فصلنامه علوم‌محیطی، دوره یازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲

۶۹-۷۸

جذب زیستی سرب و کادمیوم توسط گیاهان آبزی علف‌چشمه و پونه در شرایط هیدروپونیک

محمود خرمی وفا[۱*]، زهرا احمدپور[۲]، سعید جلالی هنرمند[۱]، کیانوش چقامیرزا[۳] و معصومه خان احمدی[۴]

[۱] استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

[۲] دانش آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

[۳] دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

[۴] مربی گروه شیمی، جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۲۹

چکیده

به‌منظور بررسی توان‌مندی دو گیاه آبزی علف‌چشمه (*Nastutiumofficinale*) و پونه (*Menthapulegium*) در جذب زیستی فلزات سرب و کادمیوم از آب، پژوهشی شامل دو آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در شرایط هیدروپونیک انجام شد. فاکتور اول شامل نوع گیاه (پونه و علف‌چشمه) و فاکتور دوم در آزمایش اول و دوم به‌ترتیب عبارت از سرب (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و کادمیوم (۳، ۶ و ۹ میلی‌گرم در لیتر) بود. پس از ۱۴ روز ریشه و اندام هوایی دو گیاه به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد درون آون کاملاً خشک شد. سپس ۰/۲ گرم از نمونه‌های گیاهی خشک پودرشده برای اندازه‌گیری انباشت سرب و کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی استفاده شد. بیشترین میزان سرب در ریشه پونه و علف‌چشمه در غلظت‌های ۱۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر رخ داد (به‌ترتیب ۱۸۵۳۴۸ و ۳۲۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و بیشترین میزان آن در اندام‌های هوایی این دو گیاه به‌ترتیب با مقادیر ۶۹۵/۵ و ۲۰۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. فاکتور انتقال پایین علف‌چشمه و پونه در این آزمایش (برای سرب به‌ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۰۰۲ و برای کادمیوم به‌ترتیب ۰/۴ و ۰/۰۰۴) به مفهوم انتقال کم‌تر آلاینده‌ها به اندام‌های هوایی و درنتیجه تجمع بیشتر سرب و کادمیوم در ریشه‌هاست که با توجه به سهولت برداشت گیاهان آبزی و جداسازی ریشه از اندام‌های هوایی، این ویژگی یک مزیت محسوب می‌شود.

کلمات کلیدی: گیاه‌پالایی، گیاهان آبزی، فلزات سنگین، آلودگی آب.

Biosorption of Lead and Cadmium by Watercress (*Nasturtium officinale*) and Pennyroyal (*Menthapulegium*) in Hydroponic Conditions

Mahmud Khoramivafa,[1]* Zahra Ahmadpoor,[2] Saeid Jalali Honarmand,[3] Kianoosh Cheghamirza &[3] Masomeh Khan Ahmadi[4]

[1] *Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah.*

[2] *M.Sc. Student in Agroecology, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah.*

[3] *Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah.*

[4] *Academic Center for Education, Culture and Research Kermanshah.*

Abstract

Two RCD factorial experiments were carried out to evaluate the ability of two aquatic plants including watercress and pennyroyal to biosorption of lead and cadmium from polluted water in hydroponic conditions. First factor was plant species (watercress and pennyroyal) and second factor was consist of lead (50, 100, 150 mg/L) and cadmium (3, 6, 9 mg/L) in first and second experiment respectively. Root and shoot of both plants dried in an electric oven at 48hrs and 50°C after 14 days. 0.2 gr of plant powdered samples used for assessment of lead and cadmium accumulation by atomic absorption The highest lead accumulation in roots of pennyroyal and watercress was obtained by concentrations of 150 and 100 mg/L in (185348 and 3261 mg/kg dry weight respectively). The highest lead accumulation in pennyroyal and watercress shoots was 295.5 and 201.5 mg/kg respectively. Low translocation factors in both plants (lead 0.06 and 0.002 respectively and cadmium 0.4 and 0.004 respectively) mean less transport of metal to shoots and more accumulation of them in root consequently. There is a privilege characteristic because harvest of aquatic plants and root/shoot separation is easy.

Keywords: Phytoremediation, Aquatic plants, Heavy metals, Water pollution.

* Corresponding author. *E-mail Address*: khoramivafa@gmail.com

۱- مقدمه

فلزات سنگین به‌علت سمی بودن، زمان ماندگاری بالا، و انباشت در بافت جانداران، از اهمیت اکولوژیک و بیولوژیک زیادی برخوردار هستند. سرب یکی از مهم‌ترین فلزات سنگین است که در آب، خاک و هوا وسیعاً پراکنده است و برای سلامت انسان‌ها مشکلات مختلفی ایجاد می‌کند [۱۳]. سمیت سرب به این دلیل است که بسیاری از جنبه‌های رفتار متابولیسمی کلسیم را تقلید می‌کند و از فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها جلوگیری می‌کند [۲۰].

عنصر کادمیوم در میان سایر عناصر سمی از آن جهت با اهمیت است که می‌تواند در مقادیر زیاد در اندام‌های گیاهی که برای انسان و حیوان سمی است تجمع یابد، بدون آن که هیچ‌گونه نشانه‌های سمیت در گیاه ظاهر شود. مقدار مجاز کادمیوم هفته‌ای ۰/۶-۰/۴ میلی‌گرم برای هر فرد است [۱۸].

