

ارزیابی توان نهال‌های آکاسیا ویکتوریا (*Acacia victoriae*) در جذب فلزهای سنگین سرب و روی

علی مهدوی^{۱*} و خدیجه خرمن‌دار^۲

^۱دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
^۲دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۴)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر جذب فلزهای سنگین سرب و روی بر نهال‌های سه‌ماهه *Acacia victoriae* در یک طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با پنج غلظت از محلول نیترات سرب ۰، ۵۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و چهار غلظت از محلول سولفات روی ۰، ۵۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نهال‌ها تحت تیمار قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها برداشت و برخی از صفت‌های مورفولوژی و مقدار تجمع سرب و روی در اندام‌های مختلف قرائت شد. نتایج کاربرد سطوح سرب نشان داد که برخی از صفت‌های مورد بررسی تحت تأثیر سرب قرار گرفتند. علائم مورفولوژی اثر سرب در نهال‌ها با زرد شدن برگ‌ها، تغییر رنگ ریشه‌ها، کاهش شادابی و زنده‌مانی در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه بود و بیش از ۷۰ درصد (۲۵۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از مجموع سرب جذب‌شده در ریشه‌های این‌گونه تجمع یافت. نتایج کاربرد روی نشان داد که بیشتر صفت‌های بررسی‌شده تحت تأثیر روی قرار گرفتند. علائم مورفولوژی اثر روی در این‌نهال‌ها با کاهش قطر ریشه، ارتفاع و زی‌توده گیاه در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ملاحظه شد و حدود ۸۰ درصد روی (۳۰۴۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) جذب‌شده در ریشه‌های این‌گونه تجمع یافت. با توجه به‌ضریب تجمع زیستی، عامل انتقال و سیستم ریشه‌ای قوی، *A. victoriae* به‌عنوان گونه‌ی تثبیت‌کننده سرب و روی و براساس مقدار تجمع سرب در اندام هوایی گیاه در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌توان بیان کرد که این‌گیاه خصوصیت بیش‌اندوزی دارد و پس از بررسی‌های تکمیلی می‌توان در فناوری گیاه‌پالایی از آن استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: صفت‌های مورفولوژیک، ضریب تجمع زیستی، عامل انتقال، فرآیند تثبیت‌کننده، گیاه‌پالایی.

مقدمه و هدف

امروزه، آلودگی منابع مختلف به فلزهای سنگین یکی از مشکلات مهم زیست محیطی در سراسر جهان محسوب می‌شود. به‌منظور کاهش آلودگی آلاینده‌های معدنی و فلزهای سنگین، از روش‌های شیمیایی و فیزیکی استفاده می‌شود ولی متأسفانه بیشتر این روش‌ها هزینه‌برند و سبب تخریب خاک و محیط زیست می‌شوند (Singh et al., 2012). در سال‌های اخیر، در زمینه فناوری گیاه‌پالایی، از گیاهان سبز و ارتباط آنها با ریزجانداران خاک برای کاهش آلودگی منابع مختلف در محیط استفاده می‌شود، که این روش سازگار با محیط زیست و مقرون به‌صرفه است و به نیروی متخصص نیاز ندارد و موجب اصلاح رویشگاه، رفع آلودگی محیط، حفظ فعالیت زیستی و ساختار فیزیکی خاک می‌شود (Mukhtar et al., 2010; Singh et al., 2012). تاکنون ۴۵۰-۴۰۰ گونه فراانباشت‌کننده شناخته شده‌اند که توانایی زیادی برای رشد در خاک‌های آلوده دارند و از خانواده‌های: شب‌بو، غلات، فرفیون، کاسنی، نعنای و بقولات هستند (Mahdavi et al., 2014).

سرب و روی از مهم‌ترین فلزهای سنگین هستند. مقدار طبیعی سرب در خاک ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است، ولی این مقدار در خاک‌های اسیدی غیرآلوده به ۴۰-۱۰۰ در خاک‌های آلوده به‌بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد (Sharma and Dubey, 2005). همچنین در برخی تحقیق‌ها غلظت آن ۱۰۰۰ برابر بیش از حد طبیعی خود گزارش شده است (Mukhtar et al., 2010). این عنصر از نظر زیستی تجزیه‌ناپذیر است و به تجمع در سیستم‌های زیستی تمایل دارد، ولی تأثیر چندانی در واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاهان ندارد و به‌علت شباهت شیمیایی به عناصر ضروری، امکان جذب آن در گیاه وجود دارد (Lin et al., 2009) و همچنین تأثیرات نامطلوبی بر جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه و فرایند فتوسنتز دارد که موجب کاهش ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک و تولید زی‌توده، جلوگیری از سنتز کلروفیل، مسمومیت و اختلال در سوخت‌وساز گیاه، کاهش جذب مواد

معدنی و عملکرد گیاه، افت کیفیت محصول‌ها و کاهش فعالیت‌های زیستی افزاینده حاصلخیزی خاک می‌شود (Golubev, 2011). در مورد فلز روی، مقدار کل روی در خاک‌ها ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. این مقدار در خاک آلوده به‌بیش از ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد. سمیت ناشی از روی معمولاً در غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در برگ‌های گیاهان ظاهر می‌شود (Deng et al., 2007). این عنصر عامل مهمی در تغذیه و فعالیت‌های آنزیمی گیاه است (به‌دلیل تحرک زیاد به‌راحتی توسط ریشه گیاهان جذب می‌شود)، همچنین در سنتز پروتئین، فرایندهای کلروپلاست و هورمون‌های رشد گیاه تأثیر زیادی دارد (Golubev, 2011). روی نوعی ریزمغزی ضروری برای رشدونمو گیاهان محسوب می‌شود، ولی در غلظت‌های زیاد در اثر جایگزینی با عناصر ضروری بر عملکرد و تولید مواد غذایی گیاه اثر منفی دارد، همچنین این فلز در خاک‌های کمی اسیدی کاملاً محلول است و کاربرد بیش از حد کودهای فسفاته در کشاورزی از عوامل افزایش آن در خاک است (Golubev, 2011; Tang et al., 2009).

