نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۷۱۷-۷۰۸

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 708-717

بردباری گیاه و جذب فلز روی توسط برخی گیاهان وحشی در یک خاک آلوده به روی

آمنه رشیدشمالی[۱]- حبیب خداوردی‌لو[۲*]- عباس صمدی[۳]

تاریخ دریافت:۹۰/۲/۱۰
تاریخ پذیرش:۹۰/۱۱/۱۰

چکیده

با اینکه برخی فلزهای سنگین مانند روی برای رشد گیاه ضروری هستند، در غلظت‌های بالا اثرات سمّی داشته و منجر به مهار رشد گیاه می‌شوند. در این پژوهش، بردباری و توانایی جذب و اندوزش روی به وسیله برخی گونه‌های گیاهی وحشی منطقه آذربایجان غربی در خاکی با مقادیر افزوده صفر، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۶۰۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک مطالعه شد. بذر گیاهان آفتاب‌پرست (*Heliotropium europaeum*)، سلمه‌تره (*Chenopodium album*)، سلمک (*Atriplex sp.*)، تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus*)، ارزن‌وحشی (*Pennisetum glaucum*)، یونجه-وحشی (*Medicago sativa*) و خرفه (*Portulaca oleracea*) در گلدان‌های حاوی خاک آلوده کشت شدند. در پایان فصل رشد، عملکرد نسبی گیاهان (RY%)، غلظت فلز در شاخساره گیاهان، تغلیظ زیستی فلز در شاخسار گیاهان (BCF_{Zn}) و برداشت کل فلز از خاک به وسیله گیاهان (ME_{Zn}) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش آلودگی روی در خاک، زیست‌توده گیاهان (به استثنای سلمه‌تره و خرفه) به ویژه در غلظت‌های زیادتر آلودگی، کاهش معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) داشت. آفتاب‌پرست تنها با ۱۰ درصد کاهش عملکرد نسبی بردبارترین گیاه به تنش آلودگی روی بود. در مقایسه بین گیاهان مورد مطالعه، تاج‌خروس بالاترین مقدار BCF_{Zn} و ME_{Zn} را در تیمار های شاهد (به ترتیب با مقدار میانگین۱/۰۱ و ۰/۱۴) و ۶۰۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک (به ترتیب با مقدار میانگین ۰/۳۵ و ۳/۴۵) داشت. گیاهان تاج‌خروس، سلمه‌تره و سلمک با داشتن زیست توده نسبتاً بالا (بین ۷۵۰ تا ۹۶۰ گرم ماده خشک در واحد بوته در شرایط طبیعی) و نرخ متوسط جذب روی، می‌توانند در زدودن روی از خاک آلوده موثر باشند.

واژه های کلیدی: فلزهای سنگین، تحمل، اندوزش، گیاهان وحشی، روی

مقدمه

ورود فلزهای سنگین به محیط‌زیست و چرخه‌های غذایی به دلیل سمّیت و اثرات زیانباری که بر سلامتی بشر و زیست جانداران می‌نهد، بسیار مورد توجه است. برخی از فلزهای سنگین مانند روی (Zn) هر چند برای رشد گیاه ضروری هستند (۵)، لیکن در غلظت‌های بالا اثرات سمّی داشته و منجر به مهار رشد می‌شوند. از این رو بررسی توانایی تحمل، جذب و اندوزش فلزهای سنگین به وسیله گونه‌های گیاهی بومی و شناسایی گیاهان سازگار با شرایط هر منطقه که بتوانند مقادیر بالایی از فلزهای را نیز در خود اندوزش دهند، بسیار حائز اهمیت است. روی یکی از عناصر ضروری کم‌مصرف برای رشد گیاه بوده و نقش‌های مهمی در گیاه به عهده دارد. برای نمونه بخشی از ساختمان آنزیم‌ها بوده و یا به صورت کوفاکتورهای تنظیم‌کننده در تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌نماید. مقدار طبیعی روی در خاک‌ها در حدود ۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۳). در منابع مختلف غلظت کل مجاز روی در خاک ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیان شده است (۱۰). مقدار طبیعی روی در بسیاری از محصولات کشاورزی و گیاهان مرتعی در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ میلی-گرم برکیلوگرم وزن خشک می‌باشد (۳۸). با این که روی عنصری حیاتی برای همه جانداران زنده است (۲۰)، حضور مقادیر بیش از۵۰۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک گیاهان می‌تواند برای جاندارانی که از آن تغذیه می‌کنند سمّیت ایجاد کند (۱). هم‌چنین، مقدار بالاتر از ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم موجب ایجاد مسمومیت در گیاهان به ویژه در گونه‌های حساس می‌شود (۳۷). میزان روی در خاک‌های کشور ما بسیار پایین‌تر از حد مطلوب برای رشد گیاه است به طوری که اغلب مصرف کودهای حاوی روی را در زمین‌های زارعی و باغی ایران، توصیه می‌شود (۱). از این رو می‌توان گفت که آلودگی این فلز در خاک‌های ما بیشتر از منابع انسان پدید[۴] می‌باشد.

۱،۲و۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir)

4 - Anthropogenic

از این رو لازم است جهت رفع یا کاهش آثار سوء این آلاینده اقداماتی جدی انجام پذیرد.

