ریزوسفری و توده.

Table 5. The effect of chelators on Zn fractions (mg kg^{-1}) in the bulk and the rhizosphere soils.

نوع کلات Chelate type	غلظت	تبادلی Exchangeable		پیوندشده با کربنات‌ها Carbonate bounded		پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز Iron-manganese oxides bounded		پیوندشده با ماده آلی Organic matter bounded		باقی‌مانده Residual	
		ریزوسفر Rhizospher	توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher	توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher	توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher	توده Bulk	ریزوسفر Rhizospher	توده Bulk
شاهد	0	0.13^{e}	0.81^{e}	2.94^{e}	2.90^{e}	515.16^{def}	508.08^{ef}	103.80^{bc}	111.75^{abc}	236.70^{bc}	228.60^{bc}
EDTA (میلی‌مول بر کیلوگرم) (mmol kg^{-1})	0.5	10.37^{d}	11.76^{c}	5.70^{abc}	4.62^{d}	534.12^{cde}	522.96^{def}	115.05^{abc}	120.00^{ab}	289.50^{a}	263.70^{ab}
	1	13.23^{b}	14.92^{a}	6.44^{a}	6.12^{ab}	583.20^{a}	576.60^{a}	118.95^{ab}	127.35^{a}	295.50^{a}	281.70^{a}
اسید سیتریک (میلی‌مول بر کیلوگرم) Citric acid (mmol kg^{-1})	0.5	0.70^{e}	1.20^{e}	4.97^{cd}	4.99^{cd}	560.04^{abc}	544.68^{bcd}	110.70^{abc}	113.85^{abc}	263.70^{ab}	259.20^{abc}
	1	1.04^{e}	1.35^{e}	6.09^{ab}	5.32^{bcd}	572.40^{ab}	567.60^{ab}	116.10^{abc}	119.85^{ab}	287.40^{a}	283.50^{a}
عصاره کود مرغی (گرم بر کیلوگرم) Poultry manure extract (g kg^{-1})	0.5	0.21^{e}	0.46^{e}	5.45^{abcd}	5.43^{abcd}	510.48^{ef}	497.28^{f}	100.50^{c}	108.45^{bc}	234.30^{bc}	220.50^{bc}
	1	0.17^{e}	0.29^{e}	3.16^{e}	3.21^{e}	516.84^{def}	510.00^{ef}	76.65^{d}	83.40^{d}	228.00^{bc}	216.90^{c}

میانگین‌های با حروف لاتین مشابه در هر ستون و ردیف فاقد اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد، -، در محدوده تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود.

Mean with same letters in each column and row show no significant differences at the 0.05 probability level, -, wasnot in the range of atomic absorption detection.

منابع

1.Brun, L.A., Maillet, J., Hinsinger, P., and Pépin, M. 2001. Evaluation of copper availability toplants in copper-contaminated vineyard soils. Environmental Pollution. 111: 293-302.

2.Campbell, C.R., and Plank, C.O. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. P 37-50, In: Y.P. Kalra (Ed.), Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor and Francis Group.

3.Corre, M.D., Schnabel, R.R., and Shaffer, J.A. 1999. Evaluation of soil organic carbon under forests, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. Soil Biology and Biochemistry. 31: 1531-1539.

4.Evangelou, M.W.H., Ebel, M., and Schaeffer, A. 2007. Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil: effect, mechanism, toxicity and fate of chelating agents. Chemosphere. 68: 989-1003.

5.Feng, M.H., Shan, X.Q., Zhang, S.Z., and Wen, B. 2005. Comparison of a rhizosphere-based method with other one step extraction methods for assessing the bioavailability of soil metals to wheat. Chemosphere. 59: 939-949.

6.Ghane, H., and Karimian, N. 2003. The distribution of different forms of Zn in calcareous soils of Fars Province and their relationships with soil properties. Eighth Congress of Soil Science, Rasht, Gillan, Pp: 641-642. (In Persian)

7.Hamon, R.E., Lorenz, S.E., Holm, P.E., Christensen, T.H., and McGraph, S.P. 1995. Changes in trace metal species and other components of the rhizosphere during growth of radish. Plant, Cell and Environment. 18: 749-756.

