Archive of SID

علـوم محـیـطی سال هشتم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۰
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.8, No.3, Spring 2011

۸۰- ۶۹

# بررسی تحمل و تجمع کادمیوم در گیاهچه‌های شیرین بیان

**مرضیه سرمدی[۱*]، محبوبه ایرانی[۱]، فرانسواز برنارد[۲]**

۱- *دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه شهید بهشتی*

۲- *دانشیار گروه بیوتکنولوژی و فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه شهید بهشتی*

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۱۳

## چکیده

گیاه پالایی یک فناوری برای خارج کردن یا غیر فعال کردن آلوده کننده‌ها از محیط می‌باشد. در این تحقیق توانایی گیاه شیرین بیان برای گیاه پالایی، تجمع و تحمل کادمیوم بررسی گردید. بذرهای دو واریته glabra و glandulifera از گیاه شیرین‌بیان *Glycyrrhiza glabra* درگلدان کاشته شدند و توسط آب‌مقطر (گروه شاهد) و محلول ۲۰۰ و۱۰۰ میکرومولار کلرید کادمیوم (گروه تیمار) آبیاری شدند. گیاهان پس از ۲۰ روز مورد بررسی قرار گرفتند. وزن خشک ریشه در هر دو واریته و طول ریشه در واریته glandulifera کاهش معنی‌داری را نسبت به نمونه‌های شاهد نشان دادند. در حالی که وزن‌تر و خشک ساقه، طول ساقه و وزن‌تر ریشه در هر دو واریته و طول ریشه در واریته glabra تفاوت معنی‌داری را با گروه شاهد نشان ندادند، و هیچ نوع علائم مسمومیت از قبیل سوختگی و قرمز شدن بافت مشاهده نگردید، که بیانگر توانایی گیاهچه های شیرین بیان به تحمل کادمیوم در غلظت فوق می‌باشد. گیاهانی که قادر باشند، بیش‌تر از ۱۰۰ میلی گرم کادمیوم را در هر کیلوگرم وزن خشک اندام‌های هوایی تجمع دهند به عنوان گیاهان بیش از حد انباشته کننده کادمیوم معرفی شده‌اند. براساس نتایج حاصل میزان کادمیوم جذب شده در اندام‌های هوایی این گیاهچه‌ها در دو واریته glabra و glandulifera به ترتیب ۱۴۷/۹- ۱۱۶/۹ و ۱۱۹/۵ - ۱۱۶/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه می‌باشد. لذا گیاه شیرین‌بیان را می‌توان به عنوان یک گیاه بیش از حد انباشته کننده کادمیوم معرفی نمود که استفاده از آن در جهت پاکسازی محیط‌های آلوده به کادمیوم نویدبخش می‌باشد.

**کلید واژه‌ها**: بیش ازحد انباشته کننده، شیرین‌بیان، کادمیوم، گیاه پالایی.

## The Study of Tolerance of Cadmium and Accumulation it in Licorice Plantlets

**Marziyeh Sarmadi,[1*] Mahbubeh Irani[1] and Francoise Bernard[2]**

*1- M.Sc. in Plant Physiology, Faculty of Biological Sciences, University of Shahid Beheshti*

*2- Associate Professor, Department of Plant Physiology and Biotechnology, Faculty of Biological Sciences, University of Shahid Beheshti*

**Abstract**

Phytoremediation is a technology for extracting or inactivating pollutants. In this study, the ability of *Glycyrrhiza glabra* (var. glabra and var. glandulifera) for phytoremediation, tolerance to cadmium and accumulation of it within plant was investigated. The seeds of *G. glabra* var. *glabra* and var. *glandulifera* were cultured in pots and were watered with distilled water (control) and 100 & 200 µM cadmium chloride solution (treatment). Then the plants were analyzed after 20 days. Cadmium causes a decrease in seed germination. The dry weight of root in both variety and the length of root in var. *glandulifera* decreases significantly in proportion to the control group. Whereas, the dry and fresh weight of shoot, the length of shoot and the fresh weight of root in both variety and the length of root in var. *glabra* didn't change significantly. No metal-toxicity symptoms such as burning and redness of the tissue were observed in Cd treatment. Plants containing more than 100 $mg.kg^{-1}$ of Cd in dry shoot tissues should be considered as hyperaccumulators of this metal. Cd concentrations in the aerial organs of var. *glabra* and var. *glandulifera* were 116.9-147.9 and 116/0-119.5 $mg.kg^{-1}$ (on a dry weight basis), respectively. We conclude that plantlet of *G. glabra* is a hyperaccumulator of Cd. *G. glabra* and so shows promise in the phytoremediation of Cd from polluted sites.

**Keywords:** Licorice, *Glycyrrhiza glabra* L., Hyperaccumulator, Cadmium, phytoremediation.

* Corresponding author. *E-mail Address*: sarmadi_mr@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

**مقدمه**

فلزات سنگین گروهی از فلزات با دانسیته بیشتر از $5g.cm^{-3}$ می‌باشند و از مهم‌ترین آلوده کننده‌های محیطی به شمار می‌روند (Sanita di Toppi, 1999). سمیت آن‌ها یک مشکل مشخص رو به افزایش برای اکولوژی، مواد غذایی و محیط‌زیست محسوب می‌شود (Benavides *et al*., 2005). آلودگی محیط به این فلزات معمولاً نتیجه فعالیت‌های صنعتی از قبیل استخراج معادن، تصفیه فلزات، آب فلزکاری، بخارات اگزوزها، تولیدات انرژی و سوخت، کاربرد کودها وسموم و بازیافت زباله‌های شهری می باشد (Kabata-Pendias, 2001).

۵۳ عنصراز ۹۰ عنصر موجود در طبیعت فلز سنگین محسوب می‌شوند که در بین این فلزات می‌توان سرب، کادمیوم، جیوه، نقره و ارسنیک را نام برد (Weast, 1984).

