نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۰، ص. ۷۴۵-۷۳۶

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No.4, Sep-Oct 2011, p. 736-745

بررسی تاثیر مواد اصلاحی گوگرد و اسید سیتریک در گیاه جذبی کادمیوم و سرب از یک خاک آلوده

زهره فرزانگان[۱*]- غلامرضا ثواقبی[۲]- حسین میرسیدحسینی[۳]

تاریخ دریافت:۸۸/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش:۹۰/۴/۱۳

چکیده

استفاده از گیاهان برای حذف آلاینده ها از محیط زیست و تجمع آنها در اندام هوایی بعنوان فرایند گیاه جذبی[۴] شناخته می شود. این تحقیق به منظور مقایسه قابلیت پالایش فلزات سرب و کادمیوم توسط کلزا[۵] و سورگوم[۶] که جز گیاهان با زیست توده بالا هستند و نیز بررسی تاثیر مواد اصلاحی مورد استفاده در راندمان گیاه جذبی انجام شد. نمونه خاک از مزرعه مجاور کارخانه کنسانتره روی در استان زنجان دارای آلودگی سرب، کادمیوم و روی تهیه گردید و ۵ تیمار گوگرد به مقدار gkg^{-1} ۰/۸، گوگرد به همراه مایه تلقیح تیو باسیلوس، و اسید سیتریک در دو سطح gkg^{-1} ۱ و gkg^{-1} ۳ و شاهد در نظرگرفته شد. در بخش اول تحقیق خاکهای تیمار شده به مواد فوق به مدت هشت هفته در رطوبت ظرفیت مزرعه و دمای ^{0C} ۲۵ تحت انکوباسیون قرار گرفتند و نمونه های فرعی در فواصل صفر، چهار و هشت هفته از خاکها برداشته و میزان سرب و کادمیوم قابل استخراج با DTPA در خاک اندازه گیری شد. در بخش دوم با استفاده از خاک مورد نظر کشت گلدانی صورت گرفت که تیمارهای اعمال شده همانند مرحله قبل به خاک اضافه شده و پس از گذشت ۶۰ روز از کشت سورگوم و کلزا، گیاهان برداشت شده و میزان سرب و کادمیوم جذب شده در ریشه و اندام هوایی گیاه و میزان قابل جذب آنها با عصاره گیر DTPA در خاک در زمانهای قبل و بعد از کشت اندازه گیری شد. هر دو آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی و آزمایش فاکتوریل با ۵ تیمار (شامل شاهد) و ۴ تکرار انجام شد. اندازه گیری های آماری با استفاده از نرم افزار SAS و MSTATC انجام گردید. نتایج مرحله انکوباسیون نشان داد که مواد اصلاحی سبب کاهش معنی دار pH نسبت به شاهد شده اند. همچنین ماده اصلاحی گوگرد به همراه مایه تلقیح و اسید سیتریک در سطح gkg^{-1} ۱ در افزایش فراهمی کادمیوم و سرب در خاک بترتیب بیشترین و کمترین تاثیر را داشتند. نتایج تجزیه گیاهی نشان داد که بهترین تیمار ماده اصلاحی در انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی توسط گیاه برای هر دو گونه تحت بررسی، گوگرد به همراه مایه تلقیح بوده است. همچنین در این بررسی نشان داده شد که گیاه کلزا پتانسیل بیشتری برای جذب سرب و کادمیوم نسبت به سورگوم دارد.

واژه های کلیدی: سرب، سورگوم، کادمیوم، کلزا، گیاه جذبی، مواد اصلاحی

مقدمه

آلودگی خاکها به فلزات سنگین با توجه به اثرات آن در به خطر افتادن سلامتی انسانها، سمیت گیاهان و اثرات طولانی مدت که بر حاصلخیزی خاک می‌گذارند، تبدیل به یک نگرانی جهانی شده است (۱۴). از متداول ترین فلزات سنگین در مناطق آلوده کادمیوم و سرب هستند که از منابع گوناگون به زیست بوم، پیکره گیاه و در نهایت زنجیره غذایی راه می یابند و خسارتهای جدی به بار می آورند (۱۶). پاکسازی خاکها و آب های آلوده به راه حل فنی، کارآمد و ارزان نیاز دارد (۳۹). تکنولوژیهای پالایشی رایج مثل روشهای فیزیکی و شیمیایی که بر اساس جمع آوری و انتقال مواد آلاینده هستند بطور کلی پر هزینه و غیر اقتصادی می‌باشند و در نهایت نیز موجب آلودگی بخش دیگری از زیست بوم می گردند. بنابراین نیاز برای بکار گیری روشهای موثرتر که افزون بر رفع آلودگی در محل، کم هزینه بوده و اثرات جنبی آن سلامت محیط زیست را به خطر نیاندازد، بسیار حیاتی است. در چند سال اخیر پژوهشگران به عنوان راهکار، روشی نوین با استفاده از گیاهان برای پالایش آلودگی ها از خاک بنیان نهاده اند که

۱،۲و۳- به ترتیب کارشناس ارشد، دانشیار و استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران (کرج)
(*- نویسنده مسئول: Email: farzaneganzohre@yahoo.com)

