نشریهٔ محیط زیست طبیعی،مجلهٔ منابع طبیعی ایران، دورهٔ ۶۶، شمارهٔ ۳، پائیز۱۳۹۲
صفحات ۲۸۴- ۲۷۵

بررسی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به کادمیوم و کروم و تجمع زیستی آنها در گیاه اسفناج

شیرین جهانبخشی[1*]، محمدرضا رضایی[2]، محمدحسن سیاری‌زهان[3]
۱. کارشناس ارشد محیط‌زیست دانشگاه بیرجند
۲. عضو هیأت علمی گروه محیط‌زیست دانشگاه بیرجند
۳. عضو هیأت علمی گروه خاکشناسی دانشگاه بیرجند

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۲۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۲/۱۷)

چکیده

گیاه‌پالایی یکی از روش‌هایی است که در دهه‌های اخیر توجه زیادی به آن شده است. در این فرآیند، با استفاده از گیاهان سبز، آلودگی آب، خاک و رسوبات کاهش پیدا می‌کند یا حذف می‌شود. بنابراین، در راستای همین هدف، این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار از سطوح گوناگون کادمیوم با استفاده از نمک کلرید کادمیوم شامل غلظت‌های ۰، ۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کروم با استفاده از نمک کلرید کروم (III) شامل غلظت‌های ۰، ۵۰ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، به‌صورت کشت گلدانی اجرا شد. برای بررسی حذف یا کاهش غلظت دو فلز کادمیوم و کروم از گیاه اسفناج استفاده شد. اندازه‌گیری فلزات با روش هضم اسیدی و دستگاه جذب اتمی صورت گرفت. نتایج به‌دست‌آمده به‌کمک نرم‌افزار SPSS (نسخهٔ ۱۶) و Macro تجزیه و تحلیل شده و جدول‌ها و نمودارهای مربوط با نرم‌افزار Excel ترسیم شدند. نتایج نشان داد غلظت کادمیوم و کروم در اندام‌های هوایی اسفناج به‌طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) تحت تأثیر غلظت تیمارهای به‌کاررفته در خاک بود. با افزایش غلظت کادمیوم و کروم در خاک، غلظت در اندام‌های هوایی افزایش یافت. سایر نتایج نیز نشان داد که غلظت در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی بوده است. بنابراین، براساس نتایج به‌دست‌آمده، گیاه اسفناج برای گیاه‌جذبی کادمیوم و کروم در فناوری گیاه‌پالایی مناسب است.

واژگان کلیدی

اسفناج، خاک‌های آلوده، فلزات سنگین، گیاه‌پالایی.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۰۹۱۸۹۳۴۴۴۶۷
Email: jahanbakhshish@yahoo

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

فلزات سنگین و افزایش آنها در خاک از موارد مهم آلودگی خاک است که باید به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرد، زیرا با ورود به زنجیره‌های غذایی و تجمع زیستی در موجودات، سبب بروز مشکلات و بیماری‌های گوناگونی در انسان و دام می‌شود (Dabiri, 1996). فلزات سنگین آلایندهٔ خاک معمولاً کادمیوم، کروم، مس، جیوه، سرب و روی هستند (Abedi Kopaei, 1999). کادمیوم در مواد غذایی و محیط‌زیست، نه‌تنها به‌دلیل سمی‌بودن زیاد، بلکه به‌دلیل پایداری زیاد، از خطرناک‌ترین عناصر کمیاب محسوب می‌شود (Perez-Lopez *et al.*, 2008). ازآنجاکه 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 (Rahimi & Raisi, 1999). کروم، به‌سبب استفاده در صنایع بزرگ، نوعی آلایندهٔ زیست‌محیطی انتشاریافته به اتمسفر محسوب می‌شود. در شرایط اکسیداسیون پایدار، کروم به دو شکل Cr^{+3} و Cr^{+6} موجود است که زمان جابه‌جایی، دستیابی زیستی و سمی‌بودن متفاوتی دارند (Panda & Choudhury, 2005). کروم شش‌ظرفیتی عامل سرطان‌زای شناخته‌شدهٔ انسانی است و بسیاری از سازمان‌های معتبر، ایجاد سرطان ریه در نتیجهٔ مواجهه با آن را تأیید کرده‌اند (Tirger *et al.*, 2008). به این منظور، با توجه به آلودگی فلزات سنگین موجود در خاک‌ها که یک مشکل عمدهٔ زیست‌محیطی محسوب می‌شود و بر سلامت انسان، موجودات زنده، تولیدات کشاورزی و زیست‌بوم اثر می‌گذارد، از بین انواع روش‌های پاکسازی خاک‌های آلوده، گیاه‌پالایی بررسی شده است که روشی پایدار،دطبیعی، کم‌هزینه، آسان، سازگار با زیست‌بوم و در سطوح وسیع کاربردی است. اصطلاح گیاه‌پالایی به مجموعهٔ وسیعی از گیاهان اشاره دارد که به‌طور طبیعی یا با استفاده از مهندسی ژنتیک به پاکسازی محیط‌های آلوده می‌پردازند. برخی از گیاهان می‌توانند در خاک‌های حاوی فلزات سنگین رشد خود را توسعه دهند و حجم انبوهی از فلزات را در بافت‌هایشان ذخیره کنند، بدون اینکه از خود علائم مسمومیت نشان دهند (Prabha *et al.*, 2007). محققان نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، جذب این عنصر توسط گیاه ذرت افزایش می‌یابد. آنها سه غلظت ۰، ۲۵ و ۱۰۰ گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک را آزمایش کردند. نتایج نشان داد که غلظت کادمیوم در ریشه و اندام هوایی متفاوت بود؛ به‌گونه‌ای که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک (۰، ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) غلظت این عنصر در اندام هوایی به‌ترتیب ۰/۲، ۳۸/۷ و ۹۸/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در ریشه به‌ترتیب ۳، ۱۳۵ و۵۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم شد (Shen *et al.*, 1997). در تحقیقی گزارش شد که خردل هندی برای حذف روی از خاک از گیاه کیسه‌چوپان (*Caerulescencs Thlaspi*)، که به‌مثابهٔ فراانباشت روی شناخته شده، مؤثرتر است (Ebbs *et al.*, 1997). در تحقیق دیگری تجمع زیستی کادمیوم، کروم و مس با پیچک صحرایی بررسی شد و مشاهده شد که پیچک صحرایی برای گیاه‌پالایی فلزات مذکور مناسب است (Gardea-Torresdey, 2004). امکان پالایش سرب و روی با آفتابگردان و کلزا در خاک آلوده‌ای در اصفهان بررسی شد؛ در این تحقیق گزارش شد که گیاه آفتابگردان در استخراج و انتقال این عناصر از کلزا مؤثرتر بوده است (Solhi *et al.*, 2005). مقدار جذب فلزات سنگین در سه گیاه علوفه‌ای یونجه، خلر و اسپرس بررسی شد. نتایج نشان داد که گیاه یونجه در جذب و نگهداری فلزات سنگین در اندام‌های خود، به‌خصوص بخش هوایی، استعداد بالایی داشت و بعد از یونجه، اسپرس و خلر حاوی بیشترین مقدار کادمیوم و سرب در اندام هوایی بود (Atashnama *et al.*, 2006).

