Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد دهم، شماره سوم، ۱۳۹۹
۹۵-۱۱۳
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.17369.1924

ارزیابی پتانسیل گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*)، کلم‌زینتی (*Brassica oleracea*) و گیاه تاج‌خروس (*Amaranthus cockscomb*) در استخراج کادمیوم از خاک

***وحیده مرجانی[۱]، احمد گلچین[۲] و سمانه عبداللهی[۳]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان،
[۳]دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی است و می‌تواند مشکلاتی را برای سلامتی انسان و دام در سطح جهانی به‌وجود آورد. بسیاری از تکنیک‌های اصلاحی برای رفع آلودگی از خاک بسیار پرهزینه هستند و می‌توانند بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز تأثیر منفی داشته باشند. استفاده از گیاهان زینتی بیش‌اندوز با زیست‌توده و جذب بالا روشی ابتکاری، اقتصادی و سازگار با محیط‌زیست برای اصلاح مکان‌های شهری و صنعتی آلوده به فلزات سنگین است. پژوهش حاضر با هدف بررسی توانایی گل همیشه‌بهار، کلم‌زینتی و تاج‌خروس برای پالایش خاک‌های آلوده به کادمیوم در استان زنجان در شرایط گلخانه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل نوع گیاه در سه سطح (گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*)، کلم‌زینتی (*Brassica oleracea*) و تاج‌خروس (*Amaranthus cockscomb*)) و شش سطح آلودگی خاک به کادمیوم (۲/۲، ۱۲/۲، ۲۷/۲، ۵۲/۲، ۷۷/۲ و ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) بودند که در سه تکرار اعمال شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که غلظت بالای کادمیوم در خاک باعث کاهش وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه در گیاهان مورد مطالعه گردید. به‌طوری‌که بالاترین سطح کادمیوم خاک (۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) موجب شد وزن تر بخش هوایی در گل همیشه‌بهار، کلم‌زینتی و تاج‌خروس به‌ترتیب ۷۷، ٦۹ و ٦۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش و هم‌چنین غلظت کادمیوم در بخش هوایی گل همیشه‌بهار، کلم‌زینتی و تاج‌خروس به‌ترتیب ٤۰، ۲۲ و ٤٦ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش یابد. بیش‌ترین مقدار جذب کادمیوم در کل زیست‌توده مربوط به گل همیشه‌بهار و کلم‌زینتی در تیمار ۷۷/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و در گیاه تاج‌خروس در تیمار ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک بود. مقدار محاسبه شده فاکتور انتقال در غلظت‌های مختلف کادمیوم خاک بیش‌تر از یک بود. در بیش‌ترین غلظت کادمیوم (۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) مقدار فاکتور انتقال در گیاهان به‌ترتیب در گل همیشه‌بهار > تاج‌خروس > کلم‌زینتی بود. میزان تجمع زیستی بخش هوایی در غلظت ۱۰۲/۲

* مسئول مکاتبه: marjani.vahideh@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب در گل همیشه‌بهار > تاج خروس > کلم‌زینتی بود. میزان تجمع زیستی ریشه در غلظت ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب در تاج‌خروس > کلم‌زینتی > گل همیشه‌بهار بود.

نتیجه‌گیری: نتایج آزمایش نشان داد که فاکتور انتقال در گیاهان مورد مطالعه (تاج خروس، همیشه‌بهار و کلم زینتی) بیش‌تر از یک بود و بیش‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم در بافت خشک بخش هوایی آن‌ها وجود داشت. بنابراین می‌توان این گیاهان را از لحاظ جذب و انتقال فلز سنگین کادمیوم جزء گیاهان بیش‌اندوز طبقه‌بندی کرد که برای اصلاح خاک‌های آلوده به کادمیوم مناسب هستند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، فاکتور انتقال، فاکتور تجمع زیستی، فلزات سنگین

مقدمه

آلودگی خاک به‌وسیله فلزات سنگین یکی از مشکلات جدی محیط‌زیستی در سرتاسر جهان است که سلامت انسان و زیست‌بوم‌ها را به‌شدت تهدید می‌کند (۲٤ و ٤۳). در بین آلاینده‌های خاک و محیط‌زیست مطالعه بر روی عناصر سنگین در چند دهه اخیر و در حال حاضر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (۱، ۱۱ و ۲٦). فلزات سنگین تجزیه‌ناپذیر بوده و در محیط‌زیست پایدار هستند و تجمع می‌یابند (٤٦). در این میان کادمیوم یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های سمی است که از منابع مختلف و به روش‌های گوناگون مانند آبیاری با آب فاضلاب در مناطق خشک و نیمه‌خشک (۲٦) عملیات مختلف زراعی (کودپاشی- سم پاشی)، استخراج معدن، فعالیت‌های صنعتی و یا از طریق اگزوز اتومبیل به محیط‌زیست، گیاهان و زنجیره غذایی وارد می‌شوند (۷ و ۳۲). جذب کادمیوم توسط ریشه گیاهان بستگی به فرم شیمیایی کادمیوم در محلول خاک ریزوسفر دارد و به‌نظر می‌رسد که ریشه یون فلزی آزاد را از محلول خاک جذب می‌نماید. از آن‌جایی‌که یکی از مهم‌ترین راه‌های قرارگیری انسان در معرض کادمیوم دریافت این عنصر از طریق غذاست، ارزیابی و کنترل مقدار آلودگی منابع غذایی و شناسایی منابع آلاینده و تعدیل یا حذف آن‌ها نقش چشم‌گیری در سلامت و طول عمر انسان ایفا می‌کند (۳٦). غلظت بالای کادمیوم در زنجیره غذایی باعث بیماری‌های کلیوی و کبدی، مشکلات استخوانی و بیماری‌های عصبی می‌شود (٤۱).

روش‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به‌کار برده شده‌اند که اغلب علاوه‌بر هزینه زیاد، سبب تخریب ساختار فیزیکی، شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک شده و کاربری اراضی برای تولید محصول را کاهش می‌دهند (۵۵). در چند سال اخیر پژوهشگران روش نوینی با استفاده از گیاهان برای زدودن آلودگی‌ها از خاک بنیان نهاده‌اند، که این فناوری "گیاه‌پالایی[1]" نام دارد (۳۵). این تکنولوژی باعث افزایش کیفیت خاک، اصلاح مجدد آن و استقرار دوباره فعالیت‌های زیستی می‌شود (۳۷). توانایی گیاهان در جذب فلزات سنگین از خاک‌های آلوده متفاوت است. تعداد کمی از گونه‌های گیاهی قادر به تجمع زیاد فلزات سنگین در بافت‌های خود و مقاومت در برابر غلظت‌های بالای آن‌ها می‌باشند. این گیاهان بیش‌اندوز[2] نامیده می‌شوند و عناصر سنگین را صد برابر بیش‌تر از گیاهان معمولی

1- Phytoremediation
2- Hyperaccumulator

www.SID.ir

Archive of SID

جذب می‌کنند و برای پالایش فلزات سنگین از مکان‌های آلوده استفاده می‌شوند (۳۲). در این گیاهان فاکتور انتقال (میزان انتقال کادمیوم از ریشه به بخش‌های هوایی) و فاکتور تجمع زیستی (میزان انتقال کادمیوم از خاک به گیاه) فلز سنگین باید بزرگ‌تر از یک باشد (۲۲، ۲۷ و ۵۳).