4- Phytoextraction
5- *Brassica napus*
6- *Sorghum bicolor*

این فناوری، گیاه پالایی [1]یا پالایش سبز نام گرفته است (۳۴). گیاه پالایی یک تکنیک در حال گسترش و دوستدار محیط زیست است که از گیاهان مناسب برای پالایش محیط زیست آلوده استفاده می‌کند (۲۳). گیاه پالایی به روشهای مختلفی انجام می‌شود که هر کدام مکانیسم های متفاوتی برای پالایش مناطق آلوده دارند. از انواع روشهای گیاه پالایی می‌توان به روشهای ریشه صافی[2]، گیاه تثبیتی[3]، گیاه تصعیدی[4] و گیاه جذبی اشاره نمود (۵ و ۳۱). گیاه جذبی در بین انواع روشهای گیاه پالایی رایج ترین روش تشخیص داده شده است و در اغلب تحقیقات بر این جنبه تاکید شده است. در واقع کلمه گیاه پالایی و گیاه جذبی بعضی اوقات بطور غیر صحیحی هم معنی هم استفاده می‌شوند. گیاه پالایی یک مفهوم است اما گیاه جذبی یک روش خاص پالایشی است (۲۱). آلاینده‌های فلزی بر خلاف آلاینده‌های آلی قابل تجزیه نیستند، لذا آلودگی زدایی خاکهای آلوده به فلزات نیاز به حذف آنها دارد (۲۳). در روش گیاه جذبی از طریق کشت گیاهان مناسب در جهت جذب و خارج ساختن آلاینده های فلزی از خاک اقدام می‌گردد. برای هدف گیاه جذبی ۲ گروه از گیاهان مورد توجه هستند: گونه های گیاهی فرا انباشت[5] که قادر به تجمع و مقاومت به سطوح بالایی از فلزات هستند و گونه های گیاهی با زیست توده بالا که تجمع کمتر فلز را با زیست توده بالا جبران می‌کنند (۴۳). طبق گزارش لاسات (۲۳) در حدود ۳۰۰ سال پیش هارتمن گیاهان را برای استفاده در تصفیه فاضلابها پیشنهاد کرد. بیث و همکاران در دهه ۱۹۳۰ گیاهان فرا انباشت سلنیم را در غرب آمریکا کشف کردند و پس از آن در سال ۱۹۷۷ با کشف گیاه فرا انباشت برای نیکل لفظ Hyperaccumulate برای اولین بار توسط بروک و روبرت بکار برده شد. گیاهان فراانباشت رشد کند و زیست توده کمی دارند لذا در برخی از منابع برای موفقیت در امر گیاه پالایی استفاده از گیاهان با زیست توده بالا پیشنهاد شده است. از جمله گیاهان با زیست توده بالا می توان به ذرت، پنبه، آفتابگردان، خردل هندی[6] و کلزا اشاره نمود (۴۳). ابس و همکاران (۱۳) گزارش کردند که خردل هندی برای حذف روی از خاک از گیاه کیسه چوپان[7] که بعنوان یک گیاه فراانباشت روی شناخته شده، موثرتر است. این مزیت اصولا به این دلیل است که گیاه خردل هندی زیست توده بیشتری نسبت به کیسه چوپان تولید می‌کند. در تحقیقی که بر روی امکان پالایش سرب و روی توسط آفتابگردان و کلزا در یک خاک آلوده در اصفهان انجام گردید، گزارش شد که گیاه آفتابگردان در استخراج و انتقال این عناصر از کلزا مؤثرتر بوده است (۱).

صرف نظر از نوع گیاه مورد استفاده در روش گیاه جذبی قابلیت دسترسی فلزات سنگین برای گیاهان بعنوان یک فاکتور کلیدی محدود کننده در کارایی این روش مورد توجه است. بکار گیری مواد اصلاحی آلی و معدنی در خاک سبب تغییر در حلالیت فلزات سنگین، میزان جذب و تجمع آنها در گیاه می‌گردد که در این حالت میزان گیاه جذبی افزایش می‌یابد (۱۹). برای افزایش قابلیت دسترسی فلز، استفاده از مواد اصلاحی کمپلکس کننده از قبیل DTPA یا EDTA پیشنهاد شده است. این ترکیبات می توانند فلزات سنگین را از ماتریکس خاک استخراج کرده و کمپلکس های فلزی محلول در آب تشکیل دهند. علاوه بر کمپلکس شدن فلزات، کاهش pH خاک نیز بعنوان یک ابزار در افزایش کارایی در گیاه جذبی پیشنهاد شده است (۶). محققان مختلفی افزایش فرآیند گیاه جذبی را به کمک مواد اصلاحی مطرح کرده اند (۶ و ۱۹). کوپر و همکاران (۱۰)، هوانگ و همکاران (۱۷) چندین عامل کلیت کننده مثل اسید سیتریک، EGTA[8]، EDTA و NTA[9] را جهت افزایش تحرک عناصر فلزی و و تجمع آنها در گیاهان فراانباشت مختلف مورد مطالعه قرار داده اند.

با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر مواد اصلاحی مورد استفاده گوگرد و اسید سیتریک در افزایش فراهمی فلزات سنگین در یک خاک آلوده و گیاه جذبی آن توسط دو گیاه کلزا و سورگوم انجام شد.

مواد و روش ها

به منظور انجام این تحقیق نمونه خاکی که از زمینی با سابقه زراعی در مجاورت کارخانه کنسانتره روی غرب زنجان تهیه شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. نمونه از عمق ۲۵-۰ سانتیمتر تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک و پس از عبور از الک دو میلیمتر، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک توسط روش‌های استاندارد تعیین گردید (جدول۱). بافت خاک به روش هیدرومتری (۷) و رطوبت ظرفیت مزرعه خاک با استفاده از دستگاه صفحه فشاری (۴۲) تعیین شد. اندازه‌گیری CEC خاک به روش باور (۴۰)، درصد کربن به روش والکلی و بلاک (۴۴)، درصد کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید (۲۶)، نیتروژن کل خاک با استفاده از هضم کجلدال (۸)، فسفر فراهم خاک به روش اولسن (۲۲)، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (۱۵) و استخراج عناصر سنگین (سرب و کادمیوم) قابل استفاده گیاه در خاک نیز به روش DTPA-TEA (۲۵) و قرائت آن با دستگاه جذب اتمی مدل (شیمادزو —۶۷۰) صورت گرفت. برای اندازه گیری غلظت

1-Phytoremediation
2-Rhizofiltration
3-Phytoestabilization
4-Phytovolatilization
5- Hyperaccumulator
6- *Brassica juncea*
7- *Thlaspi caerulescencs*

8- Ethylene glycol tetraacetic acid
9-Nitrilo triacetate

سرب و کادمیوم در گیاهان از روش خاکستر خشک استفاده و عصاره گیاهی پس از تهیه با DTPA توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (۲۵). EC و pH خاک در سوسپانسیون ۱:۱ خاک به آب تعیین شد (۳۵ و ۴۱). این آزمایش در دو مرحله انکوباسیون و گلخانه ای انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل گوگرد (S)، گوگرد به همراه مایه تلقیح تیو باسیلوس (S+I) هرکدام به مقدار $^{-1}$ g kg ۰/۸، اسید سیتریک در دو سطح $^{-1}$ g kg ۱ (AC_1) و $^{-1}$ g kg ۳ (AC_2) به همراه شاهد (C) بودند که در قالب طرح کاملا تصادفی و آزمایش فاکتوریل به اجرا در آمد.