یکی از مهم‌ترین فلزات سنگین موجود در طبیعت کادمیوم است، که فلزی نقره‌ای رنگ با عدد اتمی ۴۸، جرم اتمی ۱۲/۴ و دانسیته $g.cm^{-3}$ ۸/۶می‌باشد و به علت سمیت بالا و حلالیت زیاد آن در آب یک آلاینده قوی محسوب می‌گردد (Pinto *et al*., 2004). این فلز در نتیجه استفاده از آن در صنایع مختلف مانند صنایع رنگ و پلاستیک ، سموم قارچ کش، باطری سازی، عکاسی، صنایع آب فلزکاری و ذوب آهن به محیط وارد می‌شود. علاوه بر آن وجود کادمیوم در کودهای فسفاتی، فاضلاب‌ها و سولفات روی سبب افزایش مقدار این عنصر در زمین‌های کشاورزی می‌گردد (Solhi, 2005).

کادمیوم یک عنصر سمی محسوب می‌شود و حضور آن در محیط برای موجودات زنده بسیارخطرناک می‌باشد(Kabata-Pendias, 2001 ). جذب آن توسط گیاه منجر به ایجاد آسیب‌هایی از جمله تخریب هسته، بازدارندگی فعالیت بعضی آنزیم‌ها، سوختگی و زردی برگ‌ها، کاهش رشد ریشه و ساقه، کاهش جذب آب، کاهش مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها، ممانعت از باز شدن روزنه‌ها و... می گردد (Sanita di Toppi, 1999) .

کادمیوم برای انسان‌ها نیز یک عامل تهدیدکننده محسوب می‌شود، این عنصر به آسانی توسط دستگاه گوارش انسان جذب می‌شود. ۵۰ درصد کادمیوم جذب شده در بدن در کبد و کلیه تجمع می‌یابد و نیمه عمر زیستی آن در بدن انسان بین ۱۰ تا ۳۰ سال می‌باشد (Malakooti, 2000). اثرات سمی آن برای انسان شامل تخریب کلیه‌ها و بافت‌های کبد، سرطان‌زایی، آمفیزم و... می باشد (Ryan, 1982).

میزان آلودگی به کادمیوم در اکثر خاک‌های جهان تعیین شده است. آلودگی به این فلز در مناطق مختلف ایران نیز گزارش شده است. میزان کادمیوم در نمونه‌های خاک جنوب تهران که از ۳-۲ سطح مختلف نمونه‌برداری شده مقادیری بین $mg.kg^{-1}$ ۱/۵۷-۱ را نشان داده است. رباطی و همکاران غلظت کادمیوم را در خاک‌های جنوب تهران که با استفاده از فاضلاب شهر فیروزآباد آبیاری می‌شدند تا حد $mg.kg^{-1}$ ۲ گزارش کردند (Robati, 1999). مصرف کودهای فسفاته توسط کشاورزان در شالیزارهای شمال کشور میزان کادمیوم خاک را در طی دو سال به میزان ۱۵/۵٪ افزایش داده است که سبب آلودگی برنج به کادمیوم شده‌است. مطالعه اولیه روی غلظت کادمیم در پسته و خرما مقدار آن را ۰/۴۸ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک در مغز پسته نشان داده است. همچنین میزان کادمیم در خرما ۰/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (Samavat, 2005).

با توجه به سمیت بالقوه کادمیوم برای موجودات، پاکسازی محیط‌زیست از این‌عنصر اهمیت بسزایی دارد. برای پاکسازی محل‌های آلوده معمولاً از حفاری خاک، آبشویی (Prasad, 2004)، جداسازی مکانیکی و یا



www.SID.ir

Archive of SID

تیمارهای شیمیایی استفاده می‌شود که بسیار دشوار و پرهزینه هستند و سبب آشفتگی خاک شده و ممکن است ویژگی‌های خاک یا اجزای آن را تغییر دهد. علاوه بر آن خاک نمی‌تواند بلافاصله بعد از اصلاح مورد استفاده قرار گیرد. اما امروزه استفاده از گیاهان به عنوان جایگزینی مناسب، در امر خارج سازی فلزات سنگین از خاک پیشنهاد می‌شوند (Torresdey, 2005). این فناوری را که در آن گیاهان می‌توانند از طریق تجمع فلزات و انتقال آن‌ها در اندام‌هایشان برای حذف فلزات موجود در خاک استفاده شوند گیاه پالایی می‌نامند (Salt *et al*., 1995).

گیاه شیرین‌بیان با نام علمی *Glycyrrhiza glabra* گیاهی علفی و پایا است که دارای ارتفاعی در حدود ۱/۲ تا ۱/۸ متر بوده و سیستم ریشه‌ای وسیعی در خاک دارد. این گیاه بومی مناطق مدیترانه‌ای، آسیای مرکزی و جنوب غربی می‌باشد ودر ایران نیز دارای پراکنش وسیعی بوده ودر بسیاری از نقاط از قبیل گرگان، فارس، خراسان، تهران، آذربایجان و ... می‌روید (Zargari, 1987).

با توجه به آلودگی کادمیوم در مناطق مختلف کشور وبالاخص تهران توجه به استفاده از گیاهان در جهت پاکسازی محیط امری بسیار مهم به شمار می‌آید. در این پژوهش توانایی دو واریته از گیاه شیرین‌بیان به منظور استفاده در امر پاکسازی محیط از آلودگی به کادمیوم و گیاه پالایی مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

بذرهای دو واریته glabra و glandulifera از گیاه شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) از منطقه آباده در استان فارس جمع‌آوری شدند. با توجه به این که بذرهای شیرین‌بیان دارای پوسته سختی هستند به منظور غلبه بر مشکل جوانه زنی، بذرها به مدت ۳۰ دقیقه در اسیدسولفوریک ۹۸ درصد قرار گرفتند (Afreen *et al*., 2005). سپس با آب مقطر شسته شدند و در گلدان‌هایی که حاوی ۳۶۰ گرم خاک مخلوط (خاک و خاک برگ با نسبت ۳:۱) کشت شدند. تعداد بذرها در هر گلدان ۱۰ عدد بود. جهت تیمار کادمیوم محلول کلرید کادمیوم با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار تهیه شد و گلدان‌ها با نسبت $v.w^{-1}$ ۱۰٪ با این محلول آبیاری شدند. در نمونه‌های شاهد آبیاری با آب مقطر انجام گردید. (آبیاری به مقدار مشخص متناسب با نوع گلدان و وزن خاک انجام شد، به گونه ای که هیچ محلولی از سوراخ‌های انتهایی گلدان‌ها خارج نشود). جهت تعیین میزان جوانه‌زنی، تعداد بذرهای جوانه زده در هر گلدان شمارش شدند و پس از ۲۱ روز گیاهان جهت انجام آنالیز رشد و تعیین مقدار کادمیوم جذب شده در آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند.