در تحقیق حاضر حذف آلودگی خاک از دو فلز سنگین کادمیوم و کروم از طریق گیاه‌پالایی بررسی شده است. بنابراین، با نگاهی به گیاه‌های مقاوم در برابر آلودگی با فلزات سنگین، گیاه اسفناج، به‌لحاظ مقاومت در شرایط آلودگی، داشتن ریشه‌های افشان، رشد سریع و بومی ایران‌بودن، انتخاب شد.

این پژوهش با اهداف زیر انجام شد:

۱. بررسی توان گیاه‌پالایی اسفناج در حذف یا کاهش غلظت فلزات سنگین (کروم و کادمیوم) از خاک آلوده؛ ۲. تعیین غلظت و تجمع زیستی فلزات سنگین (کروم و کادمیوم) با اسفناج.

Archive of SID

www.SID.ir

۲. مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت کشت گلدانی در دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۰ انجام شد. خاک مورد استفاده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک‌های مزرعهٔ دانشکدهٔ کشاورزی تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. خاک مورد نظر از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد (Sayyari-Zahan *et al*., 2009) و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن براساس روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین شد (جدول ۱). تعیین بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصارهٔ اشباع با هدایت‌سنج (Rhoades, 1982)، pH در عصارهٔ اشباع (Thomas, 1996)، مقدار مواد آلی با استفاده از روش والکی‌بلک (Nelson & Sommers, 1986) ، پتاسیم جذب‌شدنی به روش استات آمونیوم نرمال در عصارهٔ اشباع (Lindsay & Norvell, 1978)، فسفر جذب‌شدنی به روش اولسن (Kuo, 1996)، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال (Bremner, 1996) ، تعیین غلظت کل فلزات سنگین در خاک به روش هضم اسیدی صورت گرفت (Ebrahimpour & Mushrifah, 2008a) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی Shimadzu AA 6300 Flame اندازه‌گیری شد.

جدول۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

مشخصه	مقدار	مشخصه	مقدار
کلاس بافت خاک	لومی- رسی	pH	۷/۵
درصد رس	۳۳/۲	نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۴
درصد شن	۴۱/۵۲	فسفر جذب‌شدنی ($mg\ kg^{-1}$)	۱۰
درصد سیلت	۲۵/۲۸	پتاسیم جذب‌شدنی ($mg\ kg^{-1}$)	۲۵۰
درصد موادآلی	۰/۴	Cd ($mg\ kg^{-1}$)	۲
درصد ظرفیت زراعی	۱۵	Cr ($mg\ kg^{-1}$)	۴۵
EC ($dS\ m^{-1}$)	۲/۲۱		

در این طرح از دو تیمار استفاده شد: الف) سطوح گوناگون کادمیوم با استفاده از نمک کلرید کادمیوم شامل غلظت‌های ۵-۵۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کروم با استفاده از نمک کلرید کروم (**III**) شامل غلظت‌های ۵۰-۱۰۰-۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار. غلظت‌ها برای دو فلز کادمیوم و کروم در محدودهٔ غلظت بحرانی و خارج از آن (غلظت بحران برای کادمیوم ۳-۸ و برای کروم ۷۵- ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) انتخاب شدند (Riley *et al*., 1992).