در برخی کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، پژوهش‌هایی برای پالایش آب‌های آلوده با به‌کارگیری روش‌های طبیعی ــ به‌ویژه روش استفاده از گیاهان برای پالایش آب‌های آلوده ــ انجام شده است [۸]. به‌عنوان نمونه از این روش برای بهبود کیفیت آب و حذف فلزات سنگین از *Eichhornia sp.* که گیاهی است با سیستم ریشه‌ای گسترده و زیست‌توده بالا استفاده شده است [۲۶]. همچنین نتایج پژوهش انجام‌شده درمورد آب‌های آلوده شهر تهران نشان داد که استفاده از نی‌زار مصنوعی با گونه *pragmiatis steralis* روش بسیار مناسبی برای حذف آلاینده‌های شهری است [۸].

در یک آزمایش هیدروپونیک که با سطوح مختلف کادمیوم تیمار شده بود، گیاه چنگال آبی (*Ceratophyllum demersum*)، ۵۰ ٪ کادمیوم را جذب کرد [۱۹]. در آزمایشی دیگر که به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف کادمیوم بر رشد و جذب آن توسط گیاهان *Isoetes sp. Jaiwanensis* و *Echinodorus Gladiolus amazonicus* در شرایط هیدروپونیک انجام گرفت، مشخص شد که زیست‌توده این گیاهان با افزایش مقدار کادمیوم از ۲۰-۵ میلی‌گرم در لیتر در محیط کشت کاهش یافت [۱۴]. همچنین نتایج به‌کارگیری گیاهان *Elsholtzia argi* و *Elsholtzia splendens* در پالایش مس از آب آلوده [۲۵] نشان داد که گیاه *Elsholtzia argi* به‌علت انتقال بهتر مس به اندام هوایی و در نتیجه کارایی بیشتر در حذف، برای پالایش آب مناسب‌تر بود. در پژوهشی دیگر [۷] نشان داده شد که گیاه آبزی *Eichhornia crassiprs* پتانسیل بالایی در حذف سرب از فاضلاب صنعتی دارد.

در مطالعه‌ی حاضر، امکان جذب سرب و کادمیوم از آب‌های آلوده توسط دو گیاه علف‌چشمه و پونه در شرایط آزمایشگاهی هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفت. درصورت وجود این قابلیت، بهره‌گیری از این دو گیاه همانند فیلتری زیستی برای کاهش این آلاینده‌ها در آب‌های سطحی امکان‌پذیر است. این دو گیاه به‌علت داشتن ویژگی‌هایی چون سازگاری با شرایط اقلیمی کشور و نیاز کم‌تر به مراقبت و رسیدگی، برای دست‌یابی به اهداف یادشده گیاهانی مناسب‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۸۹ در آزمایشگاه گیاهان دارویی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به‌صورت هیدروپونیک در شرایط آزمایشگاهی کنترل شده (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۶ ساعت نوردهی) به‌صورت دو آزمایش جداگانه فاکتوریل، در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل: ۱. نوع گیاه در دو سطح (پونه و علف‌چشمه)؛ ۲. سرب (برای آزمایش اول) در سه سطح (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) یا کادمیوم (برای آزمایش دوم) در سه سطح (۳، ۶ و ۹ میلی‌گرم در لیتر) بودند.

نهال بذرهای علف‌چشمه و پونه (حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) از منطقه دهستان قلعه‌شاهین از توابع شهرستان سرپل ذهاب واقع در عرض جغرافیایی "۵۶/۱۱ ′۱۹ °۳۴ شمالی و طول جغرافیایی "۳۷/۰۸ ′۵۸ °۴۵ شرقی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. نهال‌ها پس از شست‌وشوی ریشه در گلدان‌های ۳ لیتری جای داده شدند. به هر گلدان، به‌روش پریانیشنیکووا[1]، ۲/۵ لیتر آب مقطر به‌همراه محلول‌های غذایی (جدول ۱) اضافه شد [۱۶]. هفته اول ۱۰cc و هفته دوم ۵cc از محلول غذایی به گلدان‌های حاوی گیاه اضافه شد. برای جلوگیری از ورود نور به داخل گلدان‌ها دور هر گلدان را با فویل آلومینیومی پوشانیده و برای تأمین اکسیژن ریشه‌ها از پمپ هوا استفاده شد.

پس از سازگاری نشاها با شرایط آزمایشگاهی، برای افزودن کادمیوم و سرب به محیط رشد گیاهان به‌ترتیب از نمک‌های نیترات کادمیوم[2] و کربنات سرب[3] براساس جدول ۲ استفاده شد.

جدول ۱- محلول غذایی مورد استفاده در آزمایش برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه براساس روش پریانیشنیکووا

نمک‌های حاوی عناصر غذایی	مقدار مورد استفاده (گرم در لیتر)
نیترات آمونیوم (NH_4NO_3)	۰/۲۴
سولفات منیزیم ($MgSO_4$)	۰/۰۶
کلسیم هیدروژن فسفات ($CaHPO_4.2H_2O$)	۰/۱۷۲
کلرید پتاسیم (KCl)	۰/۱۵
کلرید آهن ($FeCl_3$)	۰/۰۲۵
سولفات کلسیم ($CaSO_4.2H_2O$)	۰/۳۴۴

جدول ۲- مقدار نمک اضافه شده برای افزودن مقادیر مورد نظر از کادمیوم و سرب به محیط رشد گیاهان (درحجم ۲/۵ لیتر آب)

کادمیوم			سرب		
جرم اتمی (گرم)	نیترات کادمیوم (گرم)	مقادیر مورد نیاز برای غلظت‌های ۳، ۶ و ۹ میلی‌گرم	جرم اتمی (گرم)	کربنات سرب (گرم)	مقادیر مورد نیاز برای غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم
۱۱۲/۴۱	M= ۳۰۸/۴۷	۲۱، ۴۲ و ۶۳ میلی‌گرم	۲۰۷/۲	M=۲۶۷/۲	۱۶۱/۲۵، ۳۲۲/۵ و ۴۸۳/۷۵ میلی‌گرم