برای بررسی رشد گیاه، شاخص‌های طول، وزن تر و وزن خشک در هر یک از اندام های ریشه و ساقه محاسبه گردید. بدین منظور طول ساقه وریشه توسط کاغذ میلی‌متری به دقت اندازه‌گیری شد. وزن تر هریک از اندام‌های ریشه و ساقه بلافاصله بعد از خارج ساختن از گلدان‌ها با استفاده ازترازوی Sartorius مدل MA40 محاسبه شدند. جهت اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون ۸۰ درجه قرار گرفتند و سپس مجدداً توزین شدند.

سنجش غلظت یون کادمیوم جذب شده در گیاه با استفاده از روش جذب اتمی انجام شد (Woodies *et al*., 1977). بافت خشک گیاهی در ۳ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به مدت ۱۸ ساعت قرار داده شد تا به خوبی در اسید هضم شود. محلول حاصل را گرم کرده تا بخارات اسیدی از محلول خارج گردد. سپس حجم محلول به ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد و غلظت کادمیوم محلول با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل



www.SID.ir

Archive of SID

(PERKIN-ELMER) مورد سنجش قرار گرفت. به منظور تعیین غلظت ، محلول استاندارد با غلظت‌های مختلف تهیه گردید و قبل از اندازه‌گیری نمونه‌ها به دستگاه تزریق شدند. نمودار استاندارد مربوطه رسم گردید و غلظت مجهول هر محلول با استفاده از آن تعیین گردید.

به منظورارزیابی توانایی گیاه در انتقال فلز از ریشه به اندام هوایی، فاکتور انتقال طبق فرمول (۱) محاسبه گردید (Mattinal, 2003).

$$\text{فاکتور انتقال} = \frac{\text{غلظت کادمیوم ساقه}(mg.kg-1)}{\text{غلظت کادمیوم ریشه}(mg.kg-1)} \times ۱۰۰$$

فرمول(۱)

برای بررسی میزان تحمل گیاه در محیط آلوده به کادمیوم، شاخص تحمل با توجه به فرمول (۲) ارزیابی شد (Wilkins, 1978).

$$\text{شاخص تحمل} = \frac{\text{رشد گیاه در محیط حاوی فلز}}{\text{رشد گیاه در محیط فاقد فلز}} \times ۱۰۰$$

فرمول(۲)

## تجزیه و تحلیل آماری

طرح آزمایشی به کاررفته طرح کاملا تصادفی می‌باشد و برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. هر گلدان به عنوان یک تکرار می‌باشد و در هر گلدان ۱۰ بذر کاشته شد. نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS و تجزیه واریانس یک طرفه ANOVA و T-Test در سطح ۵ درصد تجزیه و تحلیل شده است و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده گردید.

## نتایج

بررسی حاصل از مقدار کادمیوم جذب شده در بافت‌های تحت تیمار حاکی ازآن است که مقدار قابل توجهی از کادمیوم موجود در محیط جذب اندام‌های گیاه گردیده است و مقداری از کادمیوم جذب شده نیز به اندام هوایی منتقل شده است. از نظر میزان جذب کادمیوم، اختلاف معنی‌داری بین دو واریته وجود ندارد (جدول ۱ و ۲- نمودار ۱).

**جدول۱**- نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای رشد ومیزان کادمیوم جذب شده در *G. glabra var. glabra* ، ۲۰ روز پس از تیمارکادمیوم. نتایج به صورت میانگین ± S.E. می‌باشند. میانگین‌هایی که با حرف مشابه مشخص شده‌اند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($P \leq 0.05$).

| تیمار کادمیوم (µM) | | طول (mm) | وزن تر (g) | وزن خشک (g) | کادمیوم ($mg.g^{-1}$ dw) |
|---|---|---|---|---|---|
| ریشه | ۰ | $^{a}$۴/۶±۰/۴ | $^{a}$۰/۰۱۹±۰/۰۰۲ | $^{a}$۰/۰۰۲۲±۰/۰۰۰۱ | $^{a}$۰ |
| | ۱۰۰ | $^{a}$۴/۶±۰/۳ | $^{a}$۰/۰۱۵±۰/۰۰۲ | $^{b}$۰/۰۰۱۷±۰/۰۰۰۱ | $^{b}$۳۱۷/۸±۶۹/۱ |
| | ۲۰۰ | $^{a}$۴/۸±۰/۰۹ | $^{a}$۰/۰۱۶±۰/۰۰۰ | $^{b}$۰/۰۰۱۶±۰/۰۰۰ | $^{b}$۳۳۸/۹۷±۸۹/۳ |
| ساقه | ۰ | $^{a}$۲/۷±۰/۲ | $^{a}$۰/۰۸۱±۰/۰۰۷ | $^{a}$۰/۰۰۴۵±۰/۰۰۰۴ | $^{a}$۰ |
| | ۱۰۰ | $^{a}$۲/۷±۰/۰۳ | $^{a}$۰/۰۸۰±۰/۰۰۱ | $^{a}$۰/۰۰۴۴±۰/۰۰۰۲ | $^{b}$۱۴۷/۹۹±۱۸/۸ |
| | ۲۰۰ | $^{a}$۳/۱±۰/۱ | $^{a}$۰/۰۸۲±۰۰۱۴ | $^{a}$۰/۰۰۴۵±۰/۰۰۰ | $^{b}$۱۱۶/۹۰±۱/۵ |