یکی از روش‌های کاربردی در این زمینه، استفاده از روش گیاه پالایی[1] است که به دلایلی از جمله کم هزینه بودن، انجام در محل، حفظ و نگهداری کیفیت فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک، رویکرد طبیعی و سازگار با محیط‌زیست به عنوان فرایندی نویدبخش در بازسازی زمین‌های فرسوده و پاکسازی محیط‌های آلوده بسیار مورد توجه قرار گرفته است. گیاه‌پالایی به کاربرد گیاهان به تنهایی و یا به همراه میکروب‌های خاک برای تجزیه، نگهداری و یا تثبیت آلاینده‌های گوناگون موجود در مناطق آلوده اطلاق می‌گردد (۲). در روش گیاه‌پالایی، گزینش گیاه مناسب، اهمیتی ویژه دارد و به وضعیت اقلیمی منطقه و نوع و مقدار آلودگی خاک وابسته است. زیرا گونه‌های گیاهی مختلف توانایی متفاوتی در انباشت فلزهای سنگین دارند. هم‌چنین، توانایی اندوزش فلز در بین واریته‌های مختلف یک گونه نیز متفاوت است. بیشتر گیاهان بیش‌اندوز، بومی مناطقی ویژه (خاک‌های سرشار از فلز) بوده و در صورت انتقال به محیط جدید افزون بر برهم‌زدن اکولوژی نتوانسته‌اند توانایی بیش‌اندوزی خود را حفظ کنند. بر پایه پژوهش‌ها، چنانچه گیاهان بومی موجود در مناطق آلوده برای پاکسازی محیط‌زیست به کار روند، کامیابی فرایند گیاه پالایی افزوده خواهد شد (۱۹). از سوی دیگر، چون آهنگ رشد بیشتر گیاهان بیش‌اندوز کند بوده و زیست‌توده‌ای اندک تولید می‌کنند در فرایند گیاه پالایی چندان کارآمد نیستند. لذا کاربرد گیاهانی با رشد سریع، زیست‌توده بالا و توانایی بالا در اندوزش و انتقال فلزهای سنگین از ریشه به ساقه، بازدهی روش گیاه پالایی را افزایش خواهد داد. از این رو برای گیاه پالایی مناطق آلوده در اقلیم‌های گوناگون بهتر است، گیاهان بومی اندوزشگر آلاینده‌های گوناگون در هر منطقه شناسایی شوند. جامعه‌ی گیاهی ایران در حدود ۸۰۰۰ گونه‌ی گیاهی متعلق به ۱۵۰ خانواده دارد که تقریباً ۲۲ درصد از این گونه‌ها به‌طور اختصاصی بومی این کشور هستند (۱۶). هم‌چنین کشت و برداشت راحت، خوش‌خوراک نبودن گیاه موردنظر در محیط‌های غیرمحصور وسیع، از دیگر عوامل مهم در کامیابی پالایش‌سبز هستند که بایستی مورد توجه قرار گیرند. گاهی گونه‌هایی با توانایی اندوزش کمتر ولی زیست‌توده بیشتر در مقایسه با گونه‌های بیش‌اندوز معروف که عمدتاً بومی یک منطقه بوده ولی زیست‌توده‌ای اندک دارند، کامیابی بیشتری در گیاه پالایی دارند. تعیین توانایی بردباری و اندوزش فلزهای‌سنگین به وسیله گونه‌های گیاهی بومی، احیا اراضی در مناطق آلوده را تسهیل خواهد نمود. از این رو یافتن گیاهانی سازگار با شرایط ویژه هر منطقه که بتوانند مقادیری متوسط یا بالا از فلزهای سنگین را نیز در خود بیاندوزند، می‌تواند افق‌های کاربردی تازه‌ای را در فناوری گیاه پالایی بگشاید. به علاوه کشت گیاهانی که قادرند مقایر بالایی روی را در خود بیاندوزند می‌تواند کمبود روی در زنجیره غذایی را نیز تاحدی جبران نماید. بنابراین با توجه به وجود تنوع زیاد گونه‌های گیاهی وحشی در منطقه آذربایجان غربی، که می‌تواند نویدی بر یافتن گیاهان کاراً برای پالایش‌سبز خاک‌های آلوده باشد، هدف از این پژوهش، بررسی بردباری گیاه و جذب فلز به وسیله برخی گیاهان وحشی منطقه آذربایجان غربی در یک خاک با سطوح مختلف آلودگی روی بود.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و مشخصات اقلیمی منطقه نمونه‌برداری خاک

خاکی از سری نقده در دشت ارومیه، استان آذربایجان‌غربی با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا انتخاب شد و از آن نمونه‌برداری گردید. بر اساس سیستم WRB، خاک مورد استفاده به عنوان Haplic Calcisols طبقه‌بندی شد (۱۱). به استناد آمار ۳۶ ساله اداره کل هواشناسی، میانگین بارندگی سالانه این منطقه برابر با ۳۳۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه برابر با ۱۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نمونه خاک مورد استفاده از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به صورت مرکب، نمونه‌برداری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۲)، اسیدیته‌خاک در عصاره ۱:۱ خاک- آب مقطر توسط دستگاه pH متر (HANNA, HI 9017) (۲۳)، کربن‌آلی به روش والکی و بلک اصلاح شده (۲۶)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با دستگاه EC سنج (Hanna, HI 8819N) (۲۴)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور با دستگاه فلیم‌فتومتری (Corning 400) (۲۸)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۲۶) و مقدار کل عناصر روی، کادمیوم و سرب در خاک به روش اکسایش تر با دستگاه جذب اتمی اسپکتروفتومتری (Shimadzu 6300 AA) (۱۳) تعیین گردید. این خاک دارای کلاس بافتی لوم رسی سیلتی، غیرشور و غیرآهکی با واکنش قلیایی ضعیف بود که مقدار طبیعی روی در آن ۵۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم، و مقدار کادمیوم، سرب، مس و منگنز در این خاک (جدول ۱) طبق استاندارد JRC[2] کمتر از حدود مجاز آن‌ها بود (۱۸).

آلوده کردن خاک به روی

با توجه به غلظت مجاز روی در خاک، سطوح مختلف آلودگی روی شامل غلظت‌های صفر، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۶۰۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک انتخاب شد.

1 - Phytoremediation

2 - Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability Soil and waste Unit (JRC)

جدول۱- رده‌بندی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

رده‌بندی خاک	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	pH	OM (%)	EC (dSm^{-1})	CEC ($cmol_c\ kg^{-1}$)	CCE (%)	Total Metals ($mg\ kg^{-1}$)				
									Zn	Cd	Pb	Cu	Mn
Haplic Calcisols	۲۷	۵۵	۱۸	۷/۵	۲/۲	۱/۴	۲۳/۶۷	۲/۵	۵۸/۲	-$	۱/۰	۷۸/۹	۴۶۵/۴

pH : واکنش اسیدی خاک؛ OM: موادآلی؛ EC: هدایت‌الکتریکی؛ CEC: ظرفیت‌تبادل‌کاتیونی؛ CCE: کربنات‌کلسیم معادل.

$: با استفاده از دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری قابل اندازه‌گیری نبود.

برای آلوده کردن خاک، ابتدا مقدار معادل نمک سولفات‌روی[1] برای ایجاد غلظت‌های یاد شده به حدود یک کیلوگرم از خاک افزوده شد و کاملاً با آن مخلوط گردید تا پیش‌ماده‌ای همگن بدست آید. این پیش‌ماده‌ی آلوده، سپس با جرم مشخصی از توده خاک کاملاً مخلوط شد. خاک آلوده به مدت پنج ماه در معرض تناوب‌های تر و خشک شدن قرار گرفت تا حد امکان واکنش‌های بین آلودگی و خاک به تعادل برسد و شرایط آلودگی به شرایط طبیعی نزدیک‌تر گردد. میانگین pH عصاره گل اشباع برای تیمارهایی با صفر، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۶۰۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک به ترتیب ۷/۵، ۷/۴، ۷/۳ و ۷/۴ بود که این کاهش pH از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نبود. سپس برای هر تیمار جرم معینی از خاک (حدود دو کیلوگرم) توزین و در گلدان‌های دو کیلوگرمی ریخته شد.

کاشت بذرها، آبیاری گیاهان و مراحل داشت

برای اطمینان از سالم بودن بذور، از بین بردن رکود و تسریع مراحل جوانه زنی، ابتدا خواب بذور با روش‌هایی گوناگون از جمله سرمادهی و خراش پوسته بذر، شکسته شد. سپس بذر گیاهان آفتاب-پرست (*Heliotropium europaeum*)، سلمه‌تره (*Chenopodium album*)، سلمک (*Atriplex* sp.)، تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus*)، ارزن‌وحشی (*Pennisetum glaucum*)، یونجه-وحشی (*Medicago sativa*) و خرفه (*Portulaca oleracea*) در داخل پتری دیش تا مرحله جوانه‌زنی رشد داده شدند و پس از آن در فروردین ماه با فواصل منظم در داخل گلدان‌های موردنظر، کشت گردیدند. به منظور جلوگیری از تنش رطوبتی، خاک گلدان‌ها بر اساس محاسبات مربوطه تا رطوبت ظرفیت مزرعه آبیاری گردید و این حالت رطوبتی تا پایان آزمایش حفظ شد. مراحل ابتدایی چرخه رشد گیاهان در گلخانه سپری شد و بعد از چهار برگه شدن به علت مساعد بودن شرایط محیطی، گلدان‌ها به فضای باز منتقل شدند. در طول این مدت نیز رطوبت ظرفیت مزرعه برای گیاهان موردنظر تامین گردید و نیز به منظور جلوگیری از تنش تغذیه‌ای، عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، به وسیله محلول غذایی پایه (۱۵) بدون عنصر روی (شامل ۶۲/۰۱ گرم $MgSO_4.7H_2O$، ۱۱۹/۰۲ گرم $Ca(NO_3)_2.4H_2O$، ۵۷/۶۹ گرم $K_2HPO_4.3H_2O$، ۶۲/۲۵۰ گرم Fe-EDTA، ۰/۵۶ گرم $MnSO_4.4H_2O$، ۰/۷۱۶ گرم H_3BO_3، ۰/۰۴۶ گرم $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$، ۰/۰۹۹ گرم $CuSO_4.5H_2O$ در یک لیتر) و پس از رقیق‌سازی با نسبت حجمی دو (محلول غذایی) در هزار (آب مقطر) به فواصل زمانی ۴۸ تا ۷۲ ساعت و به مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان تا پایان مراحل رشد تامین گردید.

برداشت گیاهان، آماده سازی و تجزیه نمونه‌های گیاهی

گیاهان تا مرحله گلدهی در داخل گلدان‌ها نگهداری شدند و پس از طی این مرحله اندام‌های هوایی گیاهان تا قسمت یقه، برداشت شدند. نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه انتقال داده شد و پس از شستشو با آب مقطر، وزن تر گیاهان اندازه‌گیری و ثبت گردید. سپس نمونه-های گیاهی در داخل پاکت‌های کاغذی، در داخل دستگاه آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. نمونه-های خشک شده به وسیله آسیاب برقی آسیاب شدند. نمونه‌های آسیاب شده تا زمان عصاره‌گیری در داخل ظروف پلاستیکی– که قبلا با اسید کلریدریک رقیق شسته شده بودند– نگهداری گردیدند. برای عصاره‌گیری غلظت کل روی گیاه از روش اکسایشِ تر (مخلوطی از اسیدنیتریک، اسیدپرکلریک و اسیدسولفوریک با نسبت حجمی ۴۰، ۴ و ۱) استفاده شد (۱۳). غلظت روی در عصاره‌ها با دستگاه جذب اتمی اسپکتروفتومتری (Shimadzu 6300AA) اندازه-گیری شد.

محاسبه شاخص‌های بردباری گیاه و جذب و اندوزش فلز به وسیله گیاهان

عملکرد نسبی

برای ارزیابی بردباری گیاهان به تنش آلودگی روی در خاک از شاخص عملکرد نسبی (معادله ۱) استفاده شد:

$$RY = (Y_C / Y_0) \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن Y_C عملکرد گیاه در سطوح آلودگی C و Y_0 عملکرد گیاه در تیمار شاهد (خاکی با غلظت طبیعی روی بدون افزودن آلاینده روی) می‌باشد. گیاهانی که نرخ کاهش عملکرد آن‌ها با افزایش غلظت آلودگی در خاک کمتر بود، به عنوان گیاهان بردبارتر محسوب

1 - $Zn(SO_4).6H_2O$

شدند (۴۰).

فاکتور تغلیظزیستی (BCF)[1]

توانایی گیاهان برای جذب عناصر شیمیایی از محیط رشدشان از طریق فاکتور تغلیظزیستی (BCF) (۳۵) یا ضریب جذب زیستی (BAC)[2] (۱۷) ارزیابی شد:

$$BCF = \text{(کل غلظت فلز در خاک)} / \text{(غلظت فلز در گیاه)} \quad (۲)$$

در محاسبه BCF برای غلظت فلز در خاک، مجموع غلظت اولیه روی در خاک و غلظت افزوده شده روی به خاک، در نظر گرفته شد. گزارش‌ها نشان داده که برای استخراج‌سبز[3]، BCF بسیار با اهمیت‌تر از غلظت فلز در شاخساره گیاه است (۴۱). هر چه BCF بزرگ‌تر از یک باشد به معنای تجمع جرم بیشتری از آلودگی خاک در هر واحد جرم گیاه است.

مقدار برداشت فلز به وسیله گیاهان (ME)[4]

برای ارزیابی توانایی گیاهان در گیاه پالایی سطوح مختلف آلودگی روی، مقدار فلز استخراج شده به وسیله گیاهان در هر سطح از آلودگی به روش زیر محاسبه گردید:

$$ME = [\text{عملکرد گیاه (kg / بوته)} \times \text{تعداد بوته (بوته / pot)}] / [\text{غلظت فلز غلظت فلز استخراج شده توسط گیاه (mg/kg)} \times \text{وزن خاک (kg/pot)}]$$

که در آن ME مقدار روی برداشت شده از هر کیلوگرم خاک در طی یک دوره کشت هر گیاه است.

تجزیه های آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار برای هر گیاه انجام گرفت. تجزیه داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای CoStat (نسخه ۶/۴) و MSTAT-C (نسخه ۲/۱۰) انجام گرفت. برای رسم نمودارها و جداول نیز از نرم افزارEXCEL استفاده شد. معنی‌داری داده‌ها به وسیله آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (*LSD*) در سطح احتمال $P \leq ۰/۰۵$ ارزیابی گردید.