پس از ۱۴ روز بوته‌های علف‌چشمه و پونه در هر واحد آزمایشی (گلدان) با دقت کامل از آب خارج، و سپس هر بوته به دو قسمت ریشه و اندام هوایی تقسیم شد. ریشه‌ها و اندام‌های هوایی به‌صورت جداگانه درون فویل آلومینیومی قرار داده شدند و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد درون آون کاملاً خشک شدند. پس از اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) و آسیاب کردن آن‌ها، با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Varian Spectr AA 220) انباشت سرب و کادمیوم در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای این منظور مقدار ۰/۲گرم از نمونه‌های گیاهی خشک پودر شده داخل لوله آزمایش ریخته و به آن ۳cc اسید نیتریک (HNO_3) اضافه شد. بعد از گذشت یک شبانه روز، ۲cc آب‌اکسیژنه (H_2O_2) نیز به آن افزوده و سپس لوله‌های آزمایش به‌مدت ۱۵ دقیقه برای حل شدن نمونه‌ها به حمام آب داغ با دمای ۱۰۰درجه منتقل شد. پس از سرد شدن لوله‌ها، نمونه‌ها را با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف کرده و حجم نمونه با آب مقطر به ۱۵cc رسانده شد. پس از این مرحله میزان فلزات سرب و کادمیوم موجود در محلول نمونه‌ها به‌صورت جداگانه با دستگاه جذب اتمی قرائت و داده‌ها ثبت شد [۲۳].

به‌منظور تعیین سرب و کادمیوم احتمالی موجود در نشاهای جمع‌آوری شده پیش از آزمایش نیز چند نمونه تصادفی از بین آن‌ها انتخاب، و با روش فوق بررسی شدند. مقادیر قرائت شده با استفاده از فرمول ۱ به غلظت واقعی به‌ازای واحد وزن خشک نمونه (میلی‌گرم در لیتر) تبدیل شد.

$$\text{غلظت واقعی} = \frac{\text{حجم نهایی نمونه} \times \text{غلظت دستگاه}}{\text{وزن خشک}} \quad (۱)$$

همچنین فاکتور غلظت زیستی[۴] (BCF)، فاکتور انتقال[۵] (TF)، شاخص تحمل[۶] (TI) براساس روابط ۲ تا ۴ اندازه‌گیری شد [۷]:

$$BCF = \frac{\text{میزان تجمع فلز در اندام مورد نظر}}{\text{میزان اولیه فلز در بستر کاشت}} \quad (۲)$$

$$TF = \frac{\text{غلظت فلز در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز در ریشه}} \quad (۳)$$

$$TI = \frac{\text{وزن خشک گیاه در حضور آلاینده}}{\text{وزن خشک شاهد}} \times ۱۰۰ \quad (۴)$$

برای تجزیه‌های آماری از نرم‌افزارهای آماری MSTATC و EXCEL استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها هم به روش چنددامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

اندازه‌گیری اولیه نشاءها پیش از اعمال تیمارها، وجود مقادیری از کادمیوم و سرب را در نشاهای جمع‌آوری شده آشکار ساخت (جدول ۳). این موضوع نشان‌گر این واقعیت است که حتی چشمه‌ها و جوی‌های بکر نیز از آلوده شدن به فلزات سنگین (کادمیوم و سرب) در امان نیستند. لازم به یادآوری است که این مقادیر قبل از انجام تحلیل‌های آماری از مقادیر به دست آمده، از نمونه‌های گیاهی تیمار شده با آلاینده‌های مختلف کسر شد.

براساس یافته‌های به دست آمده، در پی افزایش میزان سرب در محلول‌ها، انباشت آن در ریشه دو گیاه متفاوت بود (جدول ۴)، به‌طوری که انباشت سرب در ریشه‌های علف‌چشمه فقط تا غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ادامه داشت (۳۲۶۱ میلی‌گرم در هر کیلوگرم ماده خشک)، و پس از افزایش غلظت سرب در محیط رشد این مقدار ثابت ماند؛ این در حالی است که ریشه‌های پونه به تجمع سرب تا غلظت ۱۵۰میلی‌گرم در لیتر ادامه دادند (۱۸۵۳۴۸ میلی‌گرم در هر کیلوگرم ماده خشک). به‌عبارت دیگر پونه توانایی بیشتری در جذب و انباشت سرب در ریشه‌های خود نشان داد (جدول ۵). یافته‌ها بیان‌گر آن است که فلزات سنگین، از جمله سرب و کادمیوم، بیشتر در ریشه‌های گیاهان آبزی تجمع می‌یابد؛ زیرا سرب عنصری غیر متحرک است و به‌صورت سولفات سرب در ریشه رسوب می‌کند [۱۰]. ریشه‌ها پایه گیاه و مسیر اصلی جذب فلز در گیاهان آبزی هستند، اما به‌دلیل عدم فتوسنتز ریشه، تجمع بیشتر فلز در ریشه گیاه باعث تحمل گیاه در برابر فلزات سنگین می‌شود [۱].