مادجون و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی پتانسیل گیاه آفتابگردان در جذب عناصر کم‌مصرف و برخی فلزات سنگین مانند سرب، آرسنیک، کادمیوم و روی بر نقش آفتابگردان در گیاه‌پالایی تأکید داشتند (۲۹). اکبرپور و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به برخی فلزات سنگین توسط گیاه قدومه کوهی (*Alyssum*)، تاج‌خروس وحشی (*Amaranthus retroflexus*) و گیاه مرغ (*Cynodon dactylon*) گزارش کردند که غلظت کادمیوم و سرب در ریشه این گیاهان بیش‌تر از بخش‌های هوایی (ساقه و برگ) بود. کم‌ترین وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاه تاج خروس وحشی (به‌ترتیب ۲/۸ و ۲۶/۶۵ میلی‌گرم) در سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد. غلظت کادمیوم ریشه و بخش هوایی گیاه در این سطح به‌ترتیب ۶/۹۵ و ۶/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (۲). عموئی و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی شرایط بهینه عملیاتی در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم توسط گیاهان بومی ایران بیان کردند که غلظت کادمیوم ریشه و بخش هوایی گیاه تاج خروس وحشی در خاک قلیایی با سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۸ و ۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (۴). نجات‌زاده و غلامی بروجنی (۲۰۱۷) در بررسی کارایی گیاه پالایی لولیوم، تاج خروس وحشی و سورگوم در پاکسازی خاک‌های آلوده در منطقه ارومیه گزارش کردند که غلظت کادمیوم ریشه و ساقه گیاه تاج خروس وحشی در خاک قلیایی با سطح ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۸/۲۵ و ۶/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (۳۴). نتایج پژوهش‌های اسکندری و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی میزان تجمع سرب و کادمیوم در گیاه دارویی گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم خاک، میزان انباشت کادمیوم در گیاه و میزان کادمیوم قابل‌جذب خاک افزایش یافت. آن‌ها گزارش کردند که گیاه همیشه بهار گیاهی بیش‌اندوز است که قادر به انباشت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بخش‌های مختلف گیاه به‌خصوص بخش هوایی است (۱۰). عبداللهی و گلچین (۲۰۱۸) با مقایسه توان تولید زیست‌توده، جذب و انتقال کادمیوم در سه رقم کلم‌زینتی، کلم برگ و کلم بروکلی گزارش کردند که در هر سه رقم کلم غلظت کادمیوم در ریشه بیش‌تر از بخش هوایی بود و بیش‌ترین مقدار جذب کادمیوم در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک اندازه‌گیری گردید (۱).

در بسیاری از مناطق کشور به‌خصوص استان زنجان به‌دلیل تمرکز فعالیت‌های صنعتی مرتبط با فلزات سنگین (سرب، روی و کادمیوم) و وجود معادن فراوان و عملیات استخراج، تغلیظ و حمل و نقل مواد معدنی، آلودگی خاک در سطح وسیعی اتفاق افتاده است. درصورتی‌که بتوان از بین گیاهان زینتی مورد مطالعه، گونه‌های مقاوم به فلزات سنگین و بیش‌اندوز را شناسایی نمود، می‌توان برای فضاسازی و تزئین مکان‌های آلوده شهری و صنعتی با اقلیم مشابه از این گیاهان بیش‌انباشتگر استفاده نمود تا هم باعث زیباسازی مناطق و هم کاهش انتقال آلاینده‌ها به

www.SID.ir

Archive of SID

محیط‌زیست شد. استفاده از گیاهان زینتی مقاوم و بیش‌انباشتگر راهی نوین برای استفاده پایدار از منابع آب و خاک در مناطق آلوده فراهم خواهد کرد. برای این منظور پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان رشد گل همیشه‌بهار، کلم‌زینتی و تاج‌خروس در خاک‌های آلوده و هم‌چنین بررسی توانایی آن‌ها برای پالایش خاک‌های آلوده به کادمیوم در شرایط گلخانه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی پتانسیل گل همیشه‌بهار، کلم‌زینتی و گیاه تاج‌خروس برای پالایش خاک‌های آلوده به کادمیوم در استان زنجان آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش شامل نوع گیاه در سه سطح (گل همیشه‌بهار، کلم‌زینتی و تاج‌خروس) و سطوح آلودگی خاک به کادمیوم در شش سطح (۲/۲، ۱۲/۲، ۲۷/۲، ۵۲/۲، ۷۷/۲ و ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) بود. در این آزمایش ۱۸ تیمار و با لحاظ نمودن سه تکرار در مجموع ٥٤ واحد آزمایشی وجود داشت. خاک مورد نیاز برای انجام آزمایش از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان و از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری تهیه گردید. پس از نمونه‌برداری، pH عصاره اشباع خاک با استفاده از pHمتر، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به‌وسیله هدایت‌سنج، پتاسیم قابل‌جذب به روش استات آمونیوم، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال، تعیین بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری (٤٥) و غلظت کل کادمیوم خاک (۱۹) اندازه‌گیری گردید. خاک پس از هوا خشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و به میزان چهار کیلوگرم خاک برای هر گلدان توزین شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. برای آلوده کردن نمونه‌های خاک با کادمیوم از نمک سولفات کادمیوم استفاده شد. برای این منظور مقادیر متفاوتی از سولفات کادمیوم توزین و پس از حل نمودن در آب مقطر به چهار کیلوگرم خاک هر گلدان اسپری گردید تا غلظت مورد نظر کادمیوم در خاک ایجاد شود. سپس برای به تعادل رسیدن خاک‌های تیمار شده با سولفات کادمیوم، گلدان‌های حاوی خاک‌های آلوده به‌مدت دو ماه دوره‌های تر و خشک شدن را در رطوبت ظرفیت مزرعه و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سپری نمودند. در طول دوره خوابانیدن هر هفته، از هر گلدان به میزان ۱۰ گرم نمونه خاک برداشت و غلظت کادمیوم قابل‌جذب در آن پس از عصاره‌گیری با DTPA توسط دستگاه جذب اتمی (مدل Varian Spectr. AA20) اندازه‌گیری گردید (۱۵). با توجه به این‌که از هفته ششم به بعد غلظت کادمیوم قابل‌جذب تغییرات اندکی داشت بنابراین به‌نظر رسید که نمونه‌ها بعد از گذشت هشت هفته به تعادل نسبی رسیده‌اند، به همین منظور تعداد چهار نشاء از گیاهان زینتی گل همیشه‌بهار، کلم‌زینتی و تاج‌خروس در هر گلدان کاشته شدند. برای ایجاد یکنواختی جای گلدان‌ها هر ده روز یکبار جابجا گردید. در طی دوره رشد، آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر در حد رطوبت ظرفیت مزرعه انجام شد. برای این منظور گلدان‌ها در فاصله زمانی هر دو روز یکبار توزین شده و آب از دست رفته تا رسیدن گلدان‌ها به وزن نهایی (رطوبت ظرفیت مزرعه) به گلدان‌ها اضافه گردید. پس از گذشت ۷۰ روز که گیاه به حداکثر رشد خود رسید بخش‌های هوایی و ریشه گیاه

www.SID.ir

Archive of SID

جداگانه برداشت شد و بعد از اندازه‌گیری وزن تر، با آب مقطر شسته و سپس به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردیدند. برای شستشوی ریشه از محلول ۰/۰۱ درصد کالگون و دستگاه آلتراسوند استفاده گردید تا تمام ذرات خاک از ریشه جدا گردد. پس از اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها آسیاب گردیدند و به‌منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر در بافت‌های گیاهی از روش هضم تر استفاده شد (۹). فاکتور انتقال (TF) و فاکتور تجمع زیستی (BCF) عناصر سنگین طبق رابطه زیر محاسبه گردید (۱۳).

(۱) (غلظت عنصر در ریشه) / (غلظت عنصر در بخش هوایی) = فاکتورانتقال

(۲) (غلظت کل عنصر در خاک) / (غلظت عنصر در ریشه) = فاکتور تجمع زیستی ریشه

(۳) (غلظت کل عنصر در خاک) / (غلظت عنصر در بخش هوایی) = فاکتور تجمع زیستی بخش هوایی

*واحد غلظت: میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک می‌باشد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the studied soil.

عمق خاک	EC	pH	بافت خاک	ازت کل	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب	غلظت کل کادمیوم
			Soil texture	Total nitrogen	Available phosphorus	Available potassium	Total concentration of cadmium
(cm)	($dS\ m^{-1}$)			(٪)		($mg\ kg^{-1}$)	
0-20	2.1	7.3	لوم رسی Clay loam	0.21	18	246	2.2

داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش به کمک نرم‌افزار SAS 9.4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و جداول تجزیه واریانس داده‌ها تهیه گردید. مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد صورت پذیرفت و نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

تأثیر سطوح مختلف کادمیوم خاک بر وزن تر و خشک بخش هوایی گیاهان: با افزایش سطوح مختلف کادمیوم خاک، وزن تر و خشک بخش هوایی گیاهان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). کم‌ترین مقدار وزن تر و خشک بخش هوایی در تیمار ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد. به‌طوری‌که این تیمار سبب شد وزن تر و خشک بخش هوایی در گل همیشه‌بهار به‌ترتیب ۷۷ و ٦۹ درصد، در کلم‌زینتی به‌ترتیب ٦۹ و ۷٤ درصد و در تاج‌خروس به‌ترتیب ٦۲ و ٦٦ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یابد (شکل ۱). با این‌حال تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری در وزن خشک گل همیشه

www.SID.ir

Archive of SID

بهار بین تیمارهای ۵۲/۲ و ۷۷/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و در کلم زینتی و تاج خروس بین تیمارهای ۲۷/۲ و ۵۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک وجود نداشت (شکل ۱).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات تیمارهای آزمایشی بر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در بخش هوایی و ریشه گیاهان مورد مطالعه.