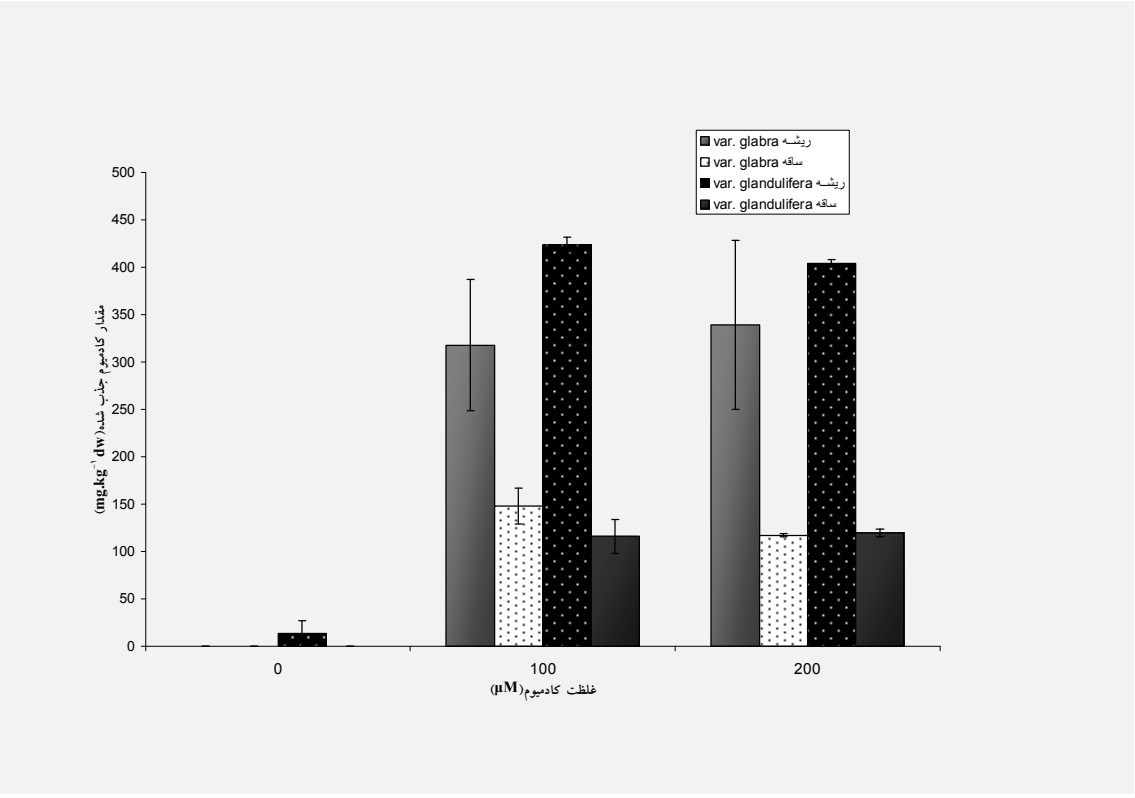


www.SID.ir

Archive of SID

**جدول۲**- نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای رشد و میزان کادمیوم جذب‌شده در *G. glabra var. glandulifera*، ۲۰ روز پس از تیمار کادمیوم. نتایج به صورت میانگین ± S.E. می باشند. میانگین‌هایی که با حرف مشابه مشخص شده‌اند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($P \leq 0.05$).

| تیمار کادمیوم (µM) | | طول (mm) | وزن‌تر (g) | وزن خشک (g) | کادمیوم ($mg.g^{-1}$ dw) |
|---|---|---|---|---|---|
| ریشه | ۰ | $^{a}$۶/۳±۰/۲ | $^{a}$۰/۰۱±۰/۰۰۱ | $^{a}$۰/۰۰۲۸±۰/۰۰۰۴ | $^{a}$۱۳/۴۹±۱۳/۴ |
| | ۱۰۰ | $^{b}$۴/۳±۰/۷ | $^{a}$۰/۰۰۹±۰/۰۰۱ | $^{b}$۰/۰۰۱۷±۰/۰۰۰۱ | $^{b}$۴۲۳/۵۸±۲۱/۲ |
| | ۲۰۰ | $^{b}$۵/۲±۰/۱ | $^{a}$۰/۰۱۴±۰/۰۰۳ | $^{b}$۰/۰۰۱۸±۰/۰۰۰ | $^{b}$۴۰۴/۱۲±۳/۳ |
| ساقه | ۰ | $^{a}$۳/۶±۰/۱ | $^{a}$۰/۱۱±۰/۰۰۳ | $^{a}$۰/۰۰۷±۰/۰۰۰۸ | $^{a}$۰ |
| | ۱۰۰ | $^{a}$۳/۵±۰/۱ | $^{a}$۰/۱۰±۰/۰۰۶ | $^{a}$۰/۰۱±۰/۰۰۰۱ | $^{b}$۱۱۶/۰۲±۱۷/۷ |
| | ۲۰۰ | $^{a}$۳/۸±۰/۱ | $^{a}$۰/۱۲±۰/۰۰۶ | $^{a}$۰/۰۰۷±۰/۰۰۱۰ | $^{b}$۱۱۹/۵۷±۴/۲ |