جدول ۳- مقادیر اولیه سرب و کادمیوم در ریشه و اندام هوایی نشاهای جمع‌آوری شده پونه و علف‌چشمه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

پونه	ریشه		اندام هوایی		علف‌چشمه	ریشه		اندام هوایی	
	کادمیوم	سرب	کادمیوم	سرب		کادمیوم	سرب	کادمیوم	سرب
	۸/۳۲	۱۱/۸۱	۲/۴	۳/۲		۲/۳۲	۴/۲۷	۱/۱	۲/۴

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات سرب در گیاه

منبع تغییرات	df	میانگین مربعات					
		غلظت سرب در ریشه	غلظت سرب در اندام هوایی	غلظت زیستی سرب در ریشه	غلظت زیستی سرب در اندام هوایی	فاکتور انتقال سرب	شاخص تحمل ریشه	شاخص تحمل اندام هوایی
گیاه	۱	۸۰۱۵۱۳۳۴۷۳۴**	۸۸۵۱۵ **	۷۱۵۴۹۲۳**	۰/۴۵**	۰/۰۲**	۷۱۳۵ *	۷۲۵**
سطوح سرب	۲	۱۰۵۰۴۰۴۴۴۷۲**	۱۸۲۳۴۲**	۳۸۵۰۶۸**	۱/۲۸**	۰/۰۰ ns	۶۹۹ ns	۳۲۴ **
گیاه× سطوح سرب	۲	۱۰۱۷۰۶۶۲۸۶۹ **	۱۶۱۹۳۰ **	۴۰۷۲۰۰ **	۱۶/۳۹ **	۰/۰۲**	۲۴۶ ns	۳۰۷ **
اشتباه	۱۲	۴۷۵۵۷۰	۳۰/۵	۱۵۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۹۲۵	۳۳/۸
ضریب تغییرات (٪)		۰/۹۹	۲/۱	۱/۸۹	۲/۴۰	۱۵/۷۱	۳۶/۸۷	۷/۸۴

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

انباشت سرب در ریشه علف‌چشمه، در بیشترین غلظت آن در محیط کشت (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، ۱۹ برابر انباشت آن در اندام هوایی بود که با یافته محققان [۱۲] مبنی بر این که انباشت سرب در ریشه علف‌چشمه ۲۵ برابر انباشت آن در اندام هوایی است، مطابقت دارد. آزمایش‌ها نشان داده اگرچه سرب به‌راحتی توسط ریشه گیاه (بسته به‌گونه) جذب می‌شود، مقدار بسیار جزیی از آن به اندام هوایی انتقال می‌یابد.

به نظر می‌رسد از آنجا که در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب، بیشتر سایت‌های جاذب سرب در ریشه اشباع می‌شوند، در غلظت بیشتر از ۱۰۰ (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) جذب سرب توسط ریشه علف‌چشمه افزایش معنی‌داری نداشته است. نتایج مطالعات انجام شده [۱۷] بیان می‌دارد که در غلظت‌های زیاد تجمع مس در گیاه، به‌علت اشباع سایت‌های ویژه از مس، کم می‌شود. البته عوامل دیگری مانند گونه گیاه پالاینده، نوع و مقدار کلاته‌کننده‌ها، وضعیت و مرحله رشد گیاه، نوع فلز سنگین، غلظت اولیه فلز، اسیدیته و ... بر کارایی جذب و انتقال آلاینده مورد نظر توسط گیاه مؤثر است [۲۱].

برخلاف ریشه، میزان انباشت سرب در اندام هوایی هر دوگیاه با افزایش غلظت سرب تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت، اگرچه این افزایش در پونه (۶۹۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بسیار بیشتر از علف‌چشمه (۲۰۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل گیاه و سرب برای خصوصیات مربوط به سرب

گیاه	سطوح سرب (میلی‌گرم در لیتر م)	غلظت سرب در ریشه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت سرب در اندام هوایی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت زیستی سرب در ریشه	غلظت زیستی سرب در اندام هوایی	فاکتور انتقال سرب	شاخص تحمل اندام هوایی
علف‌چشمه	۵۰	^{e}۲۴۳۹	^{d}۱۸۷/۵	^{d}۴۸/۷۸	^{b}۳/۷۵	^{a}۰/۰۸	^{ab}۷۷/۳۲
	۱۰۰	^{ab}۳۲۶۱	^{d}۱۸۶/۵	^{d}۳۲/۶۱	^{d}۱/۸۶	^{b}۰/۰۶	^{b}۷۰/۰۸
	۱۵۰	^{a}۳۹۲۶	^{e}۲۰۶/۲	^{d}۲۶/۱۷	^{e}۱/۳۷	^{b}۰/۰۵	^{c}۵۶/۱۲
پونه	۵۰	^{e}۴۰۸۲۰	^{c}۲۰۴/۵۲	^{c}۸۱۶/۴	^{f}۰/۴۹	^{c}۰/۰۰۱	^{a}۸۸/۰۳
	۱۰۰	^{b}۱۸۳۸۴۱	^{b}۲۸۰/۹	^{a}۱۸۳۸	^{c}۲/۸۱	^{c}۰/۰۰۲	^{a}۸۴/۰۱
	۱۵۰	^{a}۱۸۵۳۴۸	^{a}۶۹۵/۵	^{b}۱۲۳۶	^{a}۴/۶۴	^{c}۰/۰۰۴	^{b}۶۹/۵۶

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌دار ندارند ($p<0.05$)

شاخص غلظت زیستی بیان‌گر میزان انباشت فلز مورد نظر در اندام قابل برداشت گیاه پالاینده نسبت به میزان موجود در محلول ناحیه ریشه است. در حالت کلی این فاکتور رابطه مستقیم با گونه گیاه پالاینده، نوع آلاینده، غلظت و فراهمی زیستی[۷] آن دارد. تولید زیاد زیست‌توده و شاخص غلظت زیستی بالا دو ویژگی ضروری برای یک گیاه پالاینده است [۷].

