

اثر اسید سیتریک در افزایش تجمع سرب در آفتابگردان در یک خاک شنی آلوده

محمد رحمانیان^۱، علیرضا حسین پور^۲، ابراهیم ادهمی^۳، حمیدرضا متقیان^۲
۱- دانشجوی دکتری خاکشناسی دانشگاه شهرکرد، ۲- استاد و استادیار گروه علوم خاک دانشگاه شهرکرد، ۳- دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه یاسوج

چکیده

گیاه پالایی، راهکاری ارزان برای پاکسازی خاک‌های آلوده است. افزایش حلالیت آلاینده‌هایی که زیست‌فراهمی کمی در خاک دارند، مانند سرب و تسهیل انتقال آن به گیاه برای موفقیت گیاه پالایی حیاتی است. در مطالعه حاضر توانایی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L) برای اندوزش سرب در شاخساره خود در یک خاک شنی آلوده به سرب بررسی شد. اسید سیتریک در سطوح غلظتی صفر، ۵/۰ و ۱ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک استفاده شد. زیست‌توده خشک، غلظت سرب در شاخسار گیاهان و مقدار کل برداشت سرب از خاک اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که اندوزش سرب در شاخسار گیاهان می‌تواند با اضافه کردن اسید سیتریک به خاک افزایش یابد، که می‌تواند تسهیل‌کننده اندوزش بالا در زیست‌توده و جذب فلز باشد.

واژه‌های کلیدی: تجمع سرب، آفتابگردان، خاک شنی آلوده.

مقدمه

آلودگی خاک‌ها در ایران رو به افزایش است. روش‌های متعددی برای پالایش این خاک‌های آلوده وجود دارد اما بیشتر این روش‌ها هزینه‌بر بوده و سبب تخریب محیط زیست می‌شوند. گیاه پالایی شیوه‌ای زیرکانه است تا گیاهان افزون بر جذب عناصر اساسی مورد نیازشان و یا به جای آن‌ها، فلزات سمی را نیز از خاک جذب کرده و در خود بیاندوزند. از این رو، گیاه پالایی می‌تواند جایگزینی مناسب برای روش‌های انرژی‌خواه و پرهزینه مهندسی باشد. (خداوردی لو، ۱۳۸۵).

گیاهان بیش‌اندوز بیشتر گیاهانی وحشی، کمیاب و بومی مناطقی هستند که در آن‌جا کشف شده‌اند. بیشتر این گیاهان را به دلیل احتمال بر هم زدن تنوع گونه‌ای سایر مناطق نمی‌توان به منطقه‌ای غیر از زادگاه‌شان انتقال داد. همچنین بسیار دیده شده در صورت انتقال این گیاهان به محیط‌های مشابه نتوانسته‌اند با محیط جدید سازگار شده و توانایی‌های بالای جذبی که در محیط اصلی داشته‌اند را از خود بروز دهند (Lu et al., ۲۰۰۸; Lasat, ۲۰۰۲). از این رو استفاده از توان گیاهان بومی پالایش آلودگی را آسان خواهد نمود.

موفقیت گیاه پالایی وابسته به چندین فاکتور می‌باشد. گیاهان دارای زی‌توده کافی و اندوزنده غلظت بالایی از فلزات باشند. باید بتوانیم گیاهان اندوزشگر را در سال چندین بار کشت و شاخساره آنها را برداشت کنیم. علاوه بر این، این گیاهان باید ترجیحاً اندوزنده فلزات سمی زیست‌محیطی (یعنی سرب، کادمیوم و کروم و غیره) باشند. (Blaylock et al., ۱۹۹۷).

علاوه بر این، قابلیت دسترسی فلز در خاک برای جذب گیاه محدودیت دیگری برای موفقیت گیاه پالایی می‌باشد. برای مثال، سرب، یکی از مهمترین آلاینده‌هایی محیطی دارای حلالیت کم در خاکها و قابلیت استفاده پایین برای جذب توسط گیاه به دلیل کمپلکس با مواد آلی، جذب توسط اکسیدها و رس، رسوب توسط کربنات‌ها، هیدروکسیدها و فسفات‌ها می‌باشد (McBride, ۱۹۹۴). برای خاکهایی با pH بین ۵/۵ تا ۵/۷ که حلالیت سرب توسط رسوبات فسفاتی یا کربناتی کنترل می‌شود، بیشترین فعالیت Pb^{2+} در محلول خاک تقریباً ۱۰-۸۵ مولار یا ۶/۰ ppb می‌باشد (Lindsay, ۱۹۷۹). حلالیت Pb^{2+} در محلول خاک با توجه به مقدار غلظت سرب خاک و به دلیل تعادل بین فاز جامد و محلول خاک باید ثابت بماند.