نتایج و بحث

ارزیابی بردباری گیاهان به تنش آلودگی روی در خاک

با افزایش غلظت آلودگی روی در خاک (از صفر تا ۶۰۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک)، درصد عملکرد نسبی (RY%) در همه گیاهان (به استثنای سلمه‌تره و خرفه) نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) داشت. اما این کاهش در گیاهان سلمه‌تره و خرفه از نظر آماری معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۵$) نبود (جدول ۲). در بین گیاهان مورد مطالعه آفتاب‌پرست، بیشترین عملکردنسبی را در همه سطوح آلودگی روی تولید کرد. به طوری که در سطوح بالای آلودگی (۶۰۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک) تنها ۱۰ درصد کاهش عملکرد داشت. لذا در مقایسه با دیگر گیاهان مورد مطالعه در این پژوهش، آفتاب‌پرست بردبارترین گیاه به سمّیت روی بود. هم‌چنین در تیمارهای Zn_{1000} و Zn_{3000} گیاه ارزن‌وحشی (به ترتیب با ۳۰ و ۵۰ درصد کاهش عملکرد) و در تیمار Zn_{6000} گیاه تاج‌خروس (با ۳۰ درصد کاهش عملکرد) کمترین عملکردنسبی را داشتند. از این رو گیاهان حساس‌تری در سطوح موردنظر پنداشته شدند. گیاهان ارزن‌وحشی، خرفه و یونجه‌وحشی، نسبت به سطوح بالای آلودگی بردبار نبوده و پس از مدتی از بین رفتند. در گیاه ارزن‌وحشی علایم سمّیت به صورت کاهش رشد بوته، زردبرگی[5] و در برخی موراد بافت مردگی[6] بود که در غلظت‌های بالای آلودگی، گیاه در نهایت در تیمار Zn_{6000} از بین رفت. علایم سمّیت در خرفه به صورت کاهش عملکرد و کلروز بود. اما در گیاهان آفتاب‌پرست، سلمه‌تره، سلمک و تاج‌خروس علایم سمّیت تنها به صورت کاهش رشد بوته ظهور نمود و هیچ علایمی از زردبرگی و بافت مردگی در این گیاهان مشاهده نشد. در همه گیاهان (به استثنای آفتاب‌پرست) بیشترین عملکردنسبی در تیمار شاهد و کمترین عملکردنسبی در حداکثر سطح آلودگی که گیاه در آن از بین نرفته بود (ارزن‌وحشی، خرفه و یونجه‌وحشی در تیمار Zn_{3000}؛ آفتاب‌پرست، سلمه‌تره، سلمک، تاج‌خروس در تیمار Zn_{6000}) مشاهده شد.

کاهش عملکردنسبی در غلظت‌های زیاد آلودگی را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که معمولاً تجمع زیاد برخی از فلزهای سنگین در پیکره گیاه حتی اگر برای رشد گیاهان ضروری نیز باشند، ایجاد سمّیت می‌نماید. سمّیت روی در گیاهان در ابتدا با ممانعت از رشد و کاهش زیست‌توده (۳۱، ۳۳ و ۳۴) حاصله نمایان می‌شود، اما در سمّیت شدید برای گیاهان کشنده است (۴). به نظر می‌رسد که علائم سمّیت بواسطه گستره‌ای از روابط متقابل در سطح سلولی- ملکولی باشد (۳۶). به طور کلی اثرات سمّی فلزهای‌سنگین بر گیاهان می‌تواند ناشی از پیوند برخی از کاتیون‌های فلزهای سنگین مانند سرب، نقره و روی با گروه‌های سولفیدریل پروتئین‌ها باشد که در نتیجه ساختار آن‌ها را تخریب و عمل آن‌ها را مختل می‌نمایند (۳). محدوده سمّیت فلز به گونه و ژنوتیپ گیاهی و هم‌چنین مرحله رشد بستگی دارد (۱۷).

1 - Bioconcentration factor (BCF)
2 - Biological Absorption Cofficient (BAC)
3 - Phytoextraction
4 - Metal Extraction
5 - Chlorosis
6 - Necrosis

با این حال عملکرد نسبی در تیمار Zn_{1000} در گیاه آفتاب‌پرست (با مقدار میانگین ۱۰۴/۸۴ درصد) نسبت به شاهد افزایش اندکی نشان داد که این اختلاف معنی‌دار از نظر آماری ($P \leq ۰/۰۵$) نبود.

غلظت روی در شاخساره گیاهان در سطوح مختلف آلودگی روی در خاک

گیاهان از نظر غلظت فلز در شاخساره خود در سطوح مختلف آلودگی روی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) داشتند (جدول ۲). در تیمار شاهد (خاکی با غلظت طبیعی روی) غلظت روی در واحد وزن خشک شاخساره گیاهان سلمه‌تره، سلمک و تاج‌خروس تقریباً مشابه و در حدود ۵۰ تا ۶۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم وزن خشک شاخساره بود. امّا گیاهان آفتاب‌پرست، ارزن‌وحشی، خرفه، یونجه-وحشی و توت‌روباه در همین شرایط غلظت‌های کمی روی (بین ۲۰ تا ۴۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم وزن خشک شاخساره) در واحد وزن خشک شاخساره خود داشتند. در تیمار Zn_{1000} غلظت روی در واحد وزن خشک شاخساره گیاهان سلمه‌تره، سلمک (بین ۷۶۰ تا ۸۳۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم وزن خشک شاخساره) بود. در حالی که گیاه تاج‌خروس غلظت‌های کمتری روی (در حدود ۶۰۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم وزن خشک شاخساره خود) در واحد وزن خشک شاخساره خود داشت. هم‌چنین در این شرایط غلظت روی در واحد وزن خشک شاخساره گیاهان آفتاب‌پرست، ارزن‌وحشی، خرفه، یونجه-وحشی و توت‌روباه بسیار کمتر (بین ۲۱۰ تا ۵۵۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم وزن خشک شاخساره) بود. در تیمار Zn_{3000} غلظت روی در واحد وزن خشک شاخساره گیاهان سلمه‌تره، سلمک، ارزن‌وحشی و تاج‌خروس مشابه (درحدود ۱۰۰۰ تا ۱۱۲۰میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم وزن خشک شاخساره) بود. امّا گیاهان آفتاب‌پرست، خرفه و یونجه‌وحشی غلظت‌های بسیار پایین‌تری روی (بین ۳۹۰ تا ۷۲۵ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم وزن خشک شاخساره) در واحد وزن خشک شاخساره خود داشتند. در تیمار Zn_{6000} گیاه تاج‌خروس غلظت‌های بسیار بالاتری روی (با مقدار میانگین ۲۱۲۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم وزن خشک شاخساره) در واحد وزن خشک شاخساره خود داشت. در حالی که گیاهان آفتاب‌پرست، سلمه‌تره و سلمک غلظت‌های به مراتب کمتری روی (حدود ۸۵۰ تا ۱۶۵۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم وزن خشک شاخساره) در واحد وزن خشک شاخساره خود داشتند.

مقادیر آستانه بیش‌اندوزی برای روی ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کادمیوم ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و سرب ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۶). پتانسیل کارآمدی گونه‌های گیاهی برای استخراج‌سبز تنها به غلظت فلز در بافت‌های گیاهی بستگی ندارد بلکه به تولید زیست‌توده شاخسار نیز وابسته است (۳۲). بررسی-ها نشان داده با این که گیاهان بیش‌اندوز قادرند مقادیر زیادی از فلز را در خود تغلیظ نمایند اما به دلیل رشد کند و تولید زیست‌توده پایین برای فرایند پالایش از نظر کاربردی چندان مناسب نیستند اما در مقایسه، گیاهان با جذب کم و تولید زیست‌توده بالا می‌توانند در فرایند پالایش کامیاب‌تر باشند (۹ و ۲۹). نتایج این پژوهش نشان داد گیاهان مورد مطالعه نتوانستند غلظت‌های بالایی بیش‌اندوزی فلز روی را بدون کاهش عملکرد در شاخسارهای خود، تغلیظ نمایند. با این حال توانستند غلظت‌های متوسطی روی را در زیست توده خود بیاندوزند. از آن‌جا که گیاهان مورد مطالعه در شرایط گلخانه‌ای پرورش یافتند، (به دلایل فیزیولوژیکی) نتوانستند زیست‌توده‌ای مشابه با شرایط طبیعی تولید کنند ولی کشت گیاهان سلمه‌تره، سلمک و تاج‌خروس در شرایط طبیعی نشان داده که این گیاهان قادرند زیست-توده بالایی تولید نمایند که این زیست‌توده بالا غلظت‌های پایین جذب فلز را جبران خواهد نمود از این رو احتمال می‌رود کشت این گیاهان در شرایط طبیعی بتواند در زدودن روی از خاک کارآمد باشد.

تغلیظ‌زیستی(BCF) روی از خاک به وسیله گیاهان مورد پژوهش

با افزایش سطوح آلودگی روی در خاک، تغلیظ‌زیستی روی در شاخساره همه گیاهان مورد مطالعه، کاهش معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) داشت (جدول ۲). در بین گیاهان مورد مطالعه، در تیمار شاهد (Zn_0) به ترتیب تاج‌خروس بیشترین (با مقدار میانگین ۱/۰۱) و آفتاب‌پرست کمترین (با مقدار میانگین ۰/۳۵)؛ در تیمار Zn_{1000} سلمک (با مقدار میانگین ۰/۷۹) بیشترین و ارزن‌وحشی (با مقدار میانگین ۰/۲۰) کمترین؛ در تیمار Zn_{3000} ارزن‌وحشی (با مقدار میانگین ۰/۳۷) بیشترین و خرفه (با مقدار میانگین ۰/۱۳) کمترین و در تیمار Zn_{6000} به ترتیب تاج‌خروس بیشترین (با مقدار میانگین ۰/۳۵) و آفتاب‌پرست کمترین (۰/۱۴) مقدار BCF را داشتند. به طور کلی در مقایسه بین گیاهان مورد مطالعه، بیشترین تغلیظ‌زیستی روی در تیمار شاهد تاج-خروس (با مقدار میانگین ۱/۰۱) و کمترین تغلیظ زیستی روی در تیمار Zn_{3000} به وسیله گیاه خرفه (با مقدار میانگین ۰/۱۳) صورت گرفت. بر اساس تقسیم بندی بینی و همکاران (۸) همه گیاهان مورد مطالعه (به استثنای تاج‌خروس) در سطوح مختلف آلودگی روی، می‌توانند در گروه گیاهان با اندوزش متوسط[1] روی قرار گیرند. گیاه تاج‌خروس (در تیمار شاهد) تغلیظ‌زیستی بالاتر از یک داشت لذا از گیاهانی با توانایی اندوزش بالای[2] روی به شمار می‌رود. افزایش BCF بیانگر توانایی بالاتر گیاه در پالایش عنصر مورد نظر می‌باشد. از آن‌جا که تاج‌خروس بیشترین مقدار BCF را (در تیمارهای Zn_0 و Zn_{6000}) داشت. لذا می‌تواند در واحد جرم گیاه تجمع بیشتری داشته

1 - Moderately Accumulator
2 - High Accumulator

باشد.

مقدار کل برداشت فلز روی از خاک بـه وسـیله گیاهـان مـورد مطالعه

با افزایش غلظت روی در خاک، مقدار کـل روی (ME) در همـه گیاهان مورد مطالعه (به استثنای خرفه که با افزایش سـطوح آلـودگی روی مقدار ME در آن کاهش معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) داشت) افزایش معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) داشت (جدول ۲). به طـوری کـه در مقایـسه بین گیاهان در سطوح مختلف روی در خاک، بیشترین مقدار برداشـت کل فلز روی در تیمار Zn_{6000} در گیاه تاج‌خروس (بـا مقـدار میـانگین ۳/۴۵ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک) صورت گرفت.

جدول ۲- مقدار (انحراف معیار ± میانگین) صفات مورد مطالعه در گیاهان مورد پژوهش در سطوح مختلف روی در خاک ($P \leq ۰/۰۵$ - *LSD*)

نام گیاه	غلظت روی افزوده شده به خاک ($mg\ kg^{-1}$)	صفات مورد مطالعه روی در ماده خشک گیاهان			
		RY%	Conc.	BCF	ME
آفتاب پرست	Zn_0 ◘	۱۰۰±۷/۶۵ AB♣, a♣	۲۰/۳۷ ± ۱/۷۲ D, f	۰/۳۵±۰/۰۳A, f	۰/۰۲±۰/۰۰۲ D, e
	Zn_{1000}	۱۰۴/۸۴±۱/۶۱ A, a	۲۲۴/۱۹ ± ۱۰/۳۱ C, d	۰/۲۱±۰/۰۱ B, d	۰/۲۱±۰/۰۱ C, e
	Zn_{3000}	۹۵/۸۹±۱/۷۳ BC, a	۴۱۳/۱۷ ± ۳۲/۲۲ B, c	۰/۱۴±۰/۰۱ C, c	۰/۳۵±۰/۰۲ B, c
	Zn_{6000}	۹۱/۴۹±۳/۰۹ C, a	۸۴۹/۸۳ ± ۵۰/۸۵ A, d	۰/۱۴±۰/۰۱C, d	۰/۶۹±۰/۰۳ A, d
سلمه‌تره	Zn_0	۱۰۰±۳۳/۴۷ A, a	۵۱/۵۱ ± ۶/۶۹ D, b	۰/۸۹±۰/۱۱ A, b	۰/۰۷±۰/۰۱ C, c
	Zn_{1000}	۹۷/۴۷± ۶/۳۷ A, a	۷۶۰/۰۵± ۸۷/۹۵ C, a	۰/۷۲±۰/۰۸ B, a	۱/۰۰±۰/۱۳ B, b
	Zn_{3000}	۸۹/۳۶±۲/۱۷ A, b	۱۰۲۶/۰۸ ± ۶۹/۶۱ B, a	۰/۳۴±۰/۰۲ C, a	۱/۲۱±۰/۰۴ B, b
	Zn_{6000}	۸۰/۰۹±۶/۷۰ A, b	۱۶۴۳/۶۳ ± ۷۸/۲۵ A, b	۰/۲۷±۰/۰۱ C, b	۱/۷۸ ±۰/۲۳ A, b
سلمک	Zn_0	۱۰۰±۷/۶۲ A, a	۴۵/۳۳ ± ۲/۱۳ D, bc	۰/۷۸± ۰/۰۴ A, bc	۰/۰۵±۰/۰۰۱ C, d
	Zn_{1000}	۹۰/۷۱±۳/۸۳ A, ab	۸۳۱/۱۷ ± ۲۳/۴۶ C, a	۰/۷۹±۰/۰۲ A, a	۰/۷۶±۰/۰۴ B, c
	Zn_{3000}	۷۹/۶۴±۳/۳۸ B, c	۱۰۸۱ ± ۳۸/۱۳ B, a	۰/۳۵±۰/۰۱ B, a	۰/۹۳±۰/۱۳ A, b
	Zn_{6000}	۷۶/۹۴±۵/۱۱ B, bc	۱۳۱۷/۳۳ ±۲۰/۳۶ A, c	۰/۲۲±۰/۰۰۲ C, c	۱/۰۲±۰/۰۸ A, c
تاج خروس	Zn_0	۱۰۰±۶/۵۸ A, a	۵۸/۷۹ ± ۴/۴۴ D, a	۱/۰۱±۰/۰۸ A, a	۰/۱۴±۰/۰۲ D, a
	Zn_{1000}	۸۹/۴۶±۱/۰۸ B, ab	۶۰۸/۴۲± ۴۴/۰۲ C, b	۰/۵۷±۰/۰۲ B, b	۱/۲۸±۰/۱۱ C, a
	Zn_{3000}	۷۲/۳۳±۲/۳۰ C, d	۱۱۰۱/۷۹ ± ۵۰/۶۳ B, a	۰/۳۶±۰/۰۲ C, a	۱/۸۷±۰/۱۴ B, a
	Zn_{6000}	۶۹/۴۵±۲/۵۵ C, c	۲۱۲۳/۰۰ ± ۵۳/۷۳A, a	۰/۳۵±۰/۰۲ C, a	۳/۴۵±۰/۰۶ A. a
ارزن وحشی	Zn_0	۱۰۰±۱۶/۱۵ A, a	۳۲/۹۸ ± ۳/۳۱ C, e	۰/۵۷±۰/۰۶ A, e	۰/۰۹±۰/۰۲ BC, b
	Zn_{1000}	۷۳/۶۸±۲۰/۳۵ B, b	۲۱۳/۲۸ ±۱۹/۸۴ B, d	۰/۲۰±۰/۰۲ C, d	۰/۴۴±۰/۱۴ B, d
	Zn_{3000}	۵۵/۳۵±۴/۰۷ B, e	۱۱۲۳/۳۳ ± ۷۶/۳۴ A, a	۰/۳۷±۰/۰۲ B, a	۱/۸۴±۰/۳۸ A, a
	Zn_{6000}	▲–	–	–	–
خرفه	Zn_0	۱۰۰±۱۹/۸۰A, a	۳۶/۴۴ ± ۵/۲۲ B, de	۰/۶۳±۰/۰۹ A, de	۰/۰۵±۰/۰۱ C, cd
	Zn_{1000}	۹۸/۳۶±۱۱/۵۷ A, b	۴۷۴/۶۰ ± ۵۹/۱۶ A, c	۰/۴۵±۰/۰۶ B, c	۰/۶۳±۰/۱۱ A, c
	Zn_{3000}	۸۶/۲۳±۱/۵۷ A, b	۳۹۱/۹۸ ± ۹۳/۰۶ A, c	۰/۱۳±۰/۰۳ C, c	۰/۴۵±۰/۱۲ B, c
	Zn_{6000}	-	–	–	–
یونجه‌وحشی	Zn_0	۱۰۰±۶/۷۳ A, a	۴۲/۵۵ ± ۲/۱۹ C, cd	۰/۷۳±۰/۰۴ A, cd	۰/۰۴±۰/۰۰۲ B, de
	Zn_{1000}	۸۹/۷۷± ۸/۶۴ A, ab	۵۴۱/۶۳ ± ۵۹/۱۸ B, bc	۰/۵۱±۰/۰۶ B, bc	۰/۴۰±۰/۰۵ A, d
	Zn_{3000}	۶۸/۷۴±۱/۲۶ B, d	۷۲۵/۷۱ ± ۶۷/۹۰ A, b	۰/۲۴±۰/۰۲ C, b	۰/۴۲±۰/۰۵ A, c
	Zn_{6000}	-	–	–	–

▲ گیاه در اثر سمّیت روی از بین رفت.

◘ **Zn_0، Zn_{1000}، Zn_{3000}** و **Zn_{6000}**: به ترتیب تیمارهایی با افزودن صفر، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۶۰۰۰ میلی‌گرم روی به کیلوگرم خاک.

RY%: درصد عملکردنسبی گیاه (معادله ۱) ؛**Conc.**: غلظت روی در گیاه ($mg_{Zn}\ kg^{-1}$ plant DM)؛ **BCF**: تغلیظ‌زیستی روی (معادله ۲)؛ **ME**: مقـدار کـل روی برداشـت شده به وسیله گیاه در طی یک دوره کشت ($mg_{Zn}\ kg_{soil}^{-1}$) (معادله ۳).

♣ حروف غیرمشترک اول و دوم در هر ستون به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۵$) هر ویژگی در مقادیر مختلف روی افزوده شده به خاک با تیمار شاهد و اختلاف معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۵$) در بین گیاهان در سطح مشخصی از روی افزوده شده به خاک است.

در همه گیاهان مورد مطالعه (به استثنای خرفه) کمترین مقدار ME در تیمار شاهد و بیشترین برداشت مقدار ME در حداکثر سطح آلودگی که گیاه در آن از بین نرفته بود (ارزن‌وحشی و یونجه‌وحشی در تیمار Zn_{3000}؛ آفتاب‌پرست، سلمه‌تره، سلمک، تاج‌خروس در تیمار Zn_{6000}) مشاهده شد. در گیاه خرفه بیشترین برداشت فلز روی در تیمار Zn_{1000} بود. در مقایسه کلی بین گیاهان مورد مطالعه، مقدار ME در همه تیمارها، کمتر از ۳/۴۵ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک بود. هم‌چنین، گیاه تاج‌خروس بیشترین مقدار ME را در همه تیمارهای روی داشت لذا می‌تواند به عنوان کارآمدترین گیاه در برداشت روی از خاک دربین گیاهان مورد مطالعه باشد. توانایی قابل توجه خانواده Amaranthaceae در تغلیظ و اندوزش بسیاری از فلزهای سنگین به وسیله تعدادی از پژوهشگران تایید شده است (۲۱ و ۲۵).

گیاه آفتاب‌پرست با این که در برابر غلظت‌های سمّی روی در خاک بردبار بود، مقدار ME در آن نسبت به سایر گیاهان موردمطالعه پایین‌تر بود. لذا احتمال دارد روی در بخش‌های پایینی گیاه تجمع یافته و به قسمت‌های بالایی انتقال نیافته باشد که در این صورت می‌تواند در فرایند تثبیت سبز (۷) کامیاب باشد. اما از آن جا که غلظت فلز در ریشه گیاه اندازه گیری نشد نمی‌توان با اطمینان در این مورد تصمیم‌گیری کرد. هم‌چنین احتمال آن می‌رود که آفتاب‌پرست با استفاده از راهبرد اجتناب[1] (۳۹) از ورود، جذب و یا انتقال مقادیر اضافی فلز به بخش‌های بالایی خود جلوگیری کند (۲۲ و ۲۷). سایر گیاهان مورد مطالعه احتمالاً با استفاده از راهکاردهای اندوزشی غلظت‌های بالا و سمّی روی را تحمل می‌کنند. این راهکاردها شامل کلاته شدن[2]، حجره‌بندی[3]، تبدیلات شیمیایی[4] و مکانیسم‌های ترمیم سلولی[5] است (۱۴ و ۳۰). متشرع‌زاده و همکاران (۲۵) گزارش دادند که گیاه تاج‌خروس به علت مقاومت به شرایط آب و هوایی و هم‌چنین توانایی تغلیظ و انتقال فلز از ریشه به شاخسار از طریق راهبرد استخراج‌سبز، می‌تواند به عنوان پتانسیلی کارآمد در زدودن آلاینده‌ها و احیا اراضی مورد توجه قرار گیرد. اما به دلیل خوش‌خوراک نبودن گونه‌های تاج‌خروس برای دام، خطر انتقال فلزهای سنگین به چرخه‌های زنجیره‌غذایی کاهش می‌یابد.

نتیجه گیری

به طور کلی در سطوح مختلف آلودگی روی گیاه تاج‌خروس بیشترین زیست‌توده (حدود دو برابر گیاهان آفتاب‌پرست، ارزن‌وحشی، خرفه، یونجه‌وحشی، توت‌روباه و تقریبا مشابه سلمه‌تره و سلمک) را تولید کرد. هرچند آفتاب‌پرست بردبارترین گیاه به غلظت‌های سمّی روی بود، اما کارایی کمتری برای جذب، اندوزش و تغلیظ روی در شاخسارهای گیاهی از خود نشان داد. در شرایط طبیعی خاک گیاهان سلمه‌تره، سلمک و تاج‌خروس توانایی بالایی در انباشت روی در زیست توده خود، داشتند لذا کشت این گیاهان در مناطقی که با کمبود روی مواجه هستند و مصرف احتمالی آن‌ها به وسیله دام تا حدی می‌تواند کمبود روی در زنجیره غذایی را جبران نماید. گیاه تاج-خروس بالاترین مقدار BCF_{Zn0} و ME_{Zn0} را در تیمارهای شاهد (به ترتیب با مقدار میانگین ۱/۰۱ در BCF_{Zn0} و ۰/۱۴ در ME_{Zn6000}) و ۶۰۰۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک (به ترتیب با مقدار میانگین ۰/۳۵ BCF_{Zn6000} و ۳/۴۵ ME_{Zn6000}) داشت. هم‌چنین کشت گیاهان تاج‌خروس، سلمه‌تره و سلمک در شرایط طبیعی به علت تولید زیست‌توده بالا (بین ۷۵۰ تا ۹۶۰ گرم ماده خشک در واحد بوته) و جذب متوسط احتمالاً می‌تواند در زدودن روی از خاک موثر باشند. هم‌چنین به دلیل خوش‌خوراک نبودن گونه‌های تاج‌خروس برای دام، خطر انتقال فلزهای سنگین به چرخه‌های زنجیره‌غذایی کاهش می-یابد.

منابع

۱- ملکوتی م.ج. و همایی م. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک های مناطق خشک و نیمه خشک با بازنگری کامل. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس- تهران. ایران.

۲- خداوردی‌لو ح. و همایی م. ۱۳۸۶. مدل‌سازی پالایش‌سبز خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱ (۴۲ب): ۴۲۶-۴۱۷.

3- Alloway B. 1995. Heavy metals in soils, Edmundsbury press, Lodon, p: 368.

1 - Exclude
2 - Chelation
3 - Compartmentalization
4 - Biotransformation
5 - Cellular repair mechanisms

4- Ambler J.E., Brown J.C., and Gauch H.G. 1970. Effect of zinc on translocation iron in soybean plants, Plants Physiol, 45: 320-323.

5- Atici O., Agar G., and Battal P. 2005. Changes in phytohormone contents in chickpea seeds geminating under lead or zinc stress, Biologia plantarum, 49 (2): 215-222.

6- Baker A.J.M., and Brooks R.R. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements –A review of their distribution, ecology, and phytochemistry, Biorecovery, 1: 81-126.

7- Berti W.R., and Cunningham S.D. 2000. Phytostabilization of metals. pp: 71-88. In: Phytoremediation of toxic metals - using plants to clean-up the environment. (Raskin, I., Ensley, B.D. ed.). John Wiley & Sons. Inc., New York.

8- Bini C., Gentili L., Maleci-Bini L., and Vaselli O. 1995. Trace elements in plants and soils of urban parks. Annexed to contaminated soil prost. INRA. Paris.

9- Blaylock M.J., and Huang J.W. 2000. Phytoextraction of metals. pp: 53-69. In: phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment. (Raskin, I., Ensley, B.D. eds.), John Wiley & Sons. Inc., New York.

10- Cariny T. 1995. The reuse of contaminated land, John Wiley & Sons Ltd, Publisher, p: 219.

11- FAO/ISRIC/ISSS. 2006. World Reference Base (WRB) for soil resources, World Soil Resources Report, No. 103. (FAO: Rome).

12- Gee G.H., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. 9: 383-41. In: klute, A. (ed), Methods of soil Analysis. Physical Properties. SSSA, Madison, WI.

13- Gupta P.K. 2000. Soil, plant, water and fertilizer analysis, Agrobios, New Delhi, India. p: 438.

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- Hewitt E.J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Agric Bur Technical Communication 2nd Edition. No. 22.

16- Jalili A., and Jamzad Z. 1999. Red Data Book of Iran, RIFR, Tehran, Iran.

17- Kabata-Pendias A., and Pendias H. 2001. Trace elements in soils and plants, 3rd (ed), CRC Press, Boca Raton, USA, p: 145.

18- Lindsay W.L. 1979. Chemical equilibria in soils, John Wiley and Sons, New York.

19- Lu L.L., Tian S.K., Yang X., Wang X. C., Brown P., and li Z. 2008. Enhanced root to shoot translocation of cadmium in the hyperaccumulating ecotype of Sedum alfredii, J. Exp. Bot, 59(11): 3203–3213.

20- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, UK, p: 889.

21- Mathe-Gaspar G., and Anton A. 2005. Phytoremediation study: factors influencing heavy metal uptake of plants, Proceeding of the 8th Hungarian congress on plant physiology and the 6th Hungarian congress on photosynthesis, Acta Biologica Szegediensis, 49(1-2): 69-70.

22- McGrath S.P., Zhao F.J., and Lombi E. 2001. Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils, Plant Soil, 232: 207–214.

23- McLean E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. pp:199-224. In: Page, A.L. (ed): Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiologilcal properties. Publisher Madison, Wisconsin, USA.

24- Miller J.J., and Curtin D. 2006. Electrical Conductivity and Soluble Ions. pp:161-171. In: Soil sampling and methods of analysis. (Carter M.R. and Gregorich, E.G. Eds.). 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, FL.

25- Moteshare-Zadeh B., Savaghebi-Firozabadi G.R., Mirseyed Hosseini H., and Alikhani H.A. 2010. Study of the Enhanced phytoextraction of cadmium in a calcareous soil, Int. J. Environ. Res, 4(3): 525-532.

26- Nelson R.E., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, Organic Carbon and Organic matter. p: 539-579. In: Page, A.L., et al. (ed). Methods of Soil analysis. Part 2. 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison. WI.

27- Ozturk L., Karanlik S., Ozkutlu F., Cakmak I., and Kochian L.V. 2003. Shoot biomass and zinc/cadmium uptake for hyperaccumulator and non-accumulator Thlaspi species in response to growth on a zinc-deficient calcareous soil. Plant Sci. 164:1095– 101.

28- Rhoados J.D. 1982. Cation exchange capacity. pp: 149-158. In A. L. Page et al. (ed): Methods of soil analysis. Part 2. 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

29- Sahmurova A., Celik M., and Allahverdiyev S. 2010. Determination of the accumulator plants in Kucukcekmece Lake (Istanbul), Afr. J. Biotechnol, pp: 6545-6551.

30- Salt D.E., Smith R.D., and Raskin I. 1998. Phytoremediation, Annu. Rev, Plant Physiol. Plant Mol. Biol, 49: 643–

68.

31- Sharma R.K., Agrawal M., and Marshall F.M. 2007. Heavy metals contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India, Ecotoxicol. Environ. Saf, 66: 258–266.

32- Shen Z.G., Li X.D., Wang C.C., Chen H.M., and Chua H. 2002. Lead phytoextraction from contaminated soil with high-biomass plant species. J. Environ. Qual. 31: 1893–1900.

33- Singh A., Sharma R.K., and Agrawal S.B. 2008. Effects of fly ashincorporation on heavy metal accumulation, growth and yield responses of Beta vulgaris plants. Bioresour, Technol, 99: 7200–7207.

34- Singh R.P., and Agrawal M. 2007. Effect of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants, Chemosphere, 67 (11): 2229–2240.

35- Tanhan P.M.K., Pokethitiyook P., and Chaiyarat R. 2007. Uptake and accumulation of cadmium lead and zinc by Siam weed [*Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson], Chemosphere, 68: 323–329.

36- VanAssche F., Ceulemans R., and Clijsters H. 1990. Zinc mediated effects on leaf CO_2 diffusion conductances and net photosynthesis in Phaseolus vulgaris L. Photosynth. Res, 1: 171–180.

37- Whiting S.N., Souza M.P., and Terry N. 2001. Rhizosphere bacteria mobilize Zn for hyperaccumulation by Thlaspi caerulescens. Environ. Sci Technol. 35: 3144-3150.

38- WHO. 2001. Zinc Environmental Health Criteria. Report of the World Health Organization. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Geneva. p: 221.

39- Yanqun Z., Yuan L., Schvartz C., Langlade L., and Fan L. 2004. Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead–zinc mine area, China. Environ Int. 30: 567– 576.

40- Ye Z.H., Baker A.J.M., Wong M.H., and Wills A.J. 1997. Zinc, Lead and Cadmium Tolerance, Uptake and Accumulation by the Common Reed, Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steudel, Ann Bot, 80: 363-370.

41- Zhao F.J., and McGrath S.P. 2003. Assessing the potential for zinc and cadmium phytoremediation with hyper accumulator Thlaspi careulescenc, Plant Soil, 249: 37-43.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 708-717

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۷۱۷-۷۰۸

Plant Tolerance and Metal Uptake of Some Weed Plants in a Zinc Contaminated Soil

A. Rashid Shomali[1]- H. Khodaverdiloo[2*]- A. Samadi[3]

Received: 30-4-2011
Accepted: 30-1-2012

Abstract

However some of heavy metals such as Zn, are essential for plant growth, their elevated concentrations have toxic effects and may inhibit plant growth. In this study, plant tolerance and Zn uptake and accumulation potential of some weed plant species from Western Azerbaijan region were studied in a soil spiked with 0, 1000, 3000 and 6000 mg_{Zn} kg_{soil}^{-1}. Seed of heliotrope (*Heliotropium europaeum*), Lambsquarter (*Chenopodium album)*, Orach (*Atriplex sp.)*, Amaranth (*Amaranthus retroflexus),* Millet (*Pennisetum glaucum*), Alfalfa (*Medicago sativa*) and purslane (*Portulaca oleracea*) were grown in pots containing the Zn contaminated soil. At the end of growing season, plants relative yield (RY%), plants shoot metal concentration, metal bioconcentration factor *(BCF_{Zn})* and plants metal extraction (ME_{Zn}) from soil were measured. Results showed that with an exception for Lambsquarter and purslane, plants biomass decreased significantly ($P\leq 0.05$) with increasing Zn concentration in soil, especially, in higher soil Zn contaminations. Compared with other plants studied, Amaranth had the highest BCF_{Zn} and ME_{Zn} in blank and 6000 mg_{Zn} kg_{soil}^{-1} treatments. Amaranth, Lambsquarter and Orach with a relatively high biomass (750 to 960g dry matter $bush^{-1}$ in native condithios) and middle rate of Zn uptake might be effective in remediation of Zn from contaminated soils.

Keywords: Heavy metals, Tolerance, Accumulation, Weed plants, Zinc

1,2,3- MSc Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Respectively
(*- Corresponding Author Email: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir)