مجله مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد دوم، شماره اول، ۱۳۹۱
http://ejsms.gau.ac.ir

اندوزش و تحمل آلودگی کادمیومی خاک توسط ارزن وحشی (*Pennisetum glaucum*)، سلمه‌تره (*Chenopodium album*)، خرفه (*Portulaca oleracea*) و خاکشیر (*Descurainia Sophia*)

آمنه رشید شمالی[۱]، *حبیب خداوردی‌لو[۲] و عباس صمدی[۳]
[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، [۲]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه،
[۳]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه
تاریخ دریافت: ۹۰/٤/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۱۸

چکیده

در این مقاله بردباری، پتانسیل جذب و اندوزش کادمیوم توسط جمعیت بومی ارزن وحشی (*Pennisetum glaucum*)، سلمه‌تره (*Chenopodium album*)، خرفه (*Portulaca oleracea*) و خاکشیر (*Descurainia Sophia*) در منطقه آذربایجان‌غربی در یک خاک آلوده شده در شرایط آزمایشگاهی با مقادیر صفر، ۲۰، ٦۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم مطالعه شد. این گیاهان در گلدان‌های شامل خاک آلوده کشت شدند. شاخسار گیاهان در پایان مرحله گل‌دهی برداشت شد. زیست‌توده خشک، غلظت کادمیوم در شاخسار گیاهان و مقدار کل برداشت کادمیوم از خاک در هر یک از گونه‌های گیاهی اندازه‌گیری شد. با افزایش غلظت آلودگی کادمیومی خاک، تولید زی‌توده در گیاهان ارزن وحشی و خرفه به گونه‌ای معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) کاهش یافت. با این‌حال، این کاهش، بر خلاف وجود، در گیاهان سلمه‌تره و خاکشیر از نظر آماری معنی‌دار نبود. در بین گیاهان مورد مطالعه، سلمه‌تره و خاکشیر با ۲۵ درصد کاهش عملکرد نسبی ماده خشک در محدوده غلظت‌های اعمال شده کادمیوم در خاک، بردبارترین گیاهان به تنش آلودگی کادمیومی بودند. گیاهان مورد مطالعه نتوانستند غلظت‌های بالایی از کادمیوم را در خود بیاندوزند، به‌طوری‌که بیشینه غلظت فلز در ارزن وحشی،

* مسئول مکاتبه: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

سلمه‌تره، خاکشیر و خرفه به‌ترتیب حدود ۱۹، ٦، ١٦ و ١٦ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه بود. با این‌حال، کاربرد گیاهان سلمه‌تره و خاکشیر، به‌دلیل تولید زی‌توده به‌نسبت بالا و غلظت متوسط فلز در گیاه، می‌تواند در زدودن سطوح پایین آلودگی کادمیومی خاک نویدبخش باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، پالایش سبز، کادمیوم، گیاهان وحشی

مقدمه

کادمیوم یکی از سمی‌ترین آلاینده‌های موجود در خاک‌های پیرامون مناطق صنعتی و در مناطق کشت شده است که افزون بر فعالیت‌های صنعتی (مانند ریخته‌گری، تصفیه و ذوب فلزات، استخراج معادن، صنایع رنگ و پلاستیک)، با کاربرد غیراصولی کودهای شیمیایی کشاورزی به‌ویژه کودهای فسفره و استفاده از لجن فاضلاب نیز، به محیط زیست و متعاقباً زنجیره غذایی راه می‌یابد (داس و همکاران، ۱۹۹۷؛ سانتیا دی‌تاپی و گابریلی، ۱۹۹۹). کادمیوم به‌دلیل حلالیت بالایی که در آب دارد ممکن است سمیت شدیدی برای گیاهان و حیوانات و یا انسان‌ها ایجاد کند (USEPA[1]، ۲۰۰۰). از این‌رو آژانس‌های بین‌المللی و دولتی در مورد افزایش غلظت کادمیوم در محیط زیست ابراز نگرانی کرده‌اند و غلظت مجاز کادمیوم در خاک را بین ۵-۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیان نموده‌اند (کارینی، ۱۹۹۵).

خاک‌های آلوده به فلزات سنگین کمابیش در هر کشوری یافت می‌شوند. روش‌های زیادی برای پالایش این خاک‌های آلوده وجود دارد اما بیش‌تر این روش‌ها هزینه‌بر بوده و سبب تخریب محیط زیست می‌شوند. پالایش سبز شیوه‌ای زیرکانه است تا گیاهان افزون بر جذب عناصر اساسی مورد نیازشان و یا به‌جای آن‌ها، فلزات سمی را نیز از خاک جذب کرده و در خود بیاندوزند. از این‌رو، پالایش سبز می‌تواند جایگزینی مناسب برای روش‌های انرژی‌خواه و پرهزینه مهندسی باشد. در واقع، گیاهان منبعی ارزان، بی‌توقع و قابل بازیافت در اختیار ما می‌نهند تا بتوانیم تمدن خود را حفظ کرده و رشد دهیم (خداوردی‌لو، ۲۰۰۷). گیاهان بیش‌اندوز[2] بیش‌تر گیاهانی وحشی، کمیاب و بومی مناطقی

1- United States Environmental Protection Agency
2- Hyperaccumulator

www.SID.ir

هستند که در آن‌جا کشف شده‌اند. بیش‌تر این گیاهان را به‌دلیل 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 (لاسات، ۲۰۰۲؛ لو و همکاران، ۲۰۰۸). از این‌رو استفاده از توان گیاهان بومی پالایش آلودگی را آسان خواهد نمود. روش پالایش سبز، یک تکنیک باصرفه اقتصادی، زیست‌محیطی و علمی است که برای کشورهای در حال توسعه بسیار مناسب بوده و روشی ارزشمند محسوب می‌گردد، اما متاسفانه بر خلاف این پتانسیل، هنوز در برخی از کشورها مانند ایران به‌عنوان یک فناوری، استفاده تجاری ندارد. از آن‌جا که تاکنون شمار گیاهان بیش‌اندوز شناسایی شده در ایران بسیار اندک است، جستجو برای یافتن ارقام بومی بیش‌اندوز در ایران، چه برای پالایش منابع خاک و آب و چه به‌منظور حفظ تنوع گونه‌هایی از این نوع، ضروری است. با شناسایی و یا تطبیق انواع گونه‌های بومی بیش‌اندوز و بررسی توانایی جذب آن‌ها در شرایط خاک‌های ایران، شاید بتوان از آن‌ها به‌عنوان یک راه‌حل مؤثر برای زودن آلایندهای فلزی موجود، و یا کاربرد تجاری آن در مناطق آلوده صنعتی و کشاورزی موجود استفاده نمود. برای پالایش سبز در اقلیم‌های متفاوت، به گونه‌های گوناگونی از گیاهان اندوزش‌گر بومی آن اقلیم نیازمندیم. با این‌حال با وجود تنوع بالای گونه‌های گیاهی در منطقه آذربایجان‌غربی، تاکنون مطالعاتی هدفمند برای یافتن گیاهان اندوزش‌گر در این منطقه انجام نشده است. هدف از این پژوهش بررسی کارآیی ٤ گونه گیاهی علفی وحشی (ارزن وحشی (*Pennisetum glaucum*) سلمه‌تره (*Chenopodium album*)، خرفه (*Portulaca oleracea*) و خاکشیر (*Descurainia Sophia*) در تحمل، جذب، اندوزش و پالایش کادمیوم از یک خاک آلوده شده بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی: نمونه مرکب خاک سطحی (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری) از استان آذربایجان‌غربی نمونه‌برداری گردید. براساس سیستم WRB[1]، خاک مورد استفاده به‌عنوان Haplic Calcisols طبقه‌بندی شد (فائو[2]، ۲۰۰٦). بافت خاک به روش هیدرومتری (جی و بادر،

1- World Reference Base (WRB) for Soil Resources
2- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)

Archive of SID

www.SID.ir

۱۹۸٦)، کربنات کلسیم معادل[1] با روش تیتراسیون (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲)، اسیدیته خاک در عصاره ۱:۱ خاک- آب مقطر توسط pH متر (مکلین، ۱۹۸۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی[2] با روش باور (ردوز، ۱۹۸۲)، هدایت الکتریکی[3] در عصاره گل اشباع با دستگاه هدایت‌سنج[4] (میلر و کورتین، ۲۰۰٦)، کربن آلی با روش والکی و بلک[5] اصلاح شده (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲)، مقدار کل عناصر روی، کادمیوم و سرب در خاک به روش اکسیداسیون تر (گاپتا، ۲۰۰۰) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری[6] تعیین گردید (جدول ۱). خاک دارای کلاس بافتی لوم رسی[7]، غیرشور و آهکی با واکنش قلیایی ضعیف بود که مقدار طبیعی کادمیوم در این خاک طبق استاندارد JRC[8] و EC[9] کم‌تر از حدود مجاز آن بود (کارینی، ۱۹۹۵).

جدول ۱- رده‌بندی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

رده‌بندی خاک	Clay (درصد)	Silt (درصد)	Sand (درصد)	pH	CCE (درصد)	CEC ($cmolc\ kg^{-1}$)	EC (dsm^{-1})	OM (درصد)	Total Metals (میلی‌گرم بر کیلوگرم)		
									Zn	Cd	Pb
Haplic Calcisols	۳۱	٤۹	۲۰	۷/۷	۱۸/۸	۲٦/۸۳	۱/۳	۲/۸	۵۵/۸	-▲	۷/۵

OM: مواد آلی؛ EC: هدایت الکتریکی؛ CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی؛ CCE: کربنات کلسیم معادل.

▲: با استفاده از دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری قابل اندازه‌گیری نبود (کم‌تر از ۷۵ میکروگرم بر کیلوگرم).

آلوده کردن خاک: ابتدا مقدار معادل نمک نیترات کادمیوم[10]، به‌حدود ۱ کیلوگرم از خاک افزوده شد و به‌طور کامل با آن مخلوط گردید تا پیش‌ماده‌ای همگن به‌دست آید. این پیش‌ماده آلوده، سپس با جرم مشخصی از توده خاک به‌طور کامل مخلوط گردید تا غلظت‌های ۲۰، ٦۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک ایجاد شود. نیترات افزوده شده به تیمارهای مختلف به همراه نمک نیترات کادمیوم، با

1- Calcium Carbonate Equivalent (CCE)
2- Cation Exchange Capacity (CEC)
3- Electric Conductivity (EC)
4- Hanna, HI 8819N (Set Model)
5- Walkey and Black
6- Shimadzu 6300 AA (Set Model)
7- Clay Loam
8- Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability Soil and waste Unit (JRC)
9- European Commission, DG Environment under Study Contract DG ENV
10- $Cd(NO_3)_2$

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از مقادیر متناسب کود اوره تصحیح شد. براساس یافته‌های خداوردی‌لو و حمزه‌نژاد (۲۰۱۱) و خداوردی‌لو و همکاران (۲۰۱۲)، خاک آلوده به‌مدت ۵ ماه در معرض تناوب‌های تر و خشک شدن قرار گرفت که تا حد امکان واکنش‌های بین آلودگی و خاک تکوین یابد و شرایط آلودگی به شرایط طبیعی نزدیک‌تر شود. همچنین، خاک‌های آلوده پس از تیمار تر و خشک شدن، حدود ۱ سال در حالت هوا خشک باقی مانده بودند.

کاشت، داشت، برداشت، آماده‌سازی، عصاره‌گیری و تجزیه کادمیوم نمونه‌های گیاهی: بذرهای تا حد امکان سالم از گیاهان ارزن وحشی (*Pennisetum glaucum*)، سلمه‌تره (*Chenopodium album*)، خرفه (*Portulaca oleracea*) و خاکشیر (*Descurainia Sophia*) پس از اعمال تیمارهای سرمادهی و خراش پوسته بذر (از بین بردن رکود و تسریع جوانه‌زنی) در داخل پتری‌دیش تا مرحله جوانه‌زنی رشد داده شدند. سپس تعدادی از این بذرها، در فاصله‌های منظم در داخل گلدان‌های شامل خاک آلوده به کادمیوم کشت شدند. برای جلوگیری از تنش رطوبتی، رطوبت خاک در گلدان‌ها با آبیاری کردن منظم تقریباً در حد رطوبت ظرفیت زارعی که از قبل تعیین شده بود، نگه داشته شد. مراحل ابتدایی چرخه رشد گیاهان در داخل گلخانه سپری شد و بعد از ٤ برگه شدن به‌علت مساعد بودن شرایط محیطی، گلدان‌ها به فضای باز منتقل شدند. برای جلوگیری از تنش تغذیه‌ای، عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان توسط محلول غذایی پایه (هیویت، ۱۹٦٦) بدون عنصر روی (شامل ٦۲/۰۱ گرم $MgSO_4.7H_2O$، ۱۱۹/۰۲ گرم $Ca(NO_3)_2.4H_2O$، ۵۷/٦۹ گرم $K_2HPO_4.3H_2O$، ٦۲/۲۵۰ گرم Fe-EDTA، ۰/۵٦ گرم $MnSO_4.4H_2O$، ۰/۷۱٦ گرم H_3BO_3، ۰/۰٤٦ گرم $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$، ۰/۰۹۹ گرم $CuSO_4.5H_2O$ در ۱ لیتر) و پس از رقیق‌سازی با نسبت حجمی ۲ (محلول غذایی) در هزار (آب مقطر) به فاصله‌های زمانی ۷۲–٤۸ ساعت و به مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان تا پایان مراحل رشد تامین گردید. در پایان مرحله گل‌دهی اندام‌های هوایی گیاهان از قسمت یقه برداشت شد. نمونه‌های گیاهی پس از شستشو با آب مقطر در داخل پاکت‌های کاغذی در داخل دستگاه آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. سپس وزن خشک شاخسارای گیاهی اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خشک شده توسط آسیاب برقی ریز و همگن شده و تا زمان عصاره‌گیری در داخل ظروف پلاستیکی– که قبلاً با اسید کلریدریک رقیق شسته شده بودند– نگهداری گردیدند.

برای تعیین کادمیوم کل گیاه از روش اکسیداسیون تر (آمیزه‌ای از اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید سولفوریک با نسبت حجمی ٤۰، ٤ و ۱) استفاده شد (گاپتا، ۲۰۰۰). غلظت کادمیوم در عصاره‌ها با دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری (Shimadzu 6300 AA) اندازه‌گیری شد.

Archive of SID

www.SID.ir

ارزیابی بردباری گیاه به کادمیوم، اندوزش، جذب و استخراج کادمیوم توسط گیاهان: برای ارزیابی بردباری گیاهان به تنش آلودگی کادمیوم خاک از شاخص درصد عملکرد نسبی (RY) استفاده شد (رابطه ۱).

$$RY=(Y^{i}_{C}/\ Y_{0})\times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

که در آن، Y^{i}_{C}: عملکرد گیاه موردنظر در تیمار i آلودگی کادمیومی خاک و Y_0: عملکرد گیاه در تیمار شاهد (بدون آلودگی کادمیومی) می‌باشد. هرچه مقدار RY: با افزایش غلظت آلودگی کادمیومی کاهش کم‌تری یابد، آن گیاه به تنش آلودگی کادمیومی بردبارتر است (یه و همکاران، ۱۹۹۷).

برای ارزیابی توانایی گیاهان در جذب کادمیوم از خاک در هر سطح آلودگی خاک به کادمیم، ضریب تغلیظ زیستی (رابطه ۲) تعیین شد (کاباتا پندیاز و پندیاز، ۲۰۰۱). هرچه این ضریب بزرگ‌تر باشد به معنای تجمع جرم بیش‌تری از کادمیوم خاک در هر واحد جرم گیاه است.

$$BCF=(C^{i}_{p}/\ C^{i}_{s})\times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

که در آن، BCF: ضریب تغلیظ زیستی کادمیوم، C^{i}_{p}: کل غلظت کادمیوم در گیاه موردنظر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار i آلودگی کادمیومی خاک و C^{i}_{s}: کل غلظت کادمیوم در خاک در همان تیمار می‌باشد.

برای ارزیابی توانایی گیاهان در پالایش سبز سطوح مختلف آلودگی کادمیوم، مقدار کادمیوم استخراج شده توسط گیاهان در هر سطح از آلودگی به روش زیر محاسبه گردید:

$$ME=(Y^{i}_{c}\times C^{\ i}_{p}\times n)\ /\ M_{s} \qquad (۳)$$

که در آن، ME (میلی‌گرم بر کیلوگرم): مقدار فلز استخراج شده از هر کیلوگرم خاک پس از یک دوره کشت گیاه، Y^{i}_{C}: عملکرد گیاه موردنظر در تیمار i آلودگی کادمیومی خاک، C^{i}_{p}: کل غلظت کادمیوم در گیاه موردنظر در سطح تیمار i آلودگی کادمیومی خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، n: تعداد بوته در هر گلدان و M_s: جرم خشک خاک در آن گلدان است.

درصد فلز زدوده شده توسط گیاهان پس از یک دوره کشت از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$RE=(ME/\ C^{i}_{s})\times ۱۰۰ \qquad (٤)$$

که در آن، RE: درصد فلز زدوده شده از هر کیلوگرم خاک پس از یک دوره کشت گیاه، ME (میلی‌گرم بر کیلوگرم): مقدار فلز استخراج شده از هر کیلوگرم خاک پس از یک دوره کشت گیاه و C^{i}_{s}: کل غلظت کادمیوم در خاک سطح تیمار i آلودگی کادمیومی خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) است.

Archive of SID

www.SID.ir

تجزیه‌های آماری: این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار انجام شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزارها MSTAT-C (نسخه ۲/۱۰) انجام شد. میانگین تیمارها با شاهد با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (*LSD*)، میانگین تیمارها با یکدیگر با آزمون دانکن (*Duncan*) و در سطح احتمال P<۰/۰۵ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

ارزیابی بردباری گیاهان به تنش آلودگی کادمیومی خاک: کادمیوم برای رشد گیاهان ضروری نیست غلظت‌های غیرمعمول آن در گیاه بازدارنده رشد است و ایجاد مسمومیت خواهد کرد (لیو و همکاران، ۲۰۰۹). با افزایش غلظت آلودگی کادمیومی و به‌ویژه در سطوح بالای آلودگی کادمیومی در خاک، علایم سمیت در گیاهان دیده شد. در ارزن وحشی، علایم سمیت به‌صورت کاهش چشم‌گیر رشد بوته، کلروز و در برخی موارد نکروز[1] بود که بیش‌تر در سطوح بالای آلودگی کادمیومی (تیمار $Cd_{۶۰}$ و به‌ویژه در تیمار $Cd_{۱۰۰}$) دیده شد. در خاکشیر و خرفه، علایم سمیت به‌صورت کاهش مقدار عملکرد و زرد شدن برگ‌ها بود. اما در سلمه‌تره علایم سمیت تنها به‌صورت کاهش رشد بوته ظهور نمود و هیچ علایمی از کلروز و نکروز در این گیاه دیده نشد. در برخی موارد در سطوح بالای آلودگی کادمیومی خاک (تیمارهای $Cd_{۶۰}$ و $Cd_{۱۰۰}$)، ریزش برگ‌های پایینی در گیاهان سلمه‌تره و خرفه مشاهده شد. در اثر بروز این سمیت‌ها، با افزایش غلظت آلودگی کادمیومی خاک، عملکرد نسبی (RY درصد) ارزن وحشی و خرفه به گونه‌ای معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) کاهش یافت، هر چند این کاهش بر خلاف وجود، در سلمه‌تره و خاکشیر از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). همه گیاهان بیش‌ترین عملکرد را در تیمار شاهد و کم‌ترین عملکرد را در تیمار $Cd_{۱۰۰}$ داشتند. این کاهش به این دلیل است که حضور کادمیوم در درون بافت‌های گیاهی موجب تحریک پراکسیداسیون لیپیدها و تجزیه کلروفیل در گیاه می‌گردد که منجر به افزایش تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن (ROS[2]) می‌شود (هجدس و همکاران، ۲۰۰٤) که به‌علت تداخل با فعالیت‌های انتقال الکترون به‌خصوص در غشاهای کلروپلاستی صورت می‌گیرد (پاگلیانو و همکاران، ۲۰۰٦؛ لاروکا و همکاران، ۲۰۰۹). این افزایش در ROS در سلول‌های در معرض استرس اکسیداتیو منجر به پراکسیداسیون چربی، زوال مولکول‌های بزرگ بیولوژیکی، تخریب غشاء و فرآیندهای غشایی، نشت یون و گسستگی رشته دی‌ان‌ای[3] می‌شود

1- Necrosis
2- Reactive Oxygen Species
3- DNA-Strand Cleavage

Archive of SID

www.SID.ir

(ناواری- آیزو و همکاران، ۱۹۹۸؛ ناواری- آیزو و همکاران، ۱۹۹۹؛ کوارتاکسی و همکاران، ۲۰۰۱). در این حالت گیاهان مجموعه‌ای از مکانیسم‌های دفاعی از خود بروز می‌دهند که جذب، اندوزش و انتقال این عناصر خطرناک و غیرسمی کردن آن‌ها را کنترل می‌کند. علایم آسیب‌های کادمیومی مشابه علایم کمبود عناصر ضروری مانند پتاسیم، منیزیم، منگنز و آهن است (اپستین و بلوم، ۲۰۰۵). زیرا همه این عناصر در ساختار یا عملکردهای مرتبط با ساخت یا فعالیت کلروفیل دخالت دارند (قانی، ۲۰۰۷). در واقع سمیت کادمیوم منجر به کاهش عناصر غذایی در گیاهان (داس و همکاران، ۱۹۹۷)، مهار سنتز کلروفیل و به‌هم‌ریختگی ساختار کلروپلاست (کلارکسون و لوتیج، ۱۹۸۹) می‌گردد. زیرا حضور کادمیوم در داخل بافت‌های گیاهی با ایجاد اختلال در جذب و انتقال عناصر ضروری مثل آهن، روی، مس و منگنز (یانگ و همکاران، ۱۹۹٦؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ وو و ژانگ، ۲۰۰۲) و اختلال در سوخت و ساز نیتروژن (گویا و همکاران، ۲۰۰۱) و یا کاهش دسترسی این عناصر در خاک، اختلال در و سوخت و ساز کربوهیدرات (مویا و همکاران، ۱۹۹۳) و همچنین کاهش ریزاندام‌های مفید خاک (مورنو و همکاران، ۱۹۹۹) منجر به کاهش زی‌توده گیاهی می‌شود. همچنین آلودگی کادمیومی خاک موجب کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه گیاهان (شاه و همکاران، ۲۰۱۰)، کاهش انبساط سلولی و کاهش جذب آب توسط گیاهان (خداوردی‌لو و همایی، ۲۰۰۸؛ داوری و همکاران، ۲۰۱۰) شده و از این راه می‌تواند رشد گیاهان را کاهش دهد. تاخیر در رشد گیاه (شوتزن‌دابل و همکاران، ۲۰۰۱) و بروز علایم زردی برگ، کلروز و قهوه‌ای شدن ریشه (واسیلو و همکاران، ۲۰۰۵)، نکروز و ریزش برگی (یانگ و همکاران، ۱۹۹٦)، از علایم سمیت کادمیوم است. از این‌رو کاهش رشد و عملکرد گیاهان در شرایط تنش آلودگی کادمیومی به‌طور احتمال به‌دلیل پتانسیل کم‌آبی و ممانعت از جذب مواد غذایی (دودکا و همکاران، ۱۹۹٦) و همچنین ایجاد شرایط اکسایشی و بر هم زدن ساختمان میکروتوبول در سلول‌های مریستمی است (ایون و همکاران، ۲۰۰۰).

گیاهانی که نرخ کاهش عملکرد آن‌ها با افزایش غلظت آلودگی در خاک کم‌تر است، به‌طور احتمال گیاهانی بردبارتر هستند (یه و همکاران، ۱۹۹۷). در مقایسه بین گیاهان مورد مطالعه گیاهان سلمه‌تره و خاکشیر با حدود ۲۵ درصد کاهش عملکرد نسبی در گستره سطوح کادمیومی ۱۰۰-۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، بردباری مشابهی به تنش آلودگی کادمیوم داشتند. با این‌حال، گیاهان خرفه و ارزن وحشی به‌ترتیب با حدود ٤۰ و ۵۰ درصد کاهش در عملکرد نسبی در گستره آلودگی کادمیومی ۱۰۰-۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، گیاهان حساس‌تری بودند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- مقدار (انحراف معیار ± میانگین) صفات مورد مطالعه در گیاهان مورد پژوهش در سطوح مختلف کادمیوم در خاک ($P\leq 0/05$).

نام گیاه	غلظت کادمیوم افزوده شده به خاک ($mg_{Cd}\ kg_{Soil}^{-1}$)	صفات مورد مطالعه روی در ماده خشک گیاهان				
		درصد عملکرد نسبی (رابطه ۱)	غلظت کادمیوم در گیاه ($mg_{Cd}\ kg^{-1}$ plant DM)	تغلیظ زیستی کادمیوم (معادله ۲)	برداشت کل کادمیوم از خاک توسط گیاه در یک دوره کشت ($mg_{Cd}\ kg_{Soil}^{-1}$)	استخراج کادمیوم از خاک توسط گیاه در یک دوره کشت ($mg_{Cd}\ kg_{Soil}^{-1}$)
		▲		▲		▲
ارزن وحشی	۰	۱۰۰ ± ۶/۱ a♣,a▲	۳/۲ ± ۰/۳ d,b	-	۰/۰۱ ± ۰/۰۰۵ b♣,a▲	-
	۲۰	۸۴/۵ ± ۱۳/۹ a,a	۱۲/۸ ± ۰/۴ c,b	۰/۶۴ ± ۰/۲ a♣,b▲	۰/۰۲۵ ± ۰/۰۰۴ a,a	۰/۱۳ ± ۰/۰۲ a,a
	۶۰	۶۳/۸ ± ۴/۳ b,b	۱۷/۳ ± ۰/۲ b,a	۰/۲۹ ± ۰/۰۰۳ a,b	۰/۰۲۸ ± ۰/۰۱ a,a	۰/۰۵ ± ۰/۰۱ b,a
	۱۰۰	۵۳/۳ ± ۱۰/۷ b,a	۱۸/۹ ± ۰/۵ a,a	۰/۱۹ ± ۰/۰۰۵ c,a	۰/۰۲۳ ± ۰/۰۱ a,a	۰/۰۲ ± ۰/۰۱ c,a
	۰	۱۰۰ ± ۲۷/۸ a,a	۱/۸ ± ۰/۵ d,c	-	۰/۰۰۹ ± ۰/۰۰۴ b,a	-
سلمه‌تره	۲۰	۹۰/۹ ± ۵/۱ a,a	۴/۲ ± ۰/۴ c,c	۰/۲۱ ± ۰/۱ a,c	۰/۰۱۹ ± ۰/۰۰۳ a,b	۰/۰۰۹ ± ۰/۰۰۱ a,b
	۶۰	۸۵/۹ ± ۱۹/۸ a,a	۵/۰ ± ۰/۳ b,d	۰/۰۸ ± ۰/۰۰۵ b,d	۰/۰۲۱ ± ۰/۰۱ a,a	۰/۰۰۴ ± ۰/۰۰۱ b,a
	۱۰۰	۷۴/۱ ± ۱۸/۳ a,a	۶/۲ ± ۰/۱ a,d	۰/۰۶ ± ۰/۰۰۱ c,d	۰/۰۲۳ ± ۰/۰۱ a,a	۰/۰۰۲ ± ۰/۰۰۱ c,a
	۰	۱۰۰ ± ۸/۹ a,a	۷/۵ ± ۱/۱ b,a	-	۰/۰۰۹ ± ۰/۰۰۳ b,a	-
خاکشیر	۲۰	۹۶/۳ ± ۶/۸ a,a	۱۶/۴ ± ۰/۸ a,a	۰/۸۲ ± ۰/۰۴ a,a	۰/۰۲۹ ± ۰/۰۰۴ a,a	۰/۰۱۴ ± ۰/۰۰۲ a,a
	۶۰	۸۴/۹ ± ۷/۴ a,a	۱۴/۸ ± ۰/۶ a,b	۰/۲۵ ± ۰/۰۱ b,b	۰/۰۲۶ ± ۰/۰۰۱ a,a	۰/۰۰۴ ± ۰/۰۰۱ b,a
	۱۰۰	۷۵/۰ ± ۲۶/۴ a,a	۱۵/۷ ± ۱/۳ a,b	۰/۱۶ ± ۰/۰۱ c,b	۰/۰۲۲ ± ۰/۰۱ a,a	۰/۰۰۲ ± ۰/۰۰۱ c,a
	۰	۱۰۰ ± ۱۱/۳ a,a	۸/۳ ± ۰/۳ d,a	-	۰/۰۰۸ ± ۰/۰۰۱ a,a	-
خرفه	۲۰	۹۲/۹ ± ۵/۸ ab,a	۱۵/۶ ± ۰/۷ a,a	۰/۷۸ ± ۰/۳ a,a	۰/۰۱۴ ± ۰/۰۰۱ b,b	۰/۰۰۷ ± ۰/۰۰۱ a,b
	۶۰	۸۰/۲ ± ۴/۰ b,ab	۱۳/۴ ± ۰/۲ b,c	۰/۲۲ ± ۰/۰۰۴ b,c	۰/۰۱ ± ۰/۰۰۳ c,b	۰/۰۰۲ ± ۰/۰۰۱ b,b
	۱۰۰	۶۶/۴ ± ۳/۹ c,a	۱۱/۲ ± ۲/۰ c,c	۰/۱۱ ± ۰/۰۴ c,c	۰/۰۰۷ ± ۰/۰۰۴ c,b	۰/۰۰۷ ± ۰/۰۰۴ c,b