ب) شاهد با سه تکرار. برای ایجاد آلودگی فلزات سنگین در خاک هر گلدان، عناصر کادمیوم و کروم به‌صورت نمک‌های مورد نظر در مقدار مشخصی آب‌مقطر حل شدند و به‌طور یکنواخت به خاک اضافه و سپس به گلدان منتقل شدند. مدت تماس نمک‌های ذکرشده با خاک حدود یک هفته طول کشید و عملیات کاشت بذرها انجام شد. در طول دورهٔ داشت، رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شد. به این منظور گلدان‌ها به‌صورت وزنی و به‌طور هم‌زمان در حد رطوبت ظرفیت زراعی با آب‌مقطر آبیاری شدند. بعد از سپری‌کردن طول دورهٔ رشد، اندام‌های هوایی برداشت شده و با آب‌مقطر شست‌وشو داده شدند تا برای تعیین غلظت فلزات سنگین کادمیوم و کروم به‌کار گرفته شدند (Marchiol *et al*., 2004).

۱.۲. تعیین غلظت فلزات سنگین در بافت گیاه

نمونه‌ها، به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شدند تا خشک شوند. سپس تمام نمونه‌ها وزن شدند و وزن خشک اندام‌های هوایی ثبت شد. اندام‌های هوایی با هاون چینی کوبیده و آسیاب شدند. برای هضم شیمیایی هر نمونه، از اندام‌های هوایی خشک‌شده، ۰/۳ گرم و از اندام‌های هوایی کمتر از این مقدار کل مقدار موجود برداشت شد و در ارلن مایر ۵۰ میلی‌لیتر قرار داده شد. سپس اسید نیتریک (HNO_3) ۶۵

www.SID.ir

درصد و اسیدپرکلریک ($HClO_4$) ۷۰-۷۲ درصد به نسبت ۵ به ۱/۵ استفاده شد و به هریک از نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها روی حمام شن با دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شدند تا زمانی که رنگ نمونه‌ها زلال و شفاف شد (Ebrahimpour & Mushrifah, 2008a). پس از هضم، نمونه‌ها در هوای محیط قرار داده شدند تا سرد شوند (Bahnasawy *et al*., 2009). سپس، با آب دوبار تقطیر به حجم ۲۰ سی‌سی رسانده و صاف شدند. سرانجام عصاره‌های آماده‌شده برای سنجش میزان فلزات سنگین با دستگاه جذب اتمی شعله قرائت شدند.

۲.۲. تعیین غلظت کل فلزات سنگین در خاک

خاک هر گلدان پس از خشک‌شدن به‌هم زده شد تا کاملاً مخلوط شود. از هر گلدان یک گرم خاک کوبیده و الک‌شده برداشته و در ارلن‌های ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد. سپس ۱۶ سی‌سی اسید (ترکیب ۴ سی‌سی اسید نیتریک ۶۵ درصد و ۱۲ سی‌سی اسید کلریدریک ۳۷ درصد) به هریک از ارلن‌ها افزوده شد. ارلن‌ها به‌مدت ۶ تا ۷ ساعت در حمام شن با دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند تا هضم اسیدی صورت گیرد و محلولی شیری‌رنگ به‌دست آید. بعد از زمان لازم به هریک از ارلن‌ها ۴ سی‌سی اسید پرکلریک ($HClO_4$) ۷۰-۷۲ درصد افزوده شد. بعد از تبخیر حدود ۳ سی‌سی اسید نمونه‌ها از روی حمام شن برداشته شدند (Ebrahimpour & Mushrifa, 2008b) و با آب دوبار تقطیر به حجم ۲۰ سی‌سی رسانده و صاف شدند. سرانجام عصاره‌های آماده‌شده برای سنجش میزان فلزات سنگین با دستگاه جذب اتمی شعله قرائت شدند.

۳.۲. تعیین فاکتور غلظت زیستی[1] (Bioconcentration Factor)

فاکتور غلظت زیستی (BCF) شاخصی برای توانایی گیاه در تجمع یک فلز خاص نسبت به غلظت آن فلز در بستر خاک است (Ghosh & Singh, 2005) که به شرح زیر محاسبه می‌شود: فرمول (۱)

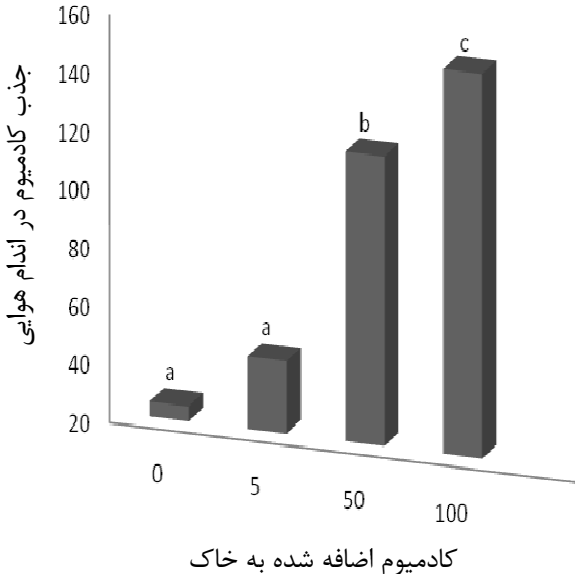
$$\text{فاکتور غلظت زیستی} = \frac{\text{میانگین غلظت عنصر در بافت گیاهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)}}{\text{غلظت اضافه شده به خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)}} \quad \text{فرمول ۱)}$$

پس از به‌دست‌آوردن نتایج، با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخهٔ ۱۶) و Macro تحلیل آماری صورت گرفت و جدول‌ها و نمودارهای مربوط با نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

۳. نتایج

۱.۳. مقدار غلظت کادمیوم و کروم در اندام‌های هوایی اسفناج

مقدار غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی اسفناج در شکل ۱ آورده شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، غلظت کادمیوم در تیمارهای ۰، ۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌صورت ۱۰۰ > ۵۰ > ۵ > ۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک است.