جدول۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

خصوصیت خاک	مقدار	خصوصیت خاک	مقدار
٪ شن	۲۳/۳۳	CEC(cmol kg^{-1})	۲۱/۳۲
٪ رس	۴۷	%OC	۱/۱۰۹
٪ سیلت	۲۹/۶۷	%N	۰/۱۰۱
وزن مخصوص ظاهری($g\ cm^{-3}$)	۱/۲۲	Ca($meq\ lit^{-1}$)	۶/۵
%FC	۲۲/۳	K قابل جذب($mg\ kg^{-1}$)	۴۸۳/۲
pH	۷/۶	P قابل جذب($mg\ kg^{-1}$)	۱۷/۹۵
EC($dS\ m^{-1}$)	۰/۵۹	Cd ($mg\ kg^{-1}$) قابل جذب با DTPA	۳/۱۹
$\%CaCO_3$	۱۶	Pb ($mg\ kg^{-1}$) قابل جذب با DTPA	۲۵/۵۷

آزمایش انکوباسیون

تیمارهای مورد نظر با ۵۰۰ گرم خاک بطور یکنواخت مخلوط گردیده و داخل گلدان‌های پلاستیکی که کف آنها با کاغذ صافی و پرلیت پوشانیده شده بود، اضافه گردید. خاک‌های تیمار شده به مدت هشت هفته در رطوبت ظرفیت مزرعه و دمای ̊c ۲۵ قرار داده شدند. در طی دوره انکوباسیون نمونه‌های فرعی در فواصل صفر، چهار و هشت هفته از خاک‌ها برداشته شد و pH و غلظت عناصر سرب و کادمیوم مورد اندازه گیری قرار گرفت.

آزمایش گلخانه‌ای

کشت در گلدان‌های پلاستیکی حاوی سه کیلوگرم خاک و مواد اصلاحی نامبرده در مرحله قبلی به همراه شاهد انجام شد. نمونه خاک با مواد اصلاحی بر اساس مقادیر نامبرده بطور یکنواخت مخلوط گردیده و به گلدان‌هایی که کف آن با کاغذ صافی و پرلیت پوشانیده شده بود، اضافه گردید. مقادیر مورد نیاز از کودهای نیتروژن و فسفر به دو سوم خاک رویی هر تیمار اضافه و با نمونه‌ها مخلوط گردید. بذرهای سورگوم و کلزا به تعداد ۱۰عدد داخل هر گلدان کشت گردید و رطوبت گلدان‌ها به حد ظرفیت مزرعه رسانیده شد. آبیاری گیاهان با آب مقطر و بصورت یک روز در میان تا حد ظرفیت مزرعه صورت گرفت. بوته ها دو هفته پس از کاشت به تعداد ۳ عدد در هر گلدان تنک شدند. هشت هفته پس از کاشت، گیاهان از سطح خاک برداشت شده و غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) جذب شده در گیاه پس از تهیه عصاره گیاهی توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (۲۵). پس از پایان دوره رویشی گیاه و برداشت آن، از همه تیمارهای مختلف خاکی در گلدان ها نمونه برداری صورت گرفته و EC، pH (۳۵ و ۳۹) و غلظت فلزات سرب و کادمیوم قابل جذب در خاک به روش عصاره گیری با DTPA اندازه گیری گردید (۲۵). برای مقایسه قابلیت پالایش کلزا و سورگوم از دو پارامتر مقدار جذب و فاکتور انتقال استفاده شد. مقدار جذب از حاصلضرب غلظت عنصر در وزن ماده خشک اندام هوایی بدست می‌آید. فاکتور انتقال از نسبت غلظت فلز در اندام هوایی به ریشه بدست می آید. نتایج بدست آمده در دو مرحله آزمایشی با استفاده از نرم افزار آماری SAS و MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel 2003 استفاده گردید.

نتایج و بحث

مرحله انکوباسیون

اثرات برهمکنش مواد اصلاحی و زمان بر pH اختلاف معنی داری را در سطح یک درصد نشان داد. در این بررسی کمترین میزان pH در تیمار اسید سیتریک در سطح $^{-1}$ g kg ۳ و در زمان ۴ هفته برابر ۷/۳۴ بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد در همین زمان برابر ۰/۸۲ واحد یا ۱۰ درصد کاهش در pH مشاهده می‌گردد (جدول ۲). داده های جدول ۲ تاثیر مثبت مواد اصلاحی را در کاهش pH خاک نشان می‌دهد. تمامی مواد اصلاحی بکار برده شده در این مطالعه مواد اسید زا هستند که با تولید یون هیدروژن می‌توانند سبب کاهش pH خاک شوند. اشمیت (۲۶) به تاثیر مثبت مواد اصلاحی در کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش تحرک فلزات سنگین پرداخته است. در آزمایش گلدانی سیف الله و همکاران (۳۶) اعمال تیمار گوگرد عنصری به میزان ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مول بر کیلوگرم خاک مقدار pH خاک را به طور معنی داری کاهش داد. طبق اظهار نظر نسیمنتو و همکاران (۳۰) کلاتهای مصنوعی و اسید سیتریک از متداول ترین مواد اصلاحی هستند که در فرایند گیاه جذبی به کمک مواد شیمیایی استفاده می شوند. چنین موادی قادر به تشکیل کمپلکس با یونهای فلزی هستند. بنابراین قابلیت زیست فراهمی فلزات را در خاکها تحت تاثیر قرار می دهند.

اثرات برهمکنش مواد اصلاحی و زمان بر سرب قابل جذب نشان داد (جدول ۲) که بیشترین مقدار در تیمار اسید سیتریک در سطح $^{-1}$ g kg ۳ در زمان صفر برابر $^{-1}$ mg kg ۲۶/۳۳ بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد در همین زمان برابر $^{-1}$ mg kg ۲/۲۹ یا ۹/۵ درصد افزایش نشان داد.