با وجود توانایی گیاهان در پالایش فلزات سنگین، این فرایند ممکن است سالها به طول انجامد. به همین دلیل گیاه پالایی به کمک تیمارهای شیمیایی و بیولوژیکی مطرح گردید (Blaylock et al., ۱۹۹۷). به طوری که امروزه استفاده از برخی عوامل کلات‌کننده از مهمترین و کارآمدترین روش‌ها در آلودگی‌زدایی فلزات سنگین از خاک شناخته شده است (Wu et al., ۱۹۹۹). کلات‌کننده‌های شیمیایی و طبیعی می‌توانند جذب فلزات سنگین توسط گیاهان و فراهمی آنها را افزایش دهند (Luo et al., ۲۰۰۵). آفتابگردان به خاطر تولید زیست‌توده بالا و تحمل غلظت بالای فلزات سنگین در محلول خاک و همچنین قابلیت انباشت مقادیر زیادی از فلزات سنگین به طوری وسیعی در پژوهش‌های گیاه پالایی مورد استفاده قرار گرفته است (Lasat, ۲۰۰۲). بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی تاثیر اسید سیتریک بر اندوزش سرب توسط گیاه آفتابگردان در یک خاک شنی آلوده انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش، یک نمونه خاک از لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک‌های واقع در نزدیکی معادن سرب و روی در جنوب شهر اصفهان جمع‌آوری شد. نمونه خاک هوا خشک شده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، به منظور بررسی‌های آزمایشگاهی



چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - شیمی حاصلخیزی و تغذیه گیاه

آماده شد. اندازه گیری تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه از جمله: بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, ۱۹۸۶)، pH در سوسپانسیون ۲:۱ آب به خاک (Thomas, ۱۹۹۶)، EC در عصاره ۲:۱ آب به خاک (Rhoades, ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل (Loeppert and Suarez, ۱۹۹۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی (Sumner and Miller, ۱۹۹۶) و مقدار ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, ۱۹۹۶) تعیین شد. مقدار کل عنصر سرب با استفاده از اسید نیتریک ۴ نرمال (Sposito et al., ۱۹۸۲) در خاک عصاره گیری شد. مقدار سرب قابل استفاده در خاک با استفاده از عصاره گیر (DTPA-TEA (Lindsay and Norvell, ۱۹۷۸)، اندازه گیری شد. این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. در ابتدا عناصر غذایی لازم به خاک هر گلدان اضافه و رطوبت گلدان‌ها به حد ظرفیت زراعی رسانده شد. سپس ۵ بذر در عمق مناسب کاشته شده و پس از استقرار و سبز شدن کامل بذور در پایان هفته دوم، تعداد گیاهان به ۳ بوته تنک گردید. در طول دوره رشد گیاه، سعی شد رطوبت گلدان‌ها به حد ظرفیت زراعی نگهداشته شود. اسید سیتریک در سطوح غلظتی ۰، ۵/۰ و ۱ میلی مول بر کیلوگرم خاک (Karczewska et al., ۲۰۱۱)، به همراه آب آبیاری به طور منظم در طول دوره کشت به گلدان‌ها اضافه شد. در پایان، بخش هوایی گیاهان برداشت شده، توزین شده و پس از شستشو با آب مقطر و خشک کردن در آون (۷۰ درجه سانتی گراد) توزین و وزن خشک قسمت هوایی گیاه اندازه گیری شد. غلظت سرب در اندام‌های هوایی با روش خشک سوزانی هضم شده (Campbell and Plank, ۱۹۹۸) و به وسیله دستگاه جذب اتمی (مدل جی بی سی، ۹۳۲) تعیین گردید. وزن ماده خشک گیاهی، غلظت سرب در گیاه و جذب کل سرب در گیاه (حاصل ضرب وزن ماده خشک در غلظت سرب در گیاه) به عنوان پاسخ‌های گیاهی در نظر گرفته شد. برای بررسی تاثیر اسید سیتریک بر گیاه پالایی سرب توسط آفتابگردان ضریب انتقال فلز و ضریب تغلیظ زیستی با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (et al., ۲۰۰۸ Doumett).