یافته‌های این آزمایش بیان‌گر وجود اختلاف بسیار معنی‌دار بین دو گیاه از نظر غلظت زیستی سرب در ریشه و اندام هوایی بود؛ تأثیر سطوح مختلف سرب بر این شاخص در ریشه و اندام هوایی نیز معنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین دو گیاه در سطوح مختلف سرب از نظر غلظت زیستی آن در ریشه و اندام هوایی اختلاف معنی‌دار داشتند. در این رابطه افزایش غلظت سرب در محیط کشت تأثیر معنی‌داری بر غلظت زیستی این آلاینده در ریشه علف‌چشمه نداشت ولی باعث کاهش معنی‌دار غلظت زیستی آن در اندام هوایی علف‌چشمه شد، به‌گونه‌ای که بیشترین شاخص غلظت زیستی سرب در ریشه علف‌چشمه (۴۸/۷۸) در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد که تقریباً ۱۶ برابر آن در اندام هوایی (۳/۷۵) بود. درمورد پونه نیز بیشترین مقدار این شاخص در ریشه (۱۸۳۸) و اندام هوایی (۴/۶۴) به‌ترتیب در غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سرب مشاهده شد (جدول ۵).

به‌گفته برخی از محققان، گیاهان می‌توانند با دو راهکار اسیدی کردن این منطقه با فعالیت پمپ‌های پروتونی غشای پلاسمایی و دیگری تولید لیگاندهای آلی

برای کلاته‌کردن فلزات و عناصر و جذب آسان‌تر آن به درون ریشه‌ها، شرایط جذب عناصر را در ناحیه اطراف ریشه خود بهبود بخشند [۵]. در بیشتر مطالعات غلظت زیستی سرب در ریشه بیشتر از سایر اندام‌های گیاهان پالاینده گزارش شده است. برهمین اساس بیش از ۸۷-۸۰ درصد از سرب جذب‌شده توسط آفتابگردان در ریشه‌ها ماند و کم‌تر از ۲۰-۱۳ درصد به اندام هوایی منتقل شد [۱۱].

همان‌گونه که در آزمایش حاضر شاهد اختلاف زیاد این شاخص در ریشه نسبت به اندام هوایی هستیم، محققین دیگری نیز مشابه آن را گزارش کرده‌اند [۴]. گفته شده که در گیاه *Brassica juncea* در معرض آلودگی ۲۰۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم سرب در خاک، غلظت زیستی اندام هوایی در بیشترین حالت فقط ۰/۰۳۵ بود (۷۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم). عدم انتقال بیشتر سرب به اندام‌های هوایی ممکن است ناشی از تبدیل فرم سرب از کروسیت[۸] به پیرومورفیت[۹] در بستر کاهش انتقال آن درون گیاه نیز باشد [۳].

نسبت فلز انباشته در ریشه به میزان آن در اندام هوایی را «فاکتور انتقال» می‌نامند که بیان‌گر قدرت گیاه پالاینده در انتقال فلز یا آلاینده‌های دیگر از اندام‌های زیرزمینی به اندام‌های قابل برداشت هوایی است [۷]. بررسی‌های آماری انجام گرفته درخصوص فاکتور انتقال سرب نشان داد که دو گیاه در غلظت‌های مختلف سرب با هم اختلاف معنی‌دار داشتند. با افزایش غلظت سرب انتقال آن به اندام هوایی علف‌چشمه تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌گونه‌ای که بیشترین انتقال سرب به اندام هوایی علف‌چشمه (۰/۰۸) در سطح ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد ولی این افزایش غلظت در انتقال سرب به اندام هوایی پونه تغییر معنی‌داری در پی نداشت؛ میانگین فاکتور انتقال سرب در غلظت‌های مختلف پونه معادل ۰/۰۰۲ بود. با این حال فاکتور انتقال سرب برای دو گیاه به ۱ نرسید و این یعنی، تحت تیمارهای اعمال شده هیچ‌گاه میزان سرب در ساقه و برگ دو گیاه به اندازه میزان موجود در ریشه‌ها یا بیشتر از آن نشده است (جدول ۵).

مطالعات نشان داده [۱۱] که سرب به محض ورود به سلول‌های پارانشیم ریشه و فضای بین سلولی با مقدار زیادی فسفات، کربنات، بی‌کربنات و اسیدیته بالا روبه‌رو می‌شود و به‌صورت یک ترکیب فسفات‌دار از محلول خارج، و ته‌نشین می‌شود؛ و بنابراین انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی محدود می‌شود.

شاخص تحمل بیانگر توانایی گیاه برای زنده ماندن در زیست‌گاه‌های آلوده است. به‌عبارت دیگر گیاهی که شاخص تحمل بالایی داشته باشد در زیست‌گاه‌های آلوده نیز قادر به بقا است. نتایج بیان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار بین دو گیاه از نظر شاخص تحمل ریشه و اندام هوایی سرب بود؛ سطوح مختلف سرب تنها بر شاخص تحمل اندام هوایی تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۴). دو گیاه از نظر شاخص تحمل اندام هوایی در سطح تیماری ۱۰۰ و ۱۵۰ppm سرب، با هم اختلاف معنی‌دار داشتند. در این سطوح تیماری اندام هوایی پونه تحمل بیشتری نسبت به سرب داشت. افزایش غلظت سرب باعث کاهش معنی‌دار شاخص تحمل اندام هوایی علف‌چشمه و پونه شد و کم‌ترین مقدار آن در علف‌چشمه (۵۶/۱۲٪) و پونه (۶۹/۵۶٪) در تیمار ۱۵۰ppm به دست آمد (جدول ۵).

ریشه دو گیاه از نظر تجمع کادمیوم رفتارهای متفاوتی نشان دادند (جدول ۶). به‌طوری که افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت به افزایش معنی‌دار میزان کادمیوم ریشه علف‌چشمه منجر نشد. در حالی که با افزایش غلظت کادمیوم تا 9ppm، انباشت این آلاینده در ریشه پونه افزایش یافت و مقدار آن به ۱۱۸۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک رسید که می‌تواند بیان‌گر توانایی بیشتر پونه در انباشت کادمیوم در ریشه باشد (جدول ۷).

توانایی بیشتر پونه در انباشت کادمیوم در ریشه‌های خود، با یافته‌های پیشین [۲] مبنی بر این که غلظت کادمیوم در پونه نسبت به علف‌چشمه بیشتر است هم‌خوانی داشت. دلیل این موضوع احتمالاً تراکم ریشه‌ای و تعداد ریزوم بیشتر در گیاه آبزی پونه اعلام شده است.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات کادمیوم در گیاه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		غلظت کادمیوم در ریشه	غلظت کادمیوم در اندام هوایی	غلظت زیستی کادمیوم در ریشه	غلظت زیستی کادمیوم در اندام هوایی	فاکتور انتقال کادمیوم	شاخص تحمل ریشه	شاخص تحمل اندام هوایی
گیاه	۱	۲۸۵۳۹۸۴۸۷**	۵۵/۶۵**	۸۵۸۰۷۶۱**	۰/۰۰^{ns}	۰/۸۸**	۰/۰۵^{ns}	۹۶۲**
سطوح کادمیوم	۲	۱۸۷۰۰۰۸۳**	۴۱۵/۲**	۷۶۸۸۸**	۱۸/۳**	۰/۰۱*	۱۳۱۱**	۵۵۹**
گیاه× سطوح کادمیوم	۲	۱۸۳۲۱۱۹۴**	۱۹۷/۱**	۷۲۷۰۸**	۴/۵**	۰/۰۱*	۳۴*	۱۴۲**
اشتباه	۱۲	۲۳۰۸۰۱	۴/۳۳	۸۷۲۷	۰/۲۳	۰/۰۰۲	۶/۷	۴/۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۸۷	۶/۹۶	۱۳/۳	۸/۶۵	۲۱/۹	۴/۵۷	۳/۰۱

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

انباشت کادمیوم در اندام هوایی دو گیاه تنها در غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر تقریباً مشابه بود، ولی در غلظت‌های ۳ و ۹ میلی‌گرم در لیتر بین دو گیاه از نظر انباشت کادمیوم در اندام هوایی اختلاف معنی‌دار وجود داشت. انباشت کادمیوم در غلظت ۹ میلی‌گرم در لیتر در اندام هوایی پونه (۴۷/۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) بیشتر از علف‌چشمه (۳۰/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. به‌عبارت دیگر با افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت، پونه توانایی بیشتری برای جذب و انباشت این آلاینده در اندام هوایی خود داشت (جدول ۷). به گزارش پژوهش‌گران [۹] مقدار کادمیوم در اندام هوایی کاهو به‌طور چشمگیری با افزایش غلظت کادمیوم محلول غذایی افزایش یافت. در مقابل، در بررسی دیگری مقدار سرب و کادمیوم در قسمت‌های هوایی کم‌تر بود [۱۵].

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل گیاه و کادمیوم برای خصوصیات مربوط به کادمیوم

گیاه	سطوح کادمیوم (میلی‌گرم در لیتر)	غلظت کادمیوم در ریشه [۱]	غلظت کادمیوم در اندام هوایی× [۱]	غلظت زیستی کادمیوم در ریشه ×	غلظت زیستی کادمیوم در اندام هوایی	فاکتور انتقال کادمیوم	شاخص تحمل ریشه	شاخص تحمل اندام هوایی
علف‌چشمه	۳	^{d}۴۸/۲۱	^{c}۲۵/۰۳	^{c}۱۶/۰۷	^{a}۸/۳۴	^{a}۰/۵۳	^{b}۶۹/۵۸	^{c}۷۴/۲۹
	۶	^{d}۶۶/۱۲	^{bc}۲۸/۷۴	^{c}۱۱/۰۲	^{c}۴/۷۹	^{b}۰/۴۶	^{b}۵۹/۵۵	^{d}۶۸/۹۴
	۹	^{d}۸۴/۶۸	^{b}۳۰/۶۶	^{c}۹/۴۱	^{d}۳/۴۱	^{b}۰/۳۶	^{d}۴۰/۹۲	^{c}۴۷/۰۷
پونه	۳	^{c}۴۹۳۴	^{d}۲۰/۱	^{a}۱۶۴۵	^{b}۶/۷	^{c}۰/۰۰۴	^{b}۷۳/۳	^{a}۸۳/۱۶
	۶	^{b}۷۳۰۹	^{bc}۲۷/۶۶	^{b}۱۲۱۸	^{c}۴/۶	^{c}۰/۰۰۴	^{c}۵۴/۲	^{b}۷۸/۰۶
	۹	^{a}۱۱۸۵۰	^{d}۴۷/۲۲	^{b}۱۳۱۶	^{c}۵/۲	^{c}۰/۰۰۴	^{d}۴۲/۸	^{c}۷۲/۹۶

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌دار ندارند ($p\leq$۰/۰۵) × میلی‌گرم بر کیلوگرم

اگرچه افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت تأثیر معنی‌داری بر غلظت زیستی این آلاینده در ریشه علف‌چشمه نداشت، به کاهش معنی‌دار غلظت زیستی آن در اندام هوایی علف‌چشمه انجامید. درمورد پونه نیز مشخص شد که افزایش غلظت تا سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر به کاهش معنی‌دار غلظت زیستی آن در ریشه و اندام هوایی می‌انجامد. همچنین نتایج نشان داد که بین دو گیاه در غلظت‌های مختلف کادمیوم از نظر غلظت زیستی آن در ریشه و اندام هوایی اختلاف معنی‌دار وجود دارد، و فقط در غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر شاخص غلظت زیستی یکسانی در اندام هوایی داشتند. بیشترین مقدار این شاخص در ریشه و اندام هوایی علف‌چشمه (به‌ترتیب ۱۶/۰۷و ۸/۳۴) و ریشه و اندام هوایی پونه (به ترتیب ۱۶۴۵ و ۶/۷) در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد (جدول ۷).

این یافته که غلظت زیستی این آلاینده‌ها در ریشه دو گیاه نسبت به اندام هوایی بیشتر است، تثبیت‌کنندگی بیشتر علف‌چشمه و پونه را نسبت به استخراج‌کنندگی آن نشان می‌دهد. با توجه به مقدار بالای شاخص غلظت زیستی سرب و کادمیوم در ریشه پونه که به بیش از ۱۰۰۰ رسیده، می‌توان این گیاه را جزء فرا انباشتگرهای سرب و کادمیوم به حساب آورد. البته باید توجه داشت که شاخص غلظت زیستی بستگی مستقیم به میزان فلز مورد نظر در محلول دارد و قیاس دو گیاه متفاوت فقط در شرایط مشابه تقریبی از نظر میزان زیست دسترسی این عناصر برای گیاهان پالاینده قابل قبول است [۲۲].

فاکتور انتقال کادمیوم نیز بین دو گیاه اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۶)، به‌گونه‌ای که علف‌چشمه توانایی بیشتری برای انتقال کادمیوم به اندام هوایی از خود نشان داد. افزایش غلظت کادمیوم در محیط کشت به کاهش معنی‌دار در انتقال آن به اندام هوایی علف‌چشمه تا سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر، و عدم تغییر معنی‌دار در انتقال آن به اندام هوایی پونه منجر شد. بیشترین انتقال کادمیوم به اندام هوایی علف‌چشمه (۰/۵۳) در سطح تیماری ۳ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد و میانگین فاکتور انتقال کادمیوم توسط پونه ۰/۰۰۴ بود (جدول ۷).

اگرچه کادمیوم به‌طور طبیعی از انحلال بالایی برخوردار است و به‌راحتی از طریق پوست ریشه جذب، و سپس از راه سیمپلاست و یا آپوپلاست وارد بافت چوب شده و به اندام‌های هوایی گیاهان منتقل می‌شود [۲۴]، انتقال کادمیوم به بخش‌های هوایی محدود است چون کادمیوم با دیواره سلولی ریشه پیوند می‌خورد [۲].

با توجه به فاکتور انتقال کمی که دو گیاه علف‌چشمه و پونه از خود نشان دادند، خطر مصرف آن‌ها برای انسان و سایر مصرف‌کنندگان در آب‌های آلوده به کادمیوم و سرب کاهش می‌یابد. با توجه به تجمع عمده سرب و کادمیوم در ریشه‌ها، و همچنین سهولت برداشت گیاهان آبزی و جداسازی ریشه از اندام‌های هوایی، عدم انتقال آلاینده به اندام هوایی برای این گیاهان یک مزیت محسوب می‌شود.

در غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم، ریشه علف‌چشمه تحمل بیشتری به کادمیوم داشت (۵۹/۵۵ ٪) (جدول ۷). با افزایش غلظت کادمیوم شاخص تحمل ریشه در علف‌چشمه و پونه به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. به‌گونه‌ای که کم‌ترین مقدار آن در علف‌چشمه (۴۰/۹۲ ٪) و در پونه (۴۲/۸۳ ٪) در سطح تیماری ۹ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. از نظر شاخص تحمل اندام هوایی کادمیوم در غلظت‌های مختلف آلاینده، بین دو گیاه اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۶). همچنین این نتایج نشان داد که افزایش غلظت به کاهش معنی‌دار شاخص تحمل اندام هوایی دو گیاه می‌انجامد، به‌گونه‌ای که در سطح تیماری ۹ میلی‌گرم در لیتر، پونه با شاخص تحمل اندام هوایی معادل نسبت به علف‌چشمه (به‌ترتیب ۷۲/۹۶٪ و ۴۷/۰۷٪)، تحمل بیشتری نسبت به کادمیوم داشت البته محدود شدن رشد ریشه به نوع و غلظت فلز نیز بستگی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

علف‌چشمه نسبت به پونه مقدار بیشتری از سرب و کادمیوم را از ریشه به اندام هوایی انتقال داد، در حالی که پونه در انباشت این آلاینده‌ها در ریشه برتری داشت. به‌طور کلی رفتار علف‌چشمه و پونه در رابطه با فلز سرب و کادمیوم تثبیت‌کننده بود. با توجه به سهولت برداشت دو گیاه پونه و علف‌چشمه، انباشت بیشتر سرب و کادمیوم اهمیت بیشتری نسبت به تجمع نسبی آن‌ها در ریشه یا اندام‌های هوایی دارد. بنابر این به نظر می‌رسد تلاش برای افزایش میزان تجمع هم‌سو با افزایش تحمل گیاه در برابر حضور فلزات سنگین در اندام‌های خود، بتواند در افزایش کارایی چنین گیاهانی در گیاه‌پالایی آب‌های آلوده مهم

باشـد. هرچنـد کـه جلـوگیری از ورود آلاینـده‌هـا بـه محیط‌زیست شاید مقدم بر تمام راهکارها باشد.

پی‌نوشت‌ها

1. Pryanishnikova
2. $Cd(NO_3)_2.4H_2O$
3. $PbCO_3$
4. Bioconcentration Factor
5. Translocation Factor
6. Tolerance Index
7. Bioavailability
8. Cerussite
9. Pyromorphite

منابع

Aisien F A, Faleye O, Aisien E T. Phytoremediation of Heavy Metals in Aqueous Solutions. Leonardo Journal of Sciences; 2010, 17 (July-December): 37-46.

Aslan M, Unlu M Y, Turkmen N, Yılma Y Z. Sorption of Cadmium and Effects on Growth, Protein Content, and Photosynthetic Pigment Composition of *Nasturtium officinale* R. Br. and Mentha aquatica L. The Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology; 2003; 71:323-329.

Blaylock M, Salt D, Dushenkov S, Zakharova O, Gussman C, Kapulnik Y, Ensley B, Raskin I. Enhanced Accumulation of Pb in Indian mustard by Soil Applied Chelating Agents. Environmental Science and Technology; 1997; 31: 860-865.

Bouchier T. Pb Distribution and Ultrastructural Changes Induced by Pb and EDTA in Shoot Tissue of *Brassica juncea* (Indian mustard). Humboldt State University; 2003: 88.

Das M, Maiti S K. Metal Mine Waste and Phytoremediation: A Review. Asian Journal of Water, Environment and Pollution; 2006; 4(1): 169-176.

Diwan H, Ahmad A, Iqbal M. Uptake-related parameters as indices of phytoremediation potential. Biologia; 2010; 65(6): 1004-1011

Dos Santos M C, Lenzi E. The use of aquatic macro-phytes (Eichhornia crassipes) as a biological filter in the treatment of lead contaminated effluents. Environmental Technology; 2000; 21(6): 615-622.

Ghaderi A A. Study of plants role on natural refining of civil polluted water, case study: refining of Tehran city polluted water. Geography and Development Iranian Journal; 2004; spring and summer: 107-[In Persian].

Haghighi M, kafi M. The Influence of Humic Acid on Accumulation of Cadmium, Nitrate and Different of Nitrate Reductase Enzyme Activity in *Lactuca sativa*. Journal of Horticultural Science; 2010; 24(1): 53-58.

Hu J Z, Zheng A Z, Pei D L, Shi G X. Bioaccumulation and Chemical Forms of Cadmium, Copper and Lead in Aquatic Plants. Brazilian Archives of Biology and Technology; 2010; 53(1): 235-240.

Jadia C D, Fulekar M H. Phytoremediation: The Application of Vermicompost to remove Zinc, Cadmium, Copper, Nickel and Lead by Sunflower Plant. Environmental Engineering and Management Journal; 2008; 7(5): 547-558.

Keser G, Saygideger S. Effects of Lead on the Activities of Antioxidant Enzymes in Watercress, *Nasturtium officinale* R. Br. Biological Trace Element Research; 2010; 137: 235-243.

Khodakarami Y, Shirvany A, Zahedi Amiri G, Matinizadeh M, Safari H. Comparison of Lead Absorption in Organisms (Root, Stem and Leaf) of Oak (Quercus brantii) and Pistachio (Pistacia atlantica) Seedlings by Spraying. Iranian Journal of Forest; 2010; 1(4): 313-320.

Li H, Cheng F, Wang A, Wu T. Cadmium Removal from Water by Hydrophytes and Its Toxic Effects. Proc. of the International Symposium of Phytoremediation and Ecosystem Health. Hangzhou, China; 2005; Sept.: 10-13.

Mala J, Cvrčková H, Máchová P, Dostál J, Šima P. Heavy Metal Accumulation by Willow Clones in Short time Hydroponics. Journal of Forest Science; 2010; 56(1): 28-34.

Meychik N R, Yermakov I P, Jalali Honarmand S, Nikolaeva Yu I. Ion Exchange Properties of Cell Walls in Chickpea Cultivars with Different Sensitivities to Salinity. Russian Journal of Plant Physiology; 2009; 57(5): 620-630.

Mokhtar H, Morad N, Fizri F F A. Hyperaccumulation of Copper by Two Species of Aquatic Plants. International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE, IACSIT Press, Singapore; 2011; 8: 115-118.

Nazemi S, Asgari A R, Raei M. Survey the Amount of Heavy Metals in Cultural Vegetables in Suburbs of Shahroud. Iranian Journal of Health and Environment; 2010; 3(2): 195-202. [In Persian]

Parnian A, Chorom M, Jafarzadeh N, Dinarvand M. Phytoremediation of cadmium from wastewater by ceratophyllum demersum. The national conference on agricultural waste and wastewaters management. Iran, Tehran, 2010, 28-29 December. [In Persian]

Parsa doost, F, Bahreini Nejad B, Safari Sanjani A K, Kaboli M M. Phytoremediation of Lead with Native Rangeland Plants in Irankoh polluted soils. Pajouhesh and Sazandegi; 2007; 75: 54-63. [In Persian]

Singh R P, Dhania G, Sharma A, Jaiwal P K. Biotechnological Approaches to Improve Phytoremediation Efficiency for Environment Contaminants. Environmental Bioremediation Technologies; 2007: 223-258.

Succuro J S. The Effectiveness of Using *Typha latifolia* (Broadleaf Cattail) for Phytoremediation of Increased Levels of Lead-Contamination in Soil. The Faculty of Humboldt State University; 2010: 122.

Verbruggen N, Hermans C, Schat H. Mechanisms to Cope with Arsenic or Cadmium Excess in Plant. Current Opinion in Plant Biology; 2009; 12: 364-372.

Yargholi B, A A, Azimi A, Baghvand, F. Abasi, A, Lyaghat H, Asadollah Fardi Gh. Investigation of Cd Adsorption and Accumulation from Contaminated Soil in Different Parts of Root Crops, Water and Wastewater; 2009; 4: 60-70. [In Persian]

Zhang L, Tian S, Ye Z, Yang X, Peng H. The Efficiency of Heavy Metal Removal from Contaminated Water by *Elsholtzia argi* and *Elsholtzia splendens*. Proc. of the International Symposium of Phytoremediation and Ecosystem Health. Hangzhou, China; 2005, Sept.: 10-13.

Zhu Y L, Zayed A M, Qian J H, De Souza M, Terry N, Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II. Water hyacinth. Journal of Environmental Quality; 1999; 28(1): 339-344.