جدول ۲- اثرات برهمکنش مواد اصلاحی و زمان بر pH ، سرب و کادمیوم

تیمارها	زمان	pH	Pb(mgKg^{-1})	Cd (mgKg^{-1})
S+I	۰	۷/۴۳ g	۲۴/۱۲ b	۳/۳۹ a
	۴ هفته	۷/۸۲ b	۲۰/۴۸ cde	۲/۳۷ d
	۸ هفته	۷/۶۹ de	۲۳/۹۶ b	۲/۹۸ b
S	۰	۷/۴۲ g	۲۵/۴۵ ab	۳/۴۱ a
	۴ هفته	۷/۸۹ b	۱۶/۶۳ f	۲/۱۳ e
	۸ هفته	۷/۶۳ de	۲۱/۵۵ c	۰/۸۹ h
AC_1	۰	۷/۵۹ f	۲۵/۱۴ ab	۳/۰۱ b
	۴ هفته	۷/۷۳ c	۱۹/۹۹ cde	۲/۶۴ c
	۸ هفته	۸/۱۰a	۱۹/۲۱ e	۱/۳۳ fg
AC_2	۰	۷/۵۸ f	۲۶/۳۳ a	۳/۲۹ a
	۴ هفته	۷/۳۴ h	۱۹/۹ de	۲/۸۲ bc
	۸ هفته	۸/۰۹ a	۲۰/۹۱ cd	۱/۴۱ fg
C	۰	۸/۱۴ a	۲۰/۰۴ b	۲/۷۴ c
	۴ هفته	۸/۱۶ a	۲۰/۸ cde	۲/۳۷ d
	۸ هفته	۸/۱ a	۱۹/۹۴ cde	۱/۱۷ g

*: اعداد هر ستون که در یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی داری ندارند.

*: گوگرد+مایه تلقیح(S+I)، گوگرد(S)، اسید سیتریک در سطح $^{-1}$g kg ۱(AC_1) و در سطح $^{-1}$gkg ۳ (AC_2) و شاهد(C)

همانطور که داده های جدول ۲ نشان می‌دهد بیشترین مقدار کادمیوم قابل جذب در زمان صفر در تیمارهای گوگرد به همراه مایه تلقیح، گوگرد و اسید سیتریک در سطح $^{-1}$gkg ۳ بوده است. با توجه به نتایج جدول ۲ کمترین مقدار سرب و کادمیوم قابل جذب در بین مواد اصلاحی در تیمار اسید سیتریک در سطح $^{-1}$gkg ۱ بوده است.

اندرسون و کریستنسن (۳) دریافتند که pH مهمترین فاکتور در کنترل و توزیع کادمیوم در خاکها است. در بررسی انجام شده توسط کیسر و همکاران (۱۹) کاربرد $^{-2}$mol m ۳۶ گوگرد عنصری در خاک سبب کاهش pH گردید و توانست تحرک کادمیوم را ۳۵ برابر افزایش دهد. مقایسه افزایش تحرک سرب در اثر کاهش pH با فلز کادمیوم نشان داد که میزان افزایش تحرک فلز سرب در مقایسه با کادمیوم کمتر بوده است. سرب یک آلاینده مهم زیست محیطی است که به میزان زیادی در خاکها غیر متحرک است. بطور کلی سرب در مقایسه با سایر فلزات سنگین حلالیت کمی در خاک دارد و به آسانی در داخل ماتریس خاک رسوب تشکیل می دهد لذا در خیلی از موارد به آسانی قابل دسترس نیست (۲۱). اسکنور (۳۸) گزارش کرده است که کادمیوم جز فلزات به آسانی قابل دسترس می باشد اما قابلیت زیست فراهمی سرب کمتر است.

داده های جدول ۲ نشان می دهد که مقدار سرب و کادمیوم قابل جذب در زمان صفر در بیشترین مقدار بوده است. کاهش غلظت فلز سرب و کادمیوم نسبت به زمان صفر با افزایش pH با گذشت زمان در دوره انکوباسیون قابل توجیه خواهد بود. در تحقیق کریشنامورتی (۲۰) مشخص شد که رها سازی کادمیوم از خاک در همان دو ساعت ابتدای آزمایش افزایش داشته و سپس به آرامی با گذشت زمان کاهش یافته است. در تحقیق انجام شده توسط نیدو و همکاران (۲۹) قابلیت زیست فراهمی کادمیوم در طی انکوباسیون با گذشت زمان کاهش پیدا کرد. آنها کاهش زیست فراهمی کادمیوم را مربوط به افزایش میزان پیوند کادمیوم به کلوئید های خاک با گذشت زمان دانستند.

کشت گلخانه ای

در فرایند گیاه جذبی هدف عمده یافتن گیاهانی است که علاوه بر جذب بالا، دارای قابلیت زیادتری در انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی باشند به ترتیبی که بتوانند غلظت فلزات را در اندام هوایی تا حد ممکن بالا ببرند تا در نهایت برداشت اندام هوایی گیاهان که حاوی فلزات سنگین می‌باشند، باعث خروج بیشتر این عناصر از خاک شود.

داده های جدول ۳ نشان میدهد که بیشترین میزان فاکتور انتقال برای سرب درگیاه کلزا در تیمار گوگرد به همراه مایه تلقیح به میزان ۰/۲۷ و کمترین آن در گیاه سورگوم به میزان ۰/۰۵ در تیمار شاهد

بدست آمده است. در این تحقیق همه مواد اصلاحی اضافه شده به خاک توانسته اند فاکتور انتقال کادمیوم را در گیاه کلزا بطور معنی داری افزایش دهند. مقایسه فاکتور انتقال سرب با کادمیوم نشان می‌دهد که این فاکتور در هر دو گیاه مورد مطالعه کوچکتر از یک می‌باشد که حاکی از جذب نسبتا ضعیف این عنصر توسط ریشه و انتقال کمتر آن از ریشه به اندام هوایی می‌باشد. با توجه به عدم وجود ناقلهای فیزیولوژیک و تشکیل کمپلکس، سرب جذب شده عمدتا در ریشه گیاه باقی می‌ماند و کمتر به اندام هوایی انتقال می‌یابد. بطوریکه در بررسی انجام شده توسط کومار و همکاران (۲۱) میزان سرب موجود در ریشه کلزا ۱۸ برابر مقدار آن در اندام هوایی بود. به عقیده این محققین پیوند محکم سرب به خاک و به مواد گیاهی تا حدی تحرک کم سرب را در گیاه و خاک توضیح می‌دهد. هوانگ و کانینگام (۱۸) نیز گزارش کرده اند که سرب علاوه بر قابلیت زیست فراهمی کم از ریشه به اندام هوایی نیز بطور ضعیفی انتقال می‌یابد. دنگ و همکاران (۱۱) در آزمایشی که تجمع کادمیوم، سرب، روی و مس را در ۱۲ گونه گیاهی در چین مطالعه کردند، اعلام کردند که در بین ۴ عنصر مورد مطالعه، فاکتور انتقال برای سرب کمترین و برای کادمیوم بیشترین مقدار بود.