مطالعه‌های گوناگونی در مورد اثرهای آلودگی سرب و روی بر درختان مختلف صورت گرفته است. در تحقیقی درباره مقدار جذب سرب و روی در حرا (*Avicennia marina L.*) مشخص شد که غلظت زیادی از این فلزها در دیواره سلول‌های ریشه تجمع یافتند که سبب محدود شدن انتقال سرب و روی به اندام‌های هوایی گیاه شد (MacFarlane and Burchett, 2000). مقدار جذب سرب و روی در زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior L.*)، اقایا (*Robinia pseudoacacia L.*)، صنوبر (*Populus alba L.*)، افرای شبه‌چناری (*Acer pseudoplatanus L.*) و توسکا (*Alnus glutinosa L.*) مشخص کرد که این فلزها در اندام هوایی تجمع یافتند و صنوبر بیشترین مقدار سرب و روی را در برگ‌های خود انباشت کرد و بیشترین نرخ رشد را در مقابل گونه‌های دیگر داشت

ظرفیت زراعی محاسبه شده، صورت گرفت. بعد از گذشت سه ماه گلدان‌ها به محیط انتقال داده شد و پانزده گلدان در پنج غلظت ۰، ۵۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ توسط محلول نیترات سرب و دوازده گلدان در چهار غلظت ۰، ۵۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ توسط محلول سولفات روی به صورت یک طرح کاملاً تصادفی به مدت ۴۵ روز تحت تیمار قرار گرفتند. از آنجا که سن تمام گلدان‌ها یکسان بود (سه ماهه) سعی شد گلدان‌هایی که کمترین اختلاف بین آنها از نظر ارتفاع، شادابی، تعداد برگ و غیره وجود داشت به منظور اعمال تیمار انتخاب شوند. نمونه‌های شاهد (غلظت صفر) طی این مدت فقط با آب آبیاری شدند و هیچ فلزی به آنها اضافه نشد. پس از پایان دوره اعمال تیمار، تعدادی از صفت‌های مورفولوژی گیاه مانند تعداد برگ، ارتفاع ریشه، ساقه و کل گیاه، قطر یقه (با استفاده از کولیس دیجیتالی Digital, L lutron DC-515 Digital caliper Electronic ۱۵ سانتی‌متری با دقت ۰/۰۱ بر حسب میلی‌متر محاسبه شد)، وزن تر و خشک اندام‌های مختلف گیاه (Liu et al., 2008)، شاخص ارزش تحمل گیاه^۱ (نسبت طول ریشه تیمار به شاهد) (Maldonado et al., 2011) و شاخص اندازه مهار رشد گیاه^۲ (وزن ماده خشک شاهد منهای وزن ماده خشک تیمار تقسیم بر وزن ماده خشک شاهد) (Mahdavi et al., 2014)، ضریب تجمع زیستی^۳ (مقدار غلظت فلز در اندام‌ها (هوایی و زیرزمینی) نسبت به مقدار غلظت فلز وارده به خاک) (Maldonado et al., 2011)، ضریب غنی‌سازی^۴ (مقدار فلز وارد شده به خاک نسبت به مقدار تجمع فلز در اندام‌های هوایی) (Zu et al., 2004)، عامل انتقال^۵ (مقدار غلظت فلز در اندام هوایی (برگ و ساقه) نسبت به مقدار غلظت فلز موجود در اندام زیرزمینی گیاه است) (Mahdavi et al., 2014).

(Mertens et al., 2004). در تحقیقی در جنگل‌های مانگرو (*Avicennia marina* L.) مقدار تجمع سرب و روی مشخص کرد که روی در میوه و سرب در ریشه‌ها تجمع یافتند و مقدار روی (۶/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیش از سرب بود که دلیلی بر ریزمغذی بودن عنصر روی است (Qiu et al., 2011). در تحقیقی بر روی نهال‌های یکساله *Acacia victoriae* L. به این نتیجه رسیدند که این گیاه یک گونه فراانباشت‌کننده سرب است و بیشترین تجمع سرب در ریشه‌ها (۳۵۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در برگ‌های (۶۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) این گونه صورت گرفت (Mahdavi et al., 2014).

درختچه *A. victoriae* از زیرتیره بقولات (*Mimosoidae*) است، که به عنوان تثبیت‌کننده شن‌های روان و نیز برای توسعه فضای سبز برون‌شهری و پوششی حفاظتی در اطراف مزارع استفاده می‌شود. این گونه اهمیت ویژه‌ای در روند اصلاح خاک‌ها دارد و با گرهک‌هایی که در ریشه‌های خود دارد، موجب تثبیت نیتروژن و در پی آن افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود. علت انتخاب این گونه ظرفیت زیاد در سازگاری با شرایط سخت محیطی به منظور کشت و احیای آنهاست (Mahdavi et al., 2014). هدف از این پژوهش بررسی مقاومت نهال‌های سه‌ماهه *A. victoriae* به فلزهای سرب و روی، تأثیر این فلزها بر برخی از صفت‌های مورفولوژی این گونه، مقدار تجمع این فلزها در اندام‌های گیاه و همچنین بررسی پتانسیل کاربرد این گیاه در فناوری گیاه‌پالایی است.

مواد و روش‌ها

بذرهای گونه *A. victoriae* در گلدان‌های پلاستیکی (به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱۵ سانتی‌متر) با ظرفیت ۲/۵ کیلوگرم خاک خشک مزرعه به نسبت ۱:۱:۲ (کود حیوانی خشک شده، شن-ماسه، خاک) با بافت سیلت-لومی در همه گلدان‌ها کاشته شدند. برخی از خصوصیت‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین آبیاری گلدان‌ها بر مبنای ۶۰ درصد

¹ Tolerance Index (TI)

² Grade of Growth Inhibition (GGI)

³ Bio Concentration Factor (BCF)

⁴ Enrichment Coefficient (EC)

⁵ Translocation Factor (TF)

(جدول‌های ۴ و ۵) نشان داد که ارتفاع کل گیاه در سه غلظت ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و طول ساقه در غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد دارند (افزایش ۲۵ درصد در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، نسبت به شاهد) که نشان‌دهنده تأثیر نیترات سرب در رشد گیاه است. ولی در طول ریشه این‌گونه در هیچ کدام از غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری دیده نشد. بنابراین افزایش غلظت سرب بر ارتفاع کل مؤثر بود. قطر یقه در غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند و با افزایش غلظت سرب، قطر یقه افزایش یافت (افزایش ۸۰ درصد در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، نسبت به شاهد). متوسط تعداد برگ‌های گیاه در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری دارد، به طوری که در این غلظت تعداد برگ‌ها کاهش چشمگیری داشت. وزن تر برگ در تیمارهای ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و وزن تر ساقه و کل در دو سطح ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند، ولی وزن تر ریشه در هیچ کدام از سطوح اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند. نتایج به‌دست‌آمده از وزن خشک ساقه، ریشه و کل با نتایج حاصل از وزن تر ساقه، ریشه و کل مطابقت داشت، به طوری که وزن خشک ساقه و کل در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند (با افزایش غلظت بر مقدار وزن خشک آنها افزوده شد. افزایش ۸۰ درصد وزن تر کل و ۹۵ درصد وزن خشک کل در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به شاهد، ولی در وزن خشک ریشه اختلاف معنی‌داری با شاهد دیده نشد. شاخص تحمل (بر مبنای طول ریشه شاهد و تیمار) در غلظت‌های مختلف سرب اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند، در صورتی که شاخص اندازه مهار رشد گیاه (نشان‌دهنده شدت تنش وارد بر گیاه) در همه غلظت‌های سرب اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند. کاهش شاخص تحمل و افزایش شاخص اندازه مهار

علاوه بر این، نسبت‌های غلظت این فلزها (سرب و روی)، ساقه به ریشه (S/R) برگ به ریشه (L/R) و برگ به ساقه (L/S) محاسبه شد تا توانایی *A. victoriae* در انتقال فلزها به اندام‌های مختلف بررسی شود. شاخص جذب^۱ (حاصل ضرب مقدار وزن ماده خشک در غلظت عنصر در اندام هوایی) اندازه‌گیری شد. پس از برداشت، برگ، ساقه و ریشه‌های گیاه از هم جدا و شسته شدند و بعد از اندازه‌گیری وزن تر، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت در آون قرار گرفتند تا خشک شوند، سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شدند. در مرحله بعد ۰/۱ گرم از نمونه‌های پودر شده هر اندام، به نسبت ۸:۲:۱ با اسید نیتریک ۶۵ درصد، اسید سولفوریک غلیظ و اسید پرکلریدریک هضم شدند (Moreira et al., 2011). در نهایت، غلظت سرب و روی با دستگاه جذب اتم مدل CTA-2000 AAS قرائت شد. تجزیه آماری صفت‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت. آزمون‌های تجزیه واریانس یکطرفه ANOVA و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت و رسم نمودارها هم با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس و چگونگی پاسخ

نهال‌ها به فلز سرب

نتایج آزمون تجزیه و تحلیل واریانس فلز سرب مشخص کرد که صفت‌های طول ساقه، ارتفاع گیاه، قطر یقه، تعداد برگ، شاخص اندازه مهار رشد گیاه، وزن تر برگ، ساقه و کل، وزن خشک ساقه و کل، مقدار جذب در اندام‌ها، عامل انتقال، شاخص جذب، ضریب تجمع زیستی (زیرزمینی و هوایی) و غنی‌سازی در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول‌های ۲ و ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های صفت‌های ارزیابی شده فلز سرب

¹ Uptake Index (UI)

عامل انتقال، شاخص جذب، ضریب تجمع زیستی (زیرزمینی و هوایی) و غنی‌سازی در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) معنی‌دارند (جدول‌های ۶ و ۷). نتایج مقایسه میانگین‌های صفت‌های ارزیابی‌شده روی در (جدول‌های ۸ و ۹) نشان می‌دهد که تمام صفت‌های مورفولوژی مورد بررسی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری دارند. بنابراین، غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر روی تأثیر منفی بر رشد، عملکرد و زی‌توده گیاه داشته است. از طرفی کاهش شاخص تحمل و افزایش شاخص اندازه مهار رشد گیاه در غلظت زیاد روی نشان‌دهنده تأثیر منفی روی در مقدار مقاومت این گونه است (جدول ۸). مقدار جذب روی در برگ، ساقه و ریشه‌ها در هر سه غلظت اختلاف معنی‌داری با شاهد دارند. بررسی نسبت غلظت روی ساقه به ریشه، برگ به ریشه و ساقه به برگ گیاه ($S/R, L/R, L/S$) نشان می‌دهد که با افزایش غلظت روی مقدار انتقال کاهش یافته است و اختلاف معنی‌داری بین نسبت‌های ($S/R, L/R$) در تیمار (mg/l) ۵۰۰ وجود دارد. ضریب تجمع زیستی در همه غلظت‌ها بزرگ‌تر از یک است (میانگین ضریب تجمع زیستی ریشه: ۶/۰۳ و میانگین ضریب تجمع زیستی اندام هوایی: ۲/۴۸ بدون بعد) و ضریب تجمع زیستی ریشه در تمام تیمارها اختلاف معنی‌داری با هم دارند. همچنین عامل انتقال در تمام غلظت‌ها کوچک‌تر از یک است (میانگین آن، ۰/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که نشان‌دهنده تجمع روی در ریشه‌های این گونه است و در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها دارد. ضریب غنی‌سازی در تمام تیمارها اختلاف معنی‌داری با هم دارند که نشان‌دهنده افزایش تجمع روی در اندام‌های هوایی با افزایش غلظت فلز در خاک است. شاخص جذب در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافت که نشان‌دهنده تأثیر منفی مقدار جذب روی بر زی‌توده گیاه است (جدول ۹).

رشد گیاه در غلظت بالای سرب نشان‌دهنده تأثیر منفی سرب در مقدار مقاومت این گونه است (جدول ۴). مقدار جذب سرب در ریشه و ساقه‌ها در تمام تیمارهای ۵۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار جذب برگ در غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. نسبت غلظت برگ و ساقه به ریشه سرب ($S/R, L/R$) با افزایش غلظت سرب کاهش یافت، ولی نسبت غلظت برگ به ساقه (L/S) افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف در نسبت غلظت ($L/S, L/R$) وجود نداشت. ضریب تجمع زیستی (مقدار جذب در اندام‌ها به مقدار محلول وارده شده به خاک) نشان می‌دهد که در همه غلظت‌ها این ضریب بزرگ‌تر از یک است (میانگین ضریب تجمع زیستی ریشه: ۵/۶ و میانگین ضریب تجمع زیستی اندام هوایی: ۳/۱ بدون بعد). عامل انتقال (مقدار انتقال آلاینده از ریشه به اندام هوایی) در همه تیمارها کوچک‌تر از یک است (میانگین آن، ۰/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که نشان‌دهنده تجمع سرب در ریشه‌های این گونه است. ضریب غنی‌سازی (مقدار فلز وارد شده به خاک نسبت به مقدار تجمع فلز در اندام‌های هوایی) با افزایش غلظت آلاینده افزایش یافت و در همه تیمارها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشت که نشان می‌دهد با افزایش غلظت سرب، مقدار آن در اندام‌های هوایی افزایش یافته است. شاخص جذب (حاصل ضرب وزن ماده خشک در مقدار غلظت عنصر در اندام هوایی) نشان‌دهنده تأثیر مقدار جذب سرب بر زی‌توده گیاه است که در تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها دارد (جدول ۵).

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس و چگونگی پاسخ

نهال‌ها به فلز روی

در نتایج آزمون تجزیه و تحلیل واریانس فلز روی مشخص شد که ارتفاع ساقه، ریشه و کل گیاه، وزن تر و خشک گیاه، قطر یقه، تعداد برگ، ارزش تحمل، شاخص اندازه مهار رشد گیاه، مقدار جذب در اندام‌ها،

جدول ۱- برخی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

pH	EC (dS/m)	نیترژن کل (درصد)	کربن آلی (درصد)	پتاسیم (mg/kg)	سدیم (mg/kg)	بافت خاک (درصد)		
						شن	سیلت	رس
۷٫۲	۳٫۵۹	۰٫۱۶۴	۱٫۴۴	۴۲	۱۲	۴۱	۵۴	۵

جدول ۲- تجزیه واریانس صفت‌های مورفولوژی^۱ ارزیابی شده در بررسی مقدار جذب سرب توسط نهال‌های سه‌ماهه *Acacia victoriae*

میانگین مربعات														منابع	درجه	
GGI	TI	TDW	RDW	SDW	LDW	TMW	RMW	SMW	LMW	LN	D	PL	SL	RL	آزادی	تغییرات
۰/۰۹۴**	۱۰۷۰/۴ ^{ns}	۰/۷۵۳*	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۱۴۶*	۰/۱۸۵ ^{ns}	۴/۲۵**	۰/۰۵۴ ^{ns}	۰/۶۸۰**	۱/۴۴۰*	۱۵۹۲/۲۳*	۰/۴۶۱*	۱۵۰/۴**	۵۸/۲۳**	۳۸/۶ ^{ns}	۴	تیمار
۰/۰۱۳	۴۴۲/۵	۰/۱۹	۰/۰۱۲	۰/۰۳۱	۰/۱۰۲	۰/۷۸	۰/۰۵۱	۰/۰۷۸	۰/۳۶۴	۳۸۰/۴۶	۰/۰۷۷	۱۲/۹۳	۱۰/۴۰	۱۸/۹۳	۱۰	خطا

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد، ^{ns} غیر معنی دار

جدول ۳- تجزیه واریانس مقدار جذب^۲، نسبت انتقال، ضرایب جذب و عامل انتقال سرب توسط نهال‌های سه‌ماهه *Acacia victoriae*

میانگین مربعات											منابع	درجه
BCF(air)	BCF(root)	EC	UI	TF	L/S	L/R	S/R	Root	Stem	Leaf	آزادی	تغییرات
۲۴/۸۳**	۷۱/۵۸**	۰/۰۳۹**	۱۴۱۷۲۴۶/۷۶**	۰/۱۷۵**	۰/۱۹**	۰/۰۲۰**	۰/۰۷۱**	۲۹۰۹۶۲۴/۱**	۲۰۴۵۰۱/۹**	۷۱۰۳۷/۹**	۴	تیمار
۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۰۰۱	۱۱۲۸۰۲/۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۸۴۱۸۷/۴	۲۷۵۶	۱۶۰۶/۴	۱۰	خطا

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد

۱ و ۲- طول ریشه (RL)، ارتفاع گیاه (SL)، طول کل گیاه (PL)، قطر یقه (D)، تعداد برگ (LN)، وزن تر برگ (LMW)، وزن تر ساقه (SMW)، وزن تر ریشه (RMW)، وزن تر کل (TMW)، وزن خشک برگ (LDW)، وزن خشک ساقه (SDW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن خشک کل (TDW)، ارزش تحمل (TI)، شاخص اندازه مهر رشد گیاه (GGI)، جذب برگ (Leaf)، جذب ساقه (Stem)، جذب ریشه (Root)، نسبت غلظت ساقه به ریشه (S/R)، نسبت غلظت برگ به ریشه (L/R)، نسبت غلظت برگ به ساقه (L/S)، عامل انتقال (TF)، شاخص جذب (UI)، ضریب غنی‌سازی (EC)، ضریب تجمع زیستی ریشه (BCF root) و ضریب تجمع زیستی ساقه (BCF air).

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های صفت‌های مورفولوژی^۱ ارزیابی‌شده در بررسی مقدار جذب سرب در نهال‌های سه‌ماهه *Acacia victoriae* (تیمارها برحسب mg/l)

تیمار	صفت‌های ارزیابی‌شده									
	GGI	TDW ^(gr)	SDW ^(gr)	TMW ^(gr)	SMW ^(gr)	LMW ^(gr)	LN	D ^(cm)	PL ^(cm)	SL ^(cm)
شاهد	۰ ± ۰ ^a	۱/۰۳ ± ۰/۵۵ ^a	۰/۳۳ ± ۰/۲۸ ^a	۲/۳۵ ± ۱/۰۴ ^a	۰/۸ ± ۰/۴۲ ^a	۱/۲ ± ۰/۴۵ ^a	۴۶/۷ ± ۲۱/۵ ^a	۱/۲۴ ± ۰/۱ ^a	۴۲ ± ۱ ^a	۲۲ ± ۲/۶ ^a
۵۰	۰/۲۴ ± ۰/۱۶ ^b	۰/۹۳ ± ۰/۳۳ ^{ab}	۰/۳۲ ± ۰/۱۴ ^{ab}	۱/۸۵ ± ۱/۴ ^{ab}	۰/۴۸ ± ۰/۲۹ ^{ab}	۱/۱۲ ± ۰/۹۷ ^{ab}	۱۵ ± ۱۳/۷ ^{ab}	۱/۵ ± ۰/۲۵ ^{ab}	۳۷ ± ۲/۶ ^{ab}	۲۱ ± ۱ ^{ab}
۲۵۰	-۰/۲۴ ± ۰/۱۴ ^c	۱/۹ ± ۰/۸۱ ^c	۰/۷۵ ± ۰/۳۴ ^c	۴/۱۹ ± ۰/۷۸ ^c	۱/۵ ± ۰/۱۲ ^c	۲/۱۱ ± ۰/۵۸ ^c	۵۳/۳ ± ۱۳ ^{ac}	۲/۱ ± ۰/۶ ^c	۵۳ ± ۵/۳ ^c	۲۷/۳ ± ۵/۵ ^{ac}
۵۰۰	-۰/۱۰ ± ۰/۰۴ ^{cd}	۱/۹۹ ± ۰/۴۰ ^{cd}	۰/۷۷ ± ۰/۱۴ ^{cd}	۴/۱۰ ± ۰/۶۳ ^{cd}	۱/۶ ± ۰/۱۴ ^{cd}	۲/۰۶ ± ۰/۴۵ ^{cd}	۵۲/۷ ± ۳۲/۳ ^{acd}	۲/۲ ± ۰/۱۶ ^{cd}	۵۰ ± ۴/۶ ^{cd}	۲۷/۷ ± ۳/۵ ^{cd}
۱۰۰۰	۰/۰۳ ± ۰/۱۱ ^{cde}	۱/۱۸ ± ۰/۴۹ ^{abe}	۰/۵۹ ± ۰/۱۴ ^{cde}	۱/۸۱ ± ۰/۲۴ ^{abe}	۱/۱ ± ۰/۳۶ ^{ace}	۰/۴۷ ± ۰/۴۱ ^e	۴/۳ ± ۵/۸ ^{be}	۱/۷ ± ۰/۱۸ ^{cde}	۵۲ ± ۱/۷ ^{ce}	۳۱/۷ ± ۱/۱۵ ^{cde}

وجود یک حرف مشترک نشانه عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (در سطح ۵ درصد)

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های مقدار جذب^۲، نسبت انتقال، ضرایب جذب و عامل انتقال سرب در نهال‌های سه‌ماهه *Acacia victoriae* (تیمارها برحسب mg/l)

تیمار	عوامل ارزیابی‌شده										
	BCF (air)	BCF (root)	EC	UI	TF	L/S	L/R	S/R	Root	Stem	Leaf
شاهد	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۵۰	۷/۴ ± ۱/۱ ^a	۱۲/۸ ± ۱/۰۷ ^a	۰/۰۵ ± ۰ ^a	۳۵۰/۹ ± ۱۴۹/۶ ^a	۰/۵۹ ± ۰/۰۷۷ ^{ab}	۰/۵۳ ± ۰/۱ ^a	۰/۲ ± ۰/۰۱ ^a	۰/۳۹ ± ۰/۰۷ ^{ab}	۶۱۹ ± ۲۲/۷ ^a	۲۴۳ ± ۵۲/۵ ^a	۱۲۶ ± ۸/۳ ^a
۲۵۰	۲/۱ ± ۰/۱۵ ^{bc}	۴/۰۳ ± ۰/۲۵ ^{bc}	۰/۱۶ ± ۰ ^b	۹۸۹/۸ ± ۳۴۸/۹ ^b	۰/۵۳ ± ۰/۰۸ ^{abc}	۰/۵۷ ± ۰/۲ ^a	۰/۱۹ ± ۰/۰۶ ^a	۰/۳۴ ± ۰/۰۷ ^{abc}	۱۰۱۲ ± ۶۸/۷ ^b	۳۴۴ ± ۵۰/۷ ^b	۱۸۹ ± ۵۲/۳ ^a
۵۰۰	۱/۷۴ ± ۰/۲۴ ^{bcd}	۳/۲ ± ۰/۷۵ ^{bcd}	۰/۲۱ ± ۰/۰۳۵ ^c	۱۷۲۲/۲ ± ۴۶۳/۷ ^c	۰/۵۴ ± ۰/۰۶۶ ^{ab}	۰/۵۶ ± ۰/۰۷ ^a	۰/۱۷ ± ۰/۰۲ ^a	۰/۳۱ ± ۰/۰۳ ^{abc}	۱۷۷۵ ± ۲۰۸/۵ ^c	۵۵۰ ± ۶۴/۵ ^c	۳۱۱ ± ۶۵/۶ ^b
۱۰۰۰	۱/۰۴ ± ۰/۰۶ ^{cd}	۲/۵ ± ۰/۴۵ ^{cd}	۰/۲۸ ± ۰/۰۳۶ ^d	۱۲۲۱/۴ ± ۴۵۲/۶ ^{bc}	۰/۴۳ ± ۰/۰۶۶ ^{bc}	۰/۵۹ ± ۰/۰۶ ^a	۰/۱۶ ± ۰/۰۴ ^a	۰/۲۷ ± ۰/۰۳ ^{bc}	۲۵۱۸ ± ۴۳۸/۴ ^d	۶۶۵ ± ۶۵/۵ ^d	۳۹۲ ± ۳۰/۵ ^c

وجود یک حرف مشترک نشانه عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (در سطح ۵ درصد).

۱ و ۲- طول ریشه (RL)، ارتفاع گیاه (SL)، طول کل گیاه (PL)، قطر یقه (D)، تعداد برگ (LN)، وزن تر برگ (LMW)، وزن تر ساقه (SMW)، وزن تر ریشه (RMW)، وزن تر کل (TMW)، وزن خشک برگ (LDW)، وزن خشک ساقه (SDW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن خشک کل (TDW)، ارزش تحمل (TI)، شاخص اندازه‌دهنده مهار رشد گیاه (GGI)، جذب برگ (Leaf)، جذب ساقه (Stem)، جذب ریشه (Root)، نسبت غلظت ساقه به ریشه (S/R)، نسبت غلظت برگ به ریشه (L/R)، نسبت غلظت برگ به ساقه (L/S)، عامل انتقال (TF)، شاخص جذب (UI)، ضریب غنی‌سازی (EC)، ضریب تجمع زیستی ریشه (BCF root) و ضریب تجمع زیستی ساقه (BCF air).

جدول ۶- تجزیه واریانس صفت‌های مورفولوژی^۱ ارزیابی شده در بررسی مقدار جذب روی توسط نهال‌های سه‌ماهه *Acacia victoriae*

میانگین مربعات														منابع	درجه
GGI	TI	TDW	RDW	SDW	LDW	TMW	RMW	SMW	LMW	LN	D	PL	SL	RL	تغییرات آزادی
۰/۰۰۹**	۱۰۰۷/۲**	۷/۸۲**	۰/۶۹*	۱/۰۵**	۰/۹**	۹/۶۳**	۰/۹۸*	۱/۰۸*	۱/۱۶*	۱۱۵۴**	۰/۶۱*	۴۷۳**	۱۲۲/۱۲**	۱۱۵**	۳ تیمار
۰/۰۰۱	۵۵/۶۷	۰/۵۲	۰/۱۲۵	۰/۱۴۳	۰/۰۹۸	۰/۴۹	۰/۱۱۳	۰/۲۲۳	۰/۲۳۵	۱۴۲	۰/۱۰۷	۳۴/۷۵	۱۲	۱۷/۵	۸ خطا

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۷- تجزیه واریانس مقدار جذب^۲، نسبت انتقال، ضرایب جذب و عامل انتقال روی توسط نهال‌های سه‌ماهه *Acacia victoriae*

میانگین مربعات											منابع	درجه
BCF(air)	BCF(root)	EC	UI	TF	L/S	L/R	S/R	Root	Stem	Leaf	تغییرات آزادی	
۴۱/۱**	۹/۲۱**	۰/۲۱**	۴۴۵۳۲۵۹/۱۶**	۰/۱۶۵**	۰/۳۱۲**	۰/۰۲۸**	۰/۰۵۹**	۵۵۰۵۶۹۳/۹۹**	۱۵۵۰۸۱/۱**	۳۶۷۶۷/۷۷**	۳ تیمار	
۰/۷۶۳	۰/۰۲۴	۰/۰۰	۱۳۱۲۷۵/۹۲	۰/۰۰۴	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۴۳۷۸۴/۱۳	۴۲۳۵/۷۶	۵۴۴/۱۵	۸ خطا	

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

۱ و ۲ - طول ریشه (RL)، ارتفاع گیاه (SL)، طول کل گیاه (PL)، قطر یقه (D)، تعداد برگ (LN)، وزن تر برگ (LMW)، وزن تر ساقه (SMW)، وزن تر ریشه (RMW)، وزن تر کل (TMW)، وزن خشک برگ (LDW)، وزن خشک ساقه (SDW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن خشک کل (TDW)، ارزش تحمل (TI)، شاخص اندازه‌دهنده مهار رشد گیاه (GGI)، جذب برگ (Leaf)، جذب ساقه (Stem)، جذب ریشه (Root)، نسبت غلظت ساقه به ریشه (S/R)، نسبت غلظت برگ به ریشه (L/R)، نسبت غلظت برگ به ساقه (L/S)، عامل انتقال (TF)، شاخص جذب (UI)، ضریب غنی‌سازی (EC)، ضریب تجمع زیستی ریشه (BCF root) و ضریب تجمع زیستی ساقه (BCF air).

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های صفت‌های مورفولوژی ارزیابی‌شده در بررسی مقدار جذب روی در نهال‌های سه‌ماهه *Acacia victoriae* (تیمارها بر حسب mg/l)

صفت‌های ارزیابی‌شده														تیمار	
GGI	TI (%)	TMW ^(gr)	RDW ^(gr)	SDW ^(gr)	LDW ^(gr)	TMW ^(gr)	RMW ^(gr)	SMW ^(gr)	LMW ^(gr)	LN	D ^(mm)	PL ^(cm)	SL ^(cm)	RL ^(cm)	
۰± ^a	۱۰۰± ^a	۵/۵±۰/۱ ^a	۱/۶±۰/۳ ^a	۱/۹۷±۰/۳ ^a	۱/۹±۰/۳ ^a	۹/۸±۰/۸ ^a	۳/۱±۰/۵ ^a	۳/۲±۰/۶ ^a	۳/۵±۰/۶ ^a	۱۴۶±۱۲/۵ ^a	۳/۳±۰/۴ ^a	۷۰±۶/۱ ^a	۳۶±۲ ^a	۳۴±۶/۵ ^a	شاهد
-۰/۰۲±۰/۰۴ ^a	۱۱۲±۷/۹ ^a	۶/۲±۱/۲ ^a	۱/۸±۰/۵ ^a	۲/۳±۰/۶ ^a	۲/۱±۰/۴ ^a	۱۰/۶±۰/۷ ^{ab}	۳/۴±۰/۳ ^a	۳/۵±۰/۵ ^a	۳/۷±۰/۴ ^a	۱۳۵±۶ ^a	۳/۵±۰/۳ ^a	۷۸±۷ ^a	۴۰±۴/۶ ^a	۳۸±۲/۶ ^a	۵۰
-۰/۰۴±۰/۰۳ ^a	۱۱۷/۷±۷/۴ ^a	۶/۶±۰/۶ ^a	۲±۰/۵ ^a	۲/۴±۰/۳ ^a	۲/۲±۰/۳ ^a	۱۱/۱±۰/۸ ^b	۳/۶±۰/۳ ^a	۳/۶±۰/۳ ^a	۳/۹±۰/۶ ^a	۱۲۷±۹/۳ ^a	۳/۶±۰/۳ ^a	۸۱±۱ ^a	۴۱±۲ ^a	۴۰±۲/۶ ^a	۲۵۰
۰/۰۸±۰/۰۱ ^b	۷۶/۳±۱۰/۳ ^b	۳±۰/۴ ^b	۰/۹±۰/۱ ^b	۱/۱±۰/۴ ^b	۱±۰/۳ ^b	۷/۱±۰/۴ ^c	۲/۳±۰/۲ ^b	۲/۳±۰/۴ ^b	۲/۵±۰/۳ ^b	۱۰۰±۱۷/۱ ^b	۲/۶±۰/۴ ^b	۵۳±۷/۳ ^b	۲۷±۴/۳ ^b	۲۶±۳/۶ ^b	۵۰۰

وجود یک حرف مشترک نشانه عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (در سطح ۵ درصد)

جدول ۹- مقایسه میانگین‌های مقدار جذب، نسبت انتقال، ضرایب جذب و عامل انتقال روی در نهال‌های سه‌ماهه *Acacia victoriae* (تیمارها بر حسب mg/l)

عوامل ارزیابی‌شده											تیمار
BCF (air)	BCF (root)	EC	UI	TF	L/S	L/R	S/R	Root	Stem	Leaf	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	شاهد
۴/۲±۰/۱۵ ^a	۸/۶±۱/۵ ^a	۰/۰۸±۰/۰۱ ^a	۱۳۰۴/۸±۲۰۸/۷ ^a	۰/۵±۰/۱۲ ^a	۰/۶۹±۰/۱۵ ^a	۰/۲±۰/۰۳ ^a	۰/۳±۰/۱ ^a	۴۳۱/۸±۷۵/۳ ^a	۱۲۶±۱۷/۳ ^a	۸۵/۵±۷/۴ ^a	۵۰
۱/۶۳±۰/۲۱ ^b	۳/۴±۰/۴ ^b	۰/۲±۰/۰۲۶ ^b	۲۶۸۷/۸±۴۳۷/۱ ^b	۰/۴۸±۰/۰۳ ^a	۰/۶۷±۰/۰۹ ^a	۰/۱۹±۰/۰۲۵ ^a	۰/۲۹±۰/۰۱ ^a	۸۴۹/۵±۱۱۱/۹ ^b	۲۴۳/۸±۲۶ ^b	۱۶۳±۲۷/۷ ^b	۲۵۰
۱/۶±۰/۱۷ ^b	۶/۱±۰/۷۵ ^c	۰/۱۳±۰/۰۲ ^c	۲۳۸۹/۲±۵۳۹ ^b	۰/۲۶±۰/۰۲ ^b	۰/۵۲±۰/۲۲ ^a	۰/۰۸±۰/۰۲ ^b	۰/۱۷±۰/۰۳ ^b	۳۰۴۶/۲±۳۹۶/۱ ^c	۵۳۲/۱±۱۲۶/۳ ^c	۲۵۹/۷±۳۶/۸ ^c	۵۰۰

وجود یک حرف مشترک نشانه عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است (در سطح ۵ درصد)

بحث

اثر فلزهای سرب و روی بر تولید زی توده نهال ها

کاهش رشد، واکنش دامنه گسترده ای از گیاهان در خاک های مملو از فلزهای سنگین است. این کاهش رشد در گیاهان می تواند سبب کاهش زی توده ریشه شود که با شدت یافتن آن، مجموع زی توده تولیدی در گیاه کم می شود. این کاهش رشد ممکن است به دلیل سمیت فلز، تضاد با مواد مغذی گیاه و جلوگیری از نفوذ ریشه در خاک باشد (Begonia et al., 1998). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که زی توده گونه *A. victoriae* به عنوان شاخص عملکرد رشد، در غلظت های کمتر (قبل از غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر سرب و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر روی) نه تنها کاهش نداشت، بلکه این فلزهای سنگین تأثیر مثبتی در روند رشد نهال ها نسبت به نمونه های شاهد داشتند. این تحریک رشد ممکن است به دلیل مقاومت زیاد این گونه در مقابل غلظت های به نسبت زیاد سرب و روی باشد یا اینکه نیتروژن موجود در نمک سرب سبب افزایش رشد زی توده گیاه شده است (Begonia et al., 1998; Mahdavi et al., 2014).

مطالعه های مختلفی همچون (Begonia et al., 1998); Kadukova et al. (2008); Mahdavi et al. (2014) گزارش دادند که سطح پایین سرب، سبب رشد و تولید زی توده بیشتر نسبت به شاهد در گیاهان مختلف می شود. ولی غلظت زیاد سرب در این گونه اثر منفی در زی توده خشک کل گیاه داشت که با یافته های (Mahdavi et al. و Maldonado et al. (2011) (2014) همخوانی دارد. همچنین کاهش زی توده خشک کل گیاه در غلظت زیاد روی با یافته های (Judith et al. (1977) و (Sagardoy et al. (2009 سازگار است.

اثر فلزهای سرب و روی بر ویژگی های رشد طولی و ریشه نهال ها

مهار رشد ریشه یکی از آثار اولیه سمیت سرب است (Mahdavi et al., 2014)، ولی نتایج نشان داد که

سرب تأثیر معنی داری در ارتفاع ریشه نداشت که همسو با یافته های (Roongtanakia and Chairaj (2001 است. طول ریشه در غلظت زیاد روی کاهش یافت که با نتیجه تحقیق (Brown and Wilkins (1985 همخوانی دارد. از طرفی این کاهش طول ریشه با کاهش ارتفاع کل گیاه همراه بود. کاهش طول کل گیاه در غلظت زیاد روی با نتایج (Judith et al. (1977); Sagardoy et al. (2009); Tang et al. (2009) و همچنین در غلظت زیاد سرب با نتایج (Mahdavi et al. (2014); Maldonado et al. (2011); Mukhtar et al. (2010) همخوانی دارد. این کاهش ارتفاع کل ممکن است به دلیل کاهش رشد ریشه و کاهش انتقال آب و مواد مغذی به بخش های هوایی باشد (Mahdavi et al., 2014). همچنین در غلظت به نسبت زیاد سرب افزایش ارتفاع ساقه ملاحظه شد که با یافته (Wang et al. (2011) همسو است.

سمیت فلزهای سرب و روی برای نهال های

آکاسیا

روی ماده ای ضروری برای گیاهان است و آستانه سمیت آن براساس گونه های گیاهی، زمان قرار گرفتن در معرض تنش با روی و ترکیب های مواد مغذی در محیط رشد متفاوت است (Soares et al., 2001). براساس نظر محققان، اولین نشانه سمیت روی در بیشتر گیاهان، زرد شدن برگ های جوان است (Fontes and Cox, 1995)؛ ولی نتایج این پژوهش نشان داد که این نشانه از سمیت روی در برگ های این گونه دیده نشد؛ همچنین آسیب جدی به گیاه وارد نشد؛ بنابراین این گونه ظرفیت تحمل غلظت زیادتر روی را دارد تا مقدار جذب واقعی در آن مشخص شود. ولی علائم مورفولوژی اثر روی با کاهش قطر ریشه، ارتفاع و کاهش ۵۵ درصدی وزن خشک زی توده کل گیاه در غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر در مقایسه با نهال های شاهد ملاحظه شد که با یافته های (Marchiol et al. (2004) مطابقت دارد. در نهایت کاهش شاخص ارزش تحمل گیاه با نتایج تحقیقات

۲۵۱۸، در ساقه ۶۶۵ و در برگ‌ها ۳۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اتفاق افتاد. در واقع مقدار جذب سرب در ریشه چهار برابر ساقه و هفت برابر برگ بود (زیاد بودن مقدار جذب روی نسبت به سرب، ضروری بودن آن را می‌رساند) (جدول‌های ۵ و ۹) با توجه به بیشترین جذب سرب و روی در ریشه‌ها نسبت به اندام‌های هوایی، این‌گونه پتانسیل زیادی برای تثبیت گیاهی دارد که با نتایج تحقیقات (MacFarlane and Burchett (2000); Qiu et al. (2011); Mahdavi et al. (2014) مطابقت دارد. بر اساس یافته‌های (Reeves and Baker (2000 گیاهانی که توانایی تجمع بیش از ۰/۱ درصد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب و ۱ درصد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی در اندام هوایی خود داشته باشند، گونه فراانباشت‌کننده محسوب می‌شوند. طبق نتایج مشخص شد که *A. victoriae* فراانباشت‌کننده سرب است. چون در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، نهال‌های سه‌ماهه آکاسیا ویکتوریا توانایی تجمع ۱۰۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب را در اندام هوایی از خود نشان دادند. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت آلاینده، ضریب غنی‌سازی در اندام‌ها افزایش یافت که نشان‌دهنده توانایی تجمع بیشتر سرب و روی در اندام‌های هوایی با افزایش غلظت فلزها در خاک است و در تمام تیمارها اختلاف معنی‌داری با هم دیده شد که با نتیجه همچنین (Assareh et al. (2008 همخوانی دارد. همچنین شاخص جذب قوی‌ترین معیار برای تعیین پتانسیل پلایش گیاه است. در هر دو فلز با افزایش غلظت آلاینده، شاخص جذب کاهش یافت که نشان‌دهنده تأثیر فلزها در زی‌توده گیاه است. در پایان، با توجه به تجمع زیاد روی و سرب در ریشه‌ها، سیستم ریشه‌ای قوی و بردباری (ارزش این‌گونه مقاومت زیاد در خاک‌های شور و خشکسالی است)، *A. victoriae* پتانسیل تثبیت بالایی برای پاکسازی نواحی آلوده به این فلزها را در مناطق خشک دارد. با

Mahdavi et al. (2014); Wang et al. (2011) افزایش شاخص مهار رشد گیاه با نتیجه (Mahdavi et al. (2014 همخوانی دارد. علائم سمیت سرب در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با زرد شدن برگ‌ها و ریشه‌ها، کاهش زی‌توده خشک، کاهش ارتفاع گیاه و کم شدن شادابی و زنده‌مانی مشاهده شد. البته با توجه به سن کم نهال‌ها، در صورت ادامه تیمار سرب در غلظت زیاد امکان داشت تمامی نهال‌ها از بین بروند؛ چون مقدار زنده‌مانی کل در پانزده گلدان ۸۵ درصد بود.

پتانسیل جذب و انتقال فلزهای سرب و روی در نهال‌های آکاسیا

ریشه نخستین اندامی است که با عناصر سمی تماس دارد و به‌طور معمول مقدار تجمع فلزها در ریشه‌های گیاه بیشتر از اندام‌های هوایی است (Maldonado et al., 2011). این عمل در واقع محافظت بخش‌های هوایی گیاه در برابر سمیت ناشی از این فلزها در غلظت‌های زیاد است و همچنین بیشتر گیاهان تجمع‌کننده فلزهای سنگین توانایی کمی در انتقال آلاینده از ریشه به اندام‌های هوایی دارند (Sharma and Dubey, 2005). براساس نتایج این پژوهش مشخص شد که ضریب تجمع زیستی اندام زیرزمینی و هوایی فلز سرب و روی در همه تیمارها بزرگ‌تر از یک و عامل انتقال در تمام تیمارها کوچک‌تر از یک است (جدول‌های ۵ و ۹). بر اساس نتایج تحقیقات، گونه‌ای که ضریب تجمع زیستی ریشه آن بزرگ‌تر از یک و عامل انتقال کوچک‌تر از یک باشد، برای تثبیت گیاهی مناسب است (Zacchini et al., 2009). از طرفی، مقدار تجمع روی در ریشه ۳۰۴۶/۲، ساقه ۵۳۲/۱ و برگ‌ها ۲۵۹/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اتفاق افتاد. در واقع مقدار جذب روی در بافت ریشه شش برابر ساقه و دوازده برابر برگ‌ها بود. همچنین بیشترین مقدار تجمع سرب در ریشه

Lin, C.J., L. Liu, T. Liu, L. Zhu, and D. Wang, 2009. Soil amendment application frequency contributes to phytoextraction of lead by sunflower at different nutrient levels, *Environmental and Experimental Botany*, 65(2):410-416.

Liu, J.N., Q.X. Zhou, T. Sun, L.Q. Ma, and S. Wang, 2008. Growth responses of three ornamental plants to Cd and Cd-Pb stress and their metal accumulation characteristics, *Journal of Hazardous Materials*, 151(1) :261-267.

MacFarlane, G.R., and M.D. Burchett, 2000. Cellular distribution of Cu, Pb and Zn in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh, *Aquatic Botany*, 68: 45-59.

Mahdavi, A., K. Khermandar, S. Ahmady Asbchin, and R. Tabaraki, 2014. Lead accumulation potential in (*Acacia victoriae*), *International Journal of Phytoremediation*, 16(6): 582-592.

Maldonado, A., E. Favela-Torres, F. Rivera Cabrera, and T.L Volke-Sepulveda, 2011. Lead bioaccumulation in *Acacia farnesiana* and its effect on lipid peroxidation and glutathione production, *Plant and Soil*, 339: 377-389.

Marchiol, L., S. Assolari, P. Sacco, and G. Zerbi, 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil, *Environmental Pollution*, 132:21-27.

Mertens, J., P. Vervaeke, A.D. Schrijver, and S. Luyssaert, 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.

Moreira, H., A.P.G.C., Marques, A.O.S.S., Rangel, and P.M.L. Castro, 2011. Heavy metal accumulation in plant species indigenous to a contaminated Portuguese site prospects for Phytoremediation, *Water, Air and Soil Pollution*, 221: 377-389.

Mukhtar, S., H. Bhatti, M. Khalid, M. Anwar, and M. Shahzad, 2010. Potential of sunflower (*Helianthus Annuus*) for Phytoremediation of Nickle and Lead contaminated water, *Journal of Botany*, 42(6): 4017-4026.

توجه به اینکه مقدار انتقال این فلزها به بخش هوایی کم بود، خطر ورود این فلزها به زنجیره غذایی از طریق تغلیف برگ‌های این گیاه توسط حیوان‌های اهلی هم کم است و ریشه گیاه هم به‌عنوان نوعی سنگ معدن زیستی برای احیای مجدد این فلزها کاربرد دارد.

منابع

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

Begonia, G.B., C.D. Davis, M.F.T. Begonia, and C.N. Gray, 1998. Growth responses of Indian Mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.) and its phytoextraction of lead from a contaminated soil, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61(1): 38-43.

Brown, M.T., and D.A. Wilkins, 1985. Zinc tolerance in *Betula*, *Journal of New Phytologist*, 99: 91-100.

Deng, D.M., W.S. Shu, J. Zhang, H.L. Zou, Z. Lin, Z.H. Ye, and M.H. Wong, 2007. Zinc and cadmium accumulation and tolerance in populations of *Sedum alferedii*, *Environmental Pollution*, 147: 381-386.

Fontes, R.L.F., and F.R. Cox, 1995. Effects of sulfur supply on soybean plants exposed to zinc toxicity, *Journal of Plant Nutrition*, 18: 1893-1906.

Golubev, I.A., 2011. Handbook of Phytoremediation, Nova Science Publisher, Inc. 840 pp.

Judith, A.R., S.P. Carl, and L.G. Marc, 1977. Zinc, Iron, and Chlorophyll Metabolism in Zinc-toxic Corn, *Journal of Plant Physiology*, 59:1085-1087.

Kadukova, J., E. Manousaki, and N. Kalogerakis, 2008. Pb and Cd Accumulation and Phyto excretion by Salt Cedar (*Tamarix smyrnensis* Bunge), *International Journal of Phytoremediation*, 1(10): 31- 46.

- Qiu, Y.W., K.F.Yu, G. Zhang, and W.X. Wang, 2011. Accumulation and partitioning of seven trace metals in mangroves and sediment cores from three estuarine wetlands of Hainan Island, *Journal of Hazardous Materials*, 190(1): 631-638.
- Reeves, R.D., and A.J.M. Baker, 2000. Phytoremediation of toxic metals. In: Raskin I, Ensley BD (eds) Using plants to clean up the environment. Wiley, New York, 193 PP.
- Roongtanakiat, N., and P. Chairroj, 2001. Metals by vetivergrass Uptak Potential of some heavy, *Natural Science*, 35:46-50.
- Sagardoy, R.F., A.F. Morales, N. Lopez Milla, A. Abadía, and J. Abadía, 2009. Effects of zinc toxicity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants grown in hydroponics, *Journal of Plant Biology*, 11: 339-350.
- Soares, C.R.S., P.H. Graziotti, J.O. Siqueira, J.G. De Carvalho, and F.M.S. Moreira, 2001. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(2):338-348.
- Singh, D., A. Tiwari, and R. Gupta, 2012. Phytoremediation of lead from wastewater using aquatic plants, *Journal of Agricultural Technology*, 8(1): 1-11.
- Sharma, P., and R.S. Dubey, 2005. Ascorbate peroxidases from rice seedling, *Journal of Plant Science*, 167: 541-505.
- Tang, Y., Q. Rong, Z. Xiao, W. Ying, and R. Rong, 2009. Lead, Zinc, Cadmium hyperaccumulation and growth stimulation in *Arabis Paniculata* Franch, *Environmental and Experimental Botany*, 66:126-1343.
- Wang, Y., T. Jiemin, and D. Jie, 2011. Study on adsorption and remediation of heavy metals by poplar and larch in contaminated soil, *African Journal of Biotechnology*, 10(65):14516-14521.
- Zacchini, M., F. Pietrini, G.S. Mugnozza, V. Iori, L. Pietrosanti, and A. Massacci, 2009. Metal tolerance accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics, *Water, Air and Soil Pollution*, 197(1-4): 23-34.
- Zu, Y.Q., Y. Li, C. Schwartz, L. Langlade, and F. Liu, 2004. Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead-zinc mine area, China, *Environment International*, 30: 567-576.

Assessment of the potential of *Acacia victoriae* seedlings in uptake of lead and zinc heavy metals

A. Mahdavi^{1*}, and K. Khermandar²

¹Assistant Prof., Department of Forest, Faculty of Agriculture, Ilam University, I. R. Iran

²M.Sc. in Combat Desertification, Faculty of Agriculture, Ilam University, I. R. Iran

(Received: 8 Jun 2014, Accepted: 25 May 2015)

Abstract

In order to investigate the tolerance and impacts of lead and zinc absorption on *Acacia victoriae* three months old seedlings were exposed to $Pb(NO_3)_2$ (in five different concentrations: 0, 50, 250, 500 and 1000 (mg/L) and $ZnSO_4$ (in 4 different concentrations: 0, 50, 250 and 500 (mg/L) for 45 days. Then, the samples were harvested and some morphological attributes and bioaccumulations of Pb^{2+} and Zn^{2+} in different plant tissues were assessed. Results for lead showed that some attributes were affected by lead. Morphological symptoms of lead effects on the leaves were appeared with thin, yellow and brown spots on the leaves in high concentration (1000 mg/L) and more than 70% of total accumulated lead (2518 mg/kg) were accumulated root tissues. Results for zinc indicated that most of attributes were affected by zinc. Morphological symptoms of zinc effects were observed with decreasing in root diameter, height and biomass in high concentration (500 mg/L) and almost 80% of zinc (3046/2mg/kg) was accumulated in root tissues. With respect to bioaccumulation factor, transfer factor and a strong root system, *A. victoriae* can be suggested as lead and zinc stabilizing and according amount of accumulated lead in above ground parts in high concentration (1000 mg/L) can be considered as lead hyperaccumulators species. Therefore, *A. victoriae* can be used as a suitable species for remediation of lead and zinc contaminated areas after complementary studies.

Keywords: Bioconcentration factor, Hyper accumulator, Morphological traits, hytoremediation, Translocation factor.

*Corresponding author

Tel: +988412227015

Email: a_amoli646@yahoo.com