حروف ناهمسان نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد است

شکل ۱. مقدار غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی اسفناج (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

www.SID.ir

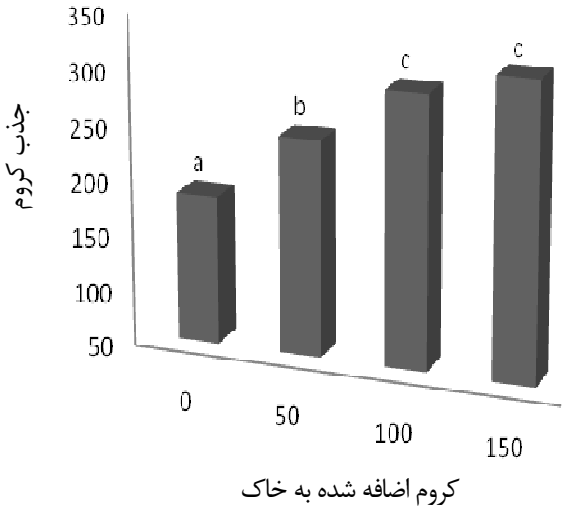
جدول۲. تجزیهٔ واریانس کادمیوم و کروم در اندام‌های هوایی اسفناج (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

منبع تغییرات	میانگین مربعات		
	درجهٔ آزادی	میزان غلظت کادمیوم	میزان غلظت کروم
غلظت	۳	۱۰۸۶۵/۱۰**	۱۰۶۲۰/۶۳**
اشتباه	۸	۴۲/۹۸	۵۶/۳۰
ضریب تغییرات (٪)	-	۷/۶۸۴	۲/۸۶۲

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

غلظت کادمیوم در غلظت‌های گوناگون در اندام‌های هوایی اسفناج متفاوت بوده است؛ به‌گونه‌ای که با افزایش آن در خاک، غلظت آن در اندام هوایی افزایش یافته است. نتایج تجزیهٔ واریانس اثر سطوح گوناگون تیمار کلرید کادمیوم به‌کاررفته در خاک (جدول ۲) بیانگر آن است که غلظت کادمیوم در اندام هوایی گونهٔ اسفناج به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۱) تحت تأثیر تیمار کادمیوم است. بنابراین، براساس این نتایج می‌توان دریافت که اسفناج در غلظت کادمیوم موجود در خاک می‌تواند فعال باشد و در کاهش غلظت این عنصر در خاک مفید واقع شود. با توجه به نتایج (جدول ۲)، غلظت این عنصر در محلول خاک مهم‌ترین فاکتور خاکی مؤثر بر جذب کادمیوم از سوی این گیاه بوده است. بررسی نتایج مقدار غلظت کروم در اندام‌های هوایی اسفناج (شکل ۲) نشان داد، غلظت کروم در اندام‌های هوایی اسفناج در تیمارهای ۰، ۵۰ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌صورت ۱۵۰ > ۱۰۰ > ۵۰ > ۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک است.

درخاک تیمارشده با کلرید کروم (III)، غلظت کروم در اندام‌های هوایی اسفناج با افزایش غلظت کروم در خاک افزایش یافت. با توجه به نتایج تجزیهٔ واریانس (جدول ۲) می‌توان به تأثیر سطوح گوناگون تیمار کلرید کروم (III) بر قابلیت غلظت کروم توسط گیاه اسفناج اشاره کرد و به این نتیجه رسید که اعمال سطوح گوناگون تیمار کلرید کروم (III) افزایش معنی‌دار غلظت فلز کروم در اندام هوایی گیاه اسفناج را سبب شده است (P<۰/۰۱). در اثر مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کروم در خاک، غلظت کروم در اندام هوایی اسفناج در مقایسه با شاهد افزایش چشمگیری نشان داد (حدود دوبرابر). بنابراین، براساس این نتایج می‌توان دریافت که گونهٔ اسفناج می‌تواند در غلظت کروم موجود در خاک مؤثر باشد و می‌توان از آن به‌مثابهٔ ابزار گیاه‌پالایی برای حذف یا کاهش غلظت کروم استفاده کرد.



حروف نامسان نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار آماری در سطح یک درصد است.

شکل ۲. غلظت کروم در اندام‌های هوایی اسفناج (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

۲.۳. بررسی مقدار غلظت کادمیوم و کروم در ریشه و اندام‌های هوایی اسفناج

ازآنجاکه عکس‌العمل اندام‌های گوناگون گیاه به مقادیر آلودگی‌های متفاوت با یکدیگر تفاوت دارد، در این قسمت بین تجمع عنصر کروم و کادمیوم در اندام‌های هوایی و زیرزمینی اسفناج مقایسه‌ای صورت می‌گیرد.