مقایسه فاکتور انتقال دو عنصر مورد مطالعه در دو گیاه نشان میدهد که فاکتور انتقال سرب و کادمیوم در گیاه کلزا نسبت به سورگوم به طور معنی دار بیشتر است. در تحقیق انجام شده توسط آن و همکاران (۲) اعلام شد که جوانه زنی گندم، خیار، سورگوم و ذرت به سمیت کادمیوم مقاوم بوده و حساسیت ندارد. همچنین در خیار گندم و ذرت عمده کادمیوم در ریشه‌ها ذخیره شده ولی در سورگوم کادمیوم بیشتری به اندام هوایی منتقل شده است. در آزمایشی که بر روی گیاه فراانباشت Sedum Alfredii Hance انجام شد، ۹۵ درصد کادمیوم در اندام هوایی تجمع یافت و لذا نسبت انتقال عنصر از ریشه به برگ بالاتر از یک بود (۴۶).

مقدار جذب کل عنصر معیار مناسبی جهت ارزیابی جذب عناصر از خاک محسوب می‌شود. اثرات برهمکنش گیاه و مواد اصلاحی بر مقدار جذب سرب و کادمیوم در جدول ۳ نشان داده شده است. بیشترین مقدار جذب کادمیوم در گیاه کلزا در تیمار گوگرد به همراه مایه تلقیح برابر با ۱۱۴/۹۹ میکروگرم در گلدان و کمترین آن در گیاه سورگوم در تیمار اسید سیتریک در سطح gkg^{-1} ۱ برابر با ۲۳/۱۱ میکرو گرم در گلدان بدست آمده است. داده های جدول ۳ نشان می‌دهد اسید سیتریک در هر دو سطح موجب کاهش معنی دار جذب کادمیوم در گیاه کلزا و افزایش معنی دار جذب سرب در هر دو گیاه شده است. در این مطالعه اگر چه اسید سیتریک مقدار جذب کادمیوم را در گیاه کلزا کاهش داده اما انتقال کادمیوم را از اندام هوایی به ریشه در گیاه کلزا افزایش داده است.

جدول ۳- اثرات بر همکنش گیاه و مواد اصلاحی بر فاکتور انتقال و مقدار جذب سرب و کادمیوم

گیاه	مواد اصلاحی	فاکتورانتقال		مقدار جذب($\mu g\ Pot^{-1}$)	
		سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم
کلزا	S+I	۰/۲۷ a	۲/۳۶ a	۱۵/۱۴ a	۱۱۴/۹۹ a
	S	۰/۲۲ b	۱/۶۱.b	۱۰/۷۶ b	۹۹/۰۳ b
	AC_1	۰/۰۶ ef	۱/۶۱ b	۱۴/۳۷ a	۶۲/۶۶ d
	AC_2	۰/۱۰ de	۰/۹ d	۱۱/۳۴ b	۴۸/۱۱ e
	C	۰/۱۵ c	۰/۵ e	۷/۷۹ c	۷۳/۳۷ c
سورگوم	S+I	۰/۱۱ cd	۰/۶ e	۲/۸۹ de	۲۵/۷۲ h
	S	۰/۱۲ cd	۰/۵۳ e	۳/۷۷ de	۳۸/۱۰ fg
	AC_1	۰/۱۴ cd	۰/۹۱ d	۴/۶۶ de	۲۳/۱۱ h
	AC_2	۰/۰۶ ef	۱/۴۲ bc	۷/۶۷ c	۳۱/۸۷ gh
	C	۰/۰۵ f	۱/۲۳ c	۱/۸۲ e	۲۴/۲ h

*: اعداد هر ستون که در یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی داری ندارند

*: گوگرد+مایه تلقیح(S+I)، گوگرد(S)، اسید سیتریک در سطح gkg^{-1} ۱(AC_1)و در سطح gkg^{-1} ۳(AC_2) و شاهد(C)

در تحقیق محمد و همکاران (۲۸) تیمار اسید سیتریک در مقادیر ۵ و۱۰ میلی مول بر کیلوگرم خاک میزان فاکتور انتقال کادمیوم را بطور معنی داری نسبت به شاهد افزایش داد در حالیکه برای سرب هیچ اثر معنی داری نشان نداد. بر اساس گزارش چن و همکاران (۹) اعمال تیمار اسید سیتریک در سطوح ۱ و ۳ میلی مول بر لیتر به خاک، در حالیکه مقدار جذب و سمیت کادمیوم را توسط گیاه تربچه کاهش داد اما انتقال کادمیوم را از ریشه به اندام هوایی افزایش داد. بنا به نظر این محققین کاهش مقدار جذب کادمیوم در ریشه های تیمار شده با اسید سیتریک احتمالا مربوط به فرم های کادمیوم در محلول خاک است. اسید سیتریک بر توزیع و فرم های کادمیوم در گیاه نیز تاثیر می‌گذارد. اثر سمیت زدایی کادمیوم توسط اسید سیتریک ناشی از تغییر شکل فرم های با سمیت بیشتر کادمیوم به فرم های با سمیت کمتر در حضور اسید سیتریک است. در مطالعه لین (۲۴) اسید سیتریک توانست سمیت سرب را در برنج و گندم بکاهد و جذب آن را توسط ریشه ها کاهش دهد. بنا به نظر محققین (۹) این نتایج نشان می‌دهند که اثر اسید سیتریک روی گیاه پالایی کادمیوم و سرب اساسا به علت افزایش تحرک ایجاد شده در نتیجه کاهش pH می‌باشد.

