تأثیر بهبود شرایط خاک بر پاسخ‌های انباشت فلز کادمیوم در نهال‌های یک‌سالهٔ صنوبر (*Populus alba* L.)

سیدمهدی علی‌زاده[*1]، قوام‌الدین زاهدی امیری[2]، غلامرضا ثواقبی فیروزآبادی[3]، وحید اعتماد[4]، انوشیروان شیروانی[4] و مصطفی شیرمردی[5]

[1]دانشجوی دکتری جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

[2]دانشیار گروه جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

[3]دانشیار گروه خاکشناسی دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

[4]استادیار گروه جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

[5]دانشجوی دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۶/ ۴ / ۹۰، تاریخ پذیرش: ۲۴ / ۷ / ۹۰)

چکیده

منابع انسانی آلودگی کادمیوم در خاک‌ها، به‌ویژه در خاک‌های زراعی به نگرانی بزرگی تبدیل شده است. گیاه‌پالایی روشی ساده، اقتصادی و سازگار با محیط‌زیست برای پالایش محیط‌های آلوده به‌شمار می‌آید. در این تحقیق، اثر بسترهای کاشت بر انباشت کادمیوم در اندام‌های هوایی (برگ، ساقه و شاخه‌ها) و اندام زیرزمینی نهال‌های یک‌سالهٔ صنوبر (*Populus alba* L.) بررسی شد. ۳ بستر کاشت تهیه‌شده با ۴ غلظت نمک کلریدکادمیوم ($CdCl_2,2.5H_2O$) به‌طور یکنواخت و در خارج از گلدان آلوده گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. در پایان تابستان (۶ ماه دورهٔ رشد)، میزان انباشت فلز کادمیوم در برگ‌ها، ساقه/شاخه‌ها و ریشه‌های صنوبرها تعیین شد. نتایج نشان داد که اگرچه تفاوت انباشت در اندام‌ها، در بسترهای کاشت مختلف در برخی حالت‌ها متفاوت نبود ($P < ۰/۰۱$)، اما با توجه به تولید زی‌تودهٔ بیشتر در بسترهای‌کاشت بهبودیافته در مقایسه با بستر کاشت شاهد، جذب کل کادمیوم به بیش از ۲ برابر نسبت به بستر کاشت شاهد در آلودگی ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم رسید. استفاده از کلات‌کننده‌های سنتتیک در راستای افزایش کارایی گیاه‌پالایی، اثرهای محیط زیستی زیادی به‌همراه دارد، درحالی‌که در روش‌های سازگار با طبیعت، این اثرهای نامطلوب وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: کادمیوم، گیاه‌پالایی، بستر کاشت، کلات‌کننده‌های سنتتیک، صنوبر.

[*]نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۹۱۶ ۳۱۱۸۴۴۶ Email: s_malizadeh@yahoo.com

مقدمه و هدف

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین مسائل محیط زیست در سرتاسر جهان محسوب می‌شود (Bodar *et al*., 2006; Assareh *et al*., 2008; Fotakis & Timbrell, 2006). از آنجا که این فلزات توسط گیاهان جذب و به انسان‌ها منتقل می‌شوند، این مسأله در مورد خاک‌های زراعی جدی‌تر است (Chehregani *et al*., 2009). به‌علاوه فلزات سنگین در معرض فرآیندهای تخریب نبوده و در محیط زیست باقی می‌مانند، اگرچه زیست‌فراهمی[1] این مواد شیمیایی در ارتباط با ترکیب خاک متغیر است (Doumett *et al*., 2008). تمام فلزات سنگین در غلظت‌های بالا سمیت‌های شدیدی ایجاد کرده و جزء آلاینده‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Chehregani *et al*., 2005). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در راستای یافتن روشی برای حذف فلزات سنگین از خاک صورت گرفته که گیاه‌پالایی[2] یکی از این یافته‌هاست (Chehregani *et al*., 2009; Igwe & Abia, 2006). این فناوری روشی درجا، کم‌هزینه و با تخریب کم بوده (Salt *et al*., 1995) که در سال‌های اخیر به‌دلیل هماهنگی با طبیعت و قابلیت استفاده در مقیاس وسیع، کانون توجه بوده است.

گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات شامل دو فرآیند اصلی است: یکی گیاه‌تثبیتی[3] که عبارت است از بی‌تحرک کردن فلزات در خاک یا ریشه‌ها و به کاهش زیست‌فراهمی فلز منجر می‌شود و دیگری گیاه‌استخراجی[4] به‌معنای جذب آلاینده توسط گیاه از محیط خاک و انتقال آن از ریشه به اندام‌های هوایی است (Pivetz, 2001). به‌منظور دست‌یابی به کارایی بالا در گیاه‌پالایی، گیاهان مورد استفاده باید مقدار زیادی از فلز سنگین را انباشت نموده، بردبار به حضور فلز سنگین در خاک باشند و همچنین توانایی تولید زی‌تودهٔ بالا در خاک آلوده را داشته باشند (McGrath *et al*., 2002). در سال‌های اخیر، بررسی‌های گیاه‌پالایی بر گیاهان بیش‌اندوز که توانایی انباشت مقدار زیادی از فلزات را دارند، متمرکز شده است (Doumett *et al*., 2008). این گیاهان کندرشد بوده، سیستم ریشه‌ای کم‌عمق داشته، زی‌تودهٔ کمی تولید کرده و در مورد فلزات اختصاصی عمل می‌کنند. ویژگی‌های ذکرشده، استفاده از آنها را در مناطق با آلودگی عمیق، یا مناطق با آلودگی‌های چندگانه غیرممکن می‌کند (Begonia *et al*., 2005; Luo *et al*., 2005). استفاده از گیاهان بیش‌اندوز علفی یا گونه‌های چوبی که دارای ویژگی‌هایی چون: مقاومت در برابر حضور فلزات، سرعت رشد بالا، سیستم ریشه‌ای عمیق و قدرت رشد در خاک‌های فقیر از مواد غذایی باشند، گزینهٔ مناسبی برای پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات است (Pulford & Watson, 2003).

کارایی گیاه‌استخراجی با جذب فلز توسط سطح ذرات خاک و به دنبال آن کاهش حلالیت فلز در خاک، کم می‌شود. از این‌رو برای افزایش حلالیت فلزات، از عوامل کلات‌کننده مانند EDTA و DTPA که موجب افزایش جذب فلز توسط گیاه می‌شوند، استفاده می‌گردد (Pivetz, 2001). از سویی دیگر استفاده از این عوامل شیمیایی به افزایش حلالیت و به‌دنبال آن افزایش نفوذ و تراوش فلزات به افق‌های زیرین خاک، آب‌های زیرزمینی یا آب‌های سطحی و گاه به ایجاد سمیت برای گیاهان و میکروارگانیسم‌های خاک منجر می‌شود (Huang *et al*., 1997; Santos *et al*., 2006). از این‌رو روش‌های نزدیک به طبیعت و سازگار با محیط‌زیست راهکار مطلوب‌تری است. بهبود شرایط رویشی گیاه به‌ویژه بهسازی بستر کاشت، به رشد گیاه و افزایش جذب فلزات توسط آن کمک می‌کند. جنس صنوبر به‌دلیل مجموعه عواملی مانند رشد سریع، تعرق بالا، سیستم ریشه‌ای مناسب، نیازهای اکولوژیکی کم و گسترهٔ جغرافیایی به‌نسبت وسیع، از گونه‌های موفق در گیاه‌پالایی محسوب می‌شود. این جنس برای پاکسازی خاک‌ها و آب‌های آلوده به آترازین (Burken & Schooner, 1998)، تری‌کلرواتیلن (Newman *et al*., 1997)، علف‌کش‌های کلرواستانیلید (Gullner *et al*., 2001)، کادمیوم (Robinson *et al*., 2000; Wu *et al*., 2010)، سرب (Biro & Takacs, 2007)، سلنیوم (Pilon-Smits *et al*., 1998)، روی (Di Baccio *et al*., 2003; Castiglione *et al*., 2007)، پنتاکلروفنول (Mills *et al*., 2006) و همچنین جذب مازاد دی‌اکسیدکربن

1- Bioavailability
2- Phytoremediation
3- Phytostabilization
4- Phytoextraction

هواسپهر (Tognetti *et al*., 1999) بررسی شده است. در این مطالعه اثر بسترهای مختلف کاشت بر جذب فلز کادمیوم توسط اندام‌های هوایی (ساقه و برگ‌ها) و زیرزمینی نهال‌های یک‌سالهٔ صنوبر (*Populus alba* L.) مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این بررسی، ارزیابی اثر بسترهای مختلف کاشت بر پتانسیل انباشت فلز کادمیوم توسط نهال‌های یک‌سالهٔ صنوبر است.

مواد و روش‌ها

- ویژگی‌های خاک

خاک غیرآلوده (خاک طبیعی مورد استفاده در این آزمایش) از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعهٔ آموزشی-پژوهشی دانشگاه تهران واقع در کرج به آزمایشگاه منتقل و در دمای آزمایشگاه خشک شد. سپس توسط الک ۲ میلی‌متری سرند و به‌طور یکنواخت مخلوط و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و غلظت عناصر در آن اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری نیتروژن کل خاک به‌روش کجلدال (Bremner, 1996)، فسفر قابل جذب به‌روش اولسن (Olsen *et al*., 1954)، پتاسیم قابل جذب به‌روش استات‌آمونیوم نرمال (Hemke & Sparks, 1996)، اندازه‌گیری اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی به‌روش Rhoades (1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به‌روش باور (Sumner & miller, 1996)، درصد کربنات کلسیم معادل به‌روش کلسیمتری (Nelson, 1982)، درصد کربن‌آلی به‌روش والکی‌بلک (Walkley & Black, 1934)، ظرفیت زراعی به‌روش Topp *et al.* (1993) و بافت خاک به‌روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) تعیین شد. همچنین مقدار عناصر ضروری شامل آهن، منگنز، روی و مس و غلظت قابل جذب کادمیوم در خاک به‌روش عصاره‌گیری با DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) و با دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این بررسی، در جدول ۱ آورده شده است.

- آماده‌سازی بسترهای کاشت

بسترهای کاشت استفاده‌شده در این آزمایش به این‌صورت تعریف شدند: ۱- خاک، پرلیت و کوکوپیت با نسبت‌های ۲، ۱، ۱ و ۲- خاک و کوکوپیت با نسبت‌های ۱، ۱ و ۳- خاک در حالت طبیعی خود به‌عنوان شاهد. پرلیت به‌خاطر جذب و قرار دادن رطوبت به مرور زمان در اختیار گیاه و کوکوپیت به‌دلیل نقش آن در افزایش هوادهی و همچنین افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و در نهایت بهبود ساختار بستر رشد گیاه استفاده شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

خصوصیت	مقدار	خصوصیت	مقدار
شن (درصد)	۴۱	سرب قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/۹۴
سیلت (درصد)	۳۵	کادمیوم قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۱۳
رس (درصد)	۲۴	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانت مول بار بر کیلوگرم)	۲۵
کربن‌آلی (درصد)	۰/۸۶	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۸
نیتروژن (درصد)	۰/۰۷۶	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۳۲
EC (دسی‌زیمنس بر متر)	۴/۴۲	مس قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۰۰۲
اسیدیته (pH)	۷/۵	آهن قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۵/۱
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۸/۱	روی قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/۰۱
Field Capacity (F.C)	۲۶	منگنز قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۷/۸۵۴

- آلوده کردن خاک

بسترهای کاشت با مقادیر ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم بستر کاشت (به‌صورت نمک کلرید کادمیوم $CdCl_2,2.5H_2O$)، در خارج از گلدان‌ها به‌صورت کاملاً یکنواخت آلوده شدند و سپس گلدان‌ها با آنها پر شدند. در این آزمایش گلدان‌هایی پلاستیکی با ظرفیت ۱۵

لیتر در نظر گرفته شد. وزن گلدان‌های محتوی تیمار خاک ۲۰ کیلوگرم و وزن گلدان‌های محتوی دو تیمار دیگر بستر کاشت ۱۳ کیلوگرم از ترکیبات مذکور بود. گلدان‌ها قبل از انتقال نهال‌ها، به‌مدت ۱ ماه برای رسیدن به تعادل به حال خود رها شدند.

- تهیهٔ نهال‌ها

قلمه‌های هم‌اندازه (ارتفاع، قطر و تعداد جوانه) از یک درخت منفرد *Populus alba* L.، در بهمن سال ۱۳۸۷ تهیه و در نهالستان "مسیر سبز" در شهرستان کرج ریشه‌دار و به‌مدت یک سال پرورش داده شدند. در اسفند ۱۳۸۸ نهال‌های یک‌ساله با ویژگی‌های مذکور یکسان، به گلدان‌ها منتقل شدند. با توجه به درصد رطوبت مزرعه‌ای (Field capacity = F.C)، رطوبت خاک در حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد رطوبت مزرعه‌ای و از طریق وزن کردن گلدان‌ها در طول آزمایش، حفظ شد. این عمل با آبیاری یک روز در میان گلدان‌ها در فصل بهار و هرروزه در فصل تابستان انجام شد.

-آزمایش گیاه‌استخراجی

در طول دوره رشد، تمامی برگ‌هایی که به‌دلایل مختلف از هر یک از نهال‌ها جدا شده بودند جمع‌آوری شدند. در پایان شهریور ۱۳۸۹، برگ (به‌همراه برگ‌های جمع‌آوری‌شده در طول دورهٔ رشد)، ساقه و ریشهٔ هر نهال برداشت و ابتدا به‌وسیلهٔ آب و سپس آب‌مقطر شسته شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد در آون و تا رسیدن به وزن ثابت نگه‌داری شدند. سپس وزن خشک هر یک از اندام‌ها ثبت شد. در گام بعد، نمونه‌ها به‌سیلهٔ آسیاب کاملا خرد شده و برای هضم به‌روش تر آماده شدند. ۵۰۰ میلی‌گرم از هر نمونه با ۶ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ در دستگاه دایجستال به‌مدت ۵ دقیقه و در دمای ۴۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد هضم شد. سپس ۳ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنهٔ ۳۰ درصد به آن افزوده و سه دقیقهٔ دیگر حرارت داده شد. پس از سرد شدن، عصاره را با آب دوبار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و مقدار فلز کادمیوم در هر نمونه با دستگاه ICP-OES تعیین شد (Vicentim & Ferraz, 2007)

- تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل با طرح پایهٔ کاملا تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل بسترهای کاشت و غلظت‌های آلودگی کادمیوم بود. تجزیهٔ آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS، مقایسهٔ میانگین‌ها به‌روش LSD و رسم نمودارها با نرم‌افزارهای Excel و Sigma plot انجام شد.

نتایج

- تأثیر بسترهای مختلف کاشت بر تولید زی‌توده

نتایج مربوط به تولید زی‌تودهٔ برگ، ریشه و ساقه در حضور ۴ غلظت فلز کادمیوم و در بسترهای مختلف کاشت در شکل‌های ۱ تا ۳ و جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در بین ۳ بستر کاشت اعمال‌شده و در تمامی غلظت‌های آلودگی، بستر کاشت ۱ بیشترین و بستر کاشت ۳ کمترین مقدار تولید زی‌توده اعم از ریشه، ساقه/شاخه و برگ را موجب شد.

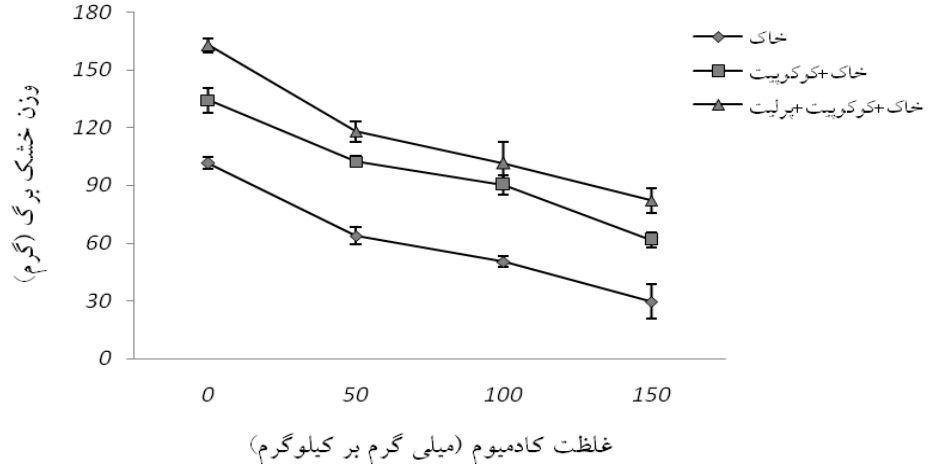
جدول ۲- پارامترهای آماری ضریب کاهش طبیعی گونهٔ راش در ارتفاع‌های نسبی درخت

منابع تغییر	میانگین مربعات			
	درجهٔ آزادی	وزن‌خشک برگ	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه/شاخه
بسترکاشت	۲	۸۷۲۲/۹۱*	۹۸۱/۳۴*	۹۹۵۰/۹۲*
غلظت کادمیوم	۳	۸۷۶۹/۴*	۷۷۳/۳۹*	۱۸۲۲۵۱/۱۳*
بستر × غلظت کادمیوم	۶	۵۵/۹۷ ns	۹/۸۴ ns	۷۶/۷۶ ns
خطا	۲۴	۱۳۴/۸۲	۶/۴	۴۵/۴۵
ضریب تغییرات (C.V)	-	۱۲/۶۱	۴/۳۶	۳/۶۹

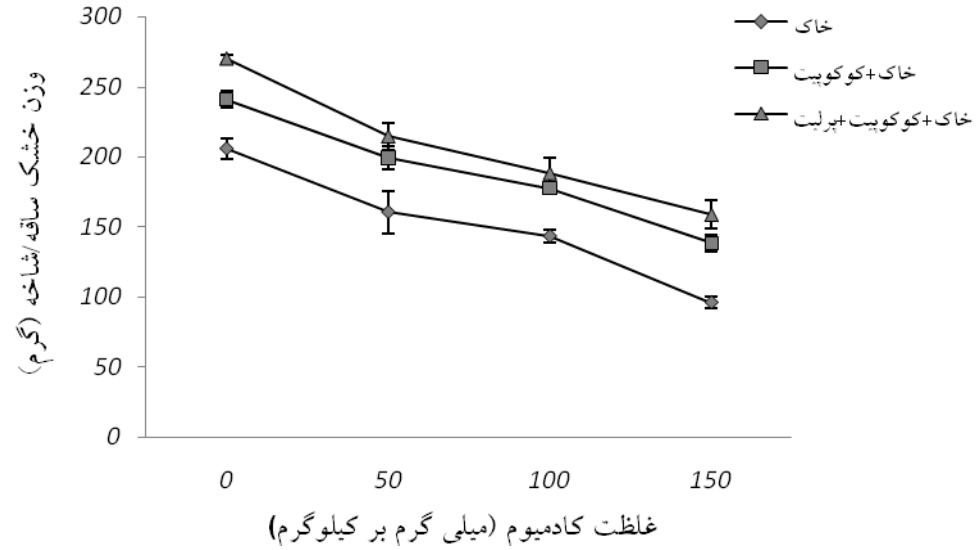
*: نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ و ns: نشان‌دهندهٔ نبود تفاوت معنی‌دار در هر سطح آماری است

همچنین در هر سه بستر کاشت و در بین تیمارهای آلودگی اعمال‌شده، بیشترین تولید زی‌توده در تیمار شاهد (بدون آلودگی) و کمترین آن در تیمار آلودگی ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم مشاهده شد. با افزایش غلظت آلاینده، در کلیهٔ بسترهای کاشت روند کاهشی در تولید زی‌توده مشاهده شد. در هر سه بستر کاشت، شدت کاهش در مقدار تولید زی‌تودهٔ برگ، در آلودگی ۵۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم و در مقایسه با شاهد رخ داد. در مورد بستر کاشت ۲، این شدت کاهش در حد فاصل آلودگی ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم نیز اتفاق افتاد (شکل ۱). شدت روند کاهشی در مورد زی‌تودهٔ ساقه/شاخه، در بسترهای ۲ و ۳ در دو مرحله و در حد فاصل تیمار شاهد تا ۵۰ و ۱۵۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اتفاق افتاد درحالی‌که این شدت در بسترکاشت ۱ تنها در آلودگی ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به نمونهٔ شاهد رخ داد (شکل ۲).

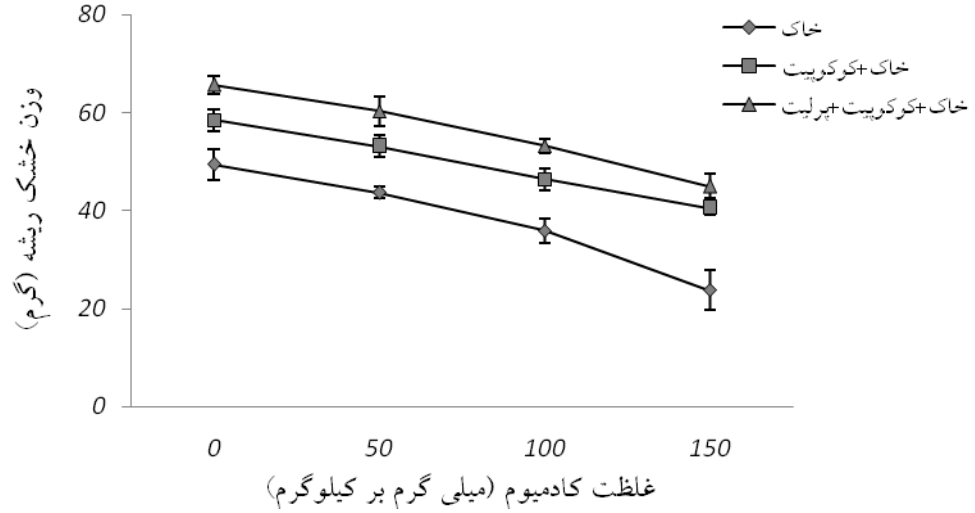
با افزایش غلظت آلودگی، تولید زی‌تودهٔ ریشه در بسترهای‌کاشت ۱ و ۲، از روند کاهشی به‌نسبت یکسانی پیروی کرد درحالی‌که در بستر کاشت ۳، در حد فاصل آلودگی ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، شدت کاهش بیشتر بود (شکل ۳). تأثیر حضور کادمیوم در غلظت‌های بالا چنان مشهود بود که مقدار تولید زی‌توده به کمترین حد در مقایسه با نمونهٔ شاهد در هر سه بستر کاشت رسید.



شکل ۱- مقدار زی‌تودهٔ برگ تولیدشده در بسترهای کاشت و در غلظت‌های مختلف آلودگی



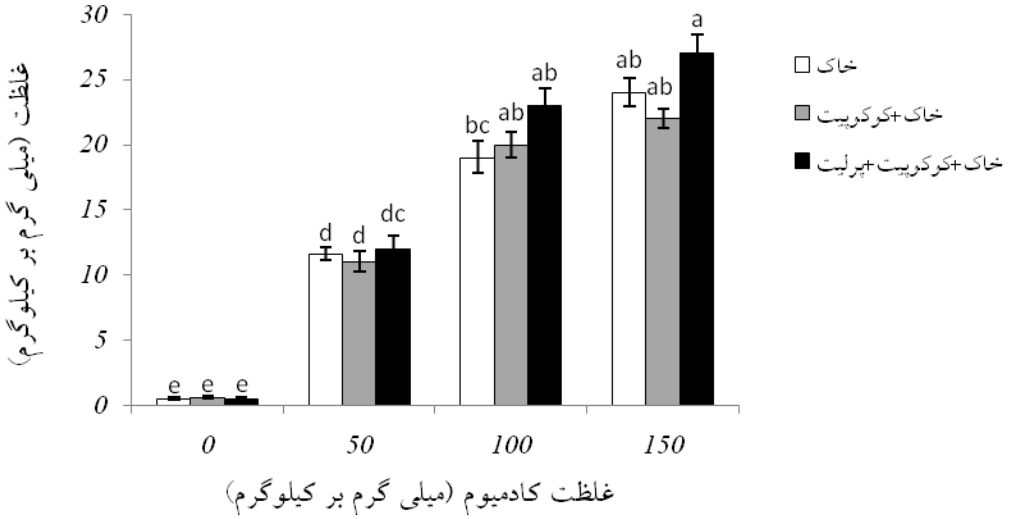
شکل ۲- مقدار زی‌تودهٔ ساقه/شاخه تولیدشده در بسترهای کاشت و در غلظت‌های مختلف آلودگی



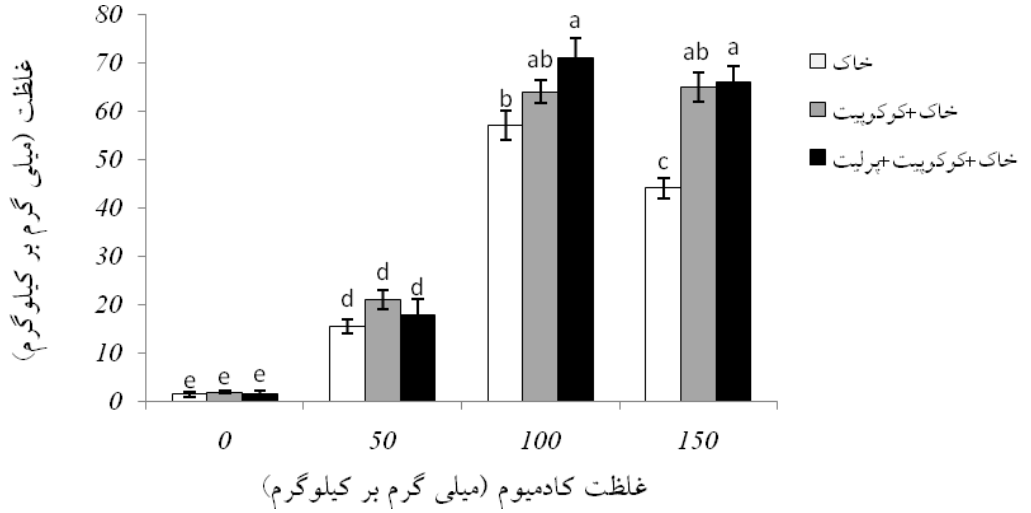
شکل ۳- مقدار زی‌تودهٔ ریشه تولیدشده در بسترهای کاشت و در غلظت‌های مختلف آلودگی

- تأثیر بسترهای مختلف کاشت بر انباشت فلز کادمیوم در بافت‌های گیاهی

مقادیر انباشت فلز کادمیوم در اندام‌های مختلف نهال صنوبر و تحت تأثیر بسترهای مختلف کاشت در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. بیشترین افزایش در انباشت کادمیوم در برگ‌ها در حد فاصل غلظت ۵۰ میلی‌گرم کادمیوم و شاهد (به‌استثناء بستر ۲ که در حد فاصل غلظت ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم کادمیوم رخ داد) و کمترین مقدار آن در حد فاصل غلظت ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیوم مشاهده شد (شکل ۴). در مورد ساقه، بیشترین افزایش انباشت کادمیوم در حد فاصل غلظت ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم مشاهده شد، درحالی‌که با افزایش غلظت از ۱۰۰ به ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیوم، مقدار انباشت با کاهش مواجه شد (به‌استثناء بستر ۲) و بیشترین کاهش در بستر ۳ اتفاق افتاد (شکل ۵). در شکل ۶ نیز با افزایش غلظت کادمیوم، مقدار انباشت در بسترهای کاشت (به‌استثناء بستر ۱) زیاد شد که بیشترین مقدار مربوط به حد فاصل غلظت‌های ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم و کمترین مقدار مربوط به حد فاصل غلظت‌های ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیوم است.

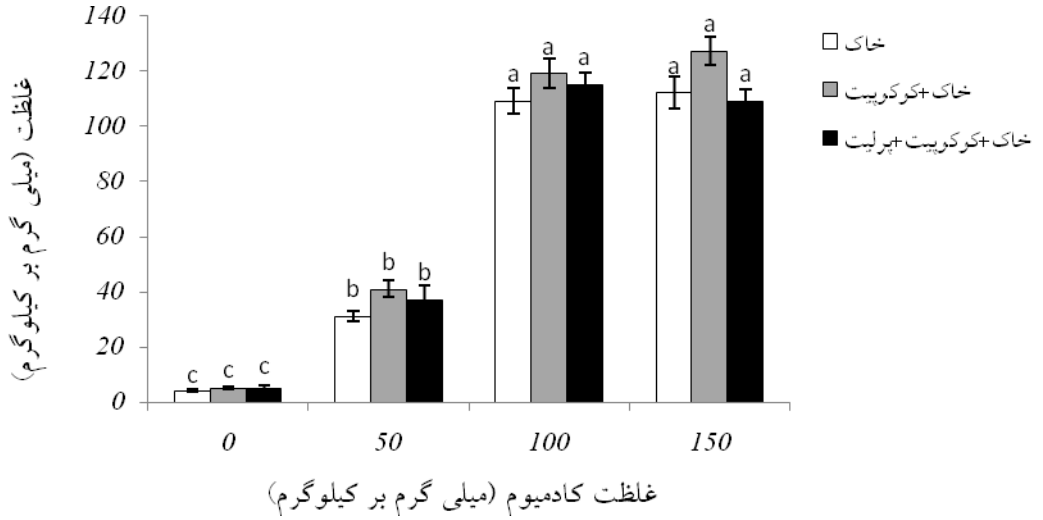


شکل ۴- ضریب کاهش طبیعی راش در چهار مرحلهٔ رویشی مختلف



شکل ۵- مقایسهٔ مقدار انباشت فلز کادمیوم در ساقه و شاخه‌ها و تحت تأثیر بسترهای مختلف کاشت (P <۰/۰۱)

همان‌طور که در شکل‌های ۴ تا ۶ دیده می‌شود، بیشترین مقدار انباشت در میان اندام‌ها به ریشه و کمترین آن به برگ اختصاص دارد. بیشترین مقدار انباشت در برگ، در بسترکاشت ۱ و در تیمار آلودگی ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیوم رخ داد. بیشترین مقدار انباشت در ساقه و شاخه‌ها در تیمار آلودگی ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم، در بستر کاشت ۱ بود. همچنین بیشترین مقدار انباشت در ریشه در بستر کاشت ۲ و در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم کادمیوم رخ داد.



شکل ۶- مقایسهٔ مقدار انباشت فلز کادمیوم در ریشه‌ها و تحت تأثیر بسترهای مختلف کاشت (P <۰/۰۱)

- تأثیر بسترهای مختلف کاشت بر جذب کل فلز کادمیوم توسط نهال‌های صنوبر

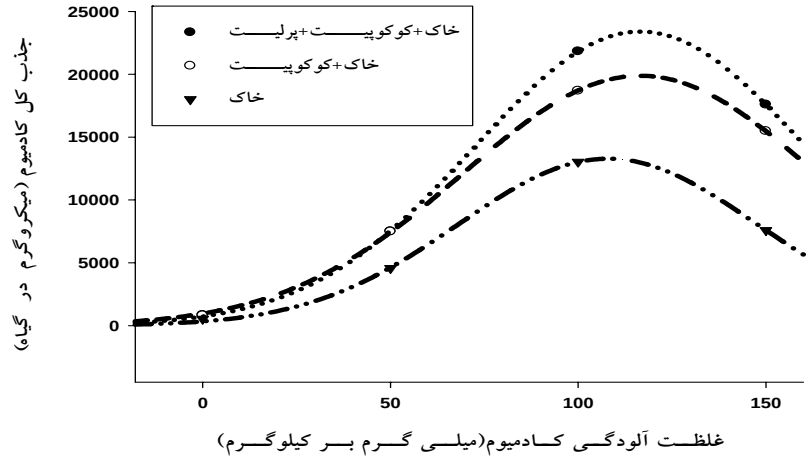
جذب کل[1] کادمیوم در نهال‌ها با اعمال بسترهای کاشت افزایش یافت (جدول ۳). بیشترین مقدار افزایش جذب در بستر کاشت ۱ و کمترین مقدار آن در بستر کاشت ۳ (شاهد) اتفاق افتاد. افزایش جذب نهال‌ها در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم در هر دو بستر کاشت ۱ و ۲ به بیش از ۲ برابر جذب در بستر کاشت ۳ رسید، درحالی که این مقدار جذب در غلظت‌های پایین‌تر آلودگی کادمیوم (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم) کمتر از ۲ برابر بود (جدول ۳). روند تغییرات جذب کادمیوم در گیاه با افزایش غلظت آن در هر بستر کاشت در شکل ۷ نشان داده شده است.

1- Total Uptake

جدول۳- میانگین جذب کل کادمیوم ($\mu g\ Plant^{-1}$) توسط نهال‌ها در غلظت‌ها و بسترهای مختلف ($P<۰/۰۱$)

بستر	غلظت کادمیوم ($mg\ Kg^{-1}$)			
	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
بستر ۱	۸۵۱/۲±۱۱(a)	۷۵۰۸/۷±۲۲(a)	۲۱۸۲۱/۷±۵۵(a)	۱۷۵۹۱/۱±۵۴(a)
بستر ۲	۸۰۷/۵±۱۴(b)	۷۴۸۲/۸±۳۰(b)	۱۸۶۸۹/۶±۴۹(b)	۱۵۴۸۱/۱±۳۲(b)
بستر ۳	۵۳۴/۲±۱۶(c)	۴۵۷۶/۸±۲۴(c)	۱۳۱۵۵/۸±۵۱(c)	۷۵۹۱/۳±۲۴(c)

حروف متفاوت در هر ستون بیان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.



شکل ۷- روند تغییرات جذب کادمیوم در گیاه با افزایش غلظت آن در هر بستر کاشت

بحث

آلودگی بیش از حد فلزات سنگین در خاک‌های زراعی مشکلاتی از قبیل آثار سمی برای گیاه ایجاد می‌کنند. مشکل دیگر و چه‌بسا جدی‌تر این آلاینده‌ها، جذب آنها توسط گیاهان است که به این طریق وارد زنجیرهٔ غذایی انسان می‌شوند. کلیهٔ فلزات سنگین در غلظت‌های بالا، آثار سمی زیادی بر گیاه داشته و در زمرهٔ آلاینده‌های محیط زیست طبقه‌بندی می‌شوند (Chehregani *et al*., 2009). این فلزات تجزیه‌پذیر نبوده و بازیابی خاک‌های آلوده در مقیاس وسیع به‌راحتی امکان‌پذیر نیست (Sebastiani *et al*., 2004). امروزه استفاده از گیاهان برای پاکسازی خاک‌ها از آلاینده‌ها با عنوان "گیاه‌پالایی" مطرح است. گیاهانی با عنوان "بیش‌اندوز" قادرند مقدار زیادی فلز را در اندام‌های خود انباشت کنند، اما زی‌تودهٔ کمی تولید می‌کنند و در مورد فلزات هم اختصاصی عمل می‌کنند (Begonia *et al*., 2005; Luo *et al*., 2005). مکمل‌های گوناگون شیمیایی و بیولوژیکی نیز برای افزایش کارایی گیاه‌پالایی به‌کار گرفته می‌شود (Wu *et al*., 2004; Doumett *et al*., 2008; Moteshare Zadeh *et al*., 2008). در این مطالعه از کوکوپیت و پرلیت برای بهبود شرایط رویشی نهال‌های صنوبر که زی‌تودهٔ بالایی تولید می‌کنند، استفاده شد. بسترهای کاشت اعمال‌شده موجب افزایش زی‌تودهٔ ریشه، ساقه و برگ در نهال‌های صنوبر نسبت به بستر شاهد (خاک) شدند که این تفاوت افزایش زی‌توده در بسترکاشت ۱ نسبت به بسترکاشت ۲، بیشتر است (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). دلیل این امر را می‌توان نقش مواد آلی اعمال‌شده در افزایش هوادهی[1]، ظرفیت تبادل کاتیونی[2] (Lin & Chen, 1998) و بهبود ساختار خاک (Martínez-Fernández & Walker, 2011) دانست.

با افزایش غلظت آلودگی کادمیوم، مقدار کادمیوم در کلیهٔ اندام‌های گیاهی (ریشه، ساقه و برگ) افزایش یافت. احتمالا دلیل افزایش غلظت کادمیوم در اندام‌های گیاهی،

1- Aeration
2- Cation Exchange Capacity (CEC)

افـزایش زیـست‌فراهمـی ایـن فلـز در خـاک بـوده اسـت. همان‌طور که در شکل‌های ۴ تـا ۶ نـشان داده شـده اسـت بیشترین مقدار انباشت در اندام‌های زیرزمینی گیـاه اتفـاق افتاد. به این معنی که پس از جذب آلاینده‌ها توسط گیـاه، گیاه با استفاده از مکانیسم‌هـایی آلاینـده را در انـدام‌هـایی نظیر واکوئل‌هـا رسـوب داده و از انتقـال آن بـه انـدام‌هـای هوایی جلوگیری می‌کند (Shah *et al*., 2001). در بـسیاری از حالـت‌هـا تفـاوت معنـی‌داری در انباشـت کـادمیوم در اندام‌های گیاهی بین بسترهای مختلف کاشت وجود نداشت (شـکل‌هـای ۴ تـا ۶). ایـن بـدان معنـی اسـت کـه بهبـود بسترهای کاشت نقشی در افزایش مقدار زیست‌فراهمی فلـز کادمیوم نداشته است. این مشاهدات با یافته‌های بسیاری از محقق‌ها هم‌خوانی دارد (Moteshare zadeh *et al*., 2008; Wu *et al*., 2010). در مورد مقدار جذب کل کادمیوم نیـز، همان‌طور که در جـدول ۳ و شـکل ۷ دیـده مـی‌شـود، بـا افزایش غلظت آلودگی کـادمیوم، میـزان جـذب آن توسـط گیاه تا غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روند افزایشی دارد و پس از آن، میزان جذب در هر سه بستر کاشت مـی‌یابـد. علت این کـاهش جـذب، بیـشتر بـه کـاهش مقـدار تولیـد زی‌توده در اثر افزایش آلـودگی کـادمیوم و ایجـاد سـمیت برای گیاه برمی‌گردد.

امـروزه از عوامـل سـنتتیک زیـادی بـرای افـزایش کـارایی گیاه‌پالایی اسـتفاده مـی‌شـود (Wu *et al*., 2010). اگرچـه استفاده از عوامل شیمیایی نظیـر EDTA موجـب افـزایش چندین برابری انباشت فلزات (بسته به نوع گیاه و نوع فلز و شرایط محیط) در گیاه می‌شـود (Doumett *et al*., 2008)، اما پی‌آمدهایی همچون تـراوش و نفـوذ آنهـا بـه افـق‌هـای زیرین خاک، آب‌های زیرزمینی یا سطحی و همچنین ایجاد سمیت برای گیاهان و ریزجانداران خاک از نقاط ضعف این روش‌هاسـت (Santos *et al*., 2006). درحـالی‌کـه روش استفاده‌شده در این تحقیق برای افزایش کارایی گیاه‌پالایی، نکات منفی بالا را ندارد و راهکاری محیط زیستی محسوب می‌شود. نتایج این تحقیق نـشان داد کـه اسـتفاده از بـستر کاشت عاملی اثرگذار بر افزایش کارایی گیاه‌استخراجی فلـز کادمیوم است.

سپاسگزاری

به این وسیله از جناب آقای مهندس اردوخـانی، کارشـناس نهالستان "مسیر سبز" شهرستان کـرج بـرای زحمـت‌هـای ایشان در تهیه و ریشه‌دار کردن قلمه‌ها و نگهداری یک‌ساله آنها تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Assareh, M.H., A. Shariat & A. Ghamari-Zare, 2008. Seedling response of three *Eucalyptus* species to copper and zinc toxic concentrations, *Caspian Journal of Environmental Science*, 6(2): 97-103.

Begonia, M.T., G.B. Begonia, M. Ighoavodha & D. Gilliard, 2005. Lead accumulation by Tall Fescue (*Festuca arundinacea Schreb*) grown on a lead-contaminated soil, *International Journal of Environmental Research*, 2: 228-233.

Biro, I. & T. Takacs, 2007. Study of heavy metal uptake of populus nigra in relation to phytoremediation, *Cereal Research Communications*, 35(2): 265-268.

Bodar, C.W., M.E. Pronk & D.T. Sijm, 2006. The European Union risk assessment on zinc and zinc compounds: the process and the facts, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1: 301-319.

Bouyoucos, C.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil, *Agronomy Journal*, 54: 464-465.

Bremner, J.M., 1996. Nitrogen-total. In: Sparks, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, G.T. Johnston, & M.E. Sumner, (eds.), Method of soil analysis, Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 1390 pp.

Burken, J.G. & J.L. Schnoor, 1998. Predictive relationships for uptake of organic contaminants by hybrid poplar trees, *Environmental Science and Technology*, 32: 3379-3385.

Castiglione, S., C. Franchin, T., Fossati, G. Lingua, P. Torrigiani & S. Biondi, 2007. High zinc concentrations reduce rooting capacity and alter metallothionein gene expression in white poplar (*Populus alba L.* cv. *Villafranca*), *Chemosphere*, 67: 1117-1126.

Chehregani, A., B. Malayeri & R. Golmohammadi, 2005. Effect of heavy metals on the developmental stages of ovules and embryonic sac in Euphorbia cheirandenia, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8: 622-625.

Chehregani, A., M. Noori & H. Lari Yazdi, 2009. Phytoremediation of heavy-metal-polluted soils: Screening for new accumulator plants in Angouran mine (Iran) and evaluation of removal ability, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 1349-1353.

Di Baccio, D., R. Tognetti, L. Sebastiani & C. Vitagliano, 2003. Responses of *Populus deltoids* ×*P.nigra* (*P.* × *euramericana*) clone I-214 to high zinc concentrations, *New Phytologist*, 159: 443-452.

Doumett, S., L. Lamperi, L. Checchini, E. Azzarello, S. Mugnai, S. Mancuso, G. Petruzzelli & M. Del Bubba, 2008. Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents, *Chemosphere*, 72: 1481-1490.

Fotakis, G. & J.A. Timbrell, 2006. Role of trace elements in cadmium chloride uptake in *hepatoma* cell lines, *Toxicology Letters*, 164: 97-103.

Gullner, G., T. Komives & H. Rennenberg, 2001. Enhanced tolerance of transgenic poplar plants overexpressing gammaglutamylcysteine synthetase towards chloroacetanilide herbicides, *Journal of Experimental Botany*, 52: 971-979.

Helmke, P.H. & D.L. Sparks, 1996. Potassium. In: Sparks, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, G.T. Johnston & M.E. Sumner, (eds.), Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 1390 pp.

Huang, J.W., J. Chen, W.R. Berti & S.D. Cunningham, 1997. Phytoremediation of leadcontaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction, *Environmental Science & Technology*, 31: 800-805.

Igwe, J.C. & A.A. Abia, 2006. A bioseparation process for removing heavy metals from waste water using biosorbents, *African Journal of Biotechnol*ogy, 5: 1167-1179.

Lin, J.G. & S.Y. Chen, 1998. The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediment, *Environment International*, 24(3): 345-352.

Lindsay, W.L. & W.A. Norvell, 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper, *Soil science Society of America Journal*, 42: 421-428.

Luo, C., Z. Shen & X. Li, 2005. Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS, *Chemosphere*, 59: 1-11.

Martínez-Fernández, D. & D.J. Walker, 2012. The Effects of Soil Amendments on the Growth of *Atriplex halimus* and *Bituminaria bituminosa* in Heavy Metal-Contaminated Soils, *Water Air and Soil Pollution*, 233: 63-72.

McGrath, S.P., F.J. Zhao & E. Lombi, 2002. Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides, *Advances in Agronomy*, 75: 1-56.

Mills, T., B. Arnold, S. Sivakumaran, G. Northcott, I. Vogeler, B. Robinson, C. Norling & D. Leonil, 2006. Phytoremediation and long-term site management of soil contaminated with pentachlorophenol (PCP) and heavy metals, *Journal of Environmental Manage*ment, 79: 232-241.

Moteshare Zadeh, B., G. Savaghebi-Firozabadi, H. Alikhani & H. Mirseyed Hosseini, 2008. Effect of Sunflower and *Amaranthus* Culture and Application of culants on Phytoremediation of the Soils Contaminated with Cadmium, *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 4 (1): 93-103.

Nelson, R.E., 1982. Carbonate and gypsum.,. In: Page, A.L., R.H. Miller & D.R. Keeney, (eds.), Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties, 2nd ed. Agronomy monograph no.9. SSSA and ASA. Madison, WI., 725 pp.

Newman, L.A., S.E .Strand, N. Choe, J. Duffy, G. Ekuan, M. Ruszaj, B.B. Shurtleff, J. Wilmoth, P. Heilman & M.P. Gordon, 1997. Uptake and biotransformation of trichloroethylene by hybrid poplars, *Environmental Science & Technology*, 31: 1062-1067.

Olsen, S.R., C.U. Cole, F.S. Watanabe & L.A. Deen, 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extracting with sodium bicarbonate (USDA Circular 939), Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 321 pp.

Pilon-Smits, E.A.H., M.P. De Souza, C.M. Lytle, C. Shang, T. Lugo & N. Terry, 1998. Selenium volatilization and assimilation by hybrid poplar (*Populus tremula* × *alba*), *Journal of Experimental Botany*, 49: 1889-1892.

Pivetz, B.E., 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Sites, Ground Water Issue, EPA/540/S-01/500. 59pp.

Pulford, I.D. & C .Watson, 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review, *Environment International*, 29: 529-540.

Rhoades, J.D., 1982. Soluble salts, In: Page ,A.L., R.H. Miller & Keeney, D.R. (eds.) Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and micribiological properties, Agronomy monograph, No.9. 2nd ed. SSSA and ASA, Madison,WI. 725 pp.

Robinson, B.H., T.M. Mills, D. Petit, L.E. Fung, S.R. Green & B.E. Clothier, 2000. Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation, *Plant Soil*, 227: 301-306.

Salt, D.E., M. Blaylock, P.B.A.N .Kumar, V. Duschenkov, B.D. Ensley, I. Chet & I. Raskin, 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants, *Biotechnology*, 13: 468-475.

Santos, F.S., J. Hernandez-Allica, J.M. Becerril, N. Amaral-Sobrinho, N. Mazur & C. Garbisu, 2006. Chelate-induced phytoextraction of metal polluted soils with Brachiaria decumbens, *Chemosphere*, 65: 43-50.

Shah, J.K., G.D. Sayles, M.T. Suidan, P. Mihopoulos & S. Kaskassian, 2001. Anaerobic bioventing of unsaturated zone contaminated with DDT and DNT, Water Science and Technology, 43(2): 35-42.

Sumner, M.E. & W.P. Miller, 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients, In: Sparks, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, G.T. Johnston & M.E. Sumner, (eds.), Methods of soil analysis, Published by: Soil science society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 1390 pp.

Tognetti, R., A. Longobucco, A. Raschi, F. Miglietta & I. Fumagalli, 1999. Responses of two *Populus* clones to elevated atmospheric CO_2 concentration in the field, *Annals of Forest Science*, 56: 493-500.

Topp, G.C., B.C. Golynou, B.C. Ball & M.R. Carter, 1993. Soil water adsorption curve, In: Carter, M.R. (ed), Soil sampling and methods of analysis, Lewis Publishers, Boca Raton, E.L., 822 pp.

Vicentim, M.P. & A. Ferraz, 2007. Enzyme production and chemical alterations of *Eucalyptus grandis* wood during biodegradation by *Ceriporiopsis subvermispora* in cultures supplemented with Mn^{2+}, corn steep liquor and glucose, *Enzyme and Microbial Technol*ogy, 40: 645-652.

Walkley, A. J., & C. A. Black. 1934. Estimation of organic carbon by chromic acid titration method, *Soil Science*, 37: 29-38.

Wu, F., W. Yang, J. Zhang & L. Zhou, 2010. Cadmium accumulation and growth responses of a poplar (*Populus deltoids*×*Populus nigra*) in cadmium contaminated purple soil and alluvial soil, Journal of Hazardous *Materials*, 177: 268-273.

Wu, L.H., Y.M. Luo, X.R. Xing & P. Christie, 2004. EDTA-enhanced phytoremediation of heavy metal contaminated soil with Indian mustard and associated potential leaching risk, Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 102: 307-318.

Influence of soil amendment on cadmium accumulation responses in one-year old *Populus alba* L. seedling

S.M. Alizadeh[*1], G. Zahedi Amiri[2], G. Savaghebi-Firoozabadi[3], V. Etemad[4], A. Shirvany[4] and M. Shirmardi[5]

[1]Ph.D Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

[2]Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

[3]Associate Prof., Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, I. R. Iran

[4]Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

[5]Ph.D Student, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 27 June 2011, Accepted: 16 September 2011)

Abstract

Anthropogenic sources of cadmium in soils, and in particular in arable soils are of great concerns. Phytoremediation is a simple, cost-effective and environmental friendly technique to clean up the contaminated environment. In this research, the influence of soil amendment on accumulation of cadmium by one-year old *Populus alba* L. seedling was investigated. $CdCl_2,2.5H_2O$ salt were spiked to three prepared substrates and mixed homogenously. The experiment was carried out in a factorial experimental design with complete random design with three replicates. At the end of summer, the amounts of cadmium accumulation in leaves, shoots and roots were measured. The results indicated that higher biomass productions in amended substrates compared to control led to increase of total cadmium uptake two times more than that in control substrate at 150 mg kg^{-1} cadmium supply, although in some cases, there was no significant difference in cadmium accumulations among substrates ($P<0.01$). Using synthetic chelating agents in order to enhance phytoremediation leads to increases of the environmental impacts while they are not expected when close-to-nature approaches are applied.

Key words: Cadmium, Phytoremediation, Substrate, Synthetic chelating agent, *Populus*.

[*]Corresponding author Tel: +98 916 3118446 Email: s_malizadeh@yahoo.com