آلودگی ریشه به فلزات کروم و کادمیوم سبب ایجاد خطا در میزان قرائت فلزات محاسبه‌شده با میزان واقعی آن می‌شود. امکان ازبین‌بردن این آلودگی ریشه‌ای با شست‌وشو نیز ضعیف است و ذرات خاک را نمی‌توان به‌طور کامل از ریشه‌ها جدا کرد. علاوه‌برآن، ریشه‌های اسفناج بیوماس کمی داشتند و جمع‌آوری ریشه‌های

Archive of SID

www.SID.ir

مویینه به‌صورت صددرصد امکان‌پذیر نبود. بنابراین از ریشه‌های این گونه به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد. نتایج حاصل نشان داد که میزان کادمیوم و کروم در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی است (جدول ۳).

جدول ۳ . غلظت کادمیوم و کروم در ریشه و اندام‌های هوایی اسفناج (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

عنصر	غلظت	متوسط غلظت در ریشه	متوسط غلظت در اندام‌های هوایی
کادمیوم	۵	۷۴	۴۷/۶۴
کادمیوم	۱۰۰	۵۰۰	۱۴۵/۲۹
کروم	۵۰	۲۹۶۰	۱۵۹/۳۵
کروم	۱۵۰	۲۶۸۰	۱۳۲/۱۰

۳.۳. بررسی ارتباط غلظت کل کادمیوم و کروم در خاک و اندام‌های هوایی اسفناج

با توجه به جدول ۴، علی‌رغم اینکه مقدار کادمیوم انباشته‌شده در نمونه‌های خاکی متعلق به گیاه اسفناج برای کادمیوم کمتر از ۵۴ و برای کروم کمتر از ۲۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است، این گیاه توانایی بالایی در تجمع فلز در اندام‌های هوایی از خود نشان داد (برای کادمیوم در محدودهٔ ۲۵/۱۳ تا ۱۵۱/۹۹ و برای کروم در محدودهٔ ۱۸۵/۲ تا ۳۱۹/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) و قادر به تجمع مقادیر بالایی از کادمیوم و کروم در اندام‌های هوایی بود.

کادمیوم و کروم در خاک‌های آلوده و اندام‌های هوایی اسفناج (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

عنصر	غلظت	غلظت کل در خاک	غلظت در اندام‌های هوایی
کادمیوم	۰	۰/۶	۲۵/۱۳
	۵	۴/۶۰	۴۴/۸۲
	۵۰	۳۲/۲۶	۱۱۹/۳۳
	۱۰۰	۵۳/۸۶	۱۵۱/۹۹
کروم	۰	۳۵	۱۸۵/۲
	۵۰	۲۵۰/۲۷	۲۴۶/۶
	۱۰۰	۲۵۸/۹۰	۲۹۷/۵
	۱۵۰	۲۷۵/۹۰	۳۱۹/۰۶

۴.۳. فاکتور غلظت زیستی

جذب فلز با فاکتور غلظت زیستی (BCF) نشان داده می‌شود که شاخصی برای توانایی گیاه در تجمع یک فلز خاص نسبت به غلظت آن فلز در بستر خاک است. تغییر در میزان فاکتور تجمع زیستی به زیست‌تودهٔ هر گیاه و غلظت عنصر بستگی دارد (Singh, Ghosh & 2005) . براساس فاکتور غلظت زیستی پتانسیل گونهٔ گیاهی برای تثبیت و استخراج گیاهی مشخص می‌شود و از میزان BCF>1 برای همین منظور استفاده می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج جدول ۵، گونهٔ اسفناج از قدرت جذب و انتقال کروم و کادمیوم از خاک به اندام‌های هوایی برخوردار است. بنابراین، گیاه اسفناج برای گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده به کروم و کادمیوم مناسب است.

www.SID.ir

جدول۵. تعیین میزان فاکتور غلظت زیستی کادمیوم و کروم در اسفناج (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

عنصر	غلظت	فاکتور غلظت زیستی
کادمیوم	۵	۸/۹۶
	۵۰	۲/۳۸
	۱۰۰	۱/۵۱
کروم	۵۰	۴/۹۳
	۱۰۰	۲/۹۷
	۱۵۰	۲/۱۲