در مطالعه حاضر اسید سیتریک در هر دو سطح موجب کاهش معنی دار جذب کادمیوم توسط گیاه شده و با توجه به بر هم کنش موجود بین سرب و کادمیوم در جذب، میزان جذب سرب افزایش یافته است. بر اساس گزارش داکیون و همکاران (۱۲) اعمال تیمار اسید سیتریک به مقدار ۵ میلی مول بر کیلوگرم خاک نتوانست جذب سرب و کادمیوم را در گیاه خردل هندی و علف چاودار بطور معنی داری افزایش دهد. نتیجه این محققین در توافق با آزمایش گلدانی کوارتاسی و همکاران (۳۳) است که هیچ افزایش عملکردی در جذب کادمیوم و سرب توسط گیاه خردل هندی بعد از اعمال اسید سیتریک به میزان ۵ میلی مول بر کیلوگرم نشان نداد. از طرفی دیگر نسیمنتو و همکاران (۳۰) گزارش کرده اند که اسید سیتریک حذف کادمیوم را از خاکهای آلوده به چند فلز توسط گیاه خردل هندی افزایش داد. این نتایج به عقیده پالس و همکاران (۳۲) می‌تواند مربوط به تفاوت گونه های گیاهی استفاده شده در تحقیقات باشد و تا حدی رفتار متفاوت فلزات سنگین را در جذب و دفع سطحی از خاکهای با خصوصیات مختلف که غلظتهای متفاوتی از فلز را دارا می‌باشند، انعکاس می‌دهد.

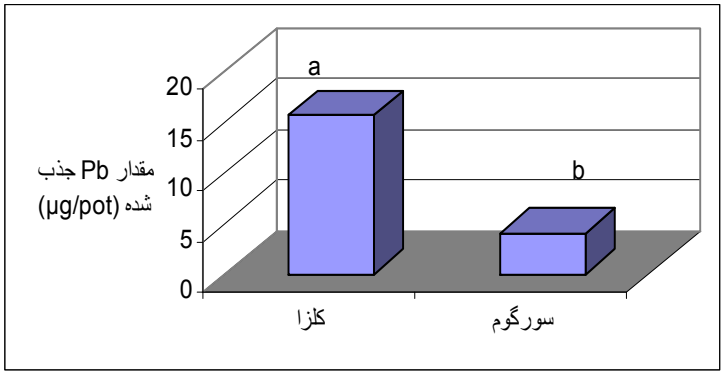
تاثیر گیاه بر مقدار جذب کادمیوم و سرب در نمودار ۱ و ۲ نشان داده شده است. مقایسه مقدار جذب سرب و کادمیوم در دو گیاه نشان می‌دهد که به رغم وجود زیست توده بیشتر سورگوم نسبت به کلزا، مقدار جذب هر دو عنصر مورد مطالعه در کلزا بیشتر بود.

در توافق با این نتیجه، نسیمنتو و همکاران (۳۰) اشاره کرده اند که تولید زیست توده بیشتر می‌تواند گاهی اوقات و نه همیشه مقدار تجمع کمتر فلز را در اندام هوایی جبران کند.

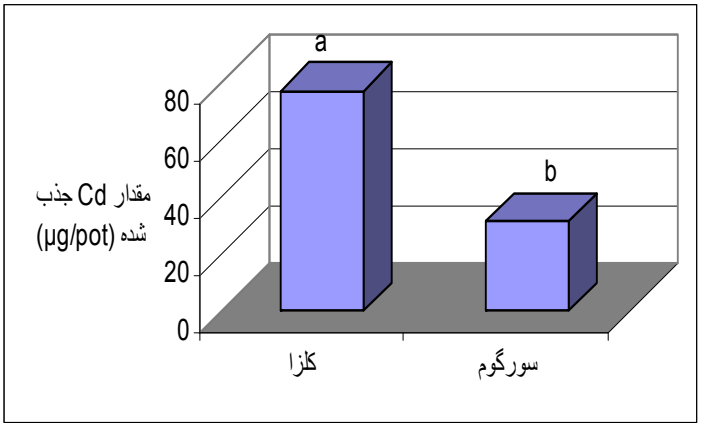
در این تحقیق مقدار سرب جذب شده توسط هر دو گیاه در محدوده قابل تحمل بود. بطور کلی مقدار جذب سرب از اعداد کوچکی تشکیل شده که علت آن کوچک بودن غلظت سرب در اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج خاک قبل و بعد از کشت

نتایج آزمون دانکن نشان داد که مقدار pH در خاک کشت شده کاهش معنی داری نسبت به خاک کشت نشده داشت (جدول ۴). علت کاهش pH در خاک تحت کشت را علاوه بر تاثیر مواد اصلاحی می‌توان وجود محیط ریزوسفر ناشی از حضور گیاه ذکر کرد. ریزوسفر خاک منطقه ای است که بخاطر اثرات ریشه از توده خاک قابل تفکیک است (۴). طبق اظهار نظر ونگ (۴۵) باید اهمیت ریزوسفر را در همبستگی گونه فلز و قابلیت فراهمی آن برای گیاه مورد توجه قرار بدهیم. مک گراس و همکاران (۲۷) بدنبال کشت گیاه کاهش معنی داری در pH محلول خاک مشاهده نمودند. در حالیکه همر و کلر (۱۴) افزایش معنی داری در pH محلول خاک در مقایسه با خاک شاهد مشاهده نمودند.



نمودار۱- اثر گیاه بر مقدار جذب سرب



نمودار۲- اثر گیاه بر مقدار جذب کادمیوم

جدول ٤ - بررسی تغییرات pH، سرب و کادمیوم خاک در دو زمان قبل و بعد از کشت

خاک	گیاه	pH	سرب mg kg^{-1}	کادمیوم mg kg^{-1}
کشت نشده		۷/۵۹ a	۲۵/۵۷a	۳/۱۹ b
کشت شده	کلزا	۷/۴۳ b	۲۱/۶۵ c	۱/۶۵ b
کشت شده	سورگوم	۷/۳۱ c	۲۴/۶۹ b	۱/۷ a

*: اعداد هر ستون که در یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی داری ندارند.

همانطور که جدول ۴ نشان می دهد میانگین غلظت سرب و کادمیوم در خاک کشت شده کمتر از خاک کشت شده بود که علت آن جذب توسط گیاه می باشد. همچنین میانگین غلظت سرب و کادمیوم قابل جذب در خاک تحت کشت سورگوم بالاتر از کلزا بود.

نتیجه گیری

نتایج آزمایش انکوباسیون نشان داد که نقش مواد اصلاحی در کاهش pH و افزایش زیست فراهمی عناصر سنگین در یک خاک آلوده آهکی در کوتاه مدت موثر و قابل بررسی است. ماده اصلاحی گوگرد به همراه مایه تلقیح و اسید سیتریک در سطح ۱ gkg^{-1} در افزایش فراهمی کادمیوم و سرب در خاک بترتیب بیشترین و کمترین تاثیر را داشتند. نتایج تجزیه گیاهی نشان داد که به رغم زیست توده بیشتر در سورگوم مقدار جذب و فاکتور انتقال فلزات مورد مطالعه در گیاه کلزا بیشتر بود که نشان دهنده پتانسیل بیشتر گیاه کلزا نسبت به گیاه سورگوم در جذب سرب و کادمیوم و انتقال آنها به اندام هوایی است. همچنین بهترین تیمار در فرایند گیاه جذبی تیمار گوگرد به همراه مایه تلقیح بوده که بیشترین مقدار جذب کادمیوم و سرب را به خود اختصاص داده است. مقایسه میزان فراهمی عناصر در خاک قبل از کشت و بعد از کشت نشان داد که در خاک کشت شده میزان عناصر قابل استخلاف با DTPA کمتر از خاک کشت نشده است که علت آن جذب عناصر سنگین توسط گیاه است. بنابراین می توان گفت که حذف موفقیت آمیز فلزات از خاکهای آلوده ترجیحا به ترکیبی از غلظت فلز در اندام هوایی و تولید زیست توده بالا و نه به یکی از فاکتورها به تنهایی بستگی دارد. بررسی های بیشتری در این زمینه با استفاده از مواد اصلاحی دیگر و گونه های گیاهی مناسب و کاربرد مایه تلقیح های موثر در شرایط مزرعه ای پیشنهاد می شود.

منابع

۱- صلحی م. ۱۳۸۴. بررسی امکان پالایش سرب و روی توسط آفتابگردان و کلزا در یک خاک آلوده اصفهان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران. جلد ۱. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیز داری.

2- An Y.J. 2004. Soil exotoxicity assessment Using cadmium sensitive plant. J. Environ. Pollut, 127:21-26.

3- Anderson P.R. and Christensen T.H. 1988. Distribution coefficients of Cd, Co, Ni, and Zn in soils. J. Soi. Sci, 39:15-22.

4- Anderson T.A., Guthrie E.A.. and Walton B.T. Walton. 1993. Bioremediation in the rhizosphere. Environ. Sci. Technol, 27: 2630-2636.

5- Barcelo J. and Poschenrieder Ch. 2003. Phytoremediation: principles and perspectives. Contributions to Science, 2: 333- 334.

6- Blaylock M.J., Salt D.E., Dushenkov S., Zakharovo O., Gussman C. and Kapulnik Y. 1997. Enhanced

accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. Environ. Sci. Technol, 31:860-865.
7- Bouyoucos C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil. Agron. J, 54:464-465.
8- Bremner J.M. 1996. Nitrogen – Total.p: 1085-1122. In Sparks D.L., et al. Methods of Soil Analysis. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
9- Chen Y.X., Lin Q., Luo Y.M., He Y.F., Zhen S.J. and Wong M.H. 2003. The role of citric acid on the phytoremediation of heavy metal contaminated soil. Chemosphere, 50:807-811.
10- Cooper E.M., Smis J., Cunningham S.D., Huang J.W. and Berti W.R. 1999. Chelate. assisted phytoextraction of lead from contaminated soils J. Environment Qual, 28: 1709-1719.
11- Deng H., Ye Z.H. and Wong M.H. 2004. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wet land plant species thriving in critical contaminated. sites in china. J. Environ. Pollut, 132: 29-40.
12- Duquène L., Vandenhove H., Tack F., Meers E., Baeten J. and Wannijn J. 2009. Enhanced phytoextraction of uranium and selected heavy metals by Indian mustard and ryegrass using biodegradable soil amendments. Science of the total Environment, 407: 1496-1505.
13- Ebbs S.D., Lasat M.M., Brady D.J., Cornish J,. Gordon R. and Kochian L.V. 1997. Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil. J. Environ. Qual, 26:1424-1430.
14- Hammer D. and Keller C. 2002. Changes in rhizosphere of metal-accumulating plants evidenced by chemical extractants. J. Environ. Qual, 31: 1561-1569.
15- Helmke P.H. and Spark D.L. 1996. Potassium. p: 551-574. In Sparks D.L., et al. Methods of Soil Analysis. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
16- Henry J.R. 2000. An overview of the phytoremediation of lead and mercury. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Salid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office, Washington, D.C:1-51.
17- Huang J.W., Blaylock M.J., Kapulnik Y. and Ensley B.D. 1998. Phytoremediation of Uranium-contaminated soils: Role of organic acids in triggering uranium hyperaccumulation in plants. Environ. Sci. Technol, 32: 2004-2008.
18- Huang J.W. and Cunningham S.D. 1996. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. New Phytol, 145: 75-84.
19- Kayser A.,Wenger K., Keller A,. Attinger W. and Schulin R. 2000. Enhancment of phytoextraction of zn, cd, and cu from calcarieous soil:The use of NTA and sulfur amendments. Environ. Sci. Technol. 34:1778-1783.
20- Krishnamurti G.S.R., Smith L.H. and Naidu R. 2000. Method for assessing plant-available cadmium in soil. J.Aus.soil Research 28: 823-835.
21- Kumar P.B.A.N., Dushenkov V., Motto H. and Raskin I. 1995. Phytoextraction: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Soils. Environmental Science and Technol. 29: 1232-1238.
22- Kuo S. 1996. Phosphorus. p: 869-920. In Sparks D.L., et al. Method of soil Analysis.SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
23- Lasat M.M. 2003. Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. Journal of Hazardous Substance Research, 2:1-25.
24- Lin Q. 1996. Chemical behavior of Cd and Pb in rhizosphere and its uptake by plants. Thesis for Master's degree, Institue of soil Science, Chinese Academy of Science.
25- Lindsay W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil. Sci. Soc. Am. J, 42: 421-428.
26- Loeppert R.H. and Suarez D.L. 1996. Carbonate and Gypsum. p: 437-474. In Sparks D.L., et al. Methods of Soil Analysis. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
27- Mc Grath S.P., Shen Z.G. and Zhao F.J. 1997. Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of Thlaspi caerulescens and Thlaspi ochroleucum grown in contaminated soils. Plant Soil, 188:153-159.
28- Muhammad D., Chen, F., Zhao J., Zhang G. and Wu F. 2009. Comparison of EDTA-and citric acid-enhanced phytoextraction of heavy metals in artificially metal contaminated soil by Typha angustifolia. International Journal of Phytoremediation, 11:558–574.
29- Naidu R., Oliver D. and Mcconnell S. 2003. Heavy metal phytotoxicity in soils. In Proceeding of the Fifth National Workshop on the Assessment of Site Contamination, p:235-241.
30- Nascimento C.W., Amarasiriwardena D. and Xing B. 2006. Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil. J. Environ. Pollut, 140: 114–123.
31- Prasad M.N.V. and Freitas H.M.O. 2003. Metal hyperaccumulation in plants-biodiversity prospecting for phytoremediation Technology. Electronic Journal of biotechnology, 6: 285-305.
32- Puls R.W., Powell R.M., Clark D. and Eldred C.J. 1991. Effects of pH, solid/solution ratio, ionic strength, and organic acids on Pb and Cd sorption on kaolinite. Water Air Soil Pollution, 57–58: 423–430.
33- Quartacci M.F., Argilla A., Baker A.J.M. and Navari Izzo F. 2006. Phytoextraction of metals from a multiply contaminated soil by Indian mustard. Chemosphere, 63: 918–925.