$$(۱) \quad \text{ضریب تغلیظ زیستی} = (\text{غلظت سرب در ریشه}) / (\text{غلظت سرب قابل استفاده در خاک})$$

$$(۲) \quad (\text{غلظت سرب در ریشه گیاه}) / (\text{غلظت سرب در اندام هوایی}) = \text{ضریب انتقال}$$

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. بر پایه‌ی نتایج جدول ۱، خاک بکار رفته در این پژوهش، خاکی با کلاس بافتی لوم شنی، غیرشور، آهکی و با واکنش قلیایی بود. سازمان سلامت جهانی (WHO) بر اساس غلظت کل فلز در خاک محدوده هشدار را برای سرب، روی، مس و کادمیم به ترتیب ۳۵، ۹۰، ۳۰ و ۳۵/۰ میلی گرم بر کیلوگرم تعیین کرد (Tembo et al., ۲۰۰۶).

جدول ۱: برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منتخب خاک مورد مطالعه

ر س (٪)	سیل ت (٪)	شن (٪)	CaCO ₃ (٪)	ماده آلی (٪)	قابلیت هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	pH	سرب قابل استفاده (mg kg ⁻¹)	سرب کل (mg kg ⁻¹)	روی کل (mg kg ⁻¹)	مس کل (mg kg ⁻¹)
۱۸	۲۵	۵۷	۳۲	۸۲/۰	۴۴/۰	۲/۸	۳/۶	۲۵۰	۸۵۰	۲۵

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس اثر اسید سیتریک بر افزایش تجمع سرب در گیاه آفتابگردان و شاخص‌های گیاه آفتابگردان شامل ماده خشک شاخساره و ریشه، غلظت سرب در شاخساره و ریشه، جذب سرب شاخساره و ریشه، ضریب تغلیظ زیستی و فاکتور انتقال آفتابگردان را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که اثر اسید سیتریک بر غلظت سرب در شاخساره و ریشه، جذب سرب شاخساره و ریشه، ماده خشک شاخساره، ضریب تغلیظ زیستی و فاکتور انتقال در سطح آماری یک درصد معنی دار است (جدول ۲).

جدول ۲: میانگین مربعات تجزیه واریانس شاخص‌های آفتابگردان ($P < 0.05$)

منابع تغییر	درجه آزادی	غلظت در شاخساره	وزن خشک شاخساره	جذب شاخساره	غلظت در ریشه	وزن خشک ریشه	جذب در ریشه	ضریب تغلیظ زیستی	فاکتور انتقال
-------------	------------	-----------------	-----------------	-------------	--------------	--------------	-------------	------------------	---------------



چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - شیمی حاصلخیزی و تغذیه گیاه

۰۲۴/۰**	۱۷/۲۱**	۰۰۰۲/۰**	ns ۰۰۱۶/۰	۳۶/۸۴**	۰۰۰۱/۰**	۶۸/۰**	۶۱/۱۸**	۲
۰۰۰۱/۰	۰۲/۰	۰۰۰۰۱/۰	۰۰۶۱/۰	۹۷/۰	۰۰۰۰۰۵/۰	۰۱/۰	۶۶/۰	۶
۶	۲	۴/۱۵	۱۶	۲	۱۱	۸/۴	۳/۸	%CV

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد و ns، عدم تفاوت معنی دار در سطح آماری می باشد.

مقایسه میانگین شاخص های گیاه آفتابگردان شامل ماده خشک شاخساره و ریشه، غلظت سرب در شاخساره و ریشه، جذب سرب شاخساره و ریشه، ضریب تغلیظ زیستی و فاکتور انتقال در جدول ۳ گزارش شده است. بیشترین ماده خشک شاخساره (۷۱/۲ گرم) تحت غلظت صفر اسید سیتریک و کمترین ماده شاخساره تحت تاثیر تیمار ۱ میلی مول بر کیلوگرم اسید سیتریک بود. مقایسه میانگین ها نشان می دهد که با مصرف ۵/۰ میلی مول بر کیلوگرم اسید سیتریک ماده خشک شاخساره گیاه آفتابگردان به طور معنی داری ($P < 0.05$) کاهش یافت. همچنین، با افزایش غلظت اسید سیتریک غلظت سرب در ریشه افزایش معنی داری (۰/۵) پیدا کرد. با افزایش غلظت اسید سیتریک از صفر به ۵/۰ میلی مول بر کیلوگرم غلظت سرب در شاخساره به طور معنی داری ($P < 0.05$) افزایش و با افزایش غلظت از ۵/۰ به ۱ میلی مول بر کیلوگرم کاهش یافت. با افزایش غلظت اسید سیتریک جذب سرب در شاخساره به طور معنی داری کاهش و جذب سرب ریشه به طور معنی داری افزایش یافت. (جدول ۳).