8.Harrison, R.M. 1981. Chemical association of Pb, Cd, Cu and Zn in street dusts and roadside soils. Environmental Science and Technology. 15: 1378-1383.

9.Hinsinger, P. 1998. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. Advances in Agronomy. 64: 225-265.

10.Hinsinger, P. 1999. Bioavailability of trace elements as related to root-induced chemical changes in the rhizosphere. P 152-153, In: W.W.Wenzel, D.C. Adriano, B. Alloway, H.E. Doner, C. Keller, N.W. Lepp, M. Mench, R. Naiduand G.M. Pierzynski (Eds.), Proceedings of Extended Abstracts of 5th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Vienna.

11.Hussain, Sh., Maqsood, M., and Rahmatullah, A. 2011. Zinc release characteristics from calcareous soils using diethylenetriaminepentaacetic acid and other organic acids. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 42: 1870-1881.

12.Jenkinson, D.S., and Powlson, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. Soil Biology and Biochemistry. 8: 209-213.

13.Jones, D.L., Prabowo, A.M., and Kochian, L.V. 1996. Kinetics of malate transport and decomposition in acid soil and isolated bacterial-populations-the effect of microorganisms on root exudation of malate under Al stress. Plant and Soil. 182: 239-247.

14.Karczewska, A., Orlow, K., Kabala, C., Szopka, K., and Galka, B. 2011. Effects of chelating compounds on mobilization and phytoextraction of copper and lead in contaminated soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 42: 1379-1389.

15.Khanlari, Z.V., and Jalali, M. 2008. Concentrations and chemical speciation of five heavy metals (Zn, Cd, Ni, Cu and Pb) in selected agricultural calcareous soils of Hamadan Province, western Iran. Archives of Agronomy and Soil Science. 54: 19-32.

16.Kim, K.R., Owens, G., and Kwon, S.I. 2010. Influence of Indian mustard (*Brassica juncea*) on rhizosphere soil solution chemistry in long-term contaminated soils: A rhizobox study. J. Environ. Sci. 22: 1. 98-105.

17.Kot, A., and Namiesnik, J. 2000. The role of speciation in analytical chemistry. Trends in Environmental Analytical Chemistry. 19: 69-79.

18.Leyval, C., and Berthelin, J.1993. Rhizodeposition and net release of soluble organic compounds by pine and beech seedlings inoculated with rhizobacteria and ectomycorrhizal fungi. Biology and Fertility of Soils. 15: 259-267.

19.Li, Z., and Shuman, L.M. 1997. Mobility of Zn, Cd and Pb in soils as affected by poultry litter extract- I. Leaching in soil columns. Environmental Pollution. 95: 219-226.
20.Li, H., Shen, J., Zhang, F.M., Clairotte, J.J., LeCadre, E., and Hinsinger, P. 2008. Dynamics of phosphorus fractions in the rhizosphere of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) grown in monocropping and intercropping systems. Plant and Soil. 312: 139-150.
21.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 421-428.
22.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.
23.Lombi, E., Wenzel, W.W., Gobran, G.R., and Adriano, D.C. 2001. Dependency of phytoavailability of metals on indigenous and inducedrhizosphere processes: a review. P 3-24, In: G.R. Gobran, W.W. Wenzeland E. Lombi (Eds.), Trace elements in the rhizosphere. CRC Press LLC.
24.Luo, C.L., Shen, Z.G., and Li, X.D. 2008. Plant uptake and leaching of metals during the hot EDDS-enhanced phytoextraction process. Inter. J. Phytoremediation. 9: 181-196.
25.Luo, Y.M., Christie, P., and Baker, A.J.M. 1999. Metal uptake by *Thlaspi caerulescens* and metal solubility in a Zn/Cd contaminated soil after addition of EDTA. P 882-883, In: Proceedings of the Fifth International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Vienna, Austria, 2.
26.Marschner, H., and Romheld, V. 1983. In vivo measurement of root-induced pH changes at the soil–root interface: effect of plant species and nitrogen source. Plant Physiology. 111: 241-251.
27.Meers, E., Hopgood, M., Lesge, E., Vervake, P., Tack, F.M.G., and Verloo, M.G. 2005. Comparison of EDTA and EDDS as potential soil amendments for enhaced phytoextraction of heavy metal. Chemosphere. 58: 1011-1022.
28.Meers, E., Tack, F.M.G., and Verloo, M.G. 2008. Degradability of ethylenediamine disuccinic acid (EDDS) in metal contaminated soils: implications for its use soil remediation. Chemosphere. 70: 358-363.
29.Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 15: 1409-1416.
30.Motaghian, H.R., and Hosseinpur, A.R. 2013. Zinc desorption kinetics in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizosphere in sewage sludge-amended calcareous soils. Environmental Earth Science. Pp: 1-9.
31.Motaghian, H.R., and Hosseinpur, A.R. 2012. Change in availability and fractions of zinc in the rhizosphere of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in some calcareous soils. J. Sci. Technol. Greenhouse Cul. 4: 16.68-81. (In Persian)
32.Motaghian, H.R., Hosseinpur, A.R., Raeisi, F., and Mohamadi, J. 2013. Effect of white rhizosphere (*Triticum aestivum* L.) on availability and fractions of zinc in some calcareous soils.J. of Soil and Water Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources). 18: 67. 137-149. (In Persian)
33.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.
34.Obrador, A., Novillo, J., and Alvarez, J.M. 2003. Mobility and availability to plants of two zinc sources applied to a calcareous Soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 67: 564-572.
35.Petra, K., Juan, B., Pilar Bernal, M., Flavia, N., Charlotte, P., Stefan, S., Rafael, C., and Carmela, M. 2009. Trace element behaviour at the root–soil interface: Implications in phytoremediation. Environmental and Experimental Botany. 67: 243-259.
36.Pinel, F., Leclerc-Cessac, E., and Staunton, S. 2003. Relative contributions of soil chemistry, plant physiology and rhizosphere induced changes in speciation on Ni accumulation in plant shoots. Plant and Soil. 255: 619-629.

37.Rayhani Tabar, A., Karimian, N., Moezardalan, M., Savaghebi, Gh., and Ghanadha, R. 2006. The distribution of Zn forms and their relationships with soil properties in some calcareous soils of Tehran provice. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 10: 2. 125-135. (In Persian)
38.Safari Sinegani, A.A., and Khalilikhah, F. 2010. Effects of EDTA, sheep manure extract and their application time on Cd uptake by *Helianthus annuus* from a calcareous mine soil. Soil and Sediment Contamination. 19: 378-390.
39.Safari Singani, A.A., and Ahmadi, P. 2012. Manure application and cannabis cultivation influence on speciation of lead and cadmium by selective sequential extraction. Soil Sedimentary Contamination. 21: 305-321.
40.Shuman, L.M. 1985. Fractionation methods for soil microelements. Soil Science. 140: 11-22.
41.Silveira, M.L., Alleoni, L.R.F., O'Connor, G.A., and Chang, A.C. 2006. Heavy metal sequential extraction methods Amodification for tropical soils. Chemosphere. 64: 1929-1938.
42.Soltanpour, P.N., and Schwab, A.P. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micro-nutrients in alkaline soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 8: 195-207.
43.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 Sci. Soc. Amer. J. 46: 260-265.
44.Tahmasbian, I., and Safari Sinegani, A.A. 2013. Monitoring the effects of chelating agents and electrical fields on active forms of Pb and Zn in contaminated soil. Environmental Monitoring and Assessment. 185: 8847-8860.
45.Tao, S., Chen, Y.J., Xu, F.L., Cao, J., and Li, B.G. 2003. Changes of copper speciation in maize rhizosphere soil. Environmental Pollution. 122: 447-454.
46.Tembo, B.D., Sichilongo, K., and Cernak, J. 2006. Distribution of copper, lead, cadmium and zinc concentrations in soils around Kabwe town in Zambia. Chemosphere. 63: 497-501.
47.Tessier, A., Campbell, P.G.C., and Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the specification of particulate trace metals. Analytical Chemistry. 51: 844-850.
48.Udovic, M., and lestan, D. 2009. Pb, Zn and Cd mobility, availability and fractionation in aged soil remediated by EDTA leaching. Chemosphere. 74: 1367-1373.
49.Wang, Z., Shan, X.Q., and Zhang, S. 2002. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements inrhizosphere and bulk soils. Chemosphere. 46: 8. 1163-1171.
50.Way, H., and Cunnighams, S. 1999. Chelate assisted Pb phytoextraction: Pb availability, uptake and translocation. Environmental Science Technology. 33: 1898-1904.
51.Xian, X. 1989. Effect of chemical forms of cadmium, zinc and lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. Plant and Soil. 113: 257-264.
52.Xing, B.S., Liu, J.D., Liu, X.B., and Han, X.Z. 2005. Extraction and characterization of humic acids and humin fractions from a black soil of China. Pedosphere. 15: 1-8.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(5), 2017
http://jwsc.gau.ac.ir

Change of availability and fractions of zinc in the rhizosphere of maize in contaminated soil treated with chelators

***M. Rahmanian[1], A.R. Hosseinpur[2], H.R. Motaghian[3] and E. Adhami[4]**

[1]Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Shahrekord and Currently Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Yasouj, [2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Shahrekord, [3]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Shahrekord, [4]Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Yasouj

Received: 11/15/2015; Accepted: 05/29/2016

Abstract

Background and Objectives: Availability and fractions of zinc are different in the rhizosphere compared to bulk soil according to different biological and chemical characteristics of rhizosphere. This study was conducted to investigate change in availability and fractions of zinc in the rhizosphere of corn (*Zea mays* L.) in a contaminated soil treated with chelators (EDTA, citric acid and poultry manure extract) in greenhouse condition.

Materials and Methods: Citric acid and EDTA were used at concentration levels 0, 0.5 and 1 mmol kg^{-1} soil and poultry manure extract at concentration levels 0, 0.5 and 1 g kg^{-1} soil. Three seeds of maize were plant in the rhizobox. After 10 weeks, plants were harvested and rhizosphere and bulk soils were separated. Dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC) and available Zn (by using 4 chemical procedures including DTPA-TEA, AB-DTPA, Mehlich3 and Rhizosphere-based method) and Zn-fractions were determined in the rhizosphere and bulk soils.

Results: Rhizosphere soils properties was different with bulk soils. The results showed that DOC and MBC in the rhizosphere soils were significantly ($P<0.05$) higher in the bulk soils, while pH significantly decreased in the rhizosphere soils compared to bulk soils. Zn extracted by different methods in the rhizosphere (except rhizosphere based method) were significantly ($P<0.05$) lower than in the bulk soils. Amount of extracted Zn with extractants ranged from 0.78 to 75.00 mg kg^{-1}. The maximum amount of Zn by mehlich3 and the least amount of Zn by rhizosphere based method were extracted. Available Zn increased as added chelators to soil. Zn extracted by rhizosphere based method was read only by an atomic absorption spectrophotometer when EDTA added to the soil. In the rhizosphere and bulk soils treated with chelators, the greatest amount of Zn was bounded to iron and manganese oxides forms, residual, bounded to organic matter, bounded to carbonates and exchangeable respectively. The mean of Zn exchangeable and bounded to organic matter fractions in the rhizosphere were smaller than in the bulk soils and mean of Zn bounded to iron and manganese oxides, bounded to carbonates and residual fractions in the rhizosphere were higher than in the bulk soils. Amount of Zn fractions ranged from 0.13 to 583.20 mg kg^{-1}.

Conclusion: The results of this research showed that availability of Zn in the rhizosphere soils are smaller than the bulk soils. The maximum amount of Zn in the EDTA treatment (1 mmol kg^{-1}) and the least amount of Zn in control condition, were extracted. There was not statistically significant differences between both levels of poultry manure extract on Zn availability.

Keywords: Rhizosphere, Corn, Fractionation, Chelators, Availability

* Corresponding Author; Email: m.rahmanian10@yahoo.com