34- Raskin I., Smith R.D. and Salt D.E. 1997. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. Curr. Opin. Bitechnol. 8: 221-226.
35- Rhoades J.D. 1996. Electrical conductivity and total dissolved solids. p: 417-436. In Sparks D.L., et al. Methods of Soil Analysis. SSSA, Inc, ASA, Inc. Madison, WI.
36- Saifullah Gh., Munir Hussain Z., Erik M., Abdul Gh., Ghulam M., Muhammad S., Muhammad Z.U.R. and Tack F.M.G. 2010. Chemically enhanced phytoextraction of Pb by wheat in texturally different soils. Chemosphere, 79: 652–658.
37- Schmidt U. 2003. Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals. J.
38- Schnoor J.L. 1997. Phytoremediation. Technology Overview Report, Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, Series E.
39- Sparks D.L. 1995. Environmental soil chemistry Academic Press. p: 269.
40- Sumner M.E. and Miller W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. p: 1201-1230. In Sparks D. L., et al. Methods of Soil Analysis. SSSA. Inc, ASA, Inc. Madison, WI.
41- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity .p: 475-490. In Sparks D.L., et al. Methods of Soil Analysis. SSSA. Inc, ASA, Inc. Madison, WI.
42- Topp G.C., Galynou B.C., Ball B.C. and Carter M.R. 1993. Soil water adsorption curve. p: 569-579. In Carter (ed) M.R. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
43- Vassilev A., Vangronsveld J. and Yordanonov I. 2002. Reviews: Cadmium Phytoextraction: present state, biological backgrounds and research needs. Bulg. J. Plant Physiol, 28: 68-95.
44- Walkley A.. and Black I.A. 1934. Examination of the degtjareff method determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 34: 29-38.
45- Wang W.Sh., Shan X.Q., Wen B. And Zhang Sh.Z. 2003. Relationship between the extractable metals froms from Soils and metals taken up by maize roots and Shoots. Chemosphere, 53: 523-530.
46- Yang X.E., Long X.X., Ye H.B., He B. and Calvert D.V. 2005. Uptake and accumulation of cadmium and Zinc by Sedum Alferedii Hance at different Cd/Zn Supply levels. J. Plant. Nutri, 27:1963-1977.

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No.4, Sep-Oct 2011, p. 736-745

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۰، ص. ۷۴۵-۷۳۶

Study of the Effects of Sulfur and Citric acid Amendment on Phytoextraction of cd and pb from Contaminated Soil

Z. Farzanegan[1*]- Gh. Savaghebi[2]- H.M.S. Hosseiny[3]
Received:13-1-2010
Accepted:4-7-2011

Abstract

The use of plants to remove contaminants from the environment and concentrate them in above-ground plant tissue is known as phytoextraction. This study was conducted to investigate the potential of phytoextraction of Pb and Cd metals canola (*Brassica napus*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) which are high Biomass Crop and the effect of amendments on the efficiency of phytoextraction. The soil sample for the experiment was collected from an area adjacent to a Zinc Concentrate factory in west of Zanjan, Iran. Five treatments compared included powdered sulfur, sulfur plus thiobaccilus inucolum (S+I) at 8g kg $^{-1}$ rate, citric acid at two levels of 1g kg^{-1} (CA_1) and 3g kg^{-1} (CA_2) and the control (C). The experiment was conducted in two stages. In the first stage of study, the treated soil with the above material were incubated for 8 weeks at field capacity and 25˚C temperature. In the incubation period the subsamples were collected at 0, 4 and 8 weeks to determine the amount of plant available Pb and Cd using DTPA extraction. In the second stage, a greenhouse experiment was conducted using the same soil and treatments. Sorghum and canola were planted and grown for 60 days and then the above ground parts and roots were harvested. Plant samples were analyzed for Cd and Pb content and the amount of DTPA exractable Pb and Cd were measured in soils before and after planting. Both experiments were conducted in the factorial experiment with randomized complete design with 5 treatments (including control) and 4 replications. The statistical Analysis was done using SAS and MSTATC Softwares. The resulst indicated that effect of sulfur plus thiobaccilus and citric acid at $1g.kg^{-1}$ treatments on Cd and Pb availability were highest and lowest, respectively. The pot experiment showed that the best of amendment in transfer of metal from root to shoot for two plant species was powdered sulfur plus thiobaccilus inucolum. The results of greenhouse experiment indicated that canola has higher potential for remediation of Cd and Pb from contaminated soil in comparison with sorghum.

Keywords: Lead, Cadmium, Sorghum, Canola, Phytoextraction, Amendment

1,2,3- MSc Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Tehran University (Karaj), Respectively
(*-Corresponding Author Email: farzaneganzohre@yahoo.com)