Table 2. Results of variance analysis of effect of treatment on measured parameters in shoot and root of studied plants.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات					
		وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight	وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight	غلظت کادمیوم Cd concentration	
		بخش هوایی Shoot		ریشه Root		بخش هوایی Shoot	ریشه Root
نوع گیاه Plant varieties	2	1083.36**	32.43**	46.51**	6.27**	1432.96**	1741.29**
سطوح کادمیوم Cd levels	5	1287.36**	131.87**	91.51**	12.21**	131878.62**	32700.44**
سطوح کادمیوم × نوع گیاه Plant varieties × Cd levels	10	94.55*	0.73ns	1.48*	0.27*	1094.05**	359.37**
خطا Error	36	1.004	5.20	1.023	0.20	86.11	33.15
درصد ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	-	7.6	3.5	5.4	8.5	6.9	8.3

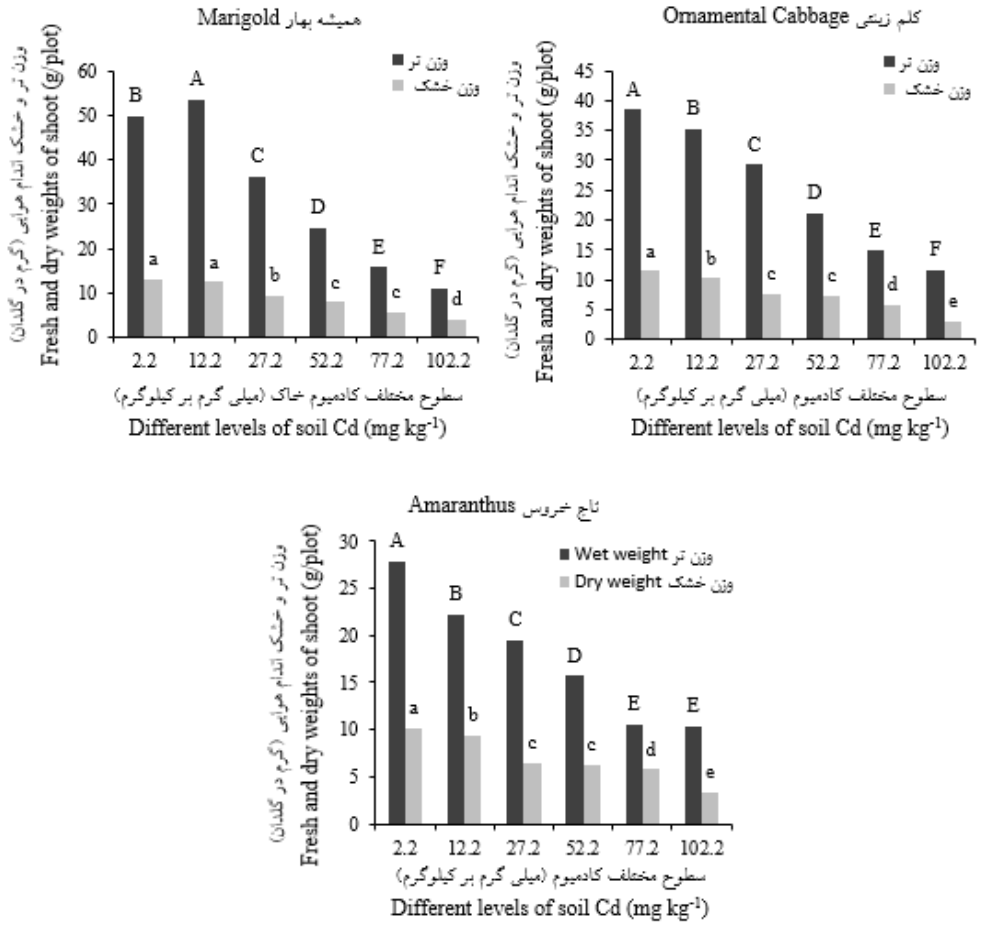
** و * به‌ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار و ns عدم اختلاف معنی‌دار است.

** and * Significant difference at P < 0.01 and P < 0.05, respectively and, ns no-Significant difference.

گزارش‌هایی از کاهش وزن تر و خشک بخش هوایی کلم زینتی (۱)، تاج خروس وحشی (۲، ٤ و ۳٤)، گل همیشه‌بهار (۱۰)) و کاهش وزن تر بخش‌های هوایی ذرت (*Zea Mays* L.) (٤۷) در اثر افزایش غلظت کادمیوم در خاک وجود دارد. حضور کادمیوم در گیاه با کاهش راندمان آب مصرفی، کاهش میزان تعرق، کاهش غلظت عناصر غذایی بافت‌ها و کاهش مقاومت گیاه در مقابل بیماری‌ها و آفات، باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود (٤۹).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف کادمیوم خاک بر وزن تر و خشک بخش هوایی.

Figure 1. The effect of different levels of soil Cd on fresh and dry weights of shoot.

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Similar letters indicate no significant difference at 5% probability level.

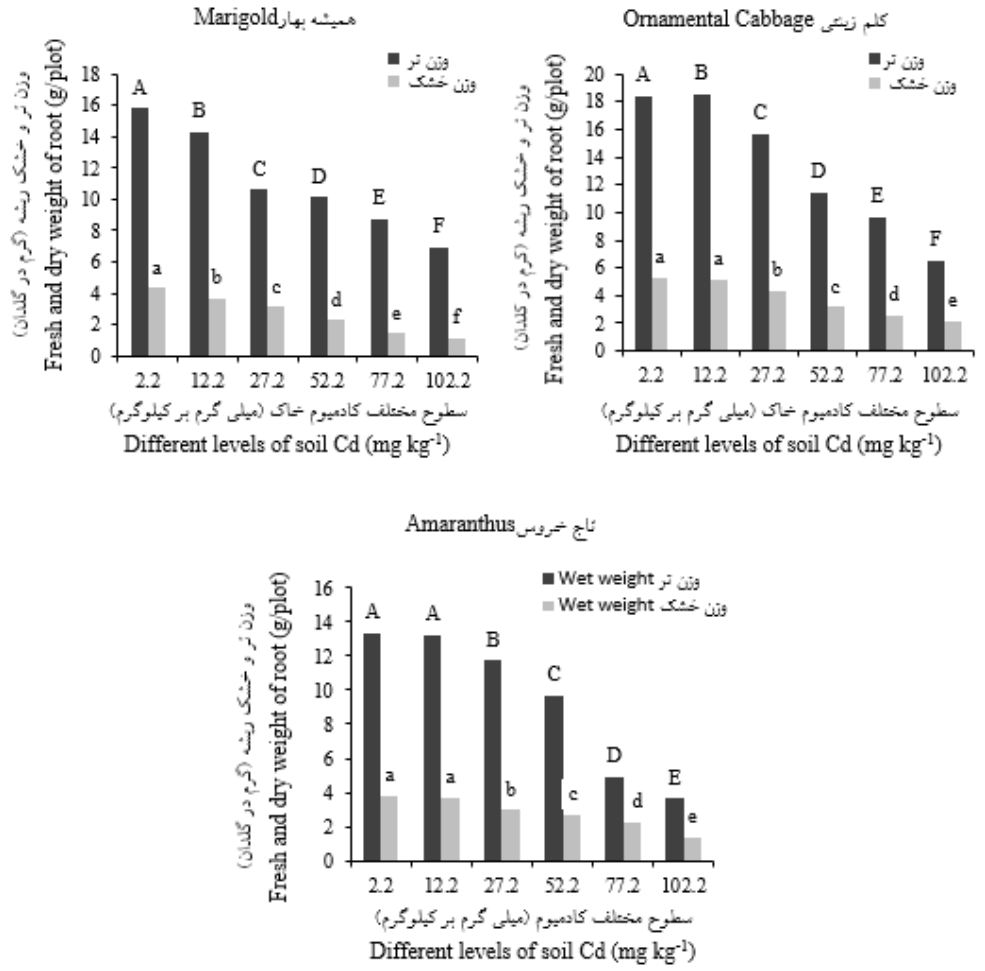
تأثیر سطوح مختلف کادمیوم خاک بر وزن تر و خشک ریشه گیاهان: با افزایش سطوح مختلف کادمیوم خاک، وزن تر و خشک ریشه گیاهان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه در تیمار شاهد و کم‌ترین مقدار آن‌ها در تیمار ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد. به‌طوری‌که سطح ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک موجب گردید تا وزن تر و خشک ریشه در گل همیشه‌بهار به‌ترتیب ٥٦ و ۷۳ درصد، در کلم‌زینتی به‌ترتیب ٦٤ و ٥٩ درصد و در تاج‌خروس به‌ترتیب ۷۲ و ٦٤ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یابد (شکل ۲).

حضور کادمیوم منجر به کاهش سرعت رشد، تبخیر و تعرق و جذب یون توسط گیاه می‌شود و با کاهش جذب آب و غلظت سایر یون‌ها، مانع از انجام فعالیت ریشه می‌گردد (۵۰). بررسی‌ها نشان می‌دهد که فلز کادمیوم بر تقسیم و رشد سلول‌ها، رشد کلی گیاه، تقسیم سلولی منطقه مریستمی و تنظیم رشد و نموی گیاهان اثر می‌گذارد (۸)، هم‌چنین مطالعات نشان می‌دهد که فلزات سنگین مانند کادمیوم، نیکل و

www.SID.ir

Archive of SID

روی باعث بروز ناهنجاری‌های کروموزومی شده و در نتیجه باعث کاهش رشد گیاه می‌گردد (۳۱). گویا و همکاران (۲۰۰۱) بیان نمودند که افزایش غلظت کادمیوم باعث کاهش در وزن خشک ریشه و بخش هوایی می‌گردد، کاهش رشد ناشی از سمیت کادمیوم، به‌علت کاهش فتونستز و تنفس، کاهش متابولیسم کربوهیدرات‌ها بوده و باعث ایجاد کلروز می‌گردد که به‌دنبال آن توده زنده نیز کاهش می‌یابد (۱٤).



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف کادمیوم خاک بر وزن تر و خشک ریشه.

Figure 2. The effect of different levels of soil Cd on fresh and dry weight of root.

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

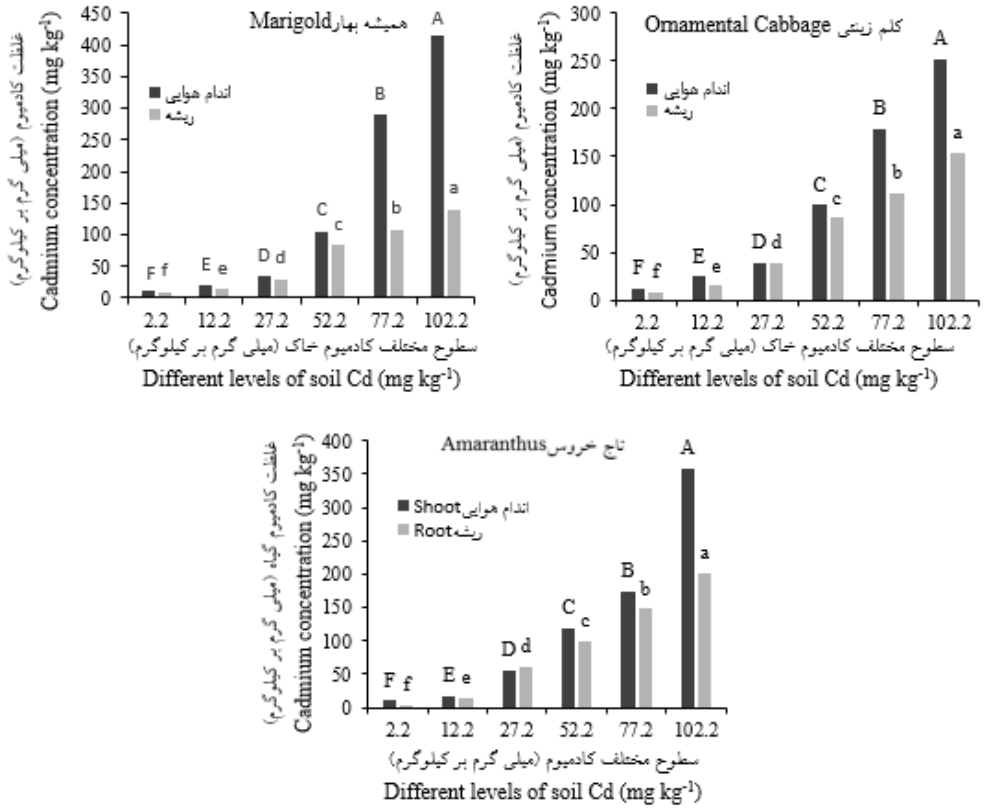
Similar letters indicate no significant difference at 5% probability level.

تأثیر سطوح مختلف کادمیوم خاک بر غلظت کادمیوم ریشه و بخش هوایی گیاهان: با افزایش سطوح مختلف کادمیوم خاک، غلظت کادمیوم ریشه و بخش هوایی گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۲). در هر سه گیاه مورد بررسی غلظت کادمیوم در ریشه بیش‌تر از بخش هوایی بود. بیش‌ترین غلظت کادمیوم ریشه و بخش هوایی در هر سه گیاه مورد مطالعه در تیمار ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و کم‌ترین مقدار آن‌ها در تیمار شاهد به‌دست آمد. به‌طوری‌که غلظت کادمیوم

www.SID.ir

Archive of SID

ریشه و بخش هوایی گل همیشه‌بهار در تیمار ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۱٤/٤ و ۳۹/۸۸ برابر، در گیاه کلم‌زینتی به‌ترتیب ۲۰/۸۱ و ۲۱/۷۵ برابر و در تاج‌خروس به‌ترتیب ۳٤/۱۹ و ٤٦ برابر بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۳). هر چند براساس نتایج به‌دست آمده در گیاه تاج خروس بیش‌ترین افزایش غلظت کادمیوم ریشه و بخش هوایی در تیمار ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد (۳٤/۱۹ و ٤٦ برابر) مشاهده گردید ولی بالاترین غلظت کادمیوم بخش هوایی با میانگین ٤۱٤/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به گل همیشه‌بهار و تیمار ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک بود (شکل ۳). شاید بتوان این امر را به توانایی بالاتر گل همیشه‌بهار در جذب و انتقال کادمیوم به بخش‌های هوایی در مقایسه با سایر گیاهان مورد بررسی نسبت داد. افزایش علظت کادمیوم بافت‌ها با افزایش غلظت کادمیوم خاک در مطالعات مختلفی گزارش شده است (۱، ۲، ٤، ۱۰ و ۳٤).



شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف کادمیوم خاک بر غلظت کادمیوم ریشه و بخش هوایی.

Figure 3. Effect of different levels of soil Cd on Cd concentration of root and shoot.

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Similar letters indicate no significant difference at 5% probability level.

جذب کادمیوم کل زیست‌توده گیاهان: نتایج نشان داد که در گل همیشه‌بهار و کلم‌زینتی حداقل میزان جذب کادمیوم در تیمار شاهد و بیش‌ترین مقدار جذب کادمیوم در تیمار ۷۷/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک بود. ولی در گیاه تاج‌خروس بیش‌ترین میزان جذب کادمیوم کل زیست‌توده در تیمار ۱۰۲/۲

www.SID.ir

Archive of SID

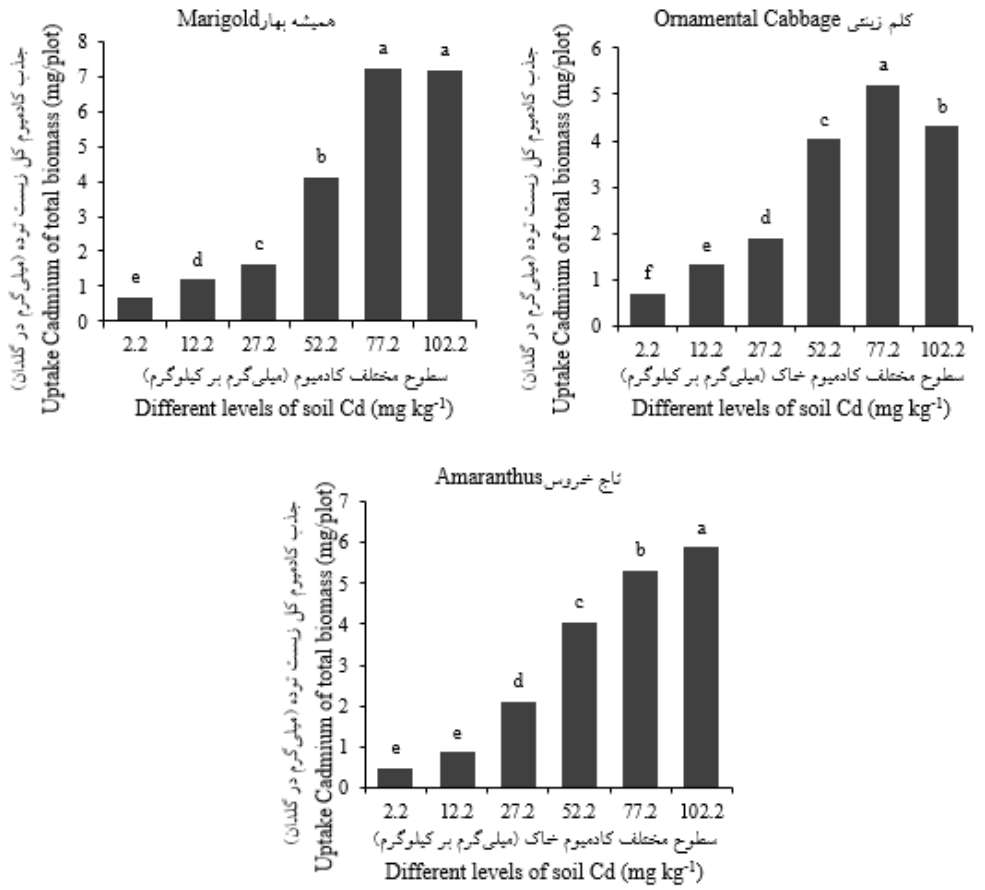
میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد (شکل ٤). میزان جذب کادمیوم کل زیست‌توده با افزایش غلظت کادمیوم خاک در گل همیشه‌بهار، کلم‌زینتی و تاج‌خروس به‌ترتیب ۱۰/۲۷، ٦/۲٤ و ۱۲ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. با این‌حال گل همیشه‌بهار بالاترین جذب کادمیوم کل زیست‌توده را در تیمارهای ۷۷/۲ و ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک (به‌ترتیب با میانگین‌های ۷/۲٤ و ۷/۱۹ میلی‌گرم در گلدان) داشت که این امر نشان‌دهنده توانایی بیش‌تر گل همیشه بهار در جذب کادمیوم از خاک نسبت به گیاهان کلم‌زینتی و تاج‌خروس است. عبداللهی و گلچین (۲۰۱۸) گزارش کردند که در گیاه کلم زینتی بیش‌ترین مقدار جذب کادمیوم در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و کم‌ترین مقدار جذب کادمیوم در تیمار شاهد (بدون کادمیوم) اندازه‌گیری گردید (۱). پژوهش‌های انجام شده توسط سایر پژوهشگران نیز بیانگر ارتباط مستقیم بین غلظت کادمیوم تجمع یافته در گیاهان و غلظت کادمیوم کل خاک می‌باشد (۱، ۲، ٤، ۱۰، ۱٦، ۳٤ و ٤٤). پژوهشگران نشان دادند که جذب فلزات از خاک توسط گیاهان تحت‌تأثیر فاکتورهایی مانند اسیدیته، دما، حضور سایر یون‌های خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار مواد آلی خاک، نوع و غلظت فلز و گونه گیاهی قرار می‌گیرد (٤۰).

گیاهان بیش‌اندوز کادمیوم قادرند غلظت‌های بالایی از کادمیوم در بخش هوایی خود داشته باشند بدون این‌که آسیب ببینند. معمولاً غلظت کادمیوم در بخش هوایی این گیاهان ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر گیاهان غیر بیش‌اندوز است (٤۸ و ٤۹). گیاهانی بیش‌اندوز کادمیوم در نظر گرفته می‌شوند که بیش‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم بافت خشک بخش هوایی داشته باشند (٦). با توجه به این تعریف و نتایج حاصل از این پژوهش گیاهان تاج خروس، کلم زینتی و گل همیشه‌بهار در تیمارهای حاوی ۵۲/۲، ۷۷/۲ و ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم کل بر کیلوگرم خاک جزء گیاهان بیش‌اندوز هستند. جذب کادمیوم بخش هوایی تیمارهای حاوی ۲/۲، ۱۲/۲، ۲۷/۲، ۵۲/۲، ۷۷/۲ و ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم کل بر کیلوگرم خاک برای گل همیشه‌بهار به‌ترتیب ۰/۵٤، ۰/۹۸، ۱/۲۵، ۳/۳٤، ٦/٦۳ و ٦/۵٤ میلی‌گرم در گلدان، برای کلم زینتی به‌ترتیب ۰/۵۳، ۱/۰۰، ۱/۱۹، ۲/۹۳، ٤/۰۵ و ۲/۹٦ میلی‌گرم در گلدان و برای تاج خروس به‌ترتیب ۰/٤۳، ۰/٦۵، ۱/٤۳، ۳/۰۱، ۳/۹۸ و ٤/۷۹ میلی‌گرم در گلدان می‌باشد. به‌طورکلی اکثر خاک‌های غیر آلوده به کادمیوم، غلظتی کم‌تر از یک میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک دارند (۰/۵ تا ۰/٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و غلظت مجاز یا ایمن آن در خاک ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۳). اگر حد مجاز و ایمن کادمیوم کل خاک دو میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شود، برای اصلاح خاک یک گلدان حاوی سه کیلوگرم خاک آلوده در غلظت‌های پایین (۲/۲ و ۱۲/۲) و بالای (۷۷/۲ و ۱۰۲/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کادمیوم کل خاک با گل همیشه‌بهار به‌ترتیب به ۱ تا ۳۱ و ۳٤ تا ٤٦ دوره کاشت، با کلم زینتی به‌ترتیب به ۱ تا ۳۰ و ۵۵ تا ۱۰۰ دوره کاشت و با گیاه تاج خروس به‌ترتیب به ۱/۵ تا ٤۷ و ۵۷ تا ٦۳ دوره کاشت نیاز است تا سطوح آلودگی خاک به کادمیوم در این خاک‌ها به حد مجاز دو میلی‌گرم بر کیلوگرم برسد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در غلظت‌های پایین (۲/۲ و ۱۲/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کادمیوم کل خاک به ۱ تا ۳۱ دوره کاشت گل همیشه بهار و کلم زینتی و ۲ تا ٤۷ دوره کاشت گیاه تاج خروس برای کاهش آلودگی خاک تا رسیدن به حد مجاز و ایمن آن لازم می‌باشد. ولی در سطوح بالای کادمیوم کل خاک تعداد دوره‌های کاشت بسیار زیاد و مدت زمان لازم برای پاکسازی بسیار طولانی خواهد شد. به‌همین دلیل

www.SID.ir

Archive of SID

است که از تکنیک گیاه‌پالایی (استخراج گیاهی) برای اصلاح خاک‌های آلوده به غلظت‌های پائین فلزات سنگین (اندکی بالاتر از غلظت مجاز و ایمن کادمیوم) استفاده می‌شود تا بتوان با چند دوره کاشت گیاهان دارای زیست‌توده بالا، آلودگی خاک را به حد مجاز رساند، ولی استفاده از این روش در غلظت‌های بالای آلودگی خاک به فلزات سنگین مقرون به صرفه و امکان‌پذیر نیست.



شکل٤- اثر سطوح مختلف کادمیوم خاک بر جذب کادمیوم کل زیست‌توده.

Figure 4. The effect of different levels of soil Cd on Uptake Cadmium of total biomass.

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Similar letters indicate no significant difference at 5% probability level.

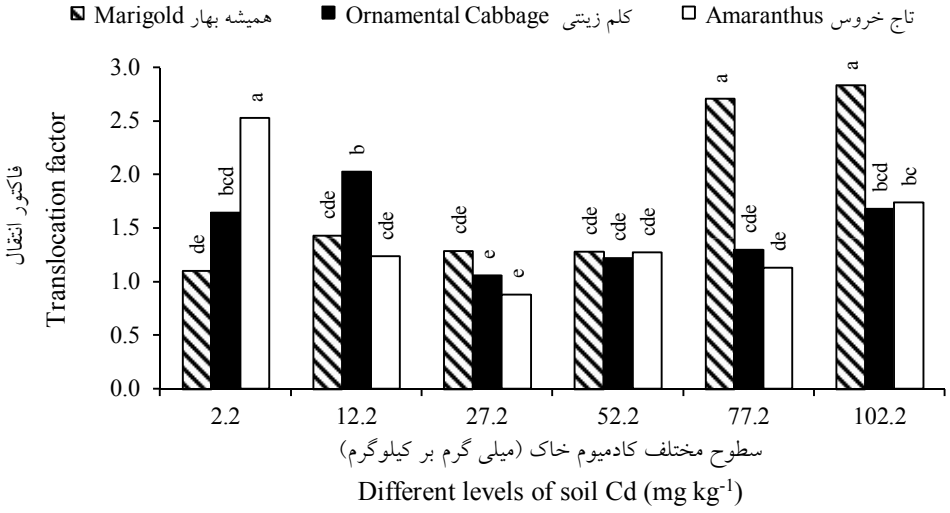
فاکتور انتقال: نتایج حاصل نشان داد که در تمام گیاهان و تمام سطوح آلودگی خاک به کادمیوم (به‌جز تیمار ۲۷/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و گیاه تاج خروس) فاکتور انتقال کادمیوم بزرگ‌تر از یک بود (شکل ۵). این امر نشان‌دهنده توانایی بالای گیاهان مورد بررسی در جذب و انتقال کادمیوم به بخش‌های هوایی می‌باشد. بیش‌ترین میزان فاکتور انتقال کادمیوم در غلظت‌های بالا (۷۷/۲ و ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) مربوط به گل همیشه‌بهار بود و کم‌ترین فاکتور انتقال در گل تاج‌خروس تیمار ۲۷/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک مشاهده گردید (شکل ۵). میزان فاکتور انتقال در غلظت ۱۰۲/۲

www.SID.ir

Archive of SID

میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک در گیاهان مورد مطالعه به‌ترتیب در گل همیشه‌بهار > تاج‌خروس> کلم زینتی بود. در غلظت پایین کادمیوم (۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) مقدار فاکتور انتقال به‌ترتیب در تاج‌خروس > کلم‌زینتی> گل همیشه‌بهار بود. با توجه به نتایج این پژوهش به‌نظر می‌رسد که استفاده از گیاه گل همیشه‌بهار برای پالایش خاک‌های آلوده به کادمیوم در غلظت‌های ۷۷/۲ و ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک در مقایسه با گیاهان کلم‌زینتی و تاج‌خروس مناسب‌تر است.

پژوهشگران نشان دادند که فلزات سنگین قابلیت اتصال به فیتوکلاتین‌ها و گلوتاتیون و تجمع یافتن در بخش‌های مختلف گیاهی را دارند و همچنین فلزات سنگین با عناصر کم‌مصرف ضروری تعامل داشته و بر جذب و انتقال این عناصر در گیاه اثر می‌گذارند (۱۷ و ۲۸). خان و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند انتقال بیش‌تر فلزات سنگین از خاک به گیاه به مفهوم تجمع فراوان این فلزات در بافت‌های گیاهی می‌باشد و هم‌چنین رابطه عکسی بین غلظت کل فلز در خاک و فاکتور انتقال فلز از خاک به گیاه وجود دارد (۲۵). هر چند انتقال فلز از خاک به گیاه براساس غلظت کل فلز در خاک محاسبه می‌شود (۱۸).



شکل ۵- فاکتور انتقال کادمیوم.

Figure 5. The translocation factor of Cd.

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

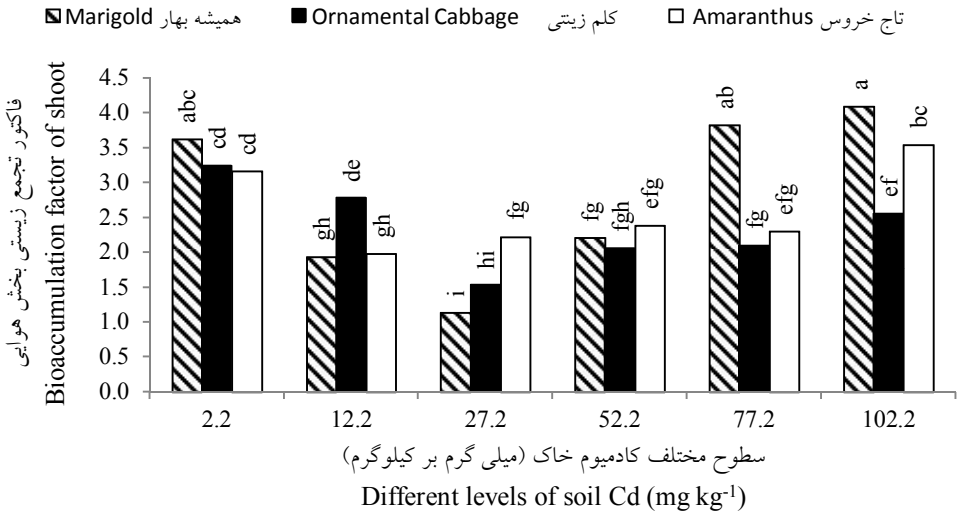
Similar letters indicate no significant difference at 5% probability level.

فاکتور تجمع‌زیستی بخش هوایی: نتایج نشان داد که در هر سه گیاه مورد بررسی و در تمام تیمارها فاکتور تجمع‌زیستی بزرگ‌تر از یک بود (شکل ٦). میزان فاکتور تجمع‌زیستی بخش هوایی در غلظت ۱۰۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک در گیاهان مورد مطالعه به‌ترتیب در گل همیشه بهار > تاج خروس > کلم زینتی بود، و در غلظت پایین کادمیوم (۲/۲ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) مقدار فاکتور تجمع زیستی بخش هوایی به‌ترتیب در گل همیشه‌بهار > کلم‌زینتی > تاج خروس بود. فاکتور تجمع‌زیستی فلزات سنگین از طریق نسبت فلز در گیاه به غلظت کل فلز در آن خاک محاسبه می‌شود (۳۰). فلزات

www.SID.ir

Archive of SID

سنگین با عناصر کم‌مصرف ضروری در تعامل هستند و با اثرگذاری بر رشد گیاه و وظایف فیزیولوژیکی آن‌ها بر میزان جذب و انتقال این عناصر در گیاه اثر می‌گذارند (٤٨). کاشیف و همکاران (٢٠٠٩) بیان نمودند گیاهان خوراکی تمایل به تجمع فلزات سنگین در بافت‌شان دارند و هم‌چنین عناصر غیرضروری از طریق ورود به محیط‌زیست ممکن است منجر به تجمع‌زیستی این عناصر در گیاهان شوند (٢٣).



شکل ٦- فاکتور تجمع‌زیستی بخش هوایی.

Figure 6. The bioaccumulation factor of shoot.

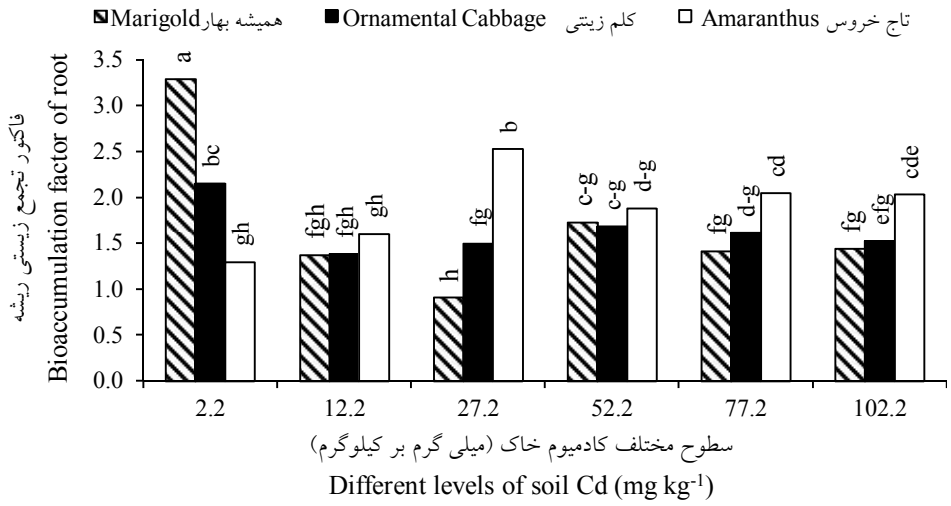
حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Similar letters indicate no significant difference at 5% probability level.

فاکتور تجمع‌زیستی ریشه: نتایج نشان داد که مقدار محاسبه شده فاکتور تجمع‌زیستی ریشه در هر سه گیاه مورد بررسی و در تمام تیمارها (به‌جز تیمار ٢٧/٢ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و گیاه گل همیشه‌بهار) بزرگ‌تر از یک بود. میزان فاکتور تجمع زیستی ریشه در غلظت ١٠٢/٢ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک در گیاهان مورد مطالعه به‌ترتیب در تاج‌خروس > کلم‌زینتی > گل همیشه‌بهار بود. در غلظت پایین کادمیوم (٢/٢ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) مقدار فاکتور تجمع زیستی بخش ریشه به‌ترتیب در گل همیشه‌بهار> کلم‌زینتی> تاج‌خروس بود. به‌طور معمول، فلزات سنگین توانایی مهاجرت از خاک آلوده به بافت‌های گیاهی را دارند (٤٦). فلزات سنگین می‌توانند در بخش‌های مختلف گیاه تجمع یابند، هر چند مقدار تجمع از بخشی به بخش دیگر متفاوت می‌باشد ولی برخی از بخش‌های گیاهی غلظت بیش‌تری از فلز را در مقایسه با سایر بخش‌ها تجمع می‌دهند (٥١). تجمع‌زیستی و انتقال فلزات سنگین در گیاهان مسیر اصلی قرار گرفتن انسان در معرض خاک‌های آلوده از طریق زنجیره غذایی هستند (٥٤).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- فاکتور تجمع‌زیستی ریشه.

Figure 7. The bioaccumulation factor of root.

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Similar letters indicate no significant difference at 5% probability level.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش سطوح کادمیوم خاک سبب کاهش وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه گیاهان (گل همیشه‌بهار، کلم‌زینتی و تاج‌خروس)، افزایش غلظت کادمیوم در ریشه و بخش هوایی و جذب کادمیوم کل زیست‌توده گیاهان گردید. فاکتور انتقال و فاکتور تجمع زیستی در گیاهان مورد مطالعه بیش‌تر از یک بود و بیش‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم در بافت خشک بخش هوایی آن‌ها وجود داشت. بنابراین می‌توان هر سه گیاه گل همیشه‌بهار، کلم‌زینتی و تاج‌خروس را از لحاظ جذب و انتقال فلز سنگین کادمیوم جزء گیاهان بیش‌اندوز طبقه‌بندی و از این گیاهان زینتی به‌عنوان گیاه پالاینده فلز سنگین کادمیوم در خاک‌های آلوده به این فلز استفاده کرد. ولی باید توجه داشت که در غلظت‌های بالای کادمیوم خاک تعداد دوره‌های کاشت گیاه برای پاکسازی و استخراج کادمیوم از خاک به‌شدت افزایش می‌یابد، بنابراین تکنیک گیاه‌پالایی فقط برای آلودگی‌های جزئی خاک به فلزات سنگین کاربرد دارد و برای آلودگی‌های زیاد خاک مقرون به صرفه و امکان‌پذیر نمی‌باشد. به‌علاوه هرچه گیاه به‌کار گرفته شده بتواند غلظت بالاتری از فلز سنگین را در بخش‌های هوایی خود نگه دارد و زیست‌توده بیش‌تری تولید کند تعداد دوره‌های کاشت کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Abdollahi, S., and Golchin, A. 2018. Biomass Production and Cadmium Accumulation and Translocation in Three Varieties of Cabbage. Iranian Journal of Soil and Water Research. 49: 2. 243-259. (In Persian)
2. Akbarpour Saraskanroud, F., Sadri, F., and Golalizadeh, D. 2011. Phytoremediation of heavy metal (Lead, Zinc and Cadmium) from polluted soils by Arasbaran protected area native plants. Journal of Water and Soil Resources Conservation. 1: 4. 53-66. (In Persian)
3. Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K.C., and Schulin, R. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. Science of the Total Environment. 347: 1-3. 64-77.
4. Amouei, A., Mahvi, A.H., Naddafi, K., Fahimi, H., Mesdaghinia, A., and Naseri, S. 2012. Optimum operating conditions in the phytoremediation of contaminated soils with Lead and Cadmium by native plants of Iran. Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences. 17: 4. 93-102. (in Persian)
5. Angelova, V.R., Grekov, D.F., Kisyov, V.K., and Ivanov, K.I. 2015. Potential of lavender (*Lavandula vera* L.) for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering. 9: 5. 522-529.
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: 2. 81-126.
7. Dallalian, M.R., and Homaee, M. 2010. Simulating of Phytoremediation Time of Cadmium and Copper Spiked Soil by Salvia Sclarea. Water and Soil Science. 20: 4. 129-141. (In Persian)
8. Das, P., Samantaray, S., and Rout, G.R. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. Environmental Pollution. 98: 1. 29-36.
9. Ehyai, M., and Behbahanizadeh, A. 1993. Description of methods for soil chemical analysis. 1(893). Institute of Soil and Water Research. (In Persian)
10. Eskandari, S., Yadegari, M., and Irani Pour, R. 2017. Study of lead and cadmium accumulation in Marigold medicinal plant (*Calendula officinalis*). 12: 47. 76-92. (in Persian)
11. Facchinelli, A., Sacchi, E., and Mallen, L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal source in soils. Environmental pollution. 114: 3. 313-324.
12. Fattahikiasary, A., Fotovat, A., Astaraie, A.R., and Haghnia, G.M. 2011. Effect of Sulfuric Acid and EDTA on Lead phyto-remediation in Soil by Three Sunflower, Corn and Cotton. Journal of Water and Soil. 14: 51. 57-68. (In Persian)
13. Fitz, W.J., and Wenzel, W.W. 2002. Arsenic transformations in the soil rhizosphere plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. Journal of Biotechnology. 99: 3. 259-278.
14. Gouia, H., Ghorbal, M.H., and Meyer, C. 2001. Effect of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. Plant Physiol. 38: 7-8. 629-638.
15. Gupta, P.K. 2000. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Dehli, India, 438p.
16. Herath, H.M.D., Bandara, D.C., Weerasinghe, P.A., Iqbal, M.C.M., and Wijayawardhana, H.C.D. 2014. Effect of Cadmium on Growth Parameters and Plant Accumulation in Different Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties in Sri Lanka. Tropical Agricultural Research. 25: 4. 532-542.
17. Hernandez, L.E., Lozano, E., Garate, A., and Carpena, R. 1998. Influence of cadmium on the uptake, tissue accumulation and subcellular distribution of manganese in pea seedlings. Plant Science. 132: 2. 139-151.
18. Hooda, P.S., McNulty, D., and Alloway, B.J. 1997 Plant availability of heavy metals in soils previously amended with heavy applications of sewage sludge. Journal of Science Food Agric. 73: 4. 446-454.

www.SID.ir

Archive of SID

19. Hseu, Z.Y. 2004. Evaluating heavy metal contents in nine composts using four digestion methods. Bioresource Technology. 95: 1. 53-59.
20. Jafarnejadi, A.R., Homaee, M., Sayad, G., and Baybordi, M. 2012. Evaluation of main soil properties affecting Cd concentrations in soil and wheat grains on some calcareous soils of Khuzestan Province. Journal of Water and Soil Conservation 19: 2. 149-164. (In Persian)
21. Kabata-Pendias, A., and pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, BocaRaton, Florida. 413p.
22. Kamnev, A.A., and Van Der Lelie, D. 2000. Chemical and Biological Parameters as Tools to Evaluate and Improve Heavy Metal Phytoremediation. Journal of Plenum Publishing Corporation. 20: 4. 239-258.
23. Kashif, S.R., Akram, M., Yaseen, M., and Ali, S. 2009. Studies on heavy metals status and their uptake by vegetables in adjoining areas of Hudiara drain in Lahore. Soil and Environment. 28: 1. 7-12.
24. Khan, M.S., Zaidi, A., and Wani, P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review. Agronomy for Sustainable Development, Springer. 27: 1. 29-43.
25. Khan, S., Aijun, L., Zhang, S., Hu, Q., and Zhu, YG. 2008. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation. Journal of Hazardous Materials. 152: 2. 506-515.
26. Khodaverdiloo, H., Han, F.X., Hamzenejad Taghlidabad, R., Karimi, A., Moradi, N., and Kazery, J.A. 2020. Potentially toxic element contamination of arid and semiarid soils and its phytoremediation. Arid Land Research and Management. 7: 1. 1-31.
27. Kim, Y.Y., Yang, Y.Y., and Lee, Y. 2002. Pb and Cd uptake in rice roots. Physiologia Plantarum. 116: 3: 368-372.
28. Lugon-Moulin, N., Zhang, M., Gadani, F., Rossi, L., Koller, D., Krauss, M., and Wagner, G.J. 2004. Critical review of the science and options for reducing cadmium in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) and other plants. Advances in Agronomy. 83: 1. 112-181.
29. Madejon, P., Murillo, J.M., Maranon, T., Cabrena, F., and Soriano, M.A. 2003. Trace element and nutrient accumulation in sunflower plants two years after the Aznalcollar mine spill. The Science of the Total Environment. 307: 1-3. 239-257.
30. Martin, M.A., Pachepsky, Y.A., Rey, J.M., Taguas, J., and Rawls, W.J. 2005 Balanced entropy index to characterize soil texture for soil water retention estimation. Soil Science. 170: 10. 759-766.
31. Michaelis, A., Takehisa, R., and Aurich, O. 1986. Ammonium chloride and zinc sulfate pretreatments reduce the yield of chromatid aberrations induced by TEM and maleic hydrazide in Vicia faba. Mutation Research Letters. 173: 3. 187-191.
32. Mohammadipour, F., and Asadi Kapourchal, S. 2012. Assessing land cress potential for phytoextraction of cadmium from Cd contaminated soils. Journal of Soil and Water Resources Conservation. 2: 2. 25-35. (In Persian)
33. Motesharezadeh, B., and Savaghebi, G.H. 2011. Study of Sunflower Plant Response to Cadmium and Lead Toxicity by Usage of PGPR in a Calcareous Soil. Journal of Water and Soil. 25: 5. 1069-1079. (In Persian)
34. Nejatzadeh, F., and Gholami-Borujeni, F. 2017. Evaluate the efficiency of phytoremediation of Lolium, Amaranth and Sorghum in cleaning up contaminated soil in Urmia area. 7: 26. 81-92. (In Persian)
35. Pais, I., and Jones, J. 2000. The Handbook of Trace elements. St. Lucie Press. Pp: 115-116.
36. Rahimi, A., and Raisi, M. 1999. Definition of lead and cadmium in meat of caught fish in Choghakhor wetlands of Chahar Mahal Province. Journal of Iran Veterinarian. 4: 21. 79-83. (In Persian)
37. Rahmanian, M., Khodaverdiloo, H., Rezaee Danesh, Y., and Rasouli Sadaghiani, M. 2011. Effects of heavy metal resistant soil microbs inoculation and soil Cd concentration on growth and

www.SID.ir

Archive of SID

metal uptake of millet, couch grass and alfalfa. African Journal of Microbiology Research. 5: 4. 403-410. (In Persian)
38. Rascio, N., and Navari-Izzo, F. 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? and what makes them so interesting? Plant Science. 180: 2. 169-181.
39. Salim, R., Al-Subu, M.M., and Atallah, A. 1993. Effects of root and foliar treatments with lead, cadmium, and copper on the uptake distribution and growth of radish plants. Environment International. 19: 4. 393-404.
40. Sharifi, M., Afuni, M., and Khoshgoftar Mannesh, A.M. 2010. Effect of cow manure, sewage sludge and cadmium chloride on uptake of cadmium in shoots of maize. Isfahan Journal of Water and Wastewater. 4: 9. 98-103. (In Persian)
41. Sharma, R.K., Agrawal, M., and Marshall, F. 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. Ecotoxicology and Environmental Safety. 66: 2. 258-266.
42. Sinegani, A.A.S., and Hosseinpur, A. 2010. Evaluation of effect of different sterilization methods on soil biomass phosphorus extracted with $NaHCO_3$. Plant Soil Environment. 56: 4. 156-162.
43. Sohrabi Yourtchi, M., and Bayat, H.R. 2013. Effect of cadmium toxicity on growth, cadmium accumulation and macronutrient content of durum wheat (Dena CV.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 6: 15. 1099-1103. (In Persian)
44. Sparks, D.L., Page, A., Helmke, P., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M. A., Johnston, C.T., and Sumne, M.E. 1996. Methods of Soil Analysis, part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. 1309p.
45. Stasinos, S., and Zabetakis, I. 2013. The uptake of nickel and chromium from irrigation water by potatoes, carrots and onions. Ecotoxicology and Environmental Safety. 91: 1. 122-128.
46. Taji, H., and Golchin, A. 2011. To investigate the potential of corn (*Zea mays* L.) for cleaning of soils polluted by cadmium and the effect of different levels of sulfur (S) element on biomass and root and concentration of some micronutrients, a greenhouse experiment. Journal of Greenhouse Science and Technology. 1: 4. 23-32. (In Persian)
47. Thys, C., Vanthomme, P., Schrevens, E., and De Proft, M. 1991. Interactions of cadmium with zinc, copper, manganese, and iron in lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic culture. Plant Cell Environmental. 14: 7. 713-717.
48. Varvara, P.G., Brendan Filby, B., and Glick, R. 2000. Increased ability of transgenic plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, co, Cu, Ni, Pb and Zn. Journal of Biotechnology. 81: 1. 45-53.
49. Vassilev, A., Vangronsveld, J., and Yordanov, I. 2002. Cadmium phytoextraction: Present state, biological backgrounds and research needs. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 28: 3-4. 68-95.
50. Wagner, G.J. 1993. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. Advances in Agronomy. 51: 1. 173-212.
51. Waling, I., Vark, W.V., Hobe, V.J.G., and Vanderlee, J.J. 1989. Soil and Plant Analysis a Series of Syllabi: Part 7. Plant Analysis Procedures Wageningen Agricultural University.
52. Wu, G., Kang, H., Zhang, X., Shao, H., Chu, L., and Ruan, C. 2010. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities. Journal of Hazardous Materials. 174: 1. 1-8.
53. Yu, L., Yan-Bin, W., Xin G., Yi-Bing, S., and Gang, G. 2006. Risk assessment of heavy metals in soils and vegetables around non-ferrous metals mining and smelting sites, Baiyin, China. Journal of Environmental Sciences. 18: 6. 1124-1134.
54. Zarei, M., Saleh Rastin, N., and Savaghebi, G.H. 2011. Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Phytoremediation of Zinc Polluted Soils Using Maize (*Zea mays* L.). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 15: 55. 151-168. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 10(3), 2020
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.17369.1924

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Potential of marigold (*Calendula officinalis*), ornamental cabbage (*Brassica oleracea*) and amaranthus (*Amaranthus cockscomb*) for phytoextraction of cadmium from the soil

***V. Marjani[1], A. Golchin[2] and S. Abdollahi[3]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [3]Ph.D. of Soil Science, University of Zanjan
Received: 12.31.2019; Accepted: 09.01.2020

Abstract

Background and Objectives: Soil contamination by heavy metals is a serious environmental challenge and can cause problems for human and animal health globally. Most of remediation techniques to eliminate contamination from soils are very costly and deteriorate soil physical and chemical properties. The use of ornamental plants with high biomass and uptake is an innovative, economical and environmentally friendly way to remediate urban and industrial sites polluted by heavy metals. The purpose of this study was to investigate the ability of the marigold, ornamental cabbage and amaranthus to remediate cadmium contaminated soils in Zanjan province under greenhouse conditions.

Materials and Methods: The present study was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design. Experimental treatments included three types of plant (marigold (*Calendula officinalis*), ornamental cabbage (*Brassica oleracea*) and amaranthus (*Amaranthus cockscomb*) and soil cadmium levels (2.2, 12.2, 27.2, 57.2, 77.2 and 102.2 mg Cd/kg soil) which were used in triplicate.

Results: The results indicate that high concentrations of cadmium in soil were toxic to plants and decreased the fresh and dry weight of the shoot and root. The highest level of soil cadmium (102.2 mg Cd/kg soil) decreased the fresh weight of the shoot in the marigold, ornamental cabbage and amaranthus by 77, 69 and 62%, respectively, when compared to the control (zero cadmium) treatment. Also, the concentration of cadmium of the shoot in the marigold, ornamental cabbage and amaranthus, when the soil cadmium level was 102.2 mg Cd/kg soil, increased by 39.88, 21.75 and 46 times, respectively, compared to the control (zero cadmium) treatment. The maximum amount of cadmium uptake for whole plant biomass was measured for marigold and ornamental cabbage when soil cadmium level was 77.2 mg Cd/kg soil, but the highest uptake for amaranthus was calculated in treatment with 102.2 mg Cd/kg soil. The lowest cadmium uptake was also observed in the control treatment. Translocation factors for cadmium in studying plants were higher than one and at the highest soil cadmium level (102.2 mg cadmium per kg soil), the calculated translocation factors of plants were in the order of marigold > amaranthus > ornamental cabbage respectively. The shoot bioaccumulation factor at the soil cadmium concentration of 102.2 mg Cd/kg soil was in the order of marigold > amaranthus > ornamental cabbage. The order of bioaccumulation factor for root at the soil cadmium concentration of 102.2 mg Cd/kg soil was amaranthus > ornamental cabbage > marigold.

* Corresponding Author; Email: marjani.vahideh@gmail.com

www.SID.ir

Conclusion: The results showed that the translocation factor in the studied plants (marigold, ornamental cabbage and amaranthus) was more than one and the concentration of cadmium in dried tissues of aerial parts was more than 100 mg/kg. Therefore, these plants can be classified as metal accumulator plants in terms of cadmium uptake and translocation and are suitable for remediation of cadmium contaminated soils.

Keywords: Bioaccumulation factor, Heavy metal, Soil pollution, Translocation factor

www.SID.ir

www.SID.ir