۴. بحث و نتیجه‌گیری

غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی گونهٔ اسفناج به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار کادمیوم بود (جدول ۲). با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، غلظت آن در اندام‌های هوایی روند افزایشی نشان داد (شکل ۱). در پژوهش حاضر افزایش غلظت کادمیوم در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کلرید کادمیوم را می‌توان به تأثیر یون کلرید نسبت داد. با افزایش غلظت کلرید در محلول Cd^{+2} پیوندی با کلوئیدهای خاک کمپلکس می‌شود و غلظت کل کادمیوم در محلول افزایش می‌یابد که جذب بعدی کادمیوم کمپلکس‌شده توسط ریشه را به‌دنبال دارد. همچنین با افزایش غلظت کلر در محلول Cd^{+2} به‌شکل کمپلکس در می‌آید و انتشار مؤثر کادمیوم در خاک و محلول به مکان‌های جذب در ریشه افزایش می‌یابد (Khosravi *et al*., 2009). سازوکار سمی‌بودن کادمیوم به‌طور کامل درک نشده است. کادمیوم پس از ورود به ریشه از طریق بافت کورتیکال به بافت‌های فوقانی انتقال می‌یابد. به محض اینکه کادمیوم وارد ریشه شد، از طریق مسیر آپوپلاست یا سیم‌پلاست به گزیلم، وارد گزیلم می‌شود. با چندین پیوند مثل اسیدهای آلی یا فیتوکلایتین‌ها کمپلکس تشکیل می‌دهد. به‌طور معمول یون کادمیوم در ریشه‌ها باقی می‌ماند و فقط مقدار اندکی به اندام‌های هوایی انتقال می‌یابد (Benavides *et al*., 2005). با توجه به تفاوت پتانسیلی تجمعی گیاهان، تجمع کادمیوم در تیرهٔ اسفناجیان و شب‌بو بیشتر، در تیرهٔ سوسنیان و کاسنی متوسط و در تیرهٔ حبوبات کمتر مشاهده شد (Torabian & Mahjori, 2002). در پژوهش دیگری، غلظت کادمیوم در کاهو در خاک تیمارشده با کلرور کادمیوم، در مقایسه با خاک تیمارشده با لجن فاضلاب، افزایش نشان داد (Brown *et al*., 1998) که نتایج این پژوهش‌ها با نتیجهٔ این تحقیق مطابقت دارد.

در گونهٔ اسفناج با افزایش غلظت کروم در خاک غلظت آن در اندام هوایی افزایش یافت (شکل ۱). این نتایج با نتایج گزارش‌شده در مورد گندم، ذرت و لالهٔ مرداب (Vajpayee *et al*.,1999; Sharma *et al*.,1995; Sharma *et al*., 2003) در جذب کروم مطابقت دارد. محققان برای کاهش جذب در گیاهان تغذیه‌شده با کروم دلایلی ذکر کرده‌اند که یکی از این دلایل می‌تواند ناشی از اختلال در عمل غشای پلاسمایی H+ATPase باشد. کاهش نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر دیگر می‌تواند به کاهش رشد ریشه و توسعهٔ آسیب‌دیدگی به ریشه‌ها در خاک، به‌علت سمی‌بودن کروم، منجر شود. فسفر و کروم برای محل‌های جذب سطحی با گوگرد، آهن و منگنز در انتقال‌یافتن رقابت می‌کنند. بنابراین ممکن است کروم به‌طور مؤثر برای ورود سریع به داخل سیستم گیاه با این عناصر رقابت کند. انتقال ضعیف کروم به ریشه می‌تواند به‌علت جداماندن بیشتر کروم در واکوئل سلول‌های ریشه باشد که موجب غیرسمی‌بودن آن می‌شود. در حالت کلی، کروم عنصری غیرضروری و سمی برای گیاهان است و بنابراین گیاهان ممکن است هیچ سازوکار خاصی برای انتقال کروم نداشته باشند (Shanker *et al*., 2005). براساس نتایج جدول ۳، غلظت کادمیوم و کروم در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی بود. احتمالاً غلظت زیاد کروم در ریشه به‌دلیل تحرک‌پذیری کم و درنتیجه تجمع آن در واکوئل ریشه است. بنابراین، غلظت‌های بالای آن در خاک ممکن

Archive of SID

www.SID.ir

است به سمی‌بودن گیاه منجر نشود (Shanker *et al.*, 2005). به‌طور معمول یون کادمیوم در ریشه‌ها باقی می‌ماند و فقط مقدار اندکی به اندام هوایی انتقال می‌یابد (Benavides *et al.*, 2005). طی تحقیقی نشان دادند که میزان فلزاتی مانند کادمیوم، کروم و سرب در ریشهٔ گیاه بیشتر است (Bennett *et al.*, 1999) که با نتیجهٔ این تحقیق مطابقت دارد.

ترشحات ریزوسفر (محیط اطراف ریشه) گیاه سبب افزایش حلالیت عناصر در خاک می‌شود و عناصر را وارد فاز محلول می‌کند که افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عنصر را سبب می‌شود. گیاهان روش‌های متعددی برای جذب مواد معدنی از خاک‌های فقیر دارند. یکی از این روش‌ها ترشح اسیدهای آلی نظیر سیترات برای افزایش حلالیت عناصر خاک و جذب آنهاست. روش دیگر آزادکردن اسیدهای آمینه است که به آهن محلول خاک در خاک‌های فقیر متصل می‌شود. افزایش تولید این ترکیبات جذب مواد معدنی را افزایش می‌دهد (Aghabaraty *et al.*, 2009).

در گیاهان بیش‌تجمع‌دهنده غلظت فلز کادمیوم در اندام‌های هوایی بیشتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک و برای کروم بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک است (Baker & Brooks, 1989). نتایج جدول ۴ حاکی از آن است که گیاه اسفناج از نظر تجمع کادمیوم در اندام‌های هوایی جزء گیاهان بیش‌تجمع‌دهنده است، اما از نظر تجمع کروم این خصوصیت را دارا نیست و عمدتاً گیاهی معرفی می‌شود که پتانسیل مناسبی در حذف کروم از محیط دارد. علاوه‌براین، با درنظرگرفتن ضریب فاکتور غلظت زیستی بزرگ‌تر از یک، این گونه توان زیادی در انتقال و انباشت فلزات مورد مطالعه در بخش هوایی خود دارد.

