نشریه جنگل و فراورده‌های چوب. مجله منابع طبیعی ایران
دوره ٦٦. شماره ٣. پاییز ١٣٩٢
٢٥٧

تاریخ دریافت: ١٣٨٩/١٢/٩
تاریخ پذیرش: ١٣٩٢/٤/٢

بررسی پتانسیل پالایش کادمیوم در اندام‌های گوناگون اقاقیا (*Robinia Pseudoacacia*) و زبان‌گنجشک (*Fraxinus Rotundifolia*)

❖ **ندا خواجه‌ئی*؛** کارشناس ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **انوشیروان شیروانی؛** استادیار گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **مجید مخدوم؛** استاد گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **مصطفی خوشنویس؛** مربی پژوهشی مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران، کرج، ایران
❖ **مریم روحی؛** کارشناس محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیـــده

گیاه‌پالایی فنّاوری استفاده از گیاهان در رفع آلودگی‌ها از جمله فلزات سنگین از محیط و تجمع آن در بافت‌ها و اندام‌های گوناگون گیاه است. در این پژوهش، توانایی دو گونهٔ زبان‌گنجشک و اقاقیا برای گیاه‌پالایی عنصر کادمیوم بررسی شد. در اسفندماه ١٣٨٧ تعداد ٩٠ نهال دوساله از این دو گونه در مجتمع تحقیقاتی البرز کرج کشت شد. محلول‌هایی از کلرید کادمیوم در غلظت‌های ٠، ٢٥٠، ٥٠٠، ١٠٠٠، و ٢٠٠٠ میلی‌گرم در لیتر تهیه و در خردادماه بر روی هر نهال برگ‌پاشی شد. سپس از برگ‌های هر نهال در دو نوبت در سال، یکی در مردادماه و نوبت بعدی در اوایل آبان‌ماه و شروع خزان، نمونه‌هایی برداشت شد. همچنین نمونه‌هایی از سرشاخه‌ها، ریشه، و خاک گلدان‌ها در دی‌ماه همان سال برداشت شد. غلظت کادمیوم در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP تعیین شد و داده‌ها با طرح کاملاً تصادفی بررسی شدند. نتایج نشان داد که اختلاف مقادیر غلظت کادمیوم بین دو گونه در همهٔ اندام‌ها معنی‌دار بود. میزان غلظت کادمیوم در زبان‌گنجشک در اندام‌های برگ مردادماه، برگ خزان‌شده، و ریشه از اقاقیا بیشتر بود. در ساقه میزان غلظت کادمیوم در اقاقیا بیشتر بود. بنابراین، از لحاظ انباشت کادمیوم، در کوتاه‌مدت (مانند بارش ناگهانی آلاینده) گونهٔ زبان‌گنجشک ارزشمندتر، و در بلندمدت اقاقیا مناسب‌تر است. بیشترین میزان غلظت در برگ مردادماه زبان‌گنجشک (٤٦١/٥ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود که بر اساس مطالعات پیشین ممکن است این گونه یک بیش‌انباشت‌کننده باشد.

واژگان کلیدی: اقاقیا، برگ، زبان‌گنجشک، ساقه، کادمیوم، گیاه‌پالایی.

* نویسنده مسئول تلفن: ٠٩١٧٧٠١٥٣٧٦
E. mail: neda.khajei@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

آلودگی فلزات سنگین در بیوسفر از زمان آغاز انقلاب صنعتی شتاب گرفته و سمیت فلزات سنگین مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی را ایجاد کرده است. پاک‌سازی ضایعات خطرناک با استفاده از فنّاوری‌های متعارف حداقل ۲۰۰ میلیارد دلار فقط در ایالات متحده هزینه دارد. تهدیدی که فلزات سنگین برای سلامت بشر و جانوران ایجاد می‌کنند با پایداری طولانی‌مدت آن‌ها در محیط زیست افزوده می‌شود [۱].

کادمیوم (Cd) از فلزات سنگین است که به‌طور طبیعی در خاک وجود دارد. این فلز غیر ضروری و برای بیشتر موجودات زنده خیلی سمی است. سمیت آن ۲ تا ۲۰ برابر بالاتر از بسیاری دیگر از فلزات سنگین است [۲]. متوسط نیمه‌عمر بیولوژیکی[1] کادمیوم ۱۸ سال است [۱].

کادمیوم استفاده‌های زیادی دارد که یکی از آن‌ها آب‌کاری در قسمت‌هایی از موتور خودرو، هواپیما، رادیو، و تلویزیون است. سایر مصارف آن در باتری‌های کادمیوم و نیکل، در عکاسی، و در ترکیب مواد رنگی است. مسمومیت با کادمیوم ممکن است از طریق رنگ و لعاب ظروف سفالی یا از طریق مواد گیاهی که به کادمیوم آلوده شده‌اند بروز کند. همچنین سوختن و ذوب‌شدن تولیدات و فرآورده‌هایی، که در ساختن آن‌ها کادمیوم به‌کار رفته، نظیر فولاد، رادیاتور اتومبیل، بطری‌های پلاستیکی، مبلمان، کفپوش، و لاستیک ممکن است منجر به مسمومیت شود [۳].

فنّاوری گیاه‌پالایی[2] عبارت است از استفاده از گیاهان در رفع آلودگی‌ها از محیط، که از طریق تجمع فلزات سنگین در بافت‌ها و اندام‌های گوناگون گیاه ممکن است. این روش به‌طور چشمگیری ارزان است [٤].

همچنین یک گیاه بیش‌انباشت‌کننده است؛ در صورتی که ظرفیت انباشت، یعنی کمترین غلظت As، Pb، Cu، Ni و Co در اندام‌های هوایی آن بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مادهٔ خشک، ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم Zn و Mn، ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم Cd، و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم Au، باشد [۵].

نتایج مطالعه‌ای در شهر کویتهٔ پاکستان نشان داد که میزان کادمیوم موجود در برگ *Robinia pseudoacacia*، ۰/۳±۰/۷۱ و دربرگ *Fraxinus excelsior* غلظت کادمیوم، ۰/٤±۰/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همچنین میزان غلظت کادمیوم برگ در فصل رویش بیشتر از فصل خزان بود [٦]. مطالعه‌ای دیگر در شهر دنیزلی ترکیه نیز نشان داد که *Robinia pseudoacacia* L. از نظر همبستگی قوی بین درجهٔ آلودگی محیط و غلظت در برگ‌های گیاه، نشان‌گر مؤثری از کیفیت محیطی در مناطق در معرض آلودگی صنعتی و ترافیکی است [۷]. همچنین در یک مطالعه در بلژیک مشاهده شد که زبان‌گنجشک و اقاقیا غلظت‌های بالایی از کادمیوم را در شاخ و برگشان داشتند. در برگ *Fraxinus excelsior* L. میزان غلظت کادمیوم ۰/۳±۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و در *Robinia pseudoacacia* L. <۰/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود [۸]. در بررسی دیگر در اروپای مرکزی، انباشت چشمگیری از کادمیوم (بالای ۱۱٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) در برگ‌های *Salix caprea* مشاهده شد [۹]. بررسی بازده گونه‌های *Populus maximowiczii* Henry و *Populus* Nigra L. نشان داد که این گونه‌ها برای استخراج گیاهی فلز کادمیوم در خاک‌های کشاورزی شدیداً آلوده، مناسب نیستند [۱۰]. از سوی دیگر، در یک مطالعهٔ گلخانه‌ای نشان داده شد که Holm Oak بردباری بالایی در برابر آلودگی خاک به کادمیوم دارد و ریشهٔ آن در جذب این فلز توانایی

1. Biological half-life

نیمه‌عمر بیولوژیکی به فروپاشی توسط فرایندهای بیولوژیکی اشاره دارد. مواد با نیمه‌عمر بیولوژیکی طولانی تمایل دارند که در بدن تجمع یابند و بنابراین باید از آن‌ها اجتناب کرد. مواد با نیمه‌عمر بیولوژیک کوتاه نیز اگر به شدت در مجاورت انسان قرار گیرند، ممکن است در بدن تجمع یابند؛ حتی اگر بیشتر آن به‌سرعت از بدن پاک شود. همچنین احتمال اثرات تجمعی مواد شیمیایی که دوام کوتاه‌مدت در بدن دارند، نیز وجود دارد.

2. *Phytoremediation*

Archive of SID

www.SID.ir

بالایی دارد [۱۱].

دوام بلندمدت بیولوژیکی و باقی‌ماندن این فلز در خاک، سبب انباشته‌شدن این فلز در زنجیرهٔ غذایی و در نتیجه آثار منفی بالقوه برای سلامتی انسان می‌شود. نیز با توجه به اینکه درختان متعددی از دو گونهٔ اقاقیا و زبان‌گنجشک به‌طور وسیع در سطح کشور وجود دارند و جنگل‌کاری‌های گسترده‌ای هم با این دو گونه در سال‌های اخیر صورت گرفته است، لزوم بررسی توان جذب آلودگی به‌وسیلهٔ آن‌ها ضروری است و می‌تواند در اتخاذ سیاست‌های مدیریتی شهرداری و سازمان جنگل‌ها و مراتع مؤثر واقع شود. هدف از این مطالعه، مقایسهٔ غلظت کادمیوم در اندام‌های گوناگون گونه‌های اقاقیا و زبان‌گنجشک به‌منظور تعیین مناسب‌ترین گونه و اندام گیاهی برای تمرکز این آلاینده است. از سوی دیگر، این گونه‌ها محدودهٔ وسیع جغرافیایی در سرتاسر جهان دارند و نمونه‌گیری، شناسایی، و کشت آن‌ها آسان و ارزان است.

مواد و روش‌ها

شیوهٔ اجرای گلخانه‌ای

این پژوهش در اسفندماه ۱۳۸۷ در مجتمع تحقیقاتی البرز انجام شد. این مجتمع وابسته به مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور است که در کرج و در مختصات جغرافیایی "۱۳ '٤٦ °۳۵ شمالی و"۱٦ '۵۹ °۵۰ شرقی واقع شده است. در این مجتمع تعداد ۹۰ نهال دوسالهٔ زبان‌گنجشک و اقاقیا با تیمار همسان کشت شد. در هر گونه یک مجموعهٔ ۹تایی به‌عنوان شاهد، و چهار مجموعهٔ ۹تایی برای تیمار کادمیوم بر اساس طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در نظر گرفته شد. بافت خاک نیز به‌طور عمده لومی بود. با استفاده از نمک کلرید کادمیوم و آب مقطر محلولی در غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه گردید و در ۱۰ تیرماه ۱۳۸۷ در سه نوبت و در هر نوبت ۱۰۰ میلی‌لیتر و به‌طور یکنواخت بر روی هر نهال برگ‌پاشی شد. صفات مورد نظر اندازه‌گیری غلظت کادمیوم در برگ مردادماه، برگ خزان‌شده، ساقه، ریشه، و خاک گلدان در هر نهال بود. از برگ‌ها در دو نوبت یکی در مرداد (برگ مردادماه) و نوبت بعدی در شروع خزان (برگ خزان‌شده) نمونه‌هایی به‌صورت تصادفی از قسمت‌های گوناگون نهال برداشت شد. نمونه‌هایی نیز از سرشاخه‌ها و ریشه و خاک گلدان‌ها در دی‌ماه همان سال برداشت شد. دلیل برداشت نمونه‌ها در هر مرحله این است که رویش گیاهی و فعالیت شیرهٔ گیاهی در فصل مرداد نسبتاً زیاد است. همچنین فصل خزان پایان فصل رویشی و کاهش فعالیت شیرهٔ گیاهی است. با درنظرگرفتن مقدار برداشت فلز کادمیوم از طریق برگ و انتقال بسیاری از عناصر موجود در برگ به تنهٔ گیاه و اینکه معمولاً در زمان خزان بخشی از مواد غذایی دریافت‌شده به وسیلهٔ برگ از طریق دم‌برگ به ساقه انتقال داده می‌شود، می‌توان مقدار نهایی غلظت کادمیوم در برگ و سایر اندام‌های گیاه را ارزیابی کرد. نمونه‌های برگ، سرشاخه، و ریشه بعد از شست‌وشو خشک شد. نمونه‌های خاک نیز در هوای اتاق قرار داده شد تا خشک شود.

شیوهٔ اجرای آزمایشگاهی

تهیهٔ عصارهٔ گیاهی برای ICP

نمونه‌های برگ و ساقه و ریشه در آون به‌مدت ٤۸ ساعت با دمای ۷۵ درجهٔ سلسیوس خشک و سپس آسیاب شد. یک گرم از گیاه پودرشده در بشر ۱۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک یک‌به‌یک به آن اضافه شد و پس از ۱۵ دقیقه روی هیتر در دمای ۹۵ درجهٔ سلسیوس و به‌مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد. نمونه‌ها پس از تغییر رنگ از روی هیتر برداشته شدند تا سرد شوند. در دو مرحلهٔ متوالی هر بار ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به نمونه‌ها اضافه و به‌مدت ۳۰ دقیقه روی هیتر در دمای ۹۵ درجهٔ سلسیوس حرارت داده شد. در مرحلهٔ بعد، ۲ میلی‌لیتر آب مقطر بدون یون و ۳ میلی‌لیتر پراکسیدهیدروژن ۳۰ درصد اضافه شد و روی هیتر در حرارت ملایم (دمای ۷۵ درجهٔ سلسیوس) به‌مدت ۲

Archive of SID

www.SID.ir

تا ۵ دقیقه قرار داده شد. سپس حرارت متوقف شد و ۱ میلی‌لیتر پراکسیدهیدروژن ۳۰ درصد اضافه و به‌طور ملایم (دمای ۷۵ درجهٔ سلسیوس) حرارت داده شد. نمونه‌ها از روی هیتر برداشته و ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک و ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر اضافه شد. بعد از ۱۵ دقیقه عصارهٔ حاصل با کاغذ صافی واتمن ٤٢ صاف شد و با آب دوبار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد و در نهایت، نمونه‌ها با قیف بوخنر و با استفاده از کاغذ صافی استات‌سلولز ۰/۲ میکرون صاف شدند [۱۲].

عصاره‌گیری خاک برای ICP

نمونه‌های خاک در هاون چینی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متر گذرانده شدند. هر نمونه خاک از الک ۵۰ مش گذرانیده و میزان ۱۰ گرم از هر کدام توزین و میزان ۲۰ میلی‌لیتر محلول DTPA به هر کدام اضافه شد و به‌مدت یک شب حدود ۳ تا ٤ بار هر دو ساعت یک‌بار به هم زده شد. محلول‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن ٤٢ درون بالون ژوژهٔ تخت صاف و ریخته شدند. در نهایت، نمونه‌ها با قیف بوخنر و با استفاده از کاغذ صافی استات سلولز ۰/۲ میکرون صاف شدند [۱۲].

محاسبات نهایی غلظت آلاینده در هر نمونه

مقادیر غلظت با استفاده از فرمول زیر پردازش شد و غلظت واقعی در هر نمونه به‌دست آمد [۱۳]:

$$\text{میزان غلظت آلاینده در واحد وزن نمونه (میلی‌گرم در کیلوگرم)} = ((A-B) \times V/W) \times (100/DM)$$

A = غلظت در نمونه

B = غلظت در شاهد (Blank)

V = حجم نهایی

W = وزن نمونه

DM = درصد وزن خشک

تحلیل و بررسی آماری

در نهایت از نمونه‌ها عصاره‌گیری شد و داده‌های حاصل از خواندن با دستگاهICP پس از محاسبات نهایی و تبدیل به داده‌های واقعی، مورد آزمون‌های نرمال‌بودن و همگنی واریانس‌ها قرار گرفت و سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل و بررسی شد.

نتایج

مقایسهٔ میانگین میزان غلظت آلاینده در اندام‌های گوناگون

مقادیر غلظت کادمیوم در برگ مردادماه اقاقیا و زبان‌گنجشک فقط در تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار ندارد (شکل ۱).

نتایج برگ خزان‌شده مانند برگ مردادماه بود و نشان‌دهندهٔ آن بود که این دو گیاه تغییری در مکانیسم انباشت خود در زمان خزان برگ به وجود نیاورده‌اند (شکل ۲).

مقادیر غلظت کادمیوم در ساقهٔ اقاقیا و زبان‌گنجشک در تیمار شاهد و سطح‌های ۵۰۰ و۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌دار ندارد (شکل ۳).

همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود، مقادیر غلظت کادمیوم در ریشهٔ اقاقیا و زبان‌گنجشک فقط در تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار ندارد (شکل ٤).

مقادیر غلظت کادمیوم در خاک گلدان‌های اقاقیا و زبان‌گنجشک فقط در تیمارهای شاهد و ۲۰۰۰ میلی‌گرم

Archive of SID

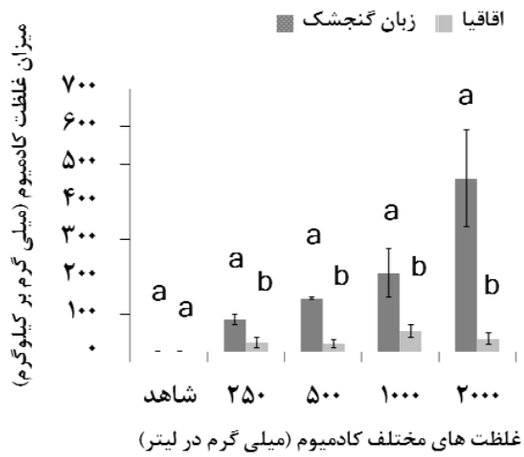
www.SID.ir

نشریه جنگل و فراورده های چوب، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲، از صفحه ۲۵۷ تا ۲۶۶

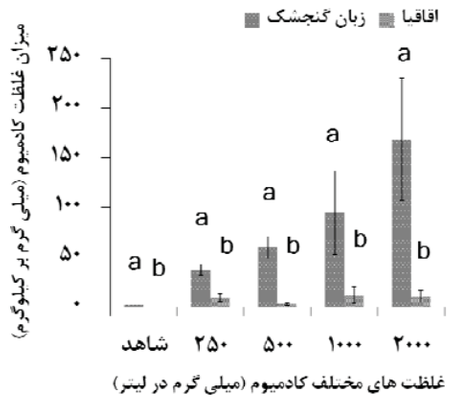
در لیتر اختلاف معنی‌داری ندارد. این در حالی است که در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر این مقدار در خاک اطراف ریشهٔ زبان‌گنجشک بیشتر است (شکل ۵).

مقایسهٔ میانگین میزان غلظت در گونه‌ها

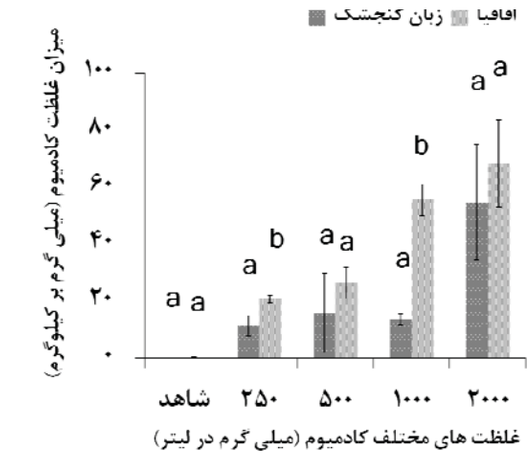
اختلاف میزان غلظت کادمیوم بین دو گونهٔ اقاقیا و زبان‌گنجشک در اندام‌های برگ مردادماه، برگ خزان‌شده، و ریشه معنی‌دار است (جدول ۲). پس از مقایسهٔ میانگین‌ها مشخص شد که میزان غلظت کادمیوم در برگ مردادماه، برگ خزان‌شده، ریشه، و خاک گلدان‌ها درگونهٔ زبان‌گنجشک بیشتر است (شکل ٦).



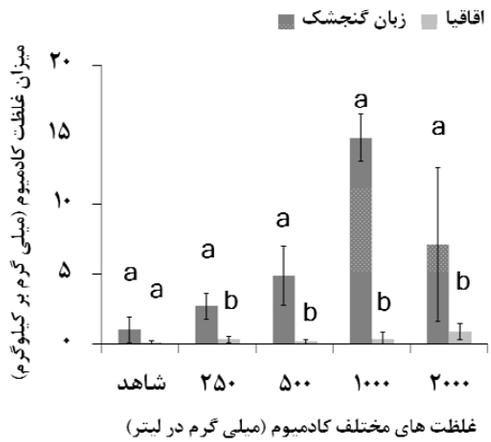
شکل ۱. مقایسهٔ میانگین غلظت کادمیوم در برگ مردادماه اقاقیا و زبان‌گنجشک در غلظت‌های گوناگون آلاینده



شکل ۲. مقایسهٔ میانگین غلظت کادمیوم در برگ خزان‌شدهٔ اقاقیا و زبان‌گنجشک در غلظت‌های گوناگون آلاینده

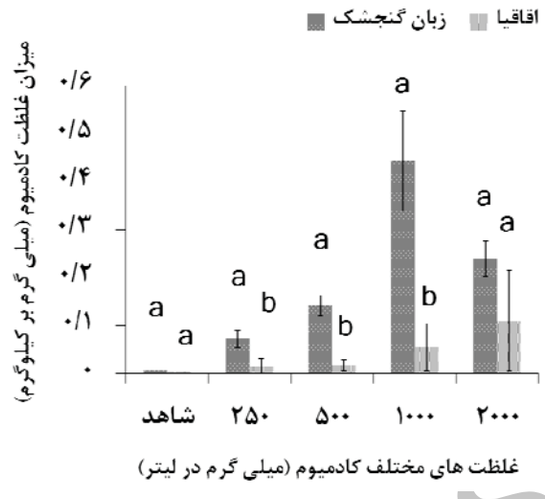


شکل ۳. مقایسهٔ میانگین غلظت کادمیوم در ساقهٔ اقاقیا و زبان‌گنجشک در غلظت‌های گوناگون آلاینده



شکل ٤. مقایسهٔ میانگین میزان غلظت کادمیوم در ریشهٔ اقاقیا و زبان‌گنجشک در غلظت‌های گوناگون آلاینده

www.SID.ir



شکل ۵. مقایسهٔ میانگین میزان غلظت کادمیوم در خاک گلدان‌های اقاقیا و زبان‌گنجشک در غلظت‌های گوناگون آلاینده

جدول ۱. نتایج تجزیهٔ واریانس غلظت کادمیوم در اندام‌های گوناگون اقاقیا و زبان‌گنجشک در غلظت‌های گوناگون آلاینده

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات صفات مورد مطالعه				
		شاهد	۲۵۰ میلی گرم در لیتر	۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر
برگ مردادماه	۱	۰/۰۸۹^{ns}	۰/۵۲۲*	۱/۰۶۷**	۰/۵۰۱**	۱/۹۳۳**
خطا	۱	۰/۸۷۸	۰/۰۲۷	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	۰/۰۲۷
برگ خزان‌شده	۱	۰/۹۸۵*	۰/۶۲۶*	۲/۶۰۲**	۱/۵۶۱*	۲/۳۲۳**
خطا	۱	۰/۰۰۱	۰/۰۳۴	۰/۰۲۲	۰/۱۴۷	۰/۰۵۳
ساقه	۱	۰/۰۰۳^{ns}	۱۳۲/۹۴۰*	۱۶۹/۹۲۵^{ns}	۲۶۵۳/۹۰۰**	۲۷۹/۱۹۱^{ns}
خطا	۱	۰/۰۰۱	۷/۳۴۹	۱۱۰/۸۰۶	۱۶/۷۸۴	۳۱۷/۷۰۶
ریشه	۱	۰/۴۰۳^{ns}	۱/۸۰۹**	۴/۷۹۹**	۱۶/۷۴۸**	۴/۱۶۱*
خطا	۱	۰/۱۸۶	۰/۰۷۰	۰/۱۳۸	۰/۱۰۰	۰/۵۳۵
خاک	۱	۱/۷۱۵E-5^{ns}	۰/۰۰۵*	۰/۰۲۳**	۰/۲۲۷**	۰/۰۲۵^{ns}
خطا	۱	۲/۶۰۵E-5	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶

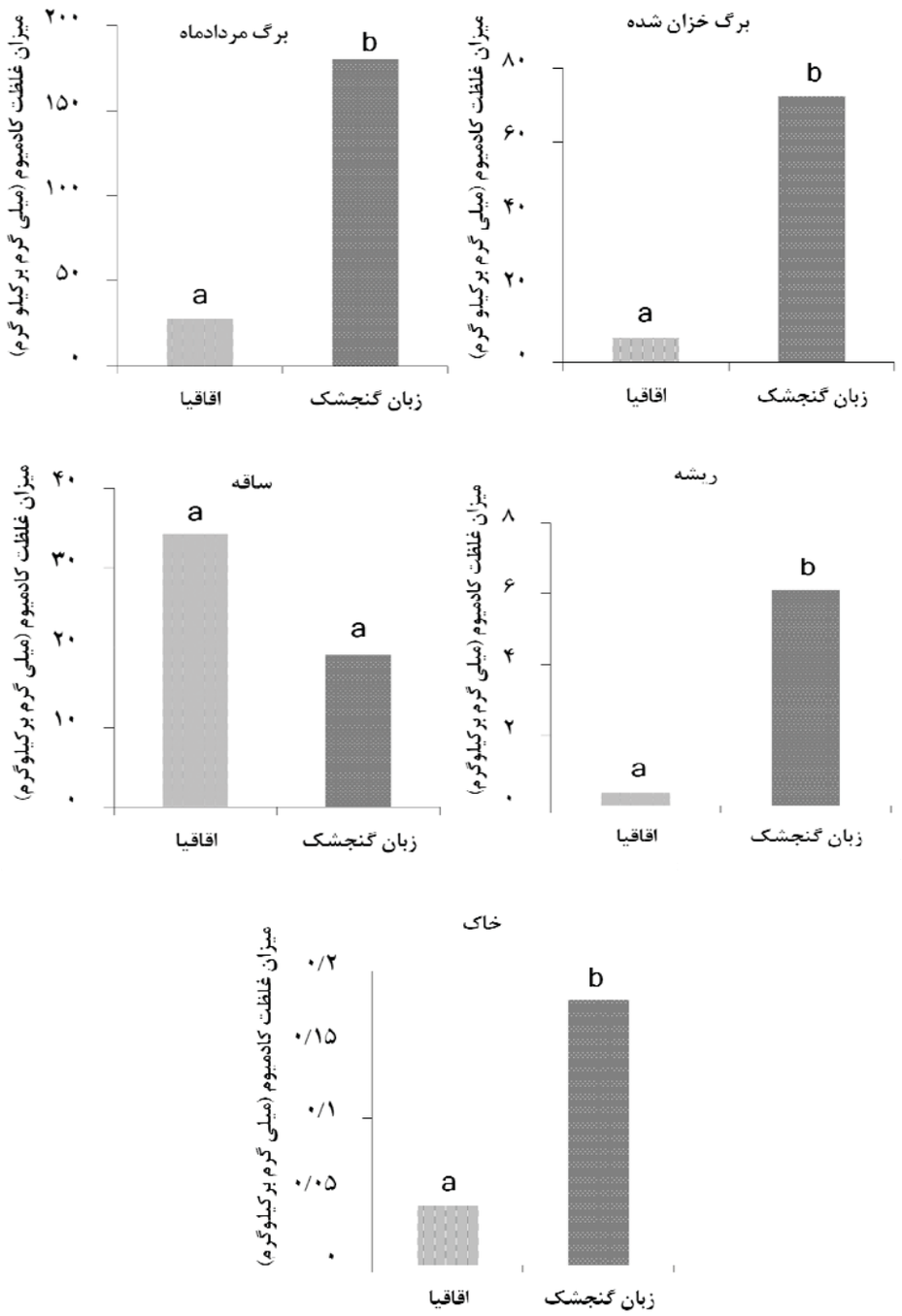
**: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱؛ *: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵؛ و ns تفاوت غیرمعنی‌دار

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ واریانس میزان غلظت کادمیوم در گونه‌ها

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات صفات مورد مطالعه				
		برگ مردادماه	برگ خزان‌شده	ساقه	ریشه	خاک
گونه	۱	۴۲۰/۹۳ **	۲/۹۲۸**	۱۳۸۳/۷۶ ^{ns}	۲۳/۹۶۳ **	۰/۱۷۰ **
خطا	۲۷	۲۵/۳۱۲	۰/۱۰۳	۵۸۰/۸۰۷	۰/۵۸۰	۰/۰۱۴

**: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱؛ *: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵؛ ns تفاوت غیرمعنی‌دار

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ٦. مقایسهٔ میانگین میزان غلظت کادمیوم در برگ مردادماه، برگ خزان‌شده، ساقه، ریشه، و خاک بین دو گونهٔ اقاقیا و زبان‌گنجشک

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

با بررسی شکل ۱ مشاهده شد که افزایش سطح غلظت در تیمارها سبب افزایش در غلظت در دو گونه و همچنین افزایش تفاوت انباشت آن‌ها می‌شود و در تمامی موارد پتانسیل انباشت در زبان‌گنجشک بیشتر است و این نشان می‌دهد که گونهٔ زبان‌گنجشک بر اثر افزایش غلظت آلاینده تحریک‌پذیری بیشتری در انباشت کادمیوم دارد [٦، ٨]. با مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده در شکل‌های ۱ و ۲، همچنین با درنظرگرفتن اینکه هر دو گونه از نظر شرایط اقلیمی، آبیاری، تیمار و... در شرایط مشابهی قرار داشته‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که این دو گیاه تغییری در مکانیسم انباشت خود در زمان خزان برگ به وجود نیاورده‌اند و این نشان می‌دهد که پاسخ فیزیولوژیک دو گونه در مورد آلایندهٔ کادمیوم یکسان است.

با توجه به شکل ۵، مقدار غلظت کادمیوم در خاک گلدان‌های زبان‌گنجشک در مقایسه با اقاقیا بیشتر است. همچنین در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مقدار غلظت کادمیوم در خاک اطراف ریشهٔ زبان‌گنجشک بیشترین است، که این عامل به‌ترتیب ممکن است به‌سبب تفاوت شکل برگ بین دو گونه و همچنین تفاوت شکل برگ در نهال‌های زبان‌گنجشک در این تیمار باشد که موجب شده هنگام محلول‌پاشی مقدار بیشتری محلول به‌طور مستقیم وارد خاک شود. در زبان‌گنجشک برگ‌ها تک‌شانه‌ای با تعداد برگچهٔ کمتر ولی ابعاد بیشتر، و در اقاقیا برگ‌ها دوشانه‌ای و با تعداد برگچه‌های بیشتر و با ابعاد کمترند.

با مقایسهٔ اختلاف غلظت کادمیوم در برگ مردادماه و خزان در دو گونه ملاحظه می‌شود که در هر دو گونه میزان غلظت در برگ مردادماه بیشتر است [٦]. این امر به این سبب است که معمولاً در زمان خزان بخشی از مواد غذایی جذب‌شده به‌وسیلهٔ برگ از طریق دم‌برگ به ساقه انتقال داده و به این ترتیب از اتلاف آن جلوگیری می‌شود. همچنین میزان غلظت کادمیوم در برگ زبان‌گنجشک بیشتر از اقاقیاست [٦، ٨]. البته با وجود میزان غلظت کمتر در اقاقیا از آنجا که سرعت رشد در این گونه بیشتر و دارای تاج حجیم‌تر است در نهایت ممکن است زیست‌توده بیشتر باعث انباشت آلایندهٔ بیشتری در این گونه در مقایسه با زبان‌گنجشک شود.

در این پژوهش، میزان غلظت کادمیوم در برگ مردادماه اقاقیا در بالاترین حد آن در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در حدود ۵۵/۷٦ میلی‌گرم در کیلوگرم، در برگ خزان‌شده ۱۱/۹٤ میلی‌گرم در کیلوگرم، در ساقه حدود ٦۲ میلی‌گرم در کیلوگرم، و در ریشه نیز حدود ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است. در حالی که میزان غلظت کادمیوم در برگ مردادماه زبان‌گنجشک در بالاترین حد آن در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر حدود ٤٦۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، در برگ خزان‌شده حدود ۱٦۸/٦۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، در ساقه در حدود ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، و در ریشه در حدود ۱٤ میلی‌گرم در کیلوگرم است. بر این اساس، مقادیر کمّی غلظت کادمیوم در اندام‌های درخت زبان‌گنجشک به‌ترتیب زیر بود:

برگ مردادماه > برگ خزان‌شده > ریشه > ساقه

مقادیر کمّی غلظت کادمیوم در اندام‌های درخت اقاقیا به‌ترتیب زیر بود:

ساقه > برگ مردادماه > برگ خزان‌شده > ریشه

شکل ٦ نشان می‌دهد که میزان غلظت کادمیوم در زبان‌گنجشک در اندام‌های برگ مردادماه، برگ خزان‌شده [٦، ٨]، و ریشه از اقاقیا بیشتر است. در ساقه نیز میزان غلظت کادمیوم در اقاقیا بیشتر است. نتایج این نمودار به این ترتیب شرح داده می‌شود که وقتی بارانِ آلوده می‌بارد، اولین اندام جذب‌کننده برگ است. البته ممکن است درصدی از آن به خاک وارد شود و ریشه هم دریافت‌کننده باشد. از آنجا که شرایط پاشش‌کردن برای هر دو گونه یکسان بود، می‌توان گفت که زبان‌گنجشک آلاینده را از طریق برگ و ریشه انباشت کرده و با گذشت زمان به ساقه انتقال نداده است. بنابراین، در کوتاه‌مدت (مانند بارش ناگهانی آلاینده)،

Archive of SID

www.SID.ir

گونهٔ زبان‌گنجشک ارزشمندتر است، چون برگ آن بالاترین میزان را در انباشت کادمیوم نشان می‌دهد و با خارج‌کردن برگ خزان‌شده از محیط می‌توان برای رفع آلودگی اقدام کرد. همچنین از آنجا که میزان بیشتری کادمیوم به ساقهٔ اقاقیا تزریق می‌شود، در درازمدت این گونه مناسب‌تر است؛ به این علت که می‌توان ساقه (تنهٔ چوبی) را قطع و از محیط خارج کرد. همچنین از آنجا که تنه حجم بیشتری را در مقایسه با برگ به خود اختصاص می‌دهد، به این ترتیب می‌توان میزان بیشتری از آلاینده را از محیط خارج کرد.

با مقایسهٔ نتایج حاصل از این تحقیق، مشخص می‌شود که توان گیاه‌پالایی دو گونهٔ اقاقیا و زبان‌گنجشک در مورد آلایندهٔ کادمیوم با یکدیگر متفاوت است و گونهٔ زبان‌گنجشک در کل توانایی بیشتری را در انباشت آلاینده نشان می‌دهد [٦، ٨]. همچنین میزان غلظت در هر دو گونه در فصل رویش از فصل خزان بیشتر است [٦].

میزان غلظت فلز کادمیوم در برگ‌های هر دو گونه نشان‌دهندهٔ این است که این گونه‌ها منعکس‌کنندهٔ تغییرات محیطی‌اند و به‌نظر می‌رسد که آن‌ها نشانگرهای زیستی مؤثری از کیفیت محیطی در مناطق در معرض آلودگی صنعتی و ترافیکی اند [۷، ۸، ١٤]. بیشترین میزان غلظت کادمیوم در برگ‌های زبان‌گنجشک ٤٦١/٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بنابراین، با توجه به مطالعات پیشین این گونه ممکن است یک بیش‌انباشت‌کننده باشد [۵].

مقادیرpH وEC در نمونه‌های خاک تفاوت‌های زیادی را نشان ندادند. بنابراین، تأثیر زیادی در بروز تفاوت‌های موجود در غلظت کادمیوم ندارند. نکتهٔ بااهمیت در مورد خاک آن است که اسیدیتهٔ تمامی نمونه‌ها بیشتر از ۷/۸ بود که این امر حاکی از کاهش جذب آلاینده از طریق خاک و تمرکز جذب آن از طریق اندام‌های هوایی است، زیرا هرچه اسیدیتهٔ خاک بیشتر می‌شود، مقادیر جذب آن به‌وسیلهٔ گیاه از طریق خاک کمتر می‌شود [۱۵].

سپاس‌گزاری

از مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع که امکانات اولیهٔ انجام این تحقیق را فراهم کرد و همچنین از مسئولان محترم آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، که در مراحل انجام این تحقیق ما را مورد لطف قرار دادند، نهایت سپاس و قدردانی می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

References

[1]. Gisbert, C., Ros, R., De Haro, A., Walker, D.J., Bernal, M.P ., Serrano, R., and Navarro-Avino, J. (2003). A plant genetically modi f ed that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation. Biochemical and Biophysical Research Communications, 303: 440–445.

[2]. Ghosh, M., and Singh, S.P . (2005). A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. Environmental Pollution, 133: 365–371.

[3]. Moalem, F. (1998). Introduction to heavy metals. Journal of Environment, Iran Department of Environment, Volume 10. Number 2. 80 pp.

[4]. Pulford, I.D, and Watson, C. (2003). Phytoremediation of heavy meyal-contaminated land by trees- a review. Environment International, 29: 529–540.

[5]. Cui, S., Zhou, Q., Chao, L. (2007). Potential hyperaccumulation of Pb, Zn, Cu and Cd in endurant plants distributed in an old smeltery , northeast China. Environmental Geology , 51: 1043–1048.

[6]. Zaidi, M.I., Asrar, A., Mansoor, A., and Farooqui, M.A. (2005). The heavy metal concentration along roadside trees of Quetta and its effects on public health. Jornal of Applied Sciences, 5 (4): 708-711.

[7]. Celik, A., Kartal, A.A., Akdogan, A. and Kaska, Y. (2005). Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using Robinio pseudo-acacia L. Environment International, 31: 105–112.

[8]. Mertens, J., Vervaeke, P., Schrijver, A.D., and Luyssaert, S. (2004). Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment: limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilisation. Science of the Total Environment, 326: 209–215.

[9]. Unterbrunner, R., Puschenreiter, M., Sommer, P., Wieshammer, G., Tlustoš, P., Zupan, M., and Wenzel, W.W. (2007). Heavy metal accumulation in trees growing on contaminated sites in Central Europe. Environmental Pollution, 148: 107–114.

[10]. Komarek, M., Tlustos, P., Szakova, J., and Chrastny , V. (2008). The use of poplar during a two-year induced phytoextraction of metals from contaminated agricultural soils. Environmental Pollution, 151: 27–38.

[11]. Domínguez, M.T., Madrid, F., Marañón, T., and Murillo, J.M. (2009). Cadmium availability in soil and retention in oak roots: Potential for phytostabilization. Chemosphere, 76: 480–486.

[12]. Westerma, R.E.L. (1990). Soil testing and plant analysis. SSSA. Madison wisconsin, USA.

[13]. Emami, A. (1996). Methodology for plant analysis. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Press, Soil and Water Research Institute, First volume. Number 982.

[14]. Gritsan, N.P., and Babiy, A.P. (2000). Hazardous materials in the environment of Dnepropetrovsk Region (Ukraine). Journal of Hazardous Materials, 76: 59–70.

[15]. Mojtahedi, M., and Lessani, H. (1992). The life of the green plant, University of Tehran Press, Tehran. 587 pp.

Archive of SID

www.SID.ir