▲ (-) غلظت اولیه کادمیوم خاک توسط دستگاه جذب اتمی قابل قرائت نبود، از این‌رو محاسبه تغلیظ زیستی و مقدار فلز زدوده شده در تیمار شاهد، امکان‌پذیر نبود.

♣ حروف غیرمشترک اول در هر ستون نشان‌دهنده آن است که گیاهان از نظر "درصد عملکرد نسبی ماده خشک بخش هوایی گیاه، تغلیظ زیستی کادمیوم، مقدار برداشت کل کادمیوم از خاک در یک دوره کشت، مقدار استخراج کادمیوم توسط گیاه در یک دوره کشت" در مقادیر مختلف کادمیوم افزوده شده به خاک با تیمار شاهد خود در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار دارند.

♦ حروف غیرمشترک دوم در هر ستون نشان‌دهنده آن است که گیاهان از نظر "درصد عملکرد نسبی ماده خشک بخش هوایی گیاه، تغلیظ زیستی کادمیوم، مقدار برداشت کل کادمیوم از خاک در یک دوره کشت، مقدار استخراج کادمیوم توسط گیاه در یک دوره کشت" در مقادیر مختلف کادمیوم افزوده شده به خاک در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی دار دارند.

www.SID.ir

غلظت کادمیوم در شاخسار گیاهان در سطوح مختلف آلودگی کادمیوم در خاک: با افزایش غلظت آلودگی کادمیوم در خاک (از تیمار .Cd تا تیمار .$Cd_{۱۰۰}$)، غلظت کادمیوم در ارزن وحشی و سلمه‌تره به‌گونه‌ای معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) افزایش یافت (جدول ۲). با این‌حال، در خرفه و خاکشیر هر چند با افزایش آلودگی کادمیومی خاک به ۲۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک غلظت کادمیوم در گیاه افزایش معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) داشت اما در سطوح آلودگی‌های حادتر کادمیوم خاک، غلظت کادمیوم در گیاه کاهش معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) نشان داد. به‌طوری‌که در ارزن وحشی و سلمه‌تره بیش‌ترین غلظت کادمیوم گیاه در تیمار .$Cd_{۱۰۰}$ (به‌ترتیب با مقدارهای میانگین ۱۸/۱۹ و ٦/١٤ میلی‌گرم کادمیوم در واحد وزن خشک شاخسار) و در خرفه و خاکشیر بیش‌ترین غلظت کادمیوم در گیاه در تیمار .$Cd_{۲۰}$ (به‌ترتیب با مقدارهای میانگین ١٦/٣٨ و ١٥/٥٦ میلی‌گرم کادمیوم در هر کیلوگرم وزن خشک شاخسار) دیده شد. در سطوح پایین آلودگی کادمیومی خاک (تیمارهای .Cd و .$Cd_{۲۰}$)، خرفه و خاکشیر نسبت به دیگر گیاهان مورد مطالعه مقادیر بالاتر و تقریباً مشابهی کادمیوم (به‌ترتیب مقدارهای میانگین حدوداً ۸ میلی‌گرم کادمیوم در واحد وزن خشک شاخسار در تیمار .Cd و حدود ١٦ میلی‌گرم کادمیوم در واحد وزن خشک شاخسار در تیمار .$Cd_{۲۰}$) در واحد وزن خشک شاخسار خود داشتند. اما در سطوح متوسط و بالای آلودگی کادمیومی خاک (تیمارهای .$Cd_{٦۰}$ و .$Cd_{۱۰۰}$)، ارزن وحشی نسبت به دیگر گیاهان مورد مطالعه مقدار بالاتری کادمیوم در واحد وزن خشک شاخسار خود داشت. سلمه‌تره در همه سطوح آلودگی کادمیوم خاک، کم‌ترین غلظت کادمیوم را در واحد وزن خشک شاخسار خود داشت. مقادیر آستانه غلظت کادمیوم در شاخسار برای تعیین گیاهان بیش‌اندوز کادمیوم، ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم وزن خشک شاخسار می‌باشد (بیکر و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین گیاهان مورد استفاده در پالایش سبز بایستی ظرفیت قابل‌توجهی برای جذب، تغلیظ و تحمل آلودگی موردنظر و کاهش غلظت آن در محیط آلوده در طول زمان را داشته باشند (مودگال و همکاران، ۲۰۱۰). برای نمونه خاکشیر گیاهی از خانوده کلمیان (Brassicaceae) است. مطالعه‌های پیشین نشان داده که کلمیان (Brassicaceae) گروه‌های بسیار مهمی در بیش‌اندوزی فلزات به‌شمار می‌روند (بیکر و بروکس، ۱۹۸۹). سایر گیاهانی که توسط سایر پژوهشگران (راسکین و همکاران، ۱۹۹۷؛ ابس و کوچین، ۱۹۹۸؛ براون و همکاران، ۱۹۹۵؛ تولرا و همکاران، ١٩٩٦) به‌عنوان گونه‌هایی با مقادیر بالای غلظت فلزات سنگین معرفی شده‌اند، بیش‌تر به خانواده Brassicaceae تعلق دارند. سلمه‌تره نیز گیاهی از خانواده (Chenopodiaceae) است. توانایی گونه‌های چغندریان (*Chenopodium* spp.)