پس از برداشت، آلودگی خاک توسط گیاه کاهش می‌یابد، اما مقدار زیادی بیومس خطرناک تولید می‌شود. تولید کمپوست و متراکم‌کردن دو روشی است که برای مدیریت بیومس گیاهان آلوده از سوی بسیاری از محققان پیشنهاد شده است. اما تغییر و تبدیل‌های ترموشیمیایی بهترین روش برای مصرف بیومس‌های تولیدشده با گیاه‌پالایی است؛ در این روش بیومس همچون یک منبع انرژی مصرف تجاری دارد. سوزاندن و تولید گاز از روش‌های مهم تولید انرژی گرمایی و الکتریکی است که می‌توانند از گیاهان آلوده استخراج شوند. بازیافت این انرژی از بیومس با سوزاندن یا تولید گاز می‌تواند ارزش اقتصادی داشته باشد. زیرا آن را نمی‌توان همچون علوفه یا کود مصرف کرد (Khosrobaky *et al.*, 2009).

۵.نتیجه‌گیری کلی

با توجه به یافته‌های این تحقیق نتایج به‌صورت زیر خلاصه می‌شود:

۱. غلظت کادمیوم و کروم در اندام‌های هوایی اسفناج به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر غلظت تیمارهای به‌کاررفته در خاک است. در تمامی مشاهدات، با افزایش غلظت کادمیوم و کروم در خاک، غلظت آن دو فلز در اندام‌های هوایی افزایش نشان داد.
۲. از گیاه اسفناج می‌توان جهت گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به کروم و کادمیوم استفاده کرد، زیرا قدرت تحمل و تجمع بالایی را در این تحقیق نشان داد.
۳. نتایج نیز نشان داد که غلظت در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی بوده است.
۴. در مناطقی که هدف از کاشت اسفناج مصرف خوراکی آن است و نه گیاه‌پالایی، باید به مشکل بالابودن کادمیم و کروم در بافت این گیاه توجه ویژه شود.

Archive of SID

www.SID.ir

References

1. Atashnama, k., Golchin, A., Esmaili, M (2006) "accumulation of some heavy metals in three crops including alfalfa forage, green pea and sainfoin," *sum articles of Soil Conference, Environment and Sustainable Development*, Tehran University, Karaj, Iran. (in Persian)
2. Abedi Kopaei, J., Dadmehr, R., Jolazadeh, F (1999) "Phytoremediation, a method for reducing of industrial waste," *Eleventh Annual Congress of Iranian Metallurgical Engineers Society*, Isfahan, Iran. (in Persian)
3. Aghabaraty, A., Hosseini, S.M., Esmaili, A., Bahramifar, N., Maralyan, H (2008) "Influence of urban wastewater on accumulation of heavy metals (chromium and nickel) in olive tree *(Olea europaea L.)* and soil," *Researchs of Forests and Spruce*, 16: 304-313. (in Persian)
4. Bahnasawy, M., Khidr, A.A., Dheina, N (2009) "Seasonal Variations of Heavy Metals Concentrations in Mullet, Mugil Cephalus and Liza Ramada (Mugilidae) from Lake Manzala, Egypt," *Journal of Applied Sciences Research*, 5(7): 845-852.
5. Baker, A.J.M., Brooks, R.R (1989) "Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements and review of their distribution, Ecology and Phytochemistry," *Biorecovery* 1: 81-126.
6. Benavides, M.P., Susana, M., Gallego Maria, L (2005) "Cadmium toxicity in plants," *Toxic Metals in Plants*, 17: 21-34.
7. Bennett, J.P., Chiriboga, E., Coleman, J., Waller, D.M (1999) "Heavy metals in wild rice from northern Wisconsin," *The Science of the Total Environment*, 246: 261-269.
8. Bremner, J.M (1996) Nitrogen-total. P. 1085-1122. In Sparks, D.L. *et al*., Method of soil analysis, Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
9. Brown, S.L., Chaney, R.L., Scott Angele, J., Ryan, J.A (1998) "The phytoavailability of cadmium to lettuce in long – term biosolids – amended soils," *Journal of Environmental Quality*, 27: 1071- 1078.
10. Dabiri, M (1996) *Environmental pollution (air, water, soil, sound)*, Universityof Tehran Press. 399. (in Persian)
11. Ebbs, S.D., Lasat, M.M., Brady, D.J., Cornish, J., Gordon, R., Kochian, L.V (1997) "Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil," *Journal of Environmental Quality*, 26:1424-1430.
12. Ebrahimpour, M., Mushrifah, I (2008a) "Heavy metal concentrations (Cd, Cu and Pb) in five aquatic plant species in TasikChini, Malaysia," *Environmental Geology*, 54: 689- 698.
13. Ebrahimpour, M., Mushrifah, I (2008b) "Heavy metal concentrations in water and sediments in TasikChini, a freshwater lake, Malaysia," *Environmental Monitoring and Assessment*, 141: 297-307.
14. Gardea-Torresdey, J.L., Peralta-Videa, J.R., Montes, M., De La Rosa, G., Corral-Diaz, B (2004) "Bioaccumulation of cadmium, chromium and copper by Convolvulus arvensis L.: impact on plant growth and uptake of nutritional elements," *Bioresource Technology*, 92: 229-235.
15. Gee, G.W., Bauder, J.W (1986) "Particle size analysis," In klute (ed.) Methods of soil analysis Part 2nd ed.Agron. Monger. 9. ASA and SSSA. Madison,WI.P.383-409.
16. Ghosh, M., Singh, S.P (2005) "A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by products," *Applied ecology and environmental research*, 3:1-18.
17. Khosravi, F., Savaghebi Firoozabadi, Gh ., Farahbakhsh, M (2009) "The Effect of Potassium Chloride on Cadmium Uptake by Canola and Sunflower in a Polluted Soil," *Journal of Water and Soil*, 23: 28-35. (in Persian)
18. Khosrobaky, N., Myrzaaghaei, M., Tavakoli, H (2009) "Phytoremediation , amethod for purification of wastewater pollution in order to protect the environment and saving water," *Scientific Conference of Water Challenge in Qom, the past, present and future*, Qom, Iran. (in Persian)
19. Kuo, S (1996) Phosphorus. P. 869-920. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
20. Lindsay, W.L., Norvell, W.A (1978) "Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper," *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.
21. Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P., Zerbi, G (2004) "Phytoextraction of heavy metals by canola and radish grown on multicontaminated soil," *Journal of Environmental Pollution*, 132: 21-27.
22. Nelson, B.W., Sommers, L.E (1986) "Total carbon,organic carbon and organic matter," In: A.L.Page et al. (Ed). *Methods of soil analysis*, Part 2.2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison, WI. 539-577.
23. Panda, S.K., Choudhury, S (2005) "Chromium stress in plants," *Journal of Toxic Metals in plants*, 17: 95-102.

Archive of SID

www.SID.ir

24. Perez-Lopez, M., Hermoso de Mendoza, M., Lopez Beceiro, A., Soler Rodr guez, F (2008) "Heavy metal (Cd, Pb, Zn) and metalloid (As) content in raptor species from Galicia (NW Spain)" *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70: 154-162.

25. Prabha, K., Padmavathiamma, Y.Li., Loretta, Y.Li (2007) "Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants," *Water Air Soil Pollut* 184: 105-126.

26. Rahimi, A., Raisi. M (1999) "Definition of lead and cadmium in meat of caught fish in Choghakhor wetlands of Chahar Maha Province," *Journal of Iran Veterinarian*, 79-83. (in Persian)

27. Riley, RG., Zachara, J.M., Wobber, F.J (1992) "Chemical Contaminants on DOE Lands and Selection of Contaminated Mixtures for Subsurface Science research"

28. Rhoades, J.D (1982) "Soluble salts," In: A.L. Page (Editor), *Methods of soil analysis*, Part 2. 2nd ed. Agron. monoger. 9. ASA and SSSA. Madison, WI. 167-179.

29. Sayyari-Zahan, M.H., Sadana, U.S., Steingrobe, B., Claassen, N (2009) "Manganese efficiency and maganese-uptake kinetics of raya (Brassica juncea), wheat (Triticum aestivum), and oat (Avena sativa) grown in nutrient solution and soil," *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172: 425-434.

30. Shanker, A.K., Cervanters, C., Loza- Tavera, H., Avudainayagam, S (2005) "Chromium toxicity in plants," *Environment International*, 31: 739-753.

31. Sharma, D.C., Chatterjee, C., Sharma. C.P (1995) "Chromium accumulation and its effects on wheat (Triticum aestivum L. cv. HD 2204) metabolism," *Plant Science*, 111:145-151.

32. Sharma, D.C., Sharma, C.P., Tripathi, R.D (2003) "Phytotoxic lesions of chromium in maize" *Chemosphere*, 51: 63-68.

33. Shen, Z.G., zhao, F.J., McGrath, S.P (1997) "Uptake and transport of zinc in the hyperaccumulator thlaspi caerulescens and the nonhyperaccumulator thlaspi ochroleucum," *plant cell and Environment*, 20: 898-906.

34. Solhi, M., Haji abbasi, M.A., Shariatmadari, H (2005) "feasibility study of lead and zinc purification in contaminated soil by sunflower and rapeseed.in Isfahan," *Eighth Congress of Soil Science, Soil Conservation and Watershed Research Center*,Tehran, Iran. (in Persian)

35. Thomas, G.W (1996) "Soil pH and soil acidity" P. 475-490. In Sparks, D.L. et al., *Method of soil analysis*, Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

36. Tirger, A., Golbabaei, F., Shah taheri, S.J.A., Nori, K.A., Hamedi, J., Ganjali, M.R (2008) "A comparative study of affecting factors on concentration of hexavalent chromium as an occupational carcinogens, Scientific," *Journal of Hamadan University of Medical Sciences and Health Services*, 2: 52-59. (in Persian)

37. Torabian, A., Mahjori, M (2002) "Effect of sewage irrigation on uptake of heavy metals by leafy vegetables in southern Tehran," *Journal of Water and Soil Sciences*, 16: 189-196. (in Persian)

38. Vajpayee, P., Sharma, S.C., Tripathi, R.D., Rai, U.N., Yunus, M (1999) "Bioaccumulation of chromium and toxicity to photosynthetic pigments, nitrate reductase activity and protein content of Nelumbo nucifera Gaertn," *Chemosphere*, 39: 2159-2169.

Archive of SID

www.SID.ir