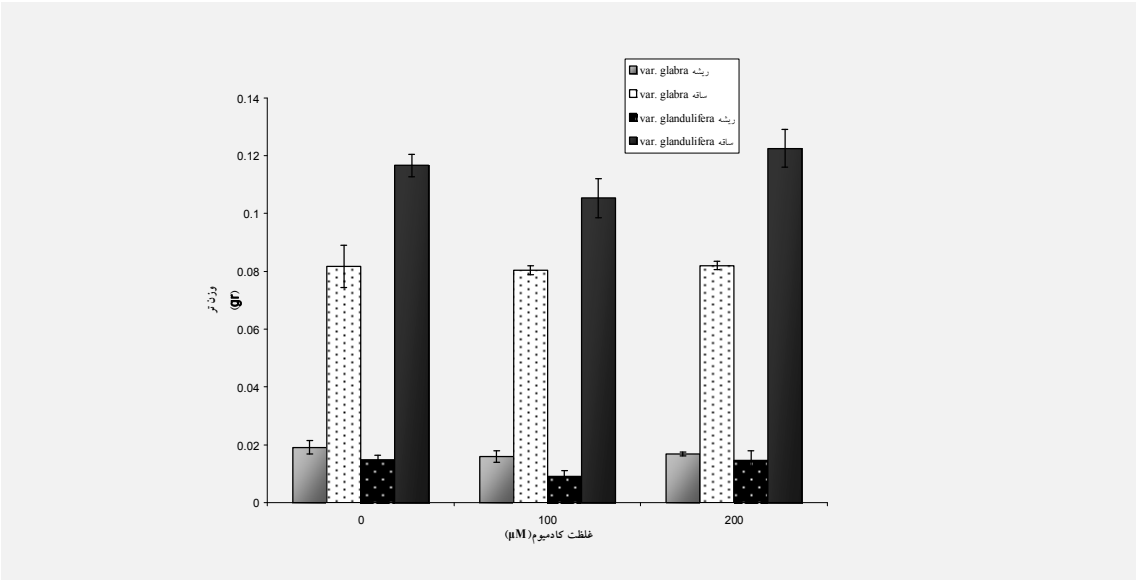

**شکل ۱**- بررسی مقدار کادمیوم جذب شده در اندام‌های ریشه و ساقه در دو واریته glabra و glandulifera پس از تیمار کادمیوم.



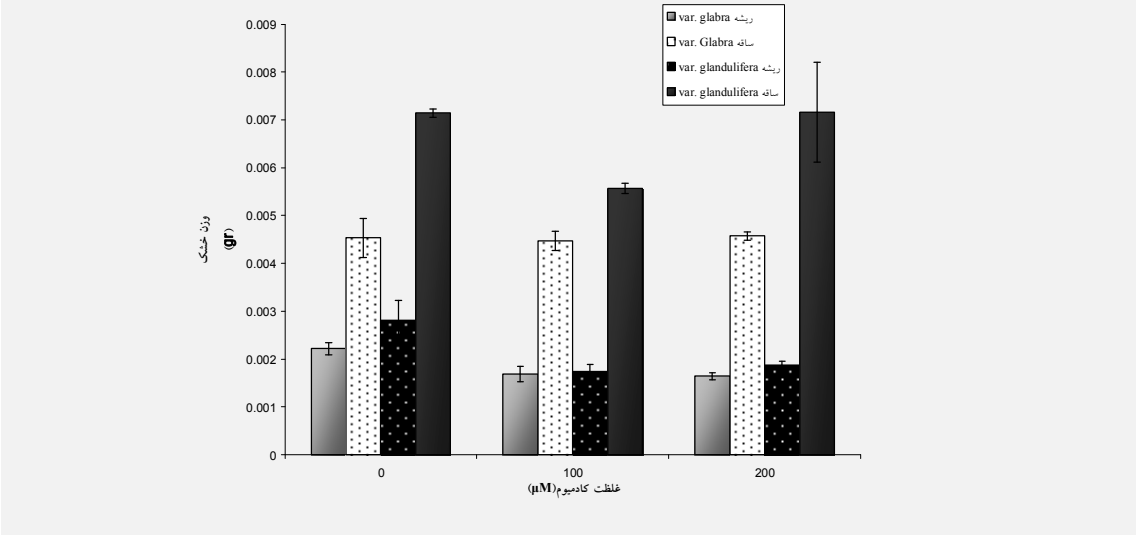
www.SID.ir

Archive of SID

نتایج حاصل ازبررسی پارامترهای رشد در گیاهان شاهد و تحت تیمار واریته glandulifera نشان داد که کادمیوم سبب کاهش معنی‌دار رشد ریشه می‌گردد. این کاهش در مورد وزن خشک ریشه به میزان ۳۵/۷٪- ۳۹/۳٪ و در مورد رشد طولی ریشه ۱۷/۵٪ - ۳۱/۷٪ می‌باشد. در حالی‌که رشد ساقه گیاهان تیمار شده با گیاهان شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. تیمار کادمیوم در واریته glabra سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه به میزان ۹ /۲۵٪- ۲۴/۳٪ گردید و سایر پارامترهای رشد ریشه و ساقه تفاوت معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان ندادند (جدول ۱ و ۲- شکل۲، ۳ و ۴).




**شکل۲**- بررسی وزن تر ریشه و ساقه در دو واریته glabra و glandulifera پس از تیمار کادمیوم.

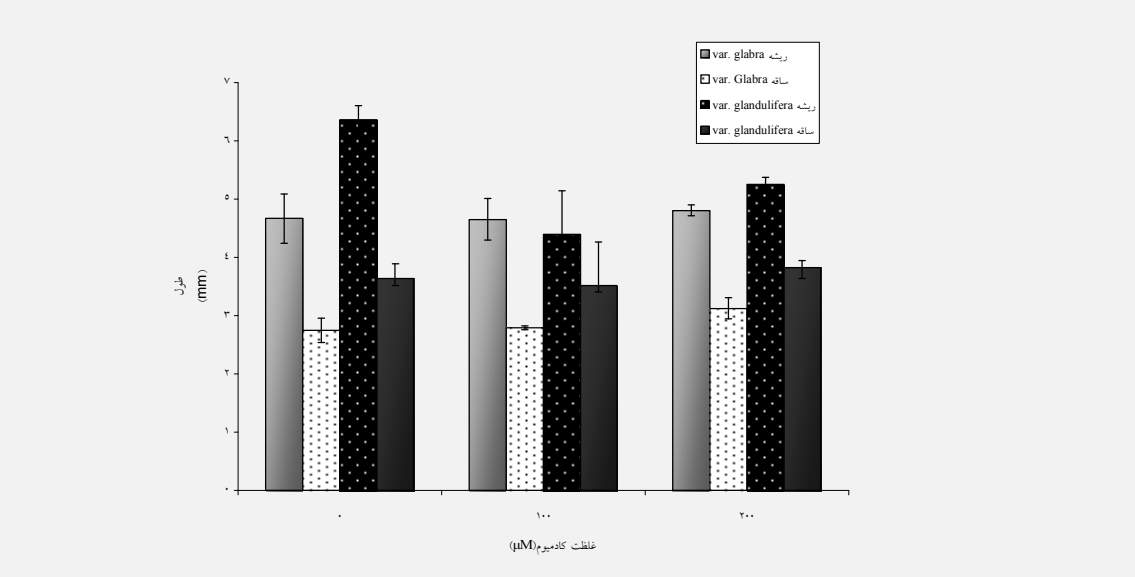



**شکل ۳**- بررسی وزن خشک ریشه و ساقه در دو واریته glabra و glandulifera پس از تیمار کادمیوم.



www.SID.ir

Archive of SID




**شکل ۴**- بررسی طول ریشه و ساقه در دو واریته glabra و glandulifera پس از تیمار کادمیوم.

محاسبه شاخص تحمل و فاکتور انتقال در جدول۳ مشخص شده است. هر دو واریته اعداد مناسبی را در این زمینه نشان دادند. فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی در واریته glabra به طور قابل توجهی بیشتر از واریته glandulifera می باشد.