Archive of SID

www.SID.ir

در اندوزش فلزات سنگین توسط شماری پژوهش‌گران گزارش شده است (الکساندر و همکاران، ۲۰۰۶؛ دل‌ریو- سلستینو و همکاران، ۲۰۰۶؛ گاپتا و همکاران، ۲۰۰۶؛ بهاراگاوا و همکاران، ۲۰۰۸؛ یوسفی و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین کازنینا و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که ارزن وحشی به غلظت‌های بالای روی مقاوم است و توانایی اندوزش روی در ریشه‌ها و ساقه‌های خود را دارد و می‌توان از آن به‌عنوان یک گیاه مناسب برای پالایش سبز مناطق آلوده به روی استفاده کرد. هر چند گیاهان مورد مطالعه در این پژوهش نتوانستند غلظت‌های بالای بیش‌اندوزی کادمیوم را در خود ذخیره نمایند اما گیاهان خاکشیر و خرفه در شرایط غلظت‌های طبیعی کادمیوم خاک توانستند غلظت‌های بالایی از کادمیوم (با مقدار میانگین حدود ۸ میلی‌گرم کادمیوم در واحد وزن خشک شاخسار در تیمار شاهد) را در بافت‌های خود انباشته نمایند. گیاه خاکشیر به‌دلیل تولید شیره از نظر دام چندان خوش‌خوراک نیست اما بذر آن می‌تواند توسط انسان (در تهیه شربت‌های نوشیدنی سنتی و مصارف دارویی) مصرف شود. همچنین گیاه خرفه به‌دلیل تولید زی‌توده پایین و برداشت کم کادمیوم از خاک، در اهداف پالایشی چندان مورد توجه نیست اما به‌دلیل خوش‌خوراک بودن گیاه خرفه برای انسان (در پخت غذاهای محلی توسط ساکنین بومی و همچنین کاربرد در صنایع شیرینی‌پزی) بنابراین احتمال می‌رود مصرف گیاه آلوده منجر به ورود کادمیوم به بدن و عواقب ثانویه گردد. از این‌رو رویش این گیاهان در خاک‌های آلوده به سطوح پایین کادمیوم و مصرف آن توسط انسان یا دام می‌تواند از نظر زیست‌محیطی نگران‌کننده باشد.

تغلیظ زیستی کادمیوم (BCF_{Cd}) از خاک توسط گیاهان: مقدار تغلیظ زیستی یک عنصر در گیاه از نسبت غلظت عنصر در گیاه به غلظت آن در خاک (رابطه ۲) محاسبه می‌شود (کاباتا- پندیاز، ۲۰۰۱). افزایش BCF بیانگر توانایی بالاتر گیاه در پالودن عنصر موردنظر می‌باشد. گونه‌های گیاهی با مقادیر BCF ۱۰-۱، ۱-۰/۱، ۰/۱-۰/۰۱ و کم‌تر از ۰/۰۱ باشد به‌ترتیب به‌عنوان بسیار اندوزش‌گر[1]، با اندوزش[2]، با اندوزش پایین[3] و غیراندوزش‌گر[4] شناخته می‌شوند (بینی و همکاران، ۱۹۹۵). با افزایش غلظت آلودگی کادمیومی خاک (از تیمار Cd. تا تیمار $Cd_{۱۰۰}$)، مقادیر تغلیظ زیستی (BCF_{Cd}) در همه گیاهان کاهش معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) داشت. به‌طوری‌که همه آن‌ها در تیمار $Cd_{۲۰}$ بیش‌ترین و در تیمار

1- High Accumulator
2- Moderately Accumulator
3- Low Accumulator
4- Non Accumulator

Archive of SID

www.SID.ir

$Cd_{۱۰۰}$ کم‌ترین مقدار BCF_{Cd} را داشتند (جدول ۲). در مقایسه بین گیاهان مورد مطالعه، ارزن وحشی، خرفه و خاکشیر در همه سطوح آلودگی کادمیوم، توانایی تقریباً مشابهی در تغلیظ زیستی کادمیوم (BCF_{Cd}) در شاخسارای خود داشتند. سلمه‌تره کم‌ترین مقدار BCF_{Cd} را در همه سطوح آلودگی کادمیومی داشت. مقادیر BCF_{Cd} در همه گیاهان کم‌تر از ۰/۸۹ بود. براساس تقسیم‌بندی بینی و همکاران (۱۹۹۵) همه گیاهان مورد مطالعه در سطوح مختلف آلودگی کادمیومی خاک، می‌توانند در گروه گیاهان با اندوزش متوسط کادمیوم قرار گیرند.

مقدار کل برداشت (ME_{Cd}) کادمیوم از خاک توسط گیاهان: مقدار کل برداشت فلز کادمیوم (ME_{Cd}) از خاک توسط گیاهان مورد مطالعه در سطوح مختلف آلودگی کادمیومی خاک با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد. در همه گیاهان با افزایش مقدار آلودگی کادمیوم در خاک (از تیمار .Cd تا تیمار $Cd_{۲۰}$.)، برداشت کادمیوم از خاک نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) داشت (جدول ۲). در سطوح متوسط و حاد آلودگی کادمیومی خاک (به‌ترتیب تیمارهای $Cd_{۶۰}$. و تیمار $Cd_{۱۰۰}$.)، مقدار برداشت کل کادمیوم در گیاهان ارزن وحشی، خرفه و خاکشیر کاهش یافت که این کاهش تنها در گیاه خرفه از نظر آماری ($P\leq$۰/۰۵) معنی‌دار بود. در سلمه‌تره هر چند با افزایش سطوح آلودگی (از تیمار $Cd_{۲۰}$. تا تیمار $Cd_{۱۰۰}$.) مقدار ME_{Cd} افزایش اندکی داشت، اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) نبود.

در مقایسه بین گیاهان مورد مطالعه، ارزن وحشی، سلمه‌تره و خاکشیر توانایی بالاتری (و تقریباً مشابهی) در برداشت کل کادمیوم (ME_{Cd}) از خاک در همه تیمارهای آلودگی کادمیومی، داشتند. بیش‌ترین مقدار ME_{Cd} در تیمار $Cd_{۲۰}$. گیاه خاکشیر (با مقدار میانگین ۰/۰۲۹ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) صورت گرفت و گیاه خرفه کم‌ترین مقدار ME_{Cd} در همه تیمارهای آلودگی کادمیوم داشت.

مقدار کادمیوم زدوده شده (RE_{Cd}) از خاک توسط گیاهان: مقدار کادمیوم زدوده شده (RE_{Cd}) از خاک توسط گیاهان مورد مطالعه در یک دوره کشت در سطوح مختلف آلودگی کادمیومی خاک با استفاده از رابطه ٤ محاسبه شد. در همه گیاهان با افزایش سطوح آلودگی کادمیومی خاک (از تیمار $Cd_{۲۰}$. تا تیمار $Cd_{۱۰۰}$.)، مقدار کادمیوم زدوده شده از خاک توسط گیاهان کاهش معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) داشت. در مقایسه بین گیاهان مورد مطالعه، ارزن وحشی و خاکشیر توانایی بالاتر و تقریباً مشابهی در استخراج کادمیوم از خاک داشتند. بیش‌ترین استخراج کادمیوم از خاک در تیمار $Cd_{۲۰}$. گیاه خاکشیر (با مقدار میانگین ۰/۱٤ میلی‌گرم کادمیوم در هر کیلوگرم خاک) صورت گرفت.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری کلی

