نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره چهارم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

شکل‌های شیمیایی روی در ریزوسفر ذرت در دو خاک آلوده با بافت متفاوت تیمارشده با کلات‌کننده‌ها

*محمد رحمانیان[۱] و علیرضا حسین‌پور[۲]
[۱]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد
تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: فرآیندهای ریزوسفری نقش مهمی در اجزای روی در خاک‌ها دارد. ریشه‌های گیاه توانایی تبدیل اجزای فلزات برای جذب آسان از طریق ترشحات ریشه در ریزوسفر را دارند. در این پژوهش، تأثیر EDTA، اسیدسیتریک و عصاره کود مرغی بر جزءبندی روی در ریزوسفر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در دو خاک آلوده با بافت متفاوت بررسی شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد و 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 (DOC)، کربن بیوماس میکروبی (MBC) و جزءبندی روی در خاک ریزوسفری و توده تعیین شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد ویژگی‌های خاک ریزوسفری با خاک توده متفاوت بود. در هر دو خاک کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی در خاک ریزوسفری به‌صورت معنی‌داری ($P\leq۰/۰۵$) از توده خاک بیش‌تر بود، در حالی‌که pH کاهش معنی‌داری ($P\leq۰/۰۵$) در خاک ریزوسفری نسبت به خاک توده یافت. در خاک لوم شنی و لوم رسی میانگین اجزای روی تبادلی و پیوند شده با ماده آلی در خاک ریزوسفری کم‌تر از توده خاک و میانگین اجزاء روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوندشده با کربنات‌ها و باقی‌مانده در خاک ریزوسفری بیش‌تر از توده خاک بود. در هر دو خاک در خاک‌های ریزوسفری و توده، بیش‌ترین مقادیر روی به‌ترتیب در اجزاء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، باقی‌مانده، پیوندشده با ماده آلی، پیوندشده با کربنات‌ها و تبادلی بود. در خاک لوم شنی و لوم رسی جذب روی اندام هوایی با روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز ($r=۰/۷۱$) همبستگی معنی‌داری داشت. در خاک لوم شنی در کشت ذرت، بیش‌ترین جذب روی اندام هوایی ذرت در خاک تیمارشده با ۱ گرم عصاره کود مرغی بر کیلوگرم مشاهده شد. در خاک لوم رسی بیش‌ترین جذب روی اندام هوایی ذرت در خاک تیمارشده با ۰/۵ گرم عصاره کود مرغی بر کیلوگرم مشاهده شد. در خاک لوم شنی تیمار ۱ میلی‌مول EDTA بر کیلوگرم و در خاک لوم رسی تیمار

* مسئول مکاتبه: m.rahmanian10@yahoo.com

۱ میلی‌مول اسید سیتریک بر کیلوگرم منجر به آزاد شدن بیش‌ترین غلظت روی در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میانگین اجزاء روی تبادلی و روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک لوم شنی به‌صورت معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بیش‌تر از خاک لوم رسی بود، در حالی‌که میانگین روی پیوندشده با ماده آلی و روی باقی‌مانده در خاک لوم رسی به‌صورت معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بیش‌تر از خاک لوم شنی بود، که می‌توان آن را به ویژگی‌های متفاوت دو خاک نسبت داد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات فیزیکی، شیمیایی، و بیولوژیکی شرایط خاک ناشی از ریشه ذرت نه تنها منجر به کاهش اجزاء متحرک روی شد، بلکه منجر به تغییر در اجزاء با ثبات روی در خاک نیز شد. از آن‌جایی‌که استفاده زیاد از حد کلات‌کننده‌ها می‌تواند باعث قابلیت استفاده بیش‌تر روی در خاک شود بدون این‌که جذب گیاه را افزایش دهد، بنابراین استفاده از سطوح غلظتی بالاتر توصیه نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: ریزوسفر، شکل‌های روی، کلات‌کننده، لوم رسی، لوم شنی

مقدمه

فعالیت‌های انسانی در زمین‌های کشاورزی اطراف شهرها و روستاها، صنعتی‌شدن، استخراج معادن، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در زمین‌های کشاورزی منجر به تجمع بیش از حد فلزات سنگین در زمین‌های کشاورزی شده است (۷). در دهه‌های اخیر، با توجه به خطرات زیست‌محیطی فلزات سنگین و احتمال جذب و ورود این عناصر به زنجیره غذایی و تهدید سلامت انسان‌ها، موضوع استفاده از گیاهان به‌منظور پالایش این عناصر از محیط زیست و خروج این عناصر از خاک به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است. بیش‌تر آزمایش‌ها در مورد گیاه‌پالایی بر روی گیاهان زراعی با زیست‌توده بالا مثل ذرت و آفتابگردان و اقدامات مدیریتی خاک و روش‌های شیمیایی (مانند استفاده از کلات‌کننده‌ها) جهت افزایش جذب فلزات سنگین از خاک توسط گیاهان متمرکز شده است (٤). این ترکیب‌های شیمیایی و مواد آلی با فلزها تشکیل کمپلکس داده، حلالیت آن‌ها را افزایش داده و سبب افزایش تحرک و جذب آن‌ها توسط گیاه می‌شوند.

فلزات سنگین در خاک به شدت با اجزای مختلف خاک پیوند خورده‌اند و تحرک و قابلیت دسترسی آن‌ها به‌طور عمده به نوع پیوند فلز به این اجزای خاک محدود می‌شود (۲). قابلیت استفاده فلزات سنگین در خاک وابسته به بافت خاک (مقدار رس)، سطح ویژه، ظرفیت تبادل کاتیونی و pH خاک می‌باشد (۱۵). تحرک و قابلیت استفاده فلزات سنگین در خاک با افزایش مقدار رس به‌دلیل وابستگی زیاد فلزات با مقدار رس کاهش می‌یابد (١٤).

با ترشح ترکیباتی مانند قندها، اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی و ویتامین‌ها توسط ریشه‌های گیاه و استفاده از آن‌ها توسط ریزجانداران، ویژگی‌های خاک ریزوسفری تغییر می‌کند. ترشحات ریشه با وزن ملکولی کم توانایی تغییر حلالیت، جذب و آزاد شدن، جزءبندی و حرکت عناصر غذایی را از طریق ایجاد کلات و اکسید و احیا دارند (۵). متفاوت بودن ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک ریزوسفری نسبت به توده خاک، بر اجزاء عناصر و قابلیت استفاده آن‌ها مؤثر است (۸). فورمنتینی و همکاران (۲۰۱۵) استفاده طولانی‌مدت لجن خوک را بر جزءبندی روی در یک خاک رسی در برزیل را

مطالعه کردند. نتایج نشان داد بیش‌ترین مقدار روی در جزء باقی‌مانده قرار داشت (۱۰). در مطالعه رودریگوئزویلا و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر کودهای آلی (کمپوست و بیوچار) بر جزءبندی روی در ریزوسفر خردل (*Brassica juncea* L.) در یک خاک معدن، بیش‌ترین مقدار روی به‌ترتیب در اجزاء باقی‌مانده و پیوندشده با ماده آلی قرار داشت (۲۸). شاهین و رینکلبه (۲۰۱٤) با بررسی توزیع اجزاء روی در یک خاک در آلمان دریافتند که بیش‌ترین مقدار روی در در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز قرار داشت (۳۰). پرز- استبان و همکاران (۲۰۱۲) پیامد کمپوست کود اسبی و گوسفندی را بر جزءبندی روی در یک خاک معدن در اسپانیا را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین مقدار روی به‌ترتیب در اجزاء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و باقی‌مانده قرار داشت (۲٦). در مطالعه آچیبا و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تأثیر کود دامی بر جزءبندی روی در خاک‌های آهکی، بیش‌ترین مقدار روی در جزء باقی‌مانده و پیوندشده با ماده آلی و سولفیدها (جزء سوم) قرار داشت (۱). کیان و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی تأثیر کود دامی بر توزیع اجزاء روی در یک خاک آلوده دریافتند که بیش‌ترین مقدار روی در در جزء باقی‌مانده قرار داشت (۲۷).

ریزوسفر مهم‌ترین محل تماس ریشه‌های گیاه با خاک است. با توجه به پیچیدگی‌های این محیط و تفاوت گیاهان در ترشح ترکیبات مختلف در این محیط، پژوهش‌های بسیار کمی در ایران بر جزءبندی روی در ریزوسفر گیاهان بیش‌اندوز انجام شده است. با توجه به کارایی عوامل کلات‌کننده در افزایش قابلیت استفاده و آلودگی‌زدایی فلزات سنگین از خاک، تأثیر تراوشات و فعالیت ریشه و ریزجانداران بر اجزاء فلزات و قابلیت استفاده و جذب آن‌ها به‌وسیله گیاهان، این پژوهش با هدف بررسی اثر کلات‌کننده‌ها (EDTA، اسید سیتریک و عصاره کود مرغی) بر جزءبندی روی در ریزوسفر ذرت در دو خاک آلوده با بافت متفاوت انجام شد.

مواد و روش‌ها

دو نمونه خاک آلوده با بافت متفاوت از نزدیکی معدن باما در استان اصفهان (با طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی و ارتفاع حدود ۱٦۲۹ متر از سطح دریا) از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شدند. نمونه‌ها پس از هوا خشک کردن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. در نمونه‌ها، قابلیت هدایت الکتریکی و pH در عصاره ۱ به ۲ خاک و آب مقطر، بافت به روش هیدرومتر (۱۱)، درصد کربنات‌کلسیم معادل با روش خنثی‌کردن کربنات‌کلسیم با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود (۲۱)، درصد کربن آلی به روش اکسایش تر (۲٤)، مقدار روی قابل‌دسترس به روش DTPA-TEA (۲۰) و مقدار کل روی خاک با اسید نیتریک ٤ مولار (۳۱) اندازه‌گیری شدند.

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل که فاکتور اول خاک در ۲ سطح (۲ بافت مختلف)، فاکتور دوم تیمار کلات‌کننده در ۹ سطح (سه نوع کلات‌کننده و هر کدام در سه سطح) و فاکتور سوم محیط (در ۲ سطح، ریزوسفر و توده) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به‌صورت کشت در ریزوباکس (۳٦) در گلخانه انجام شد. بعد از اضافه کردن عناصر غذایی لازم به خاک هر ریزوباکس رطوبت آن‌ها به حد ظرفیت زراعی رسانده شد. ٦ بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰٤ در عمق مناسب کاشته شده و پس از استقرار و سبز شدن کامل بذرها در پایان هفته دوم، تعداد گیاهان به ۳ بوته تنک گردید. در طول دوره رشد گیاهان، سعی شد رطوبت

ریزوباکس‌ها در حد ظرفیت زراعی نگهداشته شود. اسید سیتریک و EDTA در سطوح غلظتی صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک (١٦) و عصاره کود مرغی در سطوح غلظتی صفر، ۰/۵ و ۱ گرم بر کیلوگرم خاک (۲۹) در چهار مرحله به همراه آب آبیاری در طول دوره کشت به ریزوباکس‌ها اضافه شدند. مقدار عصاره کود مرغی مورد نیاز بر اساس مقدار عصاره حاصل از حجم مشخصی از عصاره ۱ به ۵ (کود مرغی به آب) محاسبه شد (۱۹). در عصاره کود مرغی EC، pH و غلظت روی به روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین شد.

بخش هوایی گیاهان ۱۰ 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. برای تعیین اجزای محلول و تبادلی، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوندشده با ماده آلی در خاک ریزوسفری و توده از روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) و برای تعیین جزء باقی‌مانده روی از روش اسپوزیتو و همکاران (۱۹۸۲) استفاده شد (۳۱ و ٣٤). بخش‌های هوایی و ریشه‌ها با آب مقطر شسته و به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۰ 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 (۳) و سپس غلظت روی در آن‌ها با دستگاه جذب اتمی (مدل جی بی سی، ۹۳۲) اندازه‌گیری شد.

کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) در خاک ریزوسفری و توده با روش تدخین با کلروفرم و خواباندن (۱۳) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقدار کربن آلی محلول (DOC) از عصاره ۱ به ۲ خاک تازه به آب‌مقطر استفاده شد (٦). سپس سوسپانسیون در دمای اتاق به‌مدت ۲ ساعت تکان داده شد و سپس ۵ دقیقه سانتریفیوژ و محلول صاف رویی با استفاده از فیلتر پلاستیکی دارای قطر ۰/٤٥ میکرومتر جدا شد. مقدار کربن آلی محلول با استفاده از روش اکسیداسیون تر (٢٤) تعیین شد.

برای بررسی تأثیر تیمارهای آزمایشی بر گیاه‌پالایی روی توسط ذرت ضریب انتقال فلز، ضریب تجمع زیستی، مدت زمان آلودگی‌زدایی کامل فلز از خاک با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شدند (۹).

$$\text{ضریب تجمع زیستی} = \frac{\text{غلظت فلز در ریشه یا اندام هوایی}}{\text{غلظت قابل‌دسترس فلز در خاک ریزوسفری یا توده}}$$

$$\text{ضریب انتقال ریشه به بخش هوایی} = \frac{\text{غلظت فلز در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز در ریشه گیاه}}$$

$$\text{مدت زمان آلودگی‌زدایی کامل فلز از خاک} = \frac{\text{غلظت کل فلز در خاک}}{\text{جذب فلز توسط اندام هوایی * تعداد دفعات کشت گیاه در سال}}$$

در همه روابط بالا غلظت فلز در گیاه (اندام هوایی یا ریشه) بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاهی و در خاک نیز بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. بررسی اثرات تیمارها بر قابلیت استفاده و اجزای روی با تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ٪۵ با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول ۱، بافت خاک‌های مورد استفاده لوم شنی و لوم رسی بود. خاک‌ها غیرشور، آهکی و با واکنش قلیایی بودند. مقدار کل نیتروژن در خاک لوم شنی نصف مقدار آن در خاک لوم رسی بود. مقدار فسفر قابل‌استفاده در خاک لوم شنی بیش‌تر از خاک لوم رسی و مقدار پتاسیم قابل‌استفاده در خاک لوم شنی کم‌تر از خاک لوم رسی بود. در خاک لوم شنی مقادیر سرب، مس و روی کل به‌ترتیب ۲۵۰، ۳۲ و ۸۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در حالی‌که این مقادیر برای خاک لوم رسی به‌ترتیب ۳٦۰، ۳۱ و ۸۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. غلظت روی در خاک‌ها بیش‌تر از سطح نرمال و حد بحرانی در خاک می‌باشد. سازمان سلامت جهانی محدوده هشدار غلظت کل سرب، روی، مس و کادمیم خاک را به‌ترتیب ۳۵، ۹۰، ۳۰ و ۰/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین کرده است (۳۳). 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 بر کیلوگرم بود.

جدول ۲ مقادیر pH، MBC و DOC در خاک‌های ریزوسفری و توده را نشان می‌دهد. در هر دو خاک، در خاک‌های ریزوسفری میانگین MBC و DOC نسبت به توده خاک بیش‌تر بود در حالی‌که میانگین pH در خاک‌های ریزوسفری نسبت به توده خاک به‌صورت معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) کم‌تر بود.

در خاک لوم شنی در خاک‌های ریزوسفری pH در دامنه ۸/۰۳ تا ۸/۰۵ کربن آلی محلول در دامنه ۲۹ تا ۹٦ میلی‌گرم کربن در لیتر و کربن بیوماس میکروبی در دامنه ۵۹ تا ۱۳۷ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم متغیر بود، در حالی‌که در توده خاک pH در دامنه ۸/۰۸ تا ۸/۳۱ کربن آلی محلول در دامنه ۲٤ تا ۷۷ میلی‌گرم کربن در لیتر و کربن بیوماس میکروبی در دامنه ٥٦ تا ۱۱۵ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم متغیر بود. در خاک لوم رسی در خاک‌های ریزوسفری pH در دامنه ۸/۰۱ تا ۸/۰۵ کربن آلی محلول در دامنه ۸۵ تا ۱۵۲ میلی‌گرم کربن در لیتر و کربن بیوماس میکروبی در دامنه ۱۲٤ تا ۱۵۵ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم متغیر بود، در حالی‌که در توده خاک pH در دامنه ۸/۱۰ تا ۸/۱۹ کربن آلی محلول در دامنه ۸۰ تا ۱۳۳ میلی‌گرم کربن در لیتر و کربن بیوماس میکروبی در دامنه ۱۱٦ تا ۱٤۳ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم متغیر بود.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در پژوهش.

Table 1. Some physiochemical properties of the studied soils.

لوم رسی Clay loam	لوم شنی Sandy loam	ویژگی‌ها Properties
35.00	18.00	رس (٪) Clay (%)
29.00	57.00	شن (٪) Sand (%)
36.00	25.00	سیلت (٪) Silt (%)
0.06	0.03	نیتروژن کل (٪) Total N (%)
10.00	22.00	فسفر قابل‌استفاده ($mg\ kg^{-1}$) Available P
250.00	150.00	پتاسیم قابل‌استفاده ($mg\ kg^{-1}$) Available K
7.50	9.70	روی قابل‌استفاده ($mg\ kg^{-1}$) Available Zn
0.54	0.48	کربن آلی (٪) Organic carbon (%)
27.00	32.00	کربنات‌کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalant (%)
8.10	8.20	pH
0.30	0.44	($dS\ m^{-1}$) EC

EC: electrical conductivity.

در ریزوسفر وجود ترشحات ریشه منجر به افزایش کربن آلی شده که این پدیده در نهایت منجر به افزایش کربن زیست‌توده میکروبی می‌شود. با ترشح ترکیبات آلی قابل‌حل در آب شامل قندها، اسیدهای آلی و آمینواسیدها و همچنین ترکیبات غیرقابل‌حل در آب مانند دیواره سلولی و موسیلاژها توسط ریشه گیاهان و تجزیه مستمر آزادانه این ترکیبات توسط ریزجانداران خاک منجر به افزایش غلظت مواد آلی در خاک ریزوسفری نسبت به خاک توده می‌شود (۲۲). لی و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه ریزوسفر گیاه لوبیا مشاهده کردند که pH در ریزوسفر ۱/٦٦ واحد نسبت به خاک کشت نشده (شاهد) کاهش یافت (۱۸).

مقادیر اجزاء روی در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که در هر دو خاک در خاک‌های ریزوسفری و توده، بیش‌ترین مقادیر روی به‌ترتیب در اجزاء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، باقی‌مانده، پیوندشده با ماده آلی، پیوندشده با کربنات‌ها و تبادلی بود. نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان داد روی تبادلی و روی پیوندشده با ماده آلی در خاک‌های ریزوسفری کم‌تر از توده و در مقابل روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوندشده با کربنات‌ها و جزء باقی‌مانده بیش‌تر بود. کاهش مقدار روی تبادلی در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک توده ممکن است به‌دلیل جذب گیاه باشد (۱۲ و ۳۲).

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های ریزوسفری و توده در کشت ذرت.

Table 2. Some chemical and biological characteristics of rhizosphere and bulk soils in the cultivation of corn.

کلات Chelate	غلظت Con.	pH			کربن آلی محلول ($mg\ C\ L^{-1}$) DOC			کربن بیوماس میکروبی ($mg\ C\ L^{-1}$) MBC		
		ریزوسفر R	توده B	میانگین Mean	ریزوسفر R	توده B	میانگین Mean	ریزوسفر R	توده B	میانگین Mean
خاک لومی شنی Sandy loam soil										
	0.00	8.03^{gh}	8.12^{cd}	8.07 BCD	96.00^{fgh}	77.00^{jk}	86.00 A	137.00^{bcd}	115.00^{e}	126.00 A
EDTA	0.50	8.04^{fgh}	8.08^{def}	8.06 D	40.00^{opq}	37.00^{opq}	38.00 D	87.00^{f}	68.00^{ghi}	78.00 BC
	1.00	8.03^{gh}	8.19^{b}	8.11 B	29.00^{qr}	24.00^{r}	26.00 E	78.00^{fgh}	65.00^{ghi}	71.00 C
CA	0.50	8.04^{fgh}	8.31^{a}	8.17 A	48.00^{nop}	40.00^{opq}	44.00 D	74.00^{fghi}	65.00^{ghi}	70.00 C
	1.00	8.03^{gh}	8.17^{b}	8.10 BC	40.00^{opq}	34.00^{pqr}	37.00 D	59.00^{hi}	56.00^{i}	57.00 D
PME	0.50	8.05^{efg}	8.12^{cd}	8.09 BCD	69.00^{kl}	64.00^{lm}	66.00 B	90.00^{f}	84.00^{fg}	87.00 B
	1.00	8.03^{gh}	8.09^{cde}	8.06 D	56.00^{mn}	50.00^{no}	53.00 C	74.00^{fghi}	68.00^{ghi}	71.00 C
میانگین Mean		8.03 B	8.14 A		63.00 A	53.00 B		97.00 A	83.00 B	
خاک لومی رسی Clay loam soil										
	0.00	8.03^{gh}	8.12^{cd}	8.07 BC	152^{a}	133^{b}	142.00 A	155.00^{a}	143.00^{abc}	149.00 A
EDTA	0.50	8.04^{fgh}	8.13^{c}	8.09 B	96.00^{fgh}	93.00^{fgh}	94.00 D	130.00^{bcde}	127.00^{bcde}	129.00 CD
	1.00	8.03^{gh}	8.19^{b}	8.11 A	85.00^{hij}	80.00^{ijk}	82.00 E	127.00^{bcde}	116.00^{de}	122.00 D
CA	0.50	8.03^{gh}	8.11^{cd}	8.07 BC	104.00^{efg}	96.00^{fgh}	100.00 D	130.00^{bcde}	124.00^{cde}	127.00 CD
	1.00	8.01^{h}	8.10^{cd}	8.05 C	96.00^{fgh}	90.00^{ghi}	93.00 D	124.00^{cde}	118.00^{de}	121.00 D
PME	0.50	8.05^{efg}	8.12^{cd}	8.09 B	125.00^{bc}	120.00^{cd}	122.00 B	144.00^{ab}	136.00^{bcd}	140.00 AB
	1.00	8.03^{gh}	8.12^{cd}	8.08 B	112.00^{de}	106.00^{ef}	109.00 C	137.00^{bcd}	130.00^{bcde}	133.00 BC
میانگین Mean		8.03 B	8.12 A		119.00 A	109.00 B		140.00 A	131.00 B	

حروف متفاوت برای هر ویژگی نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد، EDTA و CA (اسید سیتریک) بر حسب (میلی‌مول بر کیلوگرم)، PME (عصاره کود مرغی) بر حسب (گرم بر کیلوگرم)، Con: Concenteration، R: Rhizosphere، B: Bulk.

Different letters show significant differences at the 0.05 probability level for each treatment, EDTA and citric acid ($mmol\ kg^{-1}$), PME ($g\ kg^{-1}$), Con.: Concenteration, R: Rhizosphere, B: Bulk.

جزء تبادلی می‌تواند با ترکیبات آلی ترشح شده از ریشه‌ها پیوند یابد بنابراین، این جزء در خاک‌های ریزوسفری کاهش می‌یابد (۳۷). در ناحیه ریزوسفر ذرت، جمعیت ریزجانداران افزایش یافته بود (جدول ۲). جمعیت میکروبی می‌توانند ترکیبات آلی را اکسید کرده و بنابراین روی پیوندشده با ماده آلی در خاک ریزوسفری کاهش یافت.

در خاک‌های ریزوسفری خاک لوم شنی در کشت ذرت، دامنه تغییرات اجزاء روی، ۰/۱۳ تا ۱۳/۲۳ در جزء تبادلی، ۲/۹٤ تا ٦/٤٤ در جزء پیوندشده با کربنات‌ها، ٥۱۰/٤۸ تا ٥۸۳/۲۰ در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، ۷٦/٦٥ تا ۱۱۸/۹٥ در جزء پیوندشده با ماده آلی و ۲۲۸/۰۰ تا ۲۹٥/٥۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جزء باقی‌مانده در خاک ریزوسفری بود، در حالی‌که در توده خاک ۰/۲۹ تا ۱٤/۹۲ در جزء تبادلی، ۲/۹۰ تا ٦/۱۲ در جزء پیوندشده با کربنات‌ها، ٤۹۷/۲۸ تا ٥۷٦/٦۰ در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، ۸۳/٤۰ تا ۱۲۷/۳٥ در جزء پیوندشده با ماده آلی و ۲۱٦/۹۰ تا ۲۸۳/٥۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جزء باقی‌مانده بود (جدول ۳). در خاک‌های ریزوسفری خاک لوم شنی، میانگین روی تبادلی و روی پیوندشده با کربنات‌ها به‌ترتیب ۰/۱۲ درصد و ۰/٥۰ درصد از روی کل بود. در حالی‌که میانگین این اجزاء در خاک‌های توده به‌ترتیب ۰/۱٥ درصد و ۰/٤۷ درصد از روی کل بود. همچنین میانگین روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و روی پیوندشده با ماده آلی خاک‌های ریزوسفری ٦۱/۱٦ درصد و ۱۱/٥۸ درصد از روی کل بود در حالی‌که میانگین این اجزاء در توده خاک ٦۰/۱۷ درصد و ۱۳/۱۱ درصد از روی کل بود. میانگین روی باقی‌مانده ۲٦/٦٤ درصد در خاک‌های ریزوسفری و ۲٦/۱۰ درصد در توده خاک بود.

در خاک‌های ریزوسفری خاک لوم رسی در کشت ذرت، دامنه تغییرات اجزاء روی، ۰/۳۰ تا ۷/٤۳ در جزء تبادلی، ۳/٤٤ تا ٦/۷۲ در جزء پیوندشده با کربنات‌ها، ٤۱۸/٤٤ تا ٤۲۷/۲۰ در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، ۱۸۱/٦٥ تا ۲۰۱/۱٥ در جزء پیوندشده با ماده آلی و ۲۳٦/۱۰ تا ۲٤٦/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جزء باقی‌مانده در خاک ریزوسفری بود، در حالی‌که در توده خاک ۰/٥۳ تا ۸/۷٥ در جزء تبادلی، ۳/۲٥ تا ٥/٦٦ در جزء پیوندشده با کربنات‌ها، ٤۱٦/۱٦ تا ٤۲٤/۹۲ در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، ۱۸۲/۱۰ تا ۲۰٥/۹٥ در جزء پیوندشده با ماده آلی و ۲۳٤/۰۰ تا ۲٤۲/٤۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جزء باقی‌مانده بود (جدول ۳). در خاک‌های ریزوسفری خاک لوم رسی، میانگین روی تبادلی و روی پیوندشده با کربنات‌ها به‌ترتیب ۰/٦۰ درصد و ۰/۸۱ درصد از روی کل بود، در حالی‌که میانگین این اجزاء در خاک‌های توده به‌ترتیب ۰/۷۱ درصد و ۰/۷٤ درصد از روی کل بود. همچنین میانگین روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و روی پیوندشده با ماده آلی خاک‌های ریزوسفری ٤۸/٥۰ درصد و ۲۱/۷۰ درصد از روی کل بود در حالی‌که میانگین این اجزاء در توده خاک ٤۸/۰۰ درصد و ۲۲/۳۰ درصد از روی کل بود. میانگین روی باقی‌مانده ۲۸/٤۰ درصد در خاک‌های ریزوسفری و ۲۷/۹۰ درصد در توده خاک بود.

نتایج جدول ۳ نشان داد در خاک لوم شنی با کاربرد EDTA و اسید سیتریک روی تبادلی و روی پیوندشده با کربنات‌ها نسبت به شاهد افزایش یافت. کاربرد EDTA (غلظت ۱ میلی‌مول بر کیلوگرم) و اسید سیتریک منجر به افزایش روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز نسبت به شاهد شد. کاربرد EDTA و اسید سیتریک (غلظت ۰/٥ میلی‌مول بر کیلوگرم) منجر به کاهش روی باقی‌مانده نسبت به شاهد شد. در خاک لوم رسی استفاده از EDTA و اسید سیتریک منجر به افزایش روی تبادلی و روی پیوندشده با کربنات‌ها نسبت به شاهد شد. کاربرد EDTA و اسید سیتریک منجر به کاهش روی باقی‌مانده نسبت به شاهد شد. افزایش و کاهش روی در نتیجه تغییر در اجزاء روی و باز توزیع آن است.

جدول ۳- مقادیر اجزاء مختلف روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک‌های ریزوسفری و توده در کشت ذرت.

Table 3. Amounts of Zn fractions (mg kg-1) in the rhizosphere and bulk soils in the cultivation of corn.

کلات Chelate	غلظت Con.	تبادلی Exchangeable		پیوندشده با کربنات‌ها Associated with carbonates		پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز Associated with iron-manganese oxides		پیوندشده با ماده آلی Associated with organic matter		باقی‌مانده Residual	
		ریزوسفر (R)	توده (B)	ریزوسفر (R)	توده (B)	ریزوسفر (R)	توده (B)	ریزوسفر (R)	توده (B)	ریزوسفر (R)	توده (B)
خاک لوم شنی (Sandy loam soil)											
EDTA	0.00	0.13^{j}	0.81^{ij}	2.94^{g}	2.90^{g}	515.16^{def}	508.08^{ef}	103.80^{fg}	111.75^{efg}	236.70^{fg}	228.60^{gh}
	0.50	10.37^{d}	11.76^{c}	5.70^{abc}	4.62^{d}	534.12^{cde}	522.96^{de}	115.05^{efg}	120.00^{efg}	289.50^{b}	263.70^{bc}
	1.00	13.23^{b}	14.92^{a}	6.44^{a}	6.12^{ab}	583.20^{a}	576.60^{a}	118.95^{ef}	127.35^{e}	295.50^{a}	281.70^{b}
CA	0.50	0.70^{e}	1.20^{i}	4.97^{cd}	4.99^{cd}	560.04^{abc}	544.68^{bcd}	110.70^{efg}	113.85^{efg}	263.70^{bc}	259.20^{cd}
	1.00	1.04^{i}	1.35^{i}	6.09^{ab}	5.32^{bc}	572.40^{ab}	567.60^{ab}	116.10^{efg}	119.85^{ef}	287.40^{b}	283.50^{b}
PME	0.50	0.21^{j}	0.46^{j}	5.49^{bc}	5.43^{bc}	510.48^{ef}	497.28^{f}	100.50^{g}	108.45^{fg}	234.30^{g}	220.50^{hi}
	1.00	0.17^{j}	0.29^{j}	3.16^{fg}	3.21^{f}	518.84^{def}	510.00^{ef}	76.65^{h}	83.40^{h}	228.00^{gh}	216.90^{i}
خاک لوم رسی (Clay loam soil)											
EDTA	0.00	0.30^{j}	0.58^{j}	3.44^{f}	3.35^{f}	418.44^{gh}	417.96^{gh}	181.65^{d}	182.10^{cd}	236.10^{fg}	234.00^{g}
	0.50	5.17d	6.62^{ef}	6.22^{ab}	5.28^{c}	425.64^{g}	423.48^{gh}	190.35^{bcd}	195.30^{bc}	243.00^{de}	239.40^{ef}
	1.00	7.43^{e}	8.75^{e}	6.72^{a}	5.66^{bc}	426.72^{g}	423.60^{gh}	201.15^{ab}	205.95^{a}	246.90^{d}	242.10^{de}
CA	0.50	3.83^{h}	5.10^{g}	5.90^{abc}	5.96^{abc}	426.12^{g}	423.00^{gh}	192.15^{bc}	197.10^{ab}	242.20^{de}	240.60^{ef}
	1.00	5.12^{g}	6.50^{f}	6.43^{ab}	5.65^{bc}	427.20^{g}	420.00^{gh}	193.50^{bc}	197.25^{ab}	246.30^{d}	242.40^{de}
PME	0.50	0.43^{j}	0.56^{j}	5.45^{bc}	4.17^{de}	420.00^{gh}	418.68^{hi}	186.75^{cd}	191.10^{bcd}	239.70^{ef}	238.50^{ef}
	1.00	0.43^{j}	0.53^{j}	4.07^{e}	3.25^{f}	418.92^{gh}	416.16^{i}	197.85^{ab}	200.10^{ab}	238.80^{ef}	236.10^{fg}

حروف متفاوت برای هر ویژگی نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد، EDTA و CA (اسید سیتریک) بر حسب (میلی‌مول بر کیلوگرم)، PME (عصاره کود مرغی) بر حسب (گرم بر کیلوگرم)، .Con: Concenteration، R: Rhizosphere، B: Bulk.

Different letters show significant differences at the 0.05 probability level for each treatment, EDTA and citric acid (mmol kg^{-1}), PME (g kg^{-1}), Con.: Concenteration, R: Rhizosphere, B: Bulk.

در هر دو خاک روی پیوندشده با ماده آلی با کاربرد کلات‌کننده‌ها نسبت به شاهد تغییری نکرد. در هر دو خاک اجزاء روی در نتیجه استفاده از عصاره کود مرغی نسبت به شاهد تغییری نکرد (جدول ۳). در خاک لوم شنی تیمار ۱ میلی‌مول EDTA بر کیلوگرم و در خاک لوم رسی تیمار ۱ میلی‌مول اسید سیتریک بر کیلوگرم منجر به آزاد شدن بیش‌ترین غلظت روی در جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز شد. کاربرد کلات‌کننده‌ها منجر به کاهش نسبت اجزاء قابل‌استفاده و باقی‌مانده در ریزوسفر شد. جزء باقی‌مانده ممکن است به اجزاء پیوندشده با کربنات‌ها و اکسیدهای آهن و منگنز منتقل شود (۳۵).

نتایج این پژوهش نشان داد بیش‌ترین مقدار روی در خاک استفاده‌شده در پژوهش به همراه اجزاء غیرمتحرک وجود دارد که با نتایج ارائه‌شده توسط پژوهشگران دیگر همخوانی دارد (۹ و ۲۸). قابلیت استفاده روی به‌طورکلی در خاک‌های قلیایی (خاک مورد استفاده در پژوهش) برای گیاه کم است. در مطالعه پرز- استبان و همکاران (۲۰۱۲) بیش‌ترین مقدار روی به‌ترتیب در اجزاء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و باقی‌مانده قرار داشت (۲٦). 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 (۲۵ و ۲۷). خانلری و جلالی (۲۰۰۸) گزارش کردند که بیش‌ترین مقدار روی در خاک‌های آهکی کشاورزی استان همدان در جزء باقی‌مانده بود (۱۷).

جدول ٤ ضرایب همبستگی (r) بین اجزاء مختلف روی و شاخص‌های گیاه ذرت را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول ٤ در هر دو خاک در خاک‌های ریزوسفری و توده در کشت ذرت، غلظت روی و جذب روی اندام هوایی با روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز به‌ترتیب (r=۰/۷۵) و (r=۰/۷۱) همبستگی معنی‌داری (P≤۰/۰۵) داشتند. همبستگی معنی‌داری بین غلظت روی و جذب روی ریشه با روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز (r=۰/۸٦) و (r=۰/۸۳) به‌ترتیب وجود داشت.

وجود همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار در جدول ٤ نشان می‌دهد که آن جزء برای گیاه قابلیت استفاده داشته، یعنی احتمالاً گیاه توانایی جذب روی از آن جزء را داشته است. وجود همبستگی‌های منفی و معنی‌دار نشان می‌دهد که با افزایش غلظت روی در آن جزء مقدار روی جذب‌شده توسط گیاه، عملکرد و یا غلظت روی در گیاه کاهش پیدا کرده است.

شاخص‌های گیاه ذرت در مطالعه عنصر روی در جدول ۵ نشان داده شده است. در خاک لوم شنی با کاربرد EDTA و عصاره کود مرغی (غلظت ۱ گرم بر کیلوگرم) غلظت روی در ریشه افزایش یافت. با کاربرد EDTA و اسید سیتریک (غلظت ۰/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم) و عصاره کود مرغی (غلظت ۱ گرم بر کیلوگرم) غلظت روی در اندام هوایی ذرت افزایش یافت. بیش‌ترین غلظت روی در ریشه در خاک تیمار شده با ۱ گرم عصاره کود مرغی بر کیلوگرم و در اندام هوایی در خاک تیمارشده با ۰/۵ میلی‌مول اسید سیتریک بر کیلوگرم مشاهده شد. در خاک لوم رسی با افزایش غلظت کلات‌کننده‌ها غلظت روی در ریشه تغییری نکرد و در اندام هوایی ذرت با افزایش غلظت EDTA و اسید سیتریک (غلظت ۰/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم) غلظت روی افزایش یافت (جدول ۵). بیش‌ترین غلظت روی در ریشه در خاک تیمارشده با ۰/۵ میلی‌مول EDTA بر کیلوگرم و در اندام هوایی در خاک تیمارشده با ۱ میلی‌مول EDTA بر کیلوگرم مشاهده شد. همبستگی معنی‌داری بین غلظت روی اندام هوایی و ریشه با روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز وجود داشت (جدول ٤).

جدول ٤- ضرایب همبستگی (r) بین اجزاء مختلف روی و شاخص‌های گیاه ذرت.

Table 4. Correlation coefficients (r) between Zn fractions and corn plant indices.

بخش Portion	شاخص Indicator	تبادلی Exchangeable	پیوندشده با کربنات‌ها Associated with carbonates	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز Associated with iron-manganese oxides	پیوندشده با ماده آلی Associated with organic matter	باقی‌مانده Residual
خاک‌های ریزوسفری Rhizosphere soil						
	غلظت Con.	0.31^{ns}	0.13^{ns}	0.75*	-0.71*	-0.61*
اندام هوایی Shoot	وزن خشک Dry weight	-0.66*	-0.62*	-0.09^{ns}	-0.07^{ns}	-0.16^{ns}
	جذب Uptake	-0.05^{ns}	-0.21^{ns}	0.71*	-0.77*	-0.74*
	غلظت Con.	0.38^{ns}	-0.03^{ns}	0.86*	-0.86*	-0.80*
ریشه Root	وزن خشک Dry weight	-0.31^{ns}	-0.26^{ns}	0.06^{ns}	-0.18^{ns}	-0.24^{ns}
	جذب Uptake	0.26^{ns}	-0.12^{ns}	0.83*	-0.87*	-0.83*
خاک‌های توده Bulk soil						
	غلظت Con.	0.30^{ns}	0.24^{ns}	0.75*	-0.70*	-0.66*
اندام هوایی Shoot	وزن خشک Dry weight	-0.67*	-0.61*	-0.09^{ns}	-0.07^{ns}	-0.12^{ns}
	جذب Uptake	-0.07^{ns}	-0.08^{ns}	0.71*	-0.76*	-0.73*
	غلظت Con.	0.35^{ns}	0.02^{ns}	0.86*	-0.86*	-0.81*
ریشه Root	وزن خشک Dry weight	-0.33^{ns}	-0.27^{ns}	0.07^{ns}	-0.18^{ns}	-0.19^{ns}
	جذب Uptake	0.23^{ns}	-0.06^{ns}	0.83*	-0.87*	-0.82*

* معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

* Significant at the 0.05 probability level and ns:Not significant.

بر اساس نتایج جدول ٥، در خاک لوم شنی در کشت ذرت، بیش‌ترین جذب روی ریشه در خاک تیمار شده با ٠/٥ میلی‌مول EDTA بر کیلوگرم و بیش‌ترین جذب روی اندام هوایی ذرت در خاک تیمارشده با ١ گرم عصاره کود مرغی بر کیلوگرم مشاهده شد. در خاک لوم رسی، بیش‌ترین جذب روی ریشه در خاک تیمار شده با ٠/٥ میلی‌مول EDTA بر کیلوگرم و بیش‌ترین جذب روی اندام هوایی ذرت در خاک تیمارشده با ٠/٥ گرم عصاره کود مرغی بر کیلوگرم مشاهده شد. همبستگی معنی‌داری بین جذب روی اندام هوایی و ریشه با روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز وجود داشت (جدول ٤).

جدول ۵- شاخص‌های گیاه ذرت در مطالعه عنصر روی در خاک‌های لوم شنی و لوم رسی.

Table 5. Indices of corn plant in zinc element study in sandy loam and clay loam soils.

کلات‌کننده Chelate	غلظت Con.	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) Concenteration (m kg^{-1})		جذب (میلی‌گرم در ریزوباکس) Uptake (m pot^{-1})		ضریب تجمع زیستی BCF	ضریب انتقال TF	مدت زمان پاکسازی (سال) Cleaning time (year)
		ریشه Root	اندام‌هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot			
خاک لوم شنی Sandy loam soil								
EDTA	0.00	319.17^{b}	121.43^{cde}	0.49^{bcd}	0.71^{bcd}	32.90^{bc}	0.38^{b}	594.00
	0.50	467.00^{a}	155.30^{ab}	0.86^{a}	0.81^{abc}	48.14^{ab}	0.33^{b}	524.00
	1.00	465.67^{a}	144.17^{abc}	0.72^{ab}	0.74^{abcd}	48.00^{ab}	0.33^{b}	570.00
CA	0.50	294.83^{bc}	161.60^{a}	0.51^{bcd}	0.86^{ab}	30.39^{c}	0.55^{a}	491.00
	1.00	368.50^{ab}	129.70^{bcde}	0.55^{bcd}	0.66^{bcd}	37.97^{bc}	0.35^{b}	639.00
PME	0.50	323.17^{b}	135.37^{abcd}	0.59^{abc}	0.83^{abc}	33.31^{bc}	0.41^{ab}	512.00
	1.00	476.50^{a}	156.23^{ab}	0.85^{a}	0.95^{a}	49.12^{a}	0.38^{b}	447.00
خاک لوم رسی Clay loam soil								
EDTA	0.00	169.50^{c}	88.73^{f}	0.28^{d}	0.50^{d}	11.83^{c}	0.52^{cd}	881.00
	0.50	263.83^{bc}	127.46^{cde}	0.43^{bcd}	0.66^{bcd}	16.99^{a}	0.48^{d}	674.00
	1.00	236.92^{bc}	130.10^{bcde}	0.26^{d}	0.61^{cd}	17.34^{a}	0.54^{bcd}	729.00
CA	0.50	164.33^{c}	123.13^{cde}	0.29^{cd}	0.69^{bcd}	16.41^{a}	0.75^{a}	644.00
	1.00	173.58^{c}	107.46^{def}	0.24^{d}	0.55^{d}	14.32^{b}	0.63^{abc}	809.00
PME	0.50	178.50^{c}	107.76^{def}	0.38^{cd}	0.70^{bcd}	14.36^{b}	0.61^{bcd}	635.00
	1.00	165.17^{c}	108.43^{def}	0.27^{d}	0.66^{bcd}	14.45^{b}	0.66^{ab}	674.00

حروف متفاوت برای هر ویژگی نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد است. EDTA، CA (اسید سیتریک) بر حسب (میلی‌مول بر کیلوگرم)، PME (عصاره کود مرغی) بر حسب (گرم بر کیلوگرم).

Different letters show significant differences at the 0.05 probability level for each property. EDTA, citric acid (mmol kg^{-1}), PME (g kg^{-1}), Con: Concenteration, BCF: Bioaccumulation coefficient factor , TF: Translocation factor.

ونزل و همکاران (۲۰۰۳) تأثیر EDTA (۲/۱ گرم بر کیلوگرم خاک) را بر قابلیت استفاده و استخراج روی در ریزوسفر کلزا (*Brassica napus* L.) در یک خاک آلوده با بافت لوم شنی را بررسی کردند. کاربرد EDTA باعث افزایش قابلیت استفاده روی در ریزوسفر کلزا نسبت به توده خاک شد و غلظت روی را در گیاه کلزا افزایش داد (۳۷). لوو و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند کاربرد EDTA و EDDS در گیاه‌پالایی عنصر روی خاک توسط ذرت منجر به افزایش مقدار کل برداشت این فلز از خاک شد (۲۳). در خاک لوم شنی کاربرد ۰/۵ میلی‌مول اسید سیتریک بر کیلوگرم منجر به افزایش ضریب انتقال روی شد (جدول ۵). در خاک لوم رسی با کاربرد کلات‌کننده‌ها در خاک ضریب انتقال روی افزایش یافت. در خاک لوم شنی کاربرد عصاره کود مرغی (غلظت ۱ گرم بر کیلوگرم) منجر به افزایش ضریب تجمع زیستی روی ذرت شد. در خاک لوم رسی با کاربرد اسید سیتریک (غلظت ۰/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم) و عصاره کود مرغی (غلظت ۱ گرم بر کیلوگرم) ضریب تجمع زیستی روی ذرت افزایش یافت (جدول ۵).

نتیجه‌گیری کلی

در هر دو خاک تحت کشت ذرت، در بین اجزاء روی، جزء تبادلی حداقل و جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز حداکثر مقدار را به‌طور مطلق داشتند. اجزاء روی تبادلی و پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز فلزات بیش‌ترین قابلیت استفاده را برای گیاه ذرت داشتند. در هر دو خاک کاربرد کلات‌کننده‌ها باعث افزایش غلظت روی در اندام هوایی و ریشه ذرت شد. غلظت روی در ریشه ذرت بیش‌تر از اندام هوایی بود. استفاده از کلات‌کننده‌ها سبب افزایش جذب روی توسط ریشه و اندام هوایی و در نتیجه افزایش استخراج روی از خاک توسط ذرت شدند. حداکثر جذب روی، در خاک‌های تیمارشده با عصاره کود مرغی (غلظت ۱ گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد که علت آن افزایش غلظت روی در ریشه و اندام هوایی در اثر کاربرد عصاره کود مرغی است. نتایج این پژوهش نشان داد که به‌دلیل قابلیت استفاده کم روی برای گیاه در شرایط طبیعی خاک‌های آهکی استفاده از کلات‌کننده‌ها سبب افزایش قابلیت استفاده و آلودگی‌زدایی روی از خاک شد. همچنین، تراوشات و فعالیت ریشه و ریزجانداران بر اجزاء روی و قابلیت استفاده و جذب آن به‌وسیله ذرت مؤثر بود.

منابع

1. Achibaa, W.B., Lakhdara, A., Gabtenib, N., Du Laingc, G., Verlooc, M., Boeckxd, P., Van Cleemputd, O., Jedidi, N., and Gallali, T. 2010. Accumulation and fractionation of trace metals in a Tunisian calcareous soil amended with farmyard manure and municipal solid waste compost. J. Hazard. Mater. 176: 1-3. 99-108.
2. Adamo, P., Denaix, L., Terribile, F., and Zampella, M. 2003. Characterization of heavy metals in contaminated volcanic soils of the Solofrana river valley (southern Italy). Geoderma. 117: 3-4. 347-366.
3. 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.
4. Chen, Y., Li, X., and Shen, Z. 2004. Leaching and uptake of heavy metals by ten differentspecies of plants during an EDTA-assisted phytoextraction process. Chemosphere. 57: 187-196.
5. Clemens, S., Palmgren, M.G., and Kramer, U. 2002. A long way ahead: Understanding and engineering plant metal accumulation. Trends in Plant Science. 7: 7. 309-315.
6. 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: 11. 1531-1539.
7. Dede, G., Ozdemir, S., and Hulusi Dede, O. 2012. Effect of soil amendments on phytoextraction potential of *Brassica juncea* growing on sewage sludge. Inter. J. Environ. Sci. Technol. 9: 3. 559-564.
8. Dessureault-Rompre, J., Nowack, B., Schulin, R., Tercier-Waeber, M.L., and Luster, J. 2008. Metal solubility and speciation in the rhizosphere of *Lupinus albus* cluster roots. Environmental Science and Technology. 42: 19. 7146-7151.
9. Doumett, S., Lamperi, L., Checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S., Petruzzelli, G., and Del Bubba, M. 2008. Heavy metal distribution between contaminated soil and Paulownia tomentosa, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. Chemosphere. 72: 10. 1481-1490.
10. Formentini, T.A., Mallmann, F.J.K., Pinheiro, A., Fernandes, C.V.S., Bender, M.A., da Veiga, M., dos Santos, D.R., and Doelsch, E. 2015. Copper and zinc accumulation and fractionation in a clayey Hapludox soil subject to long-term pig slurry application. Science of the Total Environment. 536: 831-839.

11. Gee, G.H., and Bauder, J.W. 1986. Partial size analysis. P 383-411, In: A. Klute (ed), Methods of soil analysis, Part 2: Physical properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
12. 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: 7. 749-756.
13. 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. 8:3. 209-213.
14. Kabala, C., and Singh, R.R. 2001. Fractionation and mobility of copper, lead, and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. Journal of Environmental Quality. 30: 2. 485-492.
15. Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace element in soils and plants. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, 413p.
16. 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: 12. 1379-1389.
17. 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: 1. 19-32.
18. 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: 1-2. 139-150.
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: 2. 219-226.
20. 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.
21. Loeppert, R.H., and Sparks, D.L. 1996. Carbonate and gypsum. P 437-474, In: D.L. Sparks (ed), Methods of soil analysis. Part 3: Chemical properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
22. Lombi, E., Wenzel, W.W., Gobran, G.R., and Adriano, D.C. 2001. Dependency of phytoavailability of metals on indigenous and induced rhizosphere processes: a review. P 3-24, In: G.R. Gobran,W.W. Wenzel and E. Lombi (eds), Trace elements in the rhizosphere, CRC Press LLC.
23. Lu, A., Zhang, S., and Shan, X.Q. 2005. Time effect on the fractionation of heavy metals in soils. Geoderma. 125: 3-4. 225-234.
24. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 961-1010, In: D.L. Sparks (ed), Methods of soil analysis. Part 3: Chemical properties. Soil Science Society of America, Madison. Wisconsin.
25. 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: 2. 564-572.
26. Perez-esteban, J., Escolastico, C., Masaguerb, A., and Moliner, A. 2012. Effects of sheep and horse manure and pine bark amendments on metal distribution and chemical properties of contaminated mine soils. Europ. J. Soil Sci. 63: 5. 733-742.
27. Qian, P., Schoenau, J.J., Wu, T., and Mooleki, S.P. 2003. Copper and zinc amounts and distribution in soil as influenced by application of animal manure in east-central Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 83: 197-202.
28. Rodríguez-Vila, A., Asensio, V., Forján, R., and Coveloa, E.F. 2015. Chemical fractionation of Cu, Ni, Pb and Zn in a mine soil amended with compost and biochar and vegetated with *Brassica juncea* L. J. Geochem. Explor. 158: 74-81.

29. 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: 3. 305-321.
30. Shaheen, S.M., and Rinklebe, J. 2014. Geochemical fractions of chromium, copper, and zinc and their vertical distribution in floodplain soil profiles along the central Elbe River, Germany. Geoderma. 228-229: 142-159.
31. Sposito, G., Lund, L.J., and Chang, A. 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: 2. 260-264.
32. 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: 3. 447-454.
33. 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: 3. 497-501.
34. Tessier, A., Campbell, P.G.C., and Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry. 51: 7. 844-851.
35. Wang, Y.B., Zhang, L., Fengmei, Z., Yinxuan, Z., and Dengyi, L. 2006. Distribution of heavy metals forms and its affecting factors in rhizosphere soils of *Hippochae teramosissimum* in large scale copper tailings yard. Acta Scientiae Circumstantiae. 26: 1. 76-84.
36. Wang, Z., Shan, X.Q., and Zhang, S. 2002. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soils. Chemosphere. 46: 8. 1163-1171.
37. Wenzel1, W.W., Unterbrunner, R., Sommer, P., and Sacco, P. 2003. Chelate-assisted phytoextraction using canola (*Brassica napus* L.) in outdoors pot and lysimeter experiments. Plant and Soil. 249: 1. 83-96.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(4), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

Chemical fractions of zinc in the rhizosphere of corn in texturally different contaminated soils treated with chelators

***M. Rahmanian[1] and A.R. Hosseinpour[2]**
[1]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Yasouj,
[2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Shahrekord
Received: 02.05.2018; Accepted: 06.19.2018

Abstract

Background and Objectives: Rhizosphere processes have an important role in zinc (Zn) fractions in soils. Plant roots have the ability to transform metal fractions for easy uptake by root exudation in the rhizosphere. In the peresent study, the effects of EDTA, citric acid and poultry manure extract (PME) on fractionation of Zn in the rhizosphere of corn (hybrid (KSC.704)) were investigated in two contaminated soils with different texture.

Materials and Methods: This research was conducted as factoriel in a completely randomized pattern with three replicates in greenhouse condition and citric acid and EDTA were used at concentrations of 0, 0.5 and 1 mmol kg^{-1} soil and poultry manure extract at concentrations of 0, 0.5 and 1 g kg^{-1} soil. Three seeds of corn were planted in the rhizobox. After 10 weeks, the plants were harvested and rhizosphere and bulk soils were separated. Dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC) and Zn fractions were determined in the rhizosphere and bulk soils.

Results: The results showed that there is a difference between rhizosphere soils properties and bulk soils. In both soils, DOC and MBC in the rhizosphere were significantly ($P\leq0.05$) increased, while, pH in the rhizosphere was significantly ($P\leq0.05$) decreased comared with bulk soils. In sandy loam and clay loam soils, the average of exchangeable Zn and Zn associated with organic matter in the rhizosphere were significantly ($P\leq0.05$) lower than those in the bulk soils, while, the average of Zn associated with iron-manganese oxides, Zn associated with carbonate and residual Zn in the rhizosphere were significantly ($P\leq0.05$) higher than those in the bulk soils. In the rhizosphere and bulk soils of both soils, the maximum amounts of Zn fractions in different fractions were respectively, in the order of associated with iron-manganese oxides, residuals, associated with organic matter, associated with carbonates and exchangeable fractions. A significant correlation was found between Zn uptake by shoots with Zn associated with iron-manganese oxides in both soils ($r = 0.71$, $P<0.05$). In sandy loam soil, the highest Zn uptake by shoots was observed in the 1 g kg^{-1} PME treatment. In clay loam soil, the highest Zn uptake by shoots was observed in the 0.5 g kg^{-1} PME treatment. In sandy loam soil, 1 mmol kg^{-1} EDTA and in clay loam soil 1 mmol kg^{-1} citric acid treatments resulted in the release of the highest Zn concentrations in the iron-manganese oxides fraction. The results of average comparison showed that the average of the exchangeable Zn and Zn associated with iron-manganese oxides in the sandy loam soil were significantly ($P\leq0.05$) higher than those in clay loam soil, while the average of the Zn associated with organic matter and residual Zn in clay loam soil were significantly ($P\leq0.05$) higher than those in sandy loam soil, which can be attributed to different soil characteristics.

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

Conclusion: The results of the present study showed that soil physical, chemical and biological changes due to the corn roots caused not only Zn depletion in mobile soil Zn fractions, but also lead to change soil's stable Zn fractions. Since the excessive use of chelators can lead to increase more availability of soil's zinc without increasing the plant's absorption, so administration of higher concentration levels is not recommended.

Keywords: Chelator, Clay loam, Rhizosphere, Sandy loam, Zn fractions