جدول ۳: نتایج مقایسه میانگین شاخص های گیاه آفتابگردان

تیمار	ماده خشک (gr)		غلظت (mg/kg)		جذب (mg/pot)		ضریب تغلیظ زیستی	فاکتور انتقال
	شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه	شاخساره	ریشه		
اسید سیتریک (۵/۰ mmol/kg)	۷۱/۲ ^a	۴۶/۰ ^a	۴/۹ ^b	۳۵ ^c	۰۲۵/۰ ^a	۰۱۶/۰ ^c	۵۶/۵ ^c	۲۶۹/۰ ^a
۱	۹۸/۱ ^b	۵۱/۰ ^a	۵/۱۳ ^a	۶۶/۴۷ ^b	۰۲۴/۰ ^b	۰۲۴/۰ ^b	۵۷/۷ ^b	۲۶۲/۰ ^a
۲	۸۱/۱ ^b	۴۹/۰ ^a	۵۶/۷ ^c	۱۶/۶۸ ^a	۰۱۳/۰ ^b	۰۳۳/۰ ^a	۸۲/۱۰ ^a	۱۱/۰ ^b

میانگین های با حروف مشابه (حروف کوچک) در هر ستون و ردیف فاقد اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد

در مباحث گیاه پالایی بردباری گیاه و فاکتور انتقال عناصر از اندام زیرزمینی به هوایی مهم می باشد (Lasat, ۲۰۰۰). مشکل عمده در جذب فلزات توسط گیاه، تحرک پائین آنها در خاک است که بدین منظور از کلات کننده ها برای افزایش تحرک عناصر استفاده می شود که این در پاره ای از موارد رشد گیاه و وزن تر آن را نیز افزایش می دهد (Fazal et al., ۲۰۱۰). بر اساس پژوهش های انجام شده کاربرد کلات کننده ها در افزایش راندمان گیاه پالایی تاثیر زیادی دارد (Zhongqiu et al., ۲۰۱۰).

سان و همکاران (۲۰۰۹) تاثیر EDTA و اسید سیتریک را در جذب فلزات سنگین توسط گیاه *Sedum alfredia* مورد مطالعه قرار دادند. به طوری که EDTA و اسید سیتریک در دو غلظت (۵ و ۸ میلی مول بر کیلوگرم خاک) در فاصله زمانی ۳۰ روز پس از کشت اعمال شدند. نتایج نشان داد که EDTA و اسید سیتریک تاثیر بازدارندگی بر رشد گیاه داشته و وزن خشک اندام هوایی را کاهش داده بودند. اضافه کردن کلات کننده ها افزایش موثری در تحرک فلزات سنگین در خاک داشته و باعث افزایش معنی دار در تجمع فلزات سنگین در اندام هوایی شده بود. تحرک فلزات سنگین ناشی از کاربرد اسیدهای آلی طبیعی به وسیله چندین مکانیسم شامل اسیدی کردن خاک، تبادل کاتیونی و احیا هیدرواکسیدهای فلزی محلول خاک توجیه می شود.

افزایش غلظت اسید سیتریک منجر به کاهش رشد گیاه به دلیل بروز اثرات سمی ناشی از عناصر سنگین شده است (Sun et al., ۲۰۰۹; Dawood et al., ۲۰۰۸) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

افزایش غلظت سرب اندام هوایی در نتیجه مصرف اسید سیتریک را می توان به افزایش فراهمی سرب قابل استفاده خاک در نتیجه کاربرد این ماده نسبت داد. به طور کلی کاربرد ترکیبات کلات کننده با افزایش حلالیت و فراهمی فلزات سنگین در خاک منجر به افزایش غلظت آنها در گیاه می شود. وجود پیوندهای آلی-فلزی در ترکیب کلات و فلزات سبب می شود که فلزات کمتر در معرض کلوئیدها، هیدروکسیدها و اکسیدها قرار گرفته لذا مانع از رسوب و تثبیت آنها در خاک می شود. از طرفی کلات ها توسط ریشه گیاهان قابل جذب بوده، می توانند فلزات را از فاز جامد و غیر محلول به فازهای تبادل پذیر انتقال داده و در نهایت میزان جذب فلزات توسط گیاهان را افزایش دهند (Kabata-Pendias, ۲۰۰۱).

با افزایش غلظت اسید سیتریک از صفر به ۵/۰ میلی مول بر کیلوگرم فاکتور انتقال سرب در گیاه آفتابگردان تقریباً ثابت و با افزایش غلظت از ۵/۰ به ۱ میلی مول بر کیلوگرم به طور معنی داری ($P < 0.05$) کاهش یافت (جدول ۳). ضریب انتقال در حقیقت نسبت غلظت فلز در اندام هوایی به غلظت فلز در ریشه بوده و نشانگر توانایی گونه های مختلف گیاهی در انتقال فلز از ریشه به قسمت هوایی است (et al., ۲۰۰۸ Doumett). کاهش فاکتور انتقال سرب در گیاه آفتابگردان حاکی از آن است که در انتقال این عنصر از ریشه به بخش هوایی محدودیت هایی وجود داشته است.

با افزایش غلظت اسید سیتریک از صفر به ۵/۰ میلی مول بر کیلوگرم ضریب تغلیظ زیستی به طور معنی داری افزایش و با افزایش غلظت از ۵/۰ به ۱ میلی مول بر کیلوگرم کاهش یافت (جدول ۳). مقدار تغلیظ زیستی یک عنصر در گیاه از نسبت غلظت آن عنصر در گیاه به غلظت آن در خاک (رابطه ۱) محاسبه می شود (Kabata-Pendias, ۲۰۰۱). افزایش ضریب تغلیظ زیستی بیانگر توانایی بالاتر گیاه در پالودن عنصر مورد نظر می باشد. گونه های گیاهی با مقادیر ضریب تغلیظ زیستی ۱-۱۰، ۱/۰-۱، ۱/۰-۱/۰ و کمتر



چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - شیمی حاصلخیزی و تغذیه گیاه

۰۱/۰ باشد به ترتیب به عنوان بسیار اندوزش گر، با اندوزش متوسط، با اندوزش کم و غیراندوزشگر شناخته می شوند (Bini et al., ۱۹۹۵). بر اساس تقسیم بندی بینی و همکاران (۱۹۹۵) گیاه مورد مطالعه در این پژوهش، در گروه گیاهان بسیار اندوزشگر قرار می گیرد.

منابع

- خداوردی لو، ح. ۱۳۸۵. مدل سازی پالایش سبز خاک های آلوده به کادمیم و سرب. رساله دکتری تخصصی، دانشگاه تربیت مدرس.
- Bini C., Gentili L., Maleci-Bini L. and Vaselli O. ۱۹۹۵. Trace elements in plants and soils of urban parks. Annexed to contaminated soil prost. INRA. Paris.
- Blaylock M.J., Salt D.E., Dushenkov S., Zakharova O., Gussman C., Kapulnik Y., Ensley B.D. and Raskin I. ۱۹۹۷. Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil-applied chelating agents. Environmental Science and Technology, ۳۱: ۸۶۰-۸۶۵.
- Campbell C.R. and Plank C.O. ۱۹۹۸. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. In: Kalra, Y.P. (Ed). Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor and Francis Group. pp. ۳۷-۵۰.
- Dawood M., Chen F., Zhao J., Zhang G. and Wu F. ۲۰۰۹. Comparison of EDTA and citric acid enhanced phytoextraction of heavy metal in artificially metal contaminated soil by *Typha agustifolia*. International Journal of Phytoremediation, ۱۱: ۱۰۹-۱۲۱.
- Doumett S., Lamperi L., Checchini L., Azzarello E., Mugnai S., Mancuso S., Petruzzelli G. and Del Bubba M. ۲۰۰۸. Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. Chemosphere, ۷۲: ۱۴۸۱-۱۴۹۰.
- Fazal H., Asghari B. and Fuller M. P. ۲۰۱۰. The improved phytoextraction of lead (Pb) and the growth of maize (*Zea mays L.*): the role of plant growth regulators (GA^۳ and IAA) and EDTA alone and in combinations. Chemosphere, ۸۰: ۴۵۷-۴۶۲.
- Gee G.W. and Bauder J.W. ۱۹۸۶. Particle size analysis. p. ۴۰۴-۴۰۷. In Klute A. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part ۱. ۲nd edition. Agron. Monogr. ۹. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Kabata-Pendias A. ۲۰۰۱. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Karczewska A., Orlow K., Kabala C., Szopka K. and Galka B. ۲۰۱۱. Effects of chelating compounds on mobilization and phytoextraction of copper and lead in contaminated soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, ۴۲: ۱۳۷۹-۱۳۸۹.
- Lasat M. M. ۲۰۰۰. Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/ soil/ metal. Interaction and assessment of pertinent agronomic issues. Journal of Hazardous Substance Research, ۲: ۱-۲۵.
- Lasat M.M. ۲۰۰۲. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. Journal of Environmental Quality, ۳۱: (۱) ۱۰۹-۱۲۰.
- Lindsay W. L. ۱۹۷۹. Chemical Equilibria in Soils. Wiley, New York.
- Lindsay W.L. and Norvell W.A. ۱۹۷۸. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal, ۴۲: ۴۲۱-۴۲۸.
- Loeppert R.H. and Suarez D.L. ۱۹۹۶. Carbonate and gypsum. p ۴۳۷-۴۷۴. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
- Lu L.L., Tian S.K., Yang X., Wang X.C., Brown P. and Li Z. ۲۰۰۸. Enhanced root to shoot translocation of cadmium in the hyperaccumulating ecotype of *Sedum alfredii*. Journal of Experimental Botany, ۵۹: ۱۱. ۳۲۰۳-۳۲۱۳.
- Luo C., Shen Z. and Li X. ۲۰۰۵. Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. Chemosphere, ۵۹: ۱-۱۱.
- McBride M.B. ۱۹۹۴. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York.
- Nelson D.W. and Sommers L.E. ۱۹۹۶. Carbon, organic carbon, and organic matter. p. ۹۶۱-۱۰۱۰. In D.L. Sparks, (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.



چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - شیمی حاصلخیزی و تغذیه گیاه

- Rhoades J.D. ۱۹۹۶. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. p. ۴۱۷-۴۳۵. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
- Sposito G.L., Lund J. and Chang A.C. ۱۹۸۲. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, ۴۶:۲۶۰-۲۶۵.
- Sumner M.E. and Miller P.M. ۱۹۹۶. Cation exchange capacity and exchange coefficient. p. ۱۲۰۱-۱۲۳۰. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
- Sun H., peng L., Miao-Zhen C., Gen Di X.X., Lad-Bin Z. and Ai-Hong J. ۲۰۰۸. Effect of exogenous organic acids on Cr tolerance, uptake and translocation by *Canna indica* L. Journal of Soil and Water Conservation, ۲:۲-۱۷.
- Sun U.B., Zhou Q., An J., Liu W. and Liu R. ۲۰۰۹. Chelator-enhanced phytoextraction of heavy metals from contaminated soil irrigated by industrial wastewater with the hyperaccumulator plant. Geoderma, ۱۵۰:۱۰۶-۱۱۲.
- Tembo B.D., Sichilongo K. and Cernak J. ۲۰۰۶. Distribution of copper, lead, cadmium and zinc concentrations in soils around Kabwe town in Zambia. Chemosphere, ۶۳: ۴۹۷-۵۰۱.
- Thomas G.W. ۱۹۹۶. Soil pH and soil acidity. p. ۴۷۵-۴۹۰. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
- Wu J.S., Hsu F.S. and Cunningham S. ۱۹۹۹. Chelate -assisted Pb phytoextraction: Pb availability, uptake and translocation constrains. Environmental Science Technology, ۳۳: ۱۸۹۸- ۱۹۰۴.
- Zhongqiu Z., Meizhu X., Guangyu J., Xiaona L., Zhongke B. and Yizong H. ۲۰۱۰. Effects of IDSA, EDDS and EDTA on heavy metals accumulation in hydroponically grown maize (*Zea mays* L.). Journal of Hazardous Materials, ۱۸۱:۴۵۵-۴۵۹.

Abstract

Phytoremediation is a potentially cost-effective solution for the remediation of contaminated soils. Increasing the solubilization of the contaminants with limited bioavailability, such as lead (Pb), and facilitating its transport to plant is vital to the success of phytoremediation. In the present study, the capability of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to accumulate Pb was studied in a sandy Pb-contaminated soil. Citric acid was applied to the soil at concentrations levels of ۰, ۰.۵ and ۱ mmol per kg soil. Dry biomass, Pb concentration in plant shoot, and total Pb removal from soil was measured. The research indicated that the accumulation of metal in the shoots of plants can be enhanced through the application of citric acid to the soil, facilitating high biomass accumulation as well as metal uptake.