مقایسه در صد جوانه زنی بذرهای کشت شده در محیط حاوی کادمیوم با بذرهای شاهد نشان داد که در صد جوانه زنی بذرهای واریته glabra در محیط حاوی کادمیوم به طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی در واریته glandulifera تفاوت معنی‌داری را با در صد جوانه زنی بذرهای تیمار شاهد نشان ندادند (جدول ۴).

**جدول۳**- بررسی مقدار شاخص تحمل و فاکتور انتقال کادمیوم در دو واریته glandulifera و glabra. نتایج به صورت میانگین ± S.E. می‌باشند. میانگین‌هایی که با حرف مشابه مشخص شده‌اند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($P \leq 0.05$).

| نوع واریته | کادمیوم | شاخص تحمل | فاکتور انتقال |
|---|---|---|---|
| glandulifera | ۱۰۰ | $^{a}$۷۳/۳۶ ± ۲/۰ | $^{a}$۲۷/۳۷ ± ۴/۱ |
| | ۲۰۰ | $^{ab}$۹۰/۶۳± ۹/۷ | $^{a}$۲۹/۵۸ ± ۱/۰ |
| glabra | ۱۰۰ | $^{b}$۹۶/۴۴±۷/۶ | $^{a}$۵۰/۷۶±۱۰/۲ |
| | ۲۰۰ | $^{b}$۹۸/۸۳±۵/۸ | $^{a}$۴۰/۱۳±۱۱/۰۳ |



www.SID.ir

Archive of SID

**جدول۴**- نتایج حاصل از میانگین در صد جوانه زنی بذرهای واریته glandulifera و glabra پس از تیمار کادمیوم. میانگین‌هایی که با حرف مشابه مشخص شده‌اند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($P \leq 0.05$).

| نوع واریته | تیمار کادمیوم (µM) | در صد جوانه‌زنی |
|---|---|---|
| glandulifera | ۰ | [a]۹۶/۶ |
| | ۱۰۰ | [a]۹۳/۳ |
| | ۲۰۰ | [a]۱۰۰ |
| glabra | ۰ | [a]۸۶/۶ |
| | ۱۰۰ | [b]۷۰ |
| | ۲۰۰ | [a]۹۶/۶ |

## بحث

پاسخ گیاهان در محیط‌هایی با غلظت زیاد فلزات سنگین، به دو صورت است. مکانیسم اول اجتناب است که گیاهان از جذب و انتقال فلزات به درون خود جلوگیری می‌کنند و این گیاهان غیر انباشته کننده[1] نامیده می‌شوند. مکانیسم دوم تجمع و کده بندی فلزات است که گیاهان دارای این مکانیسم، ظرفیت بسیار بالایی برای جذب فلزات توسط ریشه ها و انتقال و ذخیره آن در اندام هوایی دارا می‌باشند، این گیاهان را بیش از حد انباشته کننده[2] می‌نامند (Baker, 1981). از این گیاهان می‌توان جهت خروج فلزات سنگین و پاکسازی خاک‌های آلوده در فرایند گیاه پالایی استفاده نمود.

طبق نظر Reeves و Baker اصطلاح بیش از حد انباشته کننده ابتدا توسط Jaffre و همکاران در ۱۹۷۶ استفاده شد (Reeves, 2000). بعدها Baker و همکاران اثبات کردند در صد فلزی که در بافت خشک برگ‌ها تجمع یافته معیار انتخاب گیاه به عنوان بیش از حد انباشته کننده فلز سنگین می‌باشند. در مورد عنصر کادمیوم، گیاهانی که دارای بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در هر کیلوگرم بافت خشک برگ باشند به عنوان بیش از حد انباشته کننده کادمیوم مورد توجه قرار می گیرند (Baker, 2000). در بیشتر گونه‌های گیاهی غلظت کادمیوم کمتر از $mg.kg^{-1}$ ۳ می باشد، البته ممکن است در خاک‌های غنی از کادمیوم تا حدود $mg.kg^{-1}$ ۲۰ یا بیشتر نیز گزارش شود. اما گیاهانی که بتوانند بیشتر از $mg.kg^{-1}$ ۱۰۰ کادمیوم در اندام هوایی خود داشته باشند به ندرت یافت شده‌اند (Baker , 2003). در بین گیاهان بیش از حد انباشته کننده می‌توان *Arabidopsis halleri* (Bert, 2003) ، *Thlaspi caerulescens* (Brown, 1994) و *Echinochloa polystachya* (S.Dom´inguez, 2007) را نام برد که به ترتیب قادر به تجمع ۲۳۲ ، ۲۶۳–۱۱۶، ۱۵۷ میلی‌گرم کادمیوم در هر کیلوگرم وزن خشک می‌باشند. در این پژوهش نیز هر دو واریته گیاه شیرین بیان قادر به تجمع بیش از $mg.kg^{-1}dw$ ۱۰۰ کادمیوم در اندام هوایی می‌باشند. در واریته glabra به میزان $mg.kg^{-1}dw$ ۱۱۶/۹ – ۱۴۷/۹ و در واریته glandulifera $mg.kg^{-1}dw$ ۱۱۹/۵ – ۱۱۶/۰ کادمیوم تجمع می‌یابد. بنابراین می‌توان گیاه شیرین بیان را به عنوان بیش از حد انباشته کننده کادمیوم معرفی نمود.



www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که می دانیم اکثر یون‌های موجود در محیط با ریشه‌ها در ارتباط هستند و اولین محل جذب، ریشه ها می‌باشند. مقداری از یون ها به دیواره‌های سلولی ریشه جذب می‌شوند و نمی‌توانند به ساقه منتقل شوند. علاوه بر آن ممکن است با ترکیبات مختلفی پیوند داده و درون ساختارهای سلولی مانند واکوئل‌ها اسیر شوند، بنابراین برای انتقال به ساقه غیر قابل دسترس می‌شوند (Lasat, 1998). علاوه بر این مکانیسم‌های تخصصی دیگری نیز برای محدود کردن انتقال فلز وجود دارد. لذا مقدار جذب یون در درون ریشه‌ها زیاد می‌باشد اما امکان انتقال آن به ساقه محدود است. در این تحقیق نیز میزان تجمع یون‌های کادمیوم در ریشه‌ها بیشتر از اندام هوایی بود (جدول۱و۲). لازم به ذکر است که گیاه شیرین بیان دارای توانایی بالقوه برای گسترده نمودن سیستم ریشه‌ای در خاک می‌باشد و بنابراین با سیستم ریشه‌ای گسترده خود می‌تواند مقادیر قابل توجهی از کادمیوم محیط را جذب کرده و آلودگی محیطی را کاهش دهد.

با وجود محدودیت انتقال فلزبه اندام هوایی، برای گیاه پالایی لازم است که فلز مورد نظر از ریشه به ساقه منتقل شود. حرکت شیره گیاهی دارای فلز از ریشه به ساقه با دو فرایند کنترل می‌شود: فشار ریشه‌ای و تعرق برگ. کادمیوم نیز قادر است از غشای سلول های ریشه‌ای عبور کرده و به درون آوند چوب وارد شود، از این طریق به ساقه منتقل و به درون سلول‌های برگ جذب می‌شود (Lasat, 2000). گیاهان بیش از حد انباشته کننده نیز با توجه به ظرفیت انتقال و میزان ورود یون به اندام هوایی مشخص می‌شوند. لذا با محاسبه فاکتور انتقال، توانایی این گیاه در این زمینه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. فاکتور انتقال کادمیوم در گیاه شیرین بیان ۵۰/۷ – ۲۷/۳ بود. این فاکتور در مورد گیاهان بیش از حد انباشته کننده *A. haller* و *E. polystachya* نیز به ترتیب برابر با ۵۲/۵ و ۲۳/۸ می‌باشد. بنابراین گیاه شیرین بیان قادر است مقدار قابل توجهی از یون‌های کادمیوم را در اندام هوایی خود انباشته کند.

یکی از مشکلات مطرح در فرایند گیاه پالایی این است که فلزات سنگین در غلظت‌های زیاد ممکن است از رشد گیاه و تولید توده زیستی جلوگیری کنند. فلزات سنگین اضافی به روش‌های مختلف بر رشد گیاه اثر گذاشته و می‌توانند فیزیولوژی و مورفولوژی گیاهان را آشفته سازند. کادمیوم نیز سبب کاهش جوانه زنی بذر، و رشد گیاه می گردد (Torresdey, 2005). این فلز منجر به بازدارندگی فعالیت بعضی از آنزیم‌ها، رسوب عناصر ضروری و یا متابولیت‌ها شده و بدین ترتیب سبب تخریب سلولی می گردد (Ghosh, 2005) . علائم سمیت کادمیوم در برگ به صورت زردی و سوختگی ظاهر شده و با مهار طویل شدن سلول‌های در حال رشد، سبب کاهش رشد ریشه و ساقه می‌گردد (Aidid, 1993). در این پژوهش تجمع زیاد کادمیوم سبب کاهش رشد ریشه در هر دو واریته شد در حالی که پارامترهای رشد ساقه تغییری نداشته است و هیچ نوع علائم مسمومیت از قبیل سوختگی و قرمز شدن بافت مشاهده نگردید که بیانگر توانایی گیاه شیرین بیان به تحمل کادمیوم در غلظت فوق می‌باشد. در گیاه *E. polystachya* نیز با وجود تجمع کادمیوم در اندام هوایی، تغییری در وزن و طول اندام‌های گیاه مشاهده نگردید (Dom´inguez, 2007). نتایج بدست آمده از در صد جوانه‌زنی بذرها حاکی از آن است که بذرهای گیاه شیرین بیان قادر به جوانه‌زنی و رشد در محیط حاوی کادمیوم می‌باشد. این توانایی بذرها به عنوان یک ویژگی مناسب جهت کاشتن گیاه مذکور در محیط‌های آلوده محسوب می گردد.

اکثر گیاهان بیش از حد انباشته کننده کادمیوم که تا کنون معرفی شده‌اند دارای توده‌زیستی کوچکی بوده و



www.SID.ir

Archive of SID

میزان رشد آن‌ها در محیط‌های آلوده کم می‌باشد. درحالی که گیاهانی برای فرایند گیاه پالایی مناسب هستند که با وجود جذب مقدار زیادی از فلز در اندام هوایی خود، بتوانند به سرعت رشد کرده و توده‌زیستی کافی ایجاد نمایند. در این تحقیق مشخص گردید که گیاه شیرین بیان علی رغم جذب مقدار قابل توجهی از کادمیوم و انتقال آن به بخش هوایی، قادر به رشد در محیط‌های آلوده بوده و میزان تولید توده‌زیستی آن در مقایسه با گیاه شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت.

مقایسه دو واریته glabra و glandulifera نشان می‌دهد که هر دو واریته قادر به تحمل و تجمع کادمیوم هستند ولی فاکتور انتقال در واریته glabra بیشتر از واریته glandulifera می‌باشد و با وجود انتقال زیاد کادمیوم به اندام هوایی دارای شاخص تحمل بهتری نیز می‌باشد. بنابراین واریته glabra دارای توانایی بهتری برای تحمل و انتقال کادمیوم است. البته پیشنهاد می‌شود که تحمل گیاه در دوره‌های بعدی رشد و سنین بالاتر گیاه نیز مورد بررسی قرار بگیرد.

طبق نتایج بدست آمده از این تحقیق، پیشنهاد می‌گردد گیاه شیرین بیان در جهت رفع آلودگی کادمیوم از طریق فرایند گیاه پالایی در مناطق آلوده ایران مورد استفاده قرار بگیرد. با توجه به اینکه گیاه شیرین بیان علاوه بر خواص دارویی و بهداشتی به عنوان گیاه زینتی نیز محسوب می‌گردد می تواند در زیباسازی این محیط‌ها نیز نقش داشته باشد.

**پی نوشت**

1- non-accumulator
2- hyperaccumulator

منابع


Afreen, F., S.M.A. Zobayed and T. Kozai (2005). Spectral quality and UV-B stress stimulate glycyrrhizin concentration of Glycyrrhiza uralensis in hydroponic and pot system. Plant Physiology and Biochemistry, 43: 1074- 1081.

Aidid, S.B. and H. Okamoto (1993). Responses of elongation rate, turgor pressure and cell wall extensibility of stem cells of Impatiens balsamina tolead, cadmium and zinc. BioMetals, 6:245-249.

Baker, A.J.M. (1981). Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals. Plant Nutr, 3:643-654.

Baker, A.J.M., S.P. McGrath, R.D. Reeves and J.A.C. Smith (2000). Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Boca Raton: Lewis Publishers

Baker, A.J.M. and R.R. Brooks (2003). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements –a review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery, 1:81–126.

Benavides, M.P., M. Gallego and M.L. Tomaro (2005). Cadmium toxicity in plants. Braz. J. Plant physiolo, 17(1):21-34.

Bert, V., P. Meerts, P. Saumitou-Laprade, P. Salis, W. Gruber and N. Verbruggen (2003). Genetic basis of cadmium tolerance and hyperaccumulation in Arabidopsis halleri. Plant Soil, 249: 9–18.

Brown, S.L., R.L. Chaney, J.S. Angle and J.M.




www.SID.ir

Archive of SID

Necessary attention to Phosphate fertilizer application for Cd decrease in nutrient productions. Soil and Water Research Institute. Technical Bulletion No.164, Tehran: sana publication.

Mattina, M.J.I., W. Lannucci-Berger, C. Musante and J.C. White (2003). Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil. Environ. Pollut, 124: 375–378.

Pinto, A.P., M. Motaa, A. Devarennes and F.C. Pinto (2004). Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. Sci. Tot. Environ, 326: 239- 247.

Prasad, M.N.V. (2004), Phytoremediation of metals and radionuclides in the environment: the case for natural hyperaccumulators, metal transporters, soil-amending chelators and transgenic plants. In: Prasad, M.N.V. (Ed.), Heavy Metal Stress in Plants from Biomolecules to Ecosystems, second ed. Berlin: Springer-Verlag.

Reeves, R.D. and A.J.M. Baker (2000). Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment, New York: John Wiley and Sons Inc.

Robati, B., M.R. Shariati and R. Farshi (1999). Some effects of sewage on land creek Firouz Abad Farm in south of Tehran. Soil and Water Research Institute, Proceedings of Baker (1994). Phytoremediation potential of Thlaspi caerulescens and Blader campion for zinc and cadmium contaminated soil. J. Environ. Qual, 23:1151–1157.

Ghosh, M. and S.P. Singh (2005). A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. Environ. Pollut, 133: 365–371.

G.Torresdey, J.L., J.R. P.Videa, G. Rosa and J.G. Parsons (2005). Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. Coordination Chemistry Reviews, 249:1797–1810.

Kabata-Pendias, A. and H. Pendias (2001). Trace Elements in Soils and Plants. Florida:Boca Raton.

Lasat, M.M. (2000). The Use of Plants for the Removal of Toxic Metals from Contaminated Soil,U.S. American Association for the Advancement of Science, Environmental Science and Engineering Fellow.

Lasat, M.M., A.J.M. Baker and L.V. Kochian (1998). Altered Zn compartmentation in the root symplasm and stimulated Zn absorption into the leaf as mechanisms involved in Zn hyperaccumulation in Thlaspi caerulescens. Plant Physiol, 118: 875-883.

Malakooti, M.J. and A. Shahrokhnia (2000).



www.SID.ir

Archive of SID

Solhi, M., M.J. Malakouti and S. Samavat (2005). Distribution and safe concentrations of heavy metals in the life cycle (soils, water, plant, animal and human). Soil and Water Research Institute, Technical Bulletion No.470, Tehran: sana publication.

Wilkins, D.A. (1978). The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth. New Phytologist 91:255–6.

Woodies, T.C., G.B. Hunter and F.J. Johnson (1977). Statistical studies of matrix effects on the determination of cadmium and lead in fertilizer and material and plant tissue by flame atomic absorption spectrophotometry. Analytical Chemistry Acta, 90:127-136.

Weast, R.C. (1984). CRC Handbook of Chemistry and Physics. 64th edn. Boca Raton: CRC Press.

Zargari, A. (1987). Medicinl plants. Tehran: Tehran university publication.

Soil and Water, the fourth year, No. 1, Tehran: sana publication.

Ryan, J.A., H.B. Pahren and J.B. Lucas (1982). Controlling cadmium in the human food chain: a review and rationale based on health effects, Environ. Res. 28:251–302.

Salt, D.E., Blaylock, M. Kumar, N.P. Dushenkov, V. Ensley, B.D. Chet and I. Raskin (1995). Phytoremediation: a novel strategy for theremoval of toxic metals from the environment using plant. Biotechnology, 13:468–474.

Samavat, S., A. Bybordi, M.J. Malakouti and M.M. Tehrani (2005). Acceptable level of cadmium in fertilizers and agricultural crops. Soil and Water Research Institute, Technical Bulletion, Tehran: sana publication.

Sanita di Toppi, L. and R. Gabbrielli (1999). Response to cadmium in higher plants. J. Environ.Exp.Bot, 41:105-130.

S.Dom´inguez, F.A., M.C.G. Chavez, R. C.Gonzalez and R.R.Vazquez (2007). Accumulation and localization of cadmium in Echinochloa polystachya grown within a hydroponic system. Journal of Hazardous Materials, 141: 630–636.

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



www.SID.ir