در مقایسه بین گیاهان در سطوح مختلف آلودگی کادمیومی، گیاه سلمه‌تره زی‌توده بیش‌تری (حدود دو برابر گیاهان ارزن وحشی و خرفه و تقریباً مشابه خاکشیر) تولید کرد. گیاهان خاکشیر و سلمه‌تره (با حدود ۲۵ درصد کاهش عملکرد نسبی) بردبارترین گیاهان به غلظت‌های سمی کادمیوم، بودند. در احیا یا پالودن مکان‌های آلوده به فلزات سنگین با استفاده از روش پالایش سبز، شناسایی گونه‌های گیاهانی با تولید زی‌توده بالا که بتوانند آلاینده‌ها را در خود تغلیظ یا تحمل کنند، دارای اهمیت بسیاری است (ساموروآ و همکاران، ۲۰۱۰). چرا که افزایش زی‌توده حذف فلز را ترقی می‌دهد و همچنین موجب افزایش کارایی گیاه می‌گردد (ابس و کُچیان، ۱۹۹۸). برای نمونه گیاه خرفه با این که غلظت‌های بالاتری کادمیوم را در خود انباشته کرده بود و توانایی مناسبی در اندوزش کادمیوم در بافت‌های خود داشت اما به‌دلیل تولید پایین زی‌توده (جدول ۲) در برداشت کادمیوم از خاک چندان کارآمد نبود. در حالی‌که گیاه سلمه‌تره با این‌که غلظت‌های بسیار پایین‌تری کادمیوم در خود انباشته کرده بود و توانایی بسیار کم‌تری در اندوزش کادمیوم در بافت‌های خود داشت اما به‌دلیل تولید زی‌توده بالا توانایی بهتری در برداشت کادمیوم از خاک داشت. گیاهان مورد مطالعه در این پژوهش در شرایط گلدانی رشد یافتند و به دلایل فیزیولوژیک نتوانستند زی‌توده‌ای مشابه با شرایط طبیعی تولید کنند و همچنین نتوانستند غلظت‌های بالای بیش‌اندوزی کادمیوم را در خود ذخیره نمایید و در برداشت و استخراج کادمیوم از خاک نیز چندان کارا نبودند. اما گیاهان سلمه‌تره و خاکشیر به‌عنوان گیاهانی با تولید زی‌توده بالا شناخته می‌شوند، که این زی‌توده بالا غلظت‌های پایین جذب فلز را جبران خواهد نمود، از این‌رو احتمال می‌رود کشت این گیاهان در شرایط طبیعی در زدودن کادمیوم از خاک مؤثر باشد.

منابع

1.Alexander, P.D., Alloway, B.J., and Dourado, A.M. 2006. Genotypic variation in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grow vegetables. Environ Pollution. 144: 3. 736-745.

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

3.Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D., and Smith, J.A.C. 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal polluted soils. P 85-107, In: N. Terry and G. Banuelos, Editors, Phytoremediation of Contaminated Soils and Waters. CRC Press LLC. Boca Raton, FL. USA.

Archive of SID

www.SID.ir

4.Bhargava, A., Shukla, S., Srivastava, J., Singh, N., and Ohri, D. 2008. Chenopodium: a prospective plant for phytoextraction. Acta Physiol Plant, 30: 111-120.
5.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.
6.Brown, S.L., Chaney, R.L., Angle, J.S., and Baker, A.M. 1995. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. Soil Sci. Am. J. 59: 125-133.
7.Cariny, T. 1995. The reuse of contaminated land. John Wiley and Sons Ltd. Publisher, 219p.
8.Clarkson, D.T., and Luttage, U. 1989. Mineral nutrition. Divalent cations, transport and compartmentalization. Prog Bot. 51: 93-112.
9.Das, P., Samantaray, S., and Routm, G.R. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. Environ. Pollut. 98: 29-36.
10.Davari, M., Homaee, M., and Khodaverdiloo, H. 2010. Modeling Phytoremediation of Ni and Cd from Contaminated Soils Using Macroscopic Transpiration Reduction Functions. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water Soil Sci. 14: 52. 75-85. (In Persian)
11.Del R´ıo-Celestino, M., Font, R., Moreno-Rojas, R., and De Haro-Bail´on, A. 2006. Uptake of lead and zinc by wild plants growing on contaminated soils. Industrial Crops and Products, 24: 230-237.
12.Dudka, S., Piotrowska, M., and Terelak, H. 1996. Transfer of cadmium, lead and zinc from industrially contaminated soil to crop plants: A field study. Environ Pollut. 94: 181-188.
13.Ebbs, S.D., and Khochin, L.V. 1998. Phytoextraction of Zinc by oat (*Avena sativa*), barley (*Hordeum vulgar*) and Indian mustard (*Brassica juncea*). Environ. Sci. Technol. 32: 802-806.
14.Epstein, E., and Bloom, A.J. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives (2nd ed.). Sinauer Associates, Inc., Massachusetts.
15.Eun, S.O., Youn, H.S., and Lee, Y. 2000. Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of *Zia mays*. Physiol. Plant. 103: 695-702.
16.European Commission, DG Environment under Study Contract DG ENV. 2008. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Part I. Milieu Ltd, WRC and RPA. G.4/ETU/0076r.
17.Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)-FAO/ISRIC/ISSS, World Reference Base (WRB) for soil resources, World Soil Resources Report. 2006. 103p. (FAO: Rome)
18.Gee, G.H., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P 383-411, In: A. Klute, (ed), Methods of soil Analysis. Physical Properties. SSSA, Madison, WI.

Archive of SID

www.SID.ir

19. Ghani, A., and Wahid, A. 2007. Varietal Differences for Cadmium-induced Seedling Mortality and Foliar-toxicity Symptoms in Mungbean (*Vigna radiata*). Int. J. Agric. Biol. 9: 4. 555-558.
20. Gouia, H., Ghorbal, M.H., and Meyer, C. 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. Plant Physiology and Biochemistry, 38: 629-638.
21. Gupta, A.K., and Sinha, S. 2006. Phytoextraction capacity of the *Chenopodium Album* L. Grown on soil amended with tannery sludge. Bioresource Tec. 98: 442-446.
22. Gupta, P.K. 2000. Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agrobios. New Delhi, India, 438p.
23. Hegedüs, A., Erdei, S., Janda, T., Toth, E., Horvath, G., and Dubits, D. 2004. Transgenic tobacco plants over producing alfafa aldose/aldehyde reductase show higher tolerance to low temperature and cadmium stress. Plant Sci. 166: 1329-1333.
24. Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. CRC Press. Boca Raton. USA, 145p.
25. Kaznina, N.M., Titov, A.F., Laidinen, G.F., and Talanov, A.V. 2009. *Setaria Viridis* tolerance of high zinc concentrations. ISSN 1062-3590, Biology Bulletin. 36: 6. 575-581.
26. Khodaverdiloo, H. 2007. Modeling phytoremediation of soils polluted with cadmium and lead. Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 131p. (In Persian)
27. Khodaverdiloo, H., and Hamzenejad Taghlidabad, R. 2011. Sorption and desorption of lead (Pb) and effect of cyclic wetting-drying on metal distribution in two soils with different properties. Water Soil Sci. 21: 1. 149-163. (In Persian)
28. Khodaverdiloo, H., and Homaee, M. 2008. Modeling phytoremediation of Cd and Pb from contaminated soils using plant transpiration reduction functions. Iranian J. Irrig. Drain. 2: 1. 7-16. (In Persian)
29. Khodaverdiloo, H., Rahmanian, M., Ghorbani Dashtaki, Sh., Rezapour, S., Hadi, H., and Han, F.X. 2012. Effect of Cyclic Wetting-Drying Moisture on Redistribution of Lead (Pb) Loaded to Some Semiarid-Zone Soils. Pedosphere.
30. LaRocca, N., Andreoli, C., Giacometti, G.M., Rascio, and Moro, I. 2009. Responses of the Antarctic microalga *Koliella antartica* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) to cadmium contamination. Photosynthetica. 47: 471-479.
31. Lasat, M.M. 2002. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms, J Environ. Qual. 31: 1. 109-120.
32. Liu, Zh., He, X., Chen, W., Yuan, F., Yan, K., and Tao, D. 2009. Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in a potential Hyperaccumulator *Lonicera japonica* Thunb. J. Hazardous Materials. 169: 170-175.

Archive of SID

www.SID.ir

33.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.
34.McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. P 199-224, In: Page, A.L. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2.Chemical and microbiologilcal properties. Publisher Madison, Wisconsin, USA.
35.Miller, J.J., and Curtin, D. 2006. Electrical Conductivity and Soluble Ions. P 161-171, In: Soil sampling and methods of analysis. (M.R. Carter and E.G. Gregorich, Eds.). 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, FL.
36.Moreno, J.L., Hernandez, T., and Garcia, C. 1999. Effects of a cadmium-containing sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in an arid soils. Biol. Fert Soils. 28: 230-237.
37.Moya, J.L., Ros, R., and Picazo, I. 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. Photosynthesis Res. 36: 75-80.
38.Mudgal, V., Madaan, N., and Mudgal, A. 2010. Heavy metals in plants: phytoremediation: Plants used to remediate heavy metal pollution. Agric. Biol. J. N. Am. 1: 1. 40-46.
39.Navari-Izzo, F., Quartacci, M.F., Pinzino, C., Dalla Vecchia, F., and Sgherri, C. 1998. Thylakoid-bound and stromal antioxidative enzymes in wheat treated with excess of copper. Physiol. Plant. 104: 630-638.
40.Navari-Izzo, F., Pinzino, C., Quartacci, M.F., and Sgherri, C. 1999. Superoxide and hydroxyl radical generation, and superoxide dismutase in PSII membrane fragments from wheat. Free Radic. Res. 31: 3-9.
41.Nelson, R.E., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, Organic Carbon and Organic matter. P 539-579, In: Page, A.L., et al. (eds). Methods of Soil analysis. Part 2. 2nded. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison. WI.
42.Pagliano, C., et al. 2006 Evidence for PSII-donor-side damage and photoinhibition induced by cadmium treatment on rice (*Oryza sativa* L.). J. Photochem. Pho-tobiol. B. Biol. 84: 70-78.
43.Quartacci, M.F., Cosi, E., and Navari-Izzo, F. 2001. Lipids and NADPH-dependent super-oxide production in plasma membrane vesicles from roots of wheat grown under copper deficiency and excess. J. Exp. Bot. 152: 67-75.
44.Raskin, I., Salt, R.D., and Smith, D.E. 1997. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. Curr. Opin. Biotechnol. 8: 221-226.
45.Rhoados, J.D. 1982. Cation exchange capacity. P 149-158, In: A.L. Page et al. (ed): Methods of soil analysis. Part 2. 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
46.Sahmurova, A., Celik, M., and Allahverdiyev, S. 2010. Determination of the accumulator plants in Kucukcekmece Lake (Istanbul). Afr. J. Biotechnol. Pp: 6545-6551.

Archive of SID

www.SID.ir

47.Sanita di Toppi, L., and Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants: A review. Environ. Exp. Bot. 4: 105-130.
48.Schutzendubel, A., Schwanz, P., Teichmann, T., Gross, K., Langenfeld, R., Douglas, L., and Polle, A. 2001. Cadmium-induced changes in antioxidative systems, hydrogen peroxide content, and differentiation in Scots pine roots. Plant physiology, 127: 887-898.
49.Shah, F.R., Ahmad, N., Masood, K.R., Peralta-Videa, J.R., and Ahmad, F.D. 2010. Heavy Metal Toxicity in Plants. P 71-98, In: Plant Adaptation and Phytoremediation. (M. Ashraf M. Ozturk M.S.A. Ahmad, Eds.). Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
50.Tolra, R.P., Poschenrieder, C., and Barcelo, J. 1996. Zinc hyperaccumulation in *Thlaspi caerulescens*. II Influence on organic acids. J. Plant Nutr. 19: 1541-1550.
51.Vassilev, A., Berova, M., Stoeva, N., and Zlatev, Z. 2005. Chronic Cd toxicity of bean plants can be partially reduced by supply of ammonia sulphate. JCEA. 6: 3. 389-396.
52.World Reference Base (WRB) for soil resources.
53.Wu, F.B., and Zhang, G.P. 2002. Genotypic variation in kernel heavy metal concentrations in barley and as affected by soil factors. J. Plant Nutr. 25: 1163-1173.
54.Yang, X., Baligar, V.C., Martens, D.C., and Clark, R.B. 1996. Cadmium effects on influx and transport of mineral nutrients in plant species. J. plant Nutr. 19: 3-4. 643-656.
55.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.
56.Yosefi, N., Chehregani, A., Malayeri, B., Lorestani, B., and Cherghi, M. 2010. Investigating the effect of heavy metals on developmental stages of anther and pollen in *Chenopodium botrys L.* (Chenopodiaceae). Biol Trace Elem Res. DOI 10.1007/s12011-010-870.1-6.
57.Zhang, G.P., Fukami, M., and Sekimoto, H. 2002. Influence of cadmium on mineral concentration and yield components in wheat genotypes differing in Cd tolerance at seedling stage. Field Crop. Res. 4079: 1-7.

Archive of SID

www.SID.ir

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 2(1), 2012
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Accumulation and tolerance of soil cadmium contamination by Millet (*Pennisetum glaucum*), Lambsquarter (*Chenopodium album*), Flix weed (*Descurainia Sophi*) and purslane (*Portulaca oleracea*)

A. Rashid Shomali[1], *H. Khodaverdiloo[2] and A. Samadi[3]
[1]M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Urmia University, [2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University, [3]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University
Received: 2011/07/05; Accepted: 2012/05/07

Abstract

In this paper, potential for Cd tolerance, uptake and accumulation by native population of millet (*Pennisetum glaucum*), lambsquarter (*Chenopodium album*), flix weed (*Descurainia Sophi*) and purslane (*Portulaca oleracea*) in Western Azerbaijan region was studied in a soil spiked with 0, 20, 60 and 100 mg Cd kg^{-1} soil. The plants were grown in pots containing the contaminated soil. Plants shoots were harvested at the end of their flowering stage. Dry above-ground biomass, Cd concentration in plant shoot, and total Cd removal from soil by plants (ME_{Cd}) were measured. Results showed that with increasing the soil Cd concentration, shoot biomas of millet and purslane decreased significantly ($P \leq 0.05$). However, this reduction, in spite of existance, was not statistically significant for purslane and flix weed. Comparing with other studied plants, lambsquarter and flix weed, with 25% yield reduction in applied range of soil Cd concentrations, were the most tolerant plants to Cd stress. Studied plants did not accumulate high concentrations of Cd, so that, maximum metal concentration in millet, lambsquarter, flix weed, and purslane was about 19, 6, 16, 16 mg kg^{-1} dry matter, respectively. However, applying lambsquarter and flix weed, would be promising for removal of low levels of Cd from contaminated soils because of producing relatively high biomass and medium metal concentration in plant.

Keywords: Contamination, Phytoremediation, Cadmium, Weed plants

* Corresponding Authors; Email: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir