پالایش سبز فلز روی توسط درختچه بیابانی آکاسیا ویکتوریا (*Acacia victoriae* Benth.)

خدیجه خرمن‌دار* و علی مهدوی

۱) دانشجوی دکتری رشته مدیریت و کنترل بیابان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول: khermandar625@yahoo.com

۲) دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۴

چکیده

در این پژوهش به‌منظور بررسی اثر جذب فلز روی بر نهال‌های یک‌ساله *Acacia victoriae* در سه تکرار و به صورت یک طرح کاملا تصادفی با چهار غلظت از محلول سولفات روی (۰، ۵۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) نهال‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس برخی از صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه (ارتفاع گیاه، قطر یقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک گیاه، ارزش تحمل، میزان مهار رشد و میزان کلروفیل) و همچنین مقدار تجمع فلز روی در اندام‌های مختلف آن برآورد شد. نتایج نشان داد صفت‌های مورد بررسی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر فلز روی قرار گرفتند و حضور روی در غلظت بالا سبب کاهش جزیی این صفت‌ها شد که تاثیر عمده‌ای بر گیاه نداشت و علایم سمیت با فلز روی در این نهال‌ها مشاهده نشد. میزان تجمع روی نیز در ریشه‌ها بیشتر از قسمت‌های هوایی گیاه بود، به‌طوری‌که در حدود ۸۰ درصد (۴۷۹۴/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در ریشه‌ها، بیش از ۱۳ درصد (۷۹۷/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در ساقه‌ها و در حدود ۷ درصد (۴۸۸/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برگ‌های این گونه تجمع یافتند. همچنین فاکتور تجمع زیستی و انتقال آن نیز به‌ترتیب بزرگ‌تر و کوچک‌تر از یک ارزیابی شد. با توجه به اینکه عنصر روی اختلال جدی در رشد نهال‌های *A. victoriae* به وجود نیاورد و بیشترین تجمع فلز روی در ریشه‌ها صورت گرفت، بنابراین می‌توان از این درختچه بیابانی جهت کاهش آلودگی در خاک‌های آلوده به فلز روی به روش تثبیت گیاهی بهره برد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، ارزش تحمل، پالایش سبز، تثبیت گیاهی، فلزات سنگین.

مقدمه

واژه فلزات سنگین به عناصر فلزی که چگالی نسبتا بالایی دارند و وزن اتمی آنها بزرگ‌تر از ۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب است، اشاره دارد (Junaid *et al.*, 2013). روی یکی از این فلزات سنگین است که یک عنصر ضروری برای بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه و یک کوفاکتور مورد نیاز برای ساختار و عملکرد پروتئین‌ها، ساختار غشایی و تولید انرژی در گیاهان محسوب می‌شود. اما این فلز در غلظت بالا سبب اختلال در نفوذپذیری غشای سلولی، ممانعت از عملکرد متابولیکی گیاهان، کلروز برگ‌ها، نکروز ساقه‌ها، ممانعت از توسعه و رشد ریشه و پیری در گیاهان می‌گردد. علت این مسئله آن است که عنصر روی در غلظت‌های بالا موجب کاهش عناصر ضروری آهن، منگنز، کلسیم، پتاسیم، مس و منیزیم در گیاه می‌شود (Naz *et al.*, 2013; Guerra *et al.*, 2011)، محدودیت تعیین شده برای این فلز در خاک، ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شده است. اما میانگین غلظت پیدا شده آن در

Archive of SID

www.SID.ir

خاک‌ها بین ۵،۰۰۰،۰۰۰-۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین غلظت عنصر روی برای گیاهان حساس ۲۰۰-۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Guerra *et al.*, 2011).

با توجه به توسعه صنعت، خطرات زیست محیطی و آلودگی روز افزون فلزات سنگین از جمله روی، لزوم پاک‌سازی این عناصر از محیط زیست اهمیت خاصی دارد. به این دلیل متخصصان همواره به دنبال راهی مناسب برای کاهش آثار این آلاینده‌ها در محیط هستند. یکی از مناسب‌ترین، کاربردی‌ترین و ارزان‌ترین روش‌ها در این زمینه پالایش سبز است که با کمترین دست خوردگی خاک قابل انجام است. این روش به‌دلیل طبیعی بودن با محیط‌زیست سازگار بوده، اثرات جانبی خاصی ندارد و موجب کاهش آلودگی محیط توسط گیاهان می‌شود. در واقع توانایی بالای برخی گونه‌ها در جذب عناصر و ترکیب‌های آلوده‌کننده، می‌تواند به‌عنوان فیلترهای زیستی نقش مهمی در حذف و پاک‌سازی محیط‌های آلوده فراهم کند و کمک شایانی به مدیریت طرح‌های پالایش سبز در مناطق آلوده نماید (خرمن‌دار، ۱۳۹۲). در این رابطه گونه‌های مختلفی توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است که می‌توان به نتایج زیر اشاره کرد:

Kherbani و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تاثیر فلز روی و میزان تجمع آن در گونه گیاهی به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت روی، روند کاهشی در طول ریشه این گونه وجود دارد، به طوری که از ۲۰٫۹۵ در نمونه شاهد به ۱۹٫۱۴ در بالاترین غلظت رسید. اما این کاهش حتی در بالاترین غلظت (۴،۰۰۰ mg/kg) در مقایسه با شاهد چشمگیر نبود. وزن خشک برگ و ریشه گیاه نیز در غلظت‌های پایین عنصر روی افزایش داشتند، اما در بالاترین غلظت، آنها شاهد کاهش بیشتر وزن خشک ریشه در مقابل وزن خشک برگ و وزن خشک کل گیاه بودند. همچنین بیشترین میزان تجمع روی در بالاترین غلظت در ریشه‌ها برآورد شد که میزان آن ۱۵ برابر بیشتر از میزان تجمع در برگ‌ها بود.

Tito و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه اثر فلز روی در گونه *Carmbe* ملاحظه کردند که در بالاترین غلظت (۵۰ mg/kg) طول گیاه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. اما وزن خشک برگ، ساقه و ریشه در مقایسه با شاهد کاهش یافتند و این کاهش در وزن خشک ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی گیاه بود. آنها بیان کردند که تاثیر فلز روی در ریشه گیاه نسبت به سایر بخش‌های گیاه بیشتر است. Naz و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثر سمیت و میزان جذب عنصر روی در گونه *Portulaca oleracea* دریافتند که صفت‌های مورد بررسی در غلظت بالای روی (۷۰۰ ppm) در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری دارند. در این غلظت تعداد برگ، قطر یقه، ارتفاع، وزن تر و خشک ریشه و ساقه کاهش یافته بودند و این کاهش در صفات ارزیابی شده ریشه بیشتر از ساقه برآورد شد. همچنین میزان تجمع کل عنصر روی در گیاه mg/kg ۱۳۸ به‌دست آمد.

Gonzalez و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه تاثیر فلز روی به این نتیجه رسیدند که در تمام غلظت‌های مورد بررسی به جز بالاترین غلظت (۳۰۰ Mμ)، فلز روی تاثیر مثبتی در ارتفاع و وزن خشک گیاه داشت و حتی در بالاترین غلظت، این دو صفت (ارتفاع و وزن خشک گیاه) علی‌رغم کاهش نسبت به تیمارهای قبلی، در مقایسه با نمونه شاهد افزایش داشتند. اما نسبت وزن خشک ساقه به ریشه و میزان کلروفیل در بالاترین غلظت کاهش چشمگیری نسبت به نمونه شاهد داشت، چرا که وزن خشک ریشه در مقایسه با وزن خشک ساقه گیاه بیشتر تحت تاثیر فلز روی قرار گرفت و کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل در غلظت بالا، نشان‌دهنده تاثیر فلز روی در سنتز کلروفیل بود که منجر به تغییر در فعالیت آنزیم‌ها گردید. همچنین میزان تجمع روی در بالاترین غلظت، در ریشه‌ها ۷٫۳ برابر میزان تجمع در ساقه‌های گیاه بود.

Archive of SID

www.SID.ir

Cui و Zhao (۲۰۱۱) در بررسی اثر سمیت فلز روی و میزان جذب این فلز در گونه *Zea mays* ملاحظه کردند که غلظت پایین روی باعث آسیب به گیاه نشد، اما در غلظت بالا (۱،۰۰۰ mg/kg) کاهش معنی‌داری در وزن خشک ساقه و میزان کلروفیل گیاه در مقایسه با شاهد حاصل شد. آنها بیان کردند که روی در غلظت پایین یک عنصر ضروری برای گیاه است، اما غلظت بالای آن منجر به کاهش خصوصیات رویشی و آسیب رساندن به گیاه می‌گردد. همچنین در بالاترین غلظت مورد مطالعه، میزان تجمع فلز روی در گیاه ۴۳۷٫۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم تخمین زده شد. Sagardoy و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی اثر فلز روی و توانایی تجمع آن دریافتند که در غلظت بالای روی (۳۰۰ Mμ) کاهش معنی‌داری در وزن تر و خشک ریشه، ساقه و سطح برگ در مقایسه با شاهد وجود دارد. آنها علت این مسئله را مسدود شدن عناصر در آوند چوبی گیاه عنوان کردند که منجر به کاهش محتوای آب برگ‌ها و زیتوده ریشه شده است. میزان تجمع روی نیز در ساقه ۵٫۸ برابر ریشه‌ها تخمین زده شد که نشان‌دهنده توانایی این گونه در انتقال روی از ریشه به اندام هوایی است.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان عنوان کرد، سمیت ناشی از غلظت‌های بالای عنصر روی از یک‌سو و ضرورت وجود مقدار لازم آن برای رشد گیاه از سوی دیگر نشان‌دهنده اهمیت شناخت علایم مسمومیت این عنصر در گیاه در غلظت‌های مختلف آن می‌باشد.

به علاوه مطالعه اثرات فلز روی بر صفت‌های مختلف مورفولوژی، فیزیولوژی و آستانه تحمل گیاهان نسبت به غلظت‌های مختلف آن می‌تواند در بهبود کیفیت گیاهان و افزایش بازده پالایش سبز موثر باشد. در بین گونه‌های گیاهی مختلف خانواده لگومینوز جهت استفاده در کاهش آلودگی فلزات سنگین بیش از دیگر خانواده‌ها مورد توجه هستند. علت این امر مربوط به سیستم ریشه‌ای گسترده و قابلیت تثبیت نیتروژن خاک در آنها است که قادر به تجمع مقدار قابل توجهی از فلزات سنگین در بافت‌های خود هستند. از طرفی با توجه به نیاز روز افزون فضای سبز لازم است که تحقیقی جامع بر روی گونه‌های مقاوم این خانواده از جمله گونه‌های مناطق خشک و بیابانی و نقش آنها در جذب عناصر سنگین انجام شود. درختچه بیابانی *A. victoriae* یکی از این گونه‌ها است که دارای ظرفیت بالایی در سازگاری با شرایط سخت محیطی، تثبیت اراضی شنی، ایجاد نوار جنگلی، قابلیت اصلاح در روند خاک، توسعه فضای سبز برون شهری به‌خصوص شهرک‌های صنعتی، احیا اراضی و مقابله با بیابان‌زایی دارد، زیرا این گونه به حداکثر دما، چرای دام و آتش‌سوزی مقاومت بسیار بالایی دارد (خرمن‌دار، ۱۳۹۲). به همین جهت هدف از این پژوهش، بررسی اثر غلظت‌های مختلف فلز روی بر برخی از صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی نهال‌های یک‌ساله *A. victoriae* است. همان‌طور که عنوان شد، وجود فلزات سنگین در خاک می‌تواند بسیاری از پارامترهای مربوط به رشد و نمو گیاهان را تحت تاثیر قرار دهد و از طرفی درک رفتارهای مورفولوژی و فیزیولوژی گونه‌ها در برابر فلزات سنگین امکان معرفی گونه‌های مقاوم به این فلزات را مهیا می‌کند. همچنین هدف دیگر این پژوهش، بررسی توانایی این گونه بیابانی در تجمع فلز روی در قسمت‌های مختلف آن بود تا در صورت حصول نتایج مطلوب به‌عنوان گونه مناسب جهت پالایش خاک‌های آلوده به فلز روی در اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، طراحی فضای سبز برون شهری و ایجاد کمربندهای سبز در اطراف بزرگراه‌ها که در معرض آلودگی با فلز روی هستند، پیشنهاد گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

این پژوهش با ۱۲ نهال یک‌ساله *A. victoriae* که در گلدان‌هایی پلاستیکی به طول ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۱۵ سانتی‌متر به نسبت ۲:۱:۱ (کود حیوانی خشک‌شده، ماسه و خاک) انجام گرفت. بدین صورت که گلدان‌ها در چهار غلظت ۰، ۵۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی به مدت ۴۵ روز، به صورت یک طرح کاملا تصادفی و در سه تکرار تحت تیمار قرار گرفتند تا اثر غلظت‌های مختلف فلز روی در برخی از صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی و همچنین میزان جذب در اندام‌های مختلف نهال‌ها مورد بررسی قرار گیرد. از آنجایی که سن نهال‌ها یکسان بود، سعی شد تا نهال‌هایی که کمترین اختلاف بین آنها وجود داشت، به‌منظور اعمال تیمار انتخاب شوند. آبیاری گلدان‌ها نیز به نحوی بود که هیچ آبی از زیر گلدان‌ها خارج نگردد (بر مبنای ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک). نمونه‌های شاهد (غلظت صفر) نیز طی این مدت فقط با آب، آبیاری شدند و هیچ فلزی به آنها اضافه نشد. پس از پایان دوره اعمال تیمار برخی از صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه، طول ریشه، ساقه و کل گیاه، قطر یقه، سطح برگ، تعداد برگ، وزن تر و خشک بخش‌های مختلف گیاه، ارزش تحمل، میزان مهار رشد (Mahdavi & Khermandar, 2018) و مقدار کلروفیل a، b و کل (Mahdavi *et al*., 2014) اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه آون خشک شدند و سنجش میزان فلز روی در برگ، ساقه و ریشه گیاه با استفاده از دستگاه جذب اتمی صورت گرفت.

بدین صورت که ۰/۱ گرم نمونه پودر شده از نمونه‌های گیاهی با روش اکسیداسیون تر به نسبت ۱:۲:۸ با اسید نیتریک ۶۵ درصد، اسید سولفوریک غلیظ و اسید پر کلریدریک هضم شدند. در نهایت میزان جذب روی در بخش‌های مختلف (برگ، ساقه و ریشه) این گونه در سه تکرار با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل CTA-2000 AAS) اندازه‌گیری شدند (Moreira *et al*., 2011). پس از اندازه‌گیری میزان جذب روی، برخی از ضرایب و فاکتورهای رایج در پالایش سبز آلاینده‌ها شامل فاکتور انتقال (Khermandar *et al*., 2016)، شاخص جذب و ضریب غنی‌سازی (خرمن‌دار، ۱۳۹۲) و ضریب تجمع زیستی ریشه و اندام‌های هوایی (Khermandar *et al*., 2016) محاسبه شدند تا با کمک آنها پتانسیل و مکانیسم مقابله با عنصر روی در گونه *A. victoriae* ارزیابی شود. تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از این پژوهش نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. بدین صورت که از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه ANOVA استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

جدول ۱. نتایج آنالیز ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان

اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds/m)	سدیم (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	کربن آلی (%)	ماده آلی (%)	نیتروژن کل (%)	بافت خاک	رس (%)	شن (%)	سیلت (%)
۷/۲	۳/۵۹	۱۲	۴۲	۱/۴۴	۲/۴۸	۰/۱۶۴	سیلت- لومی	۵	۴۱	۵۴

تعیین مقدار کلروفیل: میزان کلروفیل در *A. victoriae* بر اساس وزن تر برگ محاسبه شد. بدین صورت که ۱۰۰ میلی‌گرم از برگ تازه در ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد ساییده شد. سپس در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۳،۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. در نهایت ۱ میلی‌لیتر از سطح محلول برداشته شد و با ۴ میلی‌لیتر

Archive of SID

www.SID.ir

استن ۸۰ درصد به حجم رسانده شد. پس از آن، جذب نوری محلول توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت و میزان کلروفیل a، b و کل محاسبه شد (Mahdavi *et al*., 2014).

شاخص‌ها، ضرایب و فاکتورها

۱۰۰× طول ریشه تیمار شاهد/ طول ریشه تیمار تحت تنش با فلز روی= شاخص ارزش تحمل

^{2}(وزن خشک بافت شاهد)/وزن خشک بافت تحت تیمار با فلز روی- وزن خشک بافت شاهد= شاخص میزان مهار رشد

غلظت روی در اندام زیرزمینی/ غلظت روی در اندام‌های هوایی= فاکتور انتقال

وزن خشک گیاه× غلظت روی در اندام‌های هوایی گیاه= شاخص جذب

غلظت روی در اندام‌هوایی گیاه/ غلظت روی در خاک= ضریب غنی سازی

غلظت روی در خاک/ غلظت روی در ریشه‌های گیاه= ضریب تجمع زیستی ریشه

غلظت روی در خاک/ غلظت روی در اندام‌های هوایی گیاه= ضریب تجمع زیستی هوایی

نتایج

صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی ارزیابی شده *A. victoriae* تحت تاثیر فلز روی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس فلز روی مشخص کرد که صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی مورد بررسی (طول ریشه، ساقه و کل گیاه، قطر یقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، ساقه، ریشه و کل گیاه، ارزش تحمل، شاخص میزان مهار رشد، کلروفیل a، b و کل) در سطح احتمال ۱ درصد ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار بودند.

نتایج مقایسه میانگین صفت‌های ارزیابی شده فلز روی (جدول ۲) نشان داد که طول ساقه و کل گیاه در بین کلیه تیمارها (۵۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و تیمار شاهد داشتند. اما در ارتباط با طول ریشه و قطر یقه بین تیمارهای شاهد و دوم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

در تعداد برگ‌های گیاه نیز اختلاف معنی‌داری در تیمار چهارم با سایر تیمارها یافت شد. متوسط سطح برگ گیاه در کلیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. وزن تر ساقه و کل گیاه نیز در بین کلیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و تیمار شاهد داشت. اما متغیر وزن تر برگ در تیمار سوم و چهارم، اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد و دوم داشتند و وزن تر ریشه نیز در تیمار چهارم با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. وزن خشک برگ و ساقه در تیمار چهارم اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشتند، اما وزن خشک ریشه و کل گیاه در تیمارهای سوم و چهارم با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. شاخص تحمل گیاه در تیمارهای دوم، سوم و چهارم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و تیمار شاهد داشتند.

شاخص مهار رشد گیاه نیز در تیمارهای سوم و چهارم با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. کاهش شاخص تحمل و افزایش شاخص مهار رشد گیاه در غلظت بالای فلز روی نشان‌دهنده اثر منفی غلظت زیاد روی در مقاومت گونه بوده است. میزان کلروفیل b و کل گیاه در تیمارهای سوم و چهارم با تیمار شاهد و دوم اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین میزان کلروفیل a در تیمار چهارم با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های صفت‌های ارزیابی شده[1] در بررسی مقدار جذب سولفات روی توسط *A. victoriae* (تیمارها برحسب میلی‌گرم بر لیتر)

تیمار	صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی ارزیابی شده[2]									
	$RL^{(cm)}$	$SL^{(cm)}$	$PL^{(cm)}$	$D^{(mm)}$	LN	$LA^{(cm2)}$	$LMW^{(gr)}$	$SMW^{(gr)}$	$RMW^{(gr)}$	$TMW^{(gr)}$
شاهد	۳۵٫۰۰ ±۲٫۰۰^{a}	۳۵٫۰۰ ±۱٫۰۰^{a}	۷۰٫۰۰ ±۲٫۶۴^{a}	۵٫۱۶ ±۰٫۰۵^{a}	۱۲۵٫۰۰ ±۳٫۶۰^{a}	۲٫۷۰ ±۰٫۲۶^{a}	۲٫۸۶ ±۰٫۲۴^{a}	۳٫۱۵ ±۰٫۰۵^{a}	۴٫۱۲ ±۰٫۲۷^{a}	۱۰٫۱۳ ±۰٫۵۰^{a}
۵۰	۳۷٫۰۰ ±۱٫۰۰^{a}	۳۸٫۰۰ ±۱٫۰۰^{b}	۷۵٫۰۰ ±۱٫۰۰^{b}	۵٫۲۴ ±۰٫۰۶^{a}	۱۲۳٫۰۰ ±۱٫۰۰^{a}	۲٫۱۰ ±۰٫۲۰^{b}	۲٫۹۵ ±۰٫۱۶^{a}	۳٫۵۸ ±۰٫۱۸^{b}	۴٫۳۸ ±۰٫۵۵^{a}	۱۰٫۹۱ ±۰٫۳۳^{b}
۲۵۰	۴۲٫۰۰ ±۱٫۰۰^{b}	۴۲٫۰۰ ±۱٫۰۰^{c}	۸۴٫۰۰ ±۲٫۰۰^{c}	۵٫۶۰ ±۰٫۱۲^{b}	۱۲۰٫۰۰ ±۳٫۴۶^{a}	۱٫۸۴ ±۰٫۱۲^{b}	۳٫۴۵ ±۰٫۱۷^{b}	۳٫۹۷ ±۰٫۱۲^{c}	۴٫۵۴ ±۰٫۲۳^{a}	۱۱٫۹۶ ±۰٫۲۶^{c}
۵۰۰	۳۰٫۰۰ ±۱٫۰۰^{c}	۳۰٫۰۰ ±۱٫۰۰^{d}	۶۰٫۰۰ ±۱٫۷۳^{d}	۴٫۴۰ ±۰٫۲۲^{c}	۱۱۴٫۰۰ ±۲٫۶۴^{b}	۱٫۳۰ ±۰٫۱۰^{c}	۱٫۹۸ ±۰٫۲۶^{c}	۲٫۱۴ ±۰٫۱۹^{d}	۲٫۹۰ ±۰٫۲۳^{b}	۷٫۰۲ ±۰٫۲۰^{d}

تیمار	صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی ارزیابی شده[2]								
	$LDW^{(gr)}$	$SDW^{(gr)}$	$RDW^{(gr)}$	$TDW^{(gr)}$	$TI^{(\%)}$	GGI	Col $a^{(mg/g)}$	Col $b^{(mg/g)}$	Col $T^{(mg/g)}$
شاهد	۱٫۹۲ ±۰٫۱۸^{a}	۲٫۱۸ ±۰٫۲۱^{a}	۳٫۱۹ ±۰٫۲۵^{a}	۷٫۲۹ ±۰٫۳۱^{a}	۱۰۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۴۹ ±۰٫۰۳^{a}	۱٫۴۰ ±۰٫۱۰^{a}	۱٫۸۹ ±۰٫۱۲^{a}
۵۰	۲٫۲۵ ±۰٫۳۹^{a}	۲٫۳۹ ±۰٫۱۲^{a}	۳٫۲۹ ±۰٫۱۹^{ab}	۷٫۹۳ ±۰٫۳۷^{ab}	۱۰۵٫۷۳ ±۲٫۸۵^{b}	−۰٫۰۱ ±۰٫۰۱^{ab}	۰٫۵۱ ±۰٫۰۳^{a}	۱٫۶۰ ±۰٫۱۰^{a}	۲٫۱۱ ±۰٫۱۲^{a}
۲۵۰	۲٫۳۳ ±۰٫۱۵^{a}	۲٫۵۲ ±۰٫۳۴^{a}	۳٫۶۵ ±۰٫۲۸^{b}	۸٫۵۰ ±۰٫۶۱^{b}	۱۲۰٫۰۰ ±۲٫۹۰^{c}	−۰٫۰۲ ±۰٫۰۱^{b}	۰٫۶۰ ±۰٫۱۱^{a}	۱٫۹۰ ±۰٫۲۶^{b}	۲٫۵۰ ±۰٫۳۶^{b}
۵۰۰	۱٫۳۴ ±۰٫۲۱^{b}	۱٫۶۱ ±۰٫۳۷^{b}	۲٫۴۰ ±۰٫۱۸^{c}	۵٫۳۵ ±۰٫۵۲^{c}	۸۵٫۷۳ ±۲٫۸۵^{d}	۰٫۰۴ ±۰٫۰۱^{c}	۰٫۳۱ ±۰٫۰۲^{b}	۱٫۰۰ ±۰٫۰۸^{c}	۱٫۳۰ ±۰٫۱۰^{c}

[1] طول ریشه (RL)، طول ساقه (SL)، طول کل گیاه (PL)، قطر یقه (D)، تعداد برگ (LN)، سطح برگ (LA)، 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 میزان مهار رشد (GGI)، کلروفیل a (Cola)، کلروفیل b (Col b) و کلروفیل کل (Col T).

[2] وجود یک حرف مشترک عدم‌اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح ۵ درصد است.

متغیرهای جذب ارزیابی شده *A. victoriae* تحت تاثیر فلز روی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس فلز روی مشخص کرد که متغیرهای جذب (مقدار جذب در گیاه، فاکتور انتقال، شاخص جذب، ضریب غنی‌سازی، ضریب تجمع زیستی زیرزمینی و هوایی) در سطح احتمال ۱ درصد ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار بودند.

نتایج مقایسه میانگین‌های متغیرهای جذب فلز روی (جدول ۳) نشان داد مقدار جذب روی در برگ و ساقه‌ها در کلیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و تیمار شاهد داشتند. اما مقدار جذب در ریشه‌ها در بین تیمارهای شاهد و دوم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در این پژوهش با افزایش غلظت روی میزان جذب در بخش‌های برگ، ساقه و ریشه به صورت خطی افزایش یافت و حداکثر میزان جذب در تیمار چهارم رخ داد. افزایش چند برابری میزان جذب فلز روی در ریشه، نسبت به برگ و ساقه در تیمار چهارم نشان‌دهنده تجمع غالب روی در ریشه نسبت به برگ و ساقه بوده است و میزان جذب روی به‌ترتیب شامل افزایش ریشه، ساقه و برگ می‌شود. نسبت غلظت ساقه و برگ به ریشه در تیمارهای دوم و سوم اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند و با افزایش غلظت روی روند کاهشی هر دو نسبت حاصل شد. اما نسبت غلظت برگ به ساقه در بین کلیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. فاکتور انتقال نیز در تیمارهای دوم و سوم اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشت و با افزایش غلظت فلز روی روند کاهشی این فاکتور ملاحظه شد.

بر اساس نتایج، میانگین این فاکتور کوچک‌تر از یک بود (۰٫۷ mg/kg) که نشان‌دهنده تجمع بیشتر فلز روی در ریشه‌ها است. شاخص جذب نیز در بین کلیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند. این شاخص نشان‌دهنده تاثیر مقدار جذب روی بر زیتوده گیاه است. کاهش در تیمار چهارم نسبت به تیمار سوم تاثیر منفی‌دار غلظت بالای روی بر میزان زیتوده گیاه است که با کاهش آن میزان شاخص جذب کاهش یافت. ضریب غنی‌سازی نیز در بین کلیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و تیمار شاهد داشتند. نتایج حاصل از ضریب تجمع‌زیستی ریشه و اندام هوایی مشخص کرد که هر دو ضریب در

Archive of SID

www.SID.ir

بین کلیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشته و با افزایش غلظت روی روند کاهشی ضریب تجمع اندام هوایی ملاحظه شد. اما ضریب تجمع ریشه روند افزایشی داشت که نشان‌دهنده افزایش تجمع در ریشه با افزایش غلظت فلز روی بوده است.

همچنین هر دو ضریب بزرگ‌تر از یک بودند و میانگین تجمع زیستی ریشه بیشتر از میانگین اندام هوایی آن برآورد شد که تاییدکننده تجمع بیشتر روی در ریشه‌های این گونه است (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های[1] مقدار جذب سولفات روی توسط *A. victoriae* (تیمارها برحسب میلی‌گرم بر لیتر)

تیمار	عوامل ارزیابی شده[2]					
	Leaf(mg/kg)	Stem(mg/kg)	Root(mg/kg)	S/R(mg/kg)	L/R(mg/kg)	L/S(mg/kg)
شاهد	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}
۵۰	۱۹۰٫۶۰ ±۳۴٫۹۲^{b}	۲۷۳٫۴۰ ±۴۸٫۳۰^{b}	۳۴۹٫۱۰ ±۳۶٫۸۷^{a}	۰٫۷۹ ±۰٫۲۰^{b}	۰٫۵۵ ±۰٫۱۴^{b}	۰٫۷۰ ±۰٫۰۱^{b}
۲۵۰	۳۹۴٫۸۰ ±۲۸٫۰۱^{c}	۴۹۰٫۶۰ ±۴۳٫۷۴^{c}	۱۸۲۲٫۲۰ ±۳۷٫۵۳^{b}	۰٫۲۷ ±۰٫۰۲^{c}	۰٫۲۲ ±۰٫۰۲^{c}	۰٫۸۱ ±۰٫۱۲^{c}
۵۰۰	۴۸۸٫۳۵ ±۳۱٫۹۰^{d}	۷۹۷٫۹۰± ۴۴٫۳۳^{d}	۴۷۹۴٫۵۰± ۳۸۷٫۶۰^{c}	۰٫۱۷ ±۰٫۰۲^{ac}	۰٫۱۰ ±۰٫۰۱^{ac}	۰٫۶۱ ±۰٫۰۱^{b}

تیمار	عوامل ارزیابی شده[2]				
	TF(mg/kg)	UI(mg/kg)	EC	BCF_{root}	BCF_{air}
شاهد	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}	۰٫۰۰ ±۰٫۰۰^{a}
۵۰	۱٫۳۴ ±۰٫۳۳^{b}	۳۶۸۰٫۵۰ ±۷۰۲٫۱۰^{b}	۰٫۰۶ ±۰٫۰۱^{b}	۶٫۹۶ ±۰٫۷۵^{b}	۹٫۳۰ ±۱٫۷۰^{b}
۲۵۰	۰٫۴۹ ±۰٫۰۲^{c}	۷۵۱۷٫۰۰ ±۳۲۱٫۰۲^{c}	۰٫۰۹ ±۰٫۰۰^{c}	۷٫۲۷ ±۰٫۱۶^{b}	۳٫۵۳ ±۰٫۱۵^{c}
۵۰۰	۰٫۲۷ ±۰٫۰۴^{ac}	۶۸۴۳٫۴۰ ±۲۷۲٫۴۰^{c}	۰٫۰۸ ±۰٫۰۰^{d}	۹٫۵۸ ±۰٫۸۰^{c}	۲٫۵۷ ±۰٫۱۵^{c}

[1] 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)، فاکتور انتقال (TF)، شاخص جذب (UI)، ضریب غنی‌سازی (EC)، ضریب تجمع‌زیستی ریشه (BCF_{root}) و ضریب تجمع‌زیستی اندام هوایی (BCF_{air}).

[2] وجود یک حرف مشترک عدم اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح ۵ درصد است.

بحث و نتیجه‌گیری

تاثیر فلز روی بر صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی نهال‌های یک‌ساله *A. victoriae* نشان داد که عنصر روی در غلظت پایین (قبل از غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) تاثیر مثبتی در اکثر صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی مورد بررسی داشت.

رشد گیاهان در غلظت متوسط روی ممکن است به‌دلیل نیاز بیشتر آنها به این فلز باشد. به همین دلیل گیاهان در غلظت متوسط روی رشد می‌کنند (Gonzalez & Lobo, 2013). بنابراین متغیرهای رشد یک گیاه به شدت تحت تاثیر افزایش غلظت بالای عناصر سنگین هستند، به‌طوری که جلوگیری از رشد و کاهش زیتوده گیاه می‌تواند نشانه‌ای از عکس‌العمل گیاه به سمیت فلزات سنگین باشد. از همین رو متغیرهای رشد و زیتوده گیاه به‌عنوان عوامل تعیین‌کننده میزان سمیت در گیاه استفاده می‌شوند (Gonzalez & Lobo, 2013). افزایش صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی در غلظت پایین روی در این پژوهش با نتایج برخی محققان همخوانی دارد. به‌طوری که Zhi و همکاران (۲۰۱۵)؛ Jiang و همکاران (۲۰۱۴)؛ Naz و همکاران (۲۰۱۳)؛ El-Kafafi و Rizk (۲۰۱۳)؛ Ozdener و Aydin (۲۰۱۰)؛ Aydinalp و Marinova (۲۰۰۹)؛ Tang و همکاران (۲۰۰۹) و Jadiaو Fulekar (۲۰۰۸) نشان دادند که غلظت پایین فلز روی سبب افزایش طول ریشه گیاه می‌شود.

همچنین افزایش طول ساقه گیاه در غلظت پایین روی در این پژوهش با نتایج Zhi و همکاران (۲۰۱۵)؛ Al-Khateeb و Al-Qwasemeh (۲۰۱۴)؛ Naz و همکاران (۲۰۱۳)؛ Aydinalp و Marinova (۲۰۰۹)؛ Tang و همکاران (۲۰۰۹) و Jadia و Fulekar (۲۰۰۸) مطابقت دارد. محققانی از جمله Zhi و همکاران

Archive of SID

www.SID.ir

(۲۰۱۵)؛ Tito و همکاران (۲۰۱۴)؛ Naz و همکاران (۲۰۱۳)؛ Gonzalez و Lobo (۲۰۱۳)؛ Gonzalez و همکاران (۲۰۱۲) و Aydinalp و Marinova (۲۰۰۹) نیز گزارش دادند که غلظت پایین روی سبب افزایش ارتفاع کل گیاه می‌شود. افزایش قطر یقه در غلظت پایین روی نیز توسط Jiang و همکاران (۲۰۱۴) و Naz و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شد. همچنین Naz و همکاران (۲۰۱۳) و Ozdener و Aydin (۲۰۱۰) نشان دادند غلظت پایین فلز روی سبب افزایش وزن تر ریشه گیاه می‌گردد. افزایش وزن تر ساقه در غلظت پایین روی در این تحقیق با نتایج حاصل از Zhi و همکاران (۲۰۱۵) و Naz و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد. همچنین Al-Khateeb و l-QwasemehA (۲۰۱۴) و Jiang و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که غلظت پایین روی سبب افزایش وزن تر کل گیاه می‌گردد. افزایش وزن خشک ریشه در غلظت پایین فلز روی در این تحقیق با نتایج به‌دست آمده از Naz و همکاران (۲۰۱۳) و Jadia و Fulekar (۲۰۰۸) مطابقت دارد.

محققانی از جمله Naz و همکاران (۲۰۱۳)؛ Andrade و همکاران (۲۰۰۹) و Jadia و Fulekar (۲۰۰۸) دریافتند که غلظت پایین فلز روی سبب افزایش وزن خشک ساقه گیاه می‌گردد. افزایش وزن خشک کل گیاه در غلظت پایین روی در این پژوهش با نتایج Kherbani و همکاران (۲۰۱۵)؛ Jiang و همکاران (۲۰۱۴)؛ Gonzalez و Lobo (۲۰۱۳)؛ El-Kafafi و Rizk (۲۰۱۳) و Gonzalez و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد.

در نهایت افزایش کلروفیل a, b و کل در غلظت پایین روی در این تحقیق با نتایج حاصل از Gonzalez و Lobo (۲۰۱۳)؛ Moldovan و همکاران (۲۰۱۱)؛ Sagardoy و همکاران (۲۰۰۹)؛ Wang و همکاران (۲۰۰۹) و Tang و همکاران (۲۰۰۹) نشان داده شده است. البته غلظت بالای روی (غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) سبب کاهش این صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی شد.

بنابراین روی یک فلز ضروری برای گیاهان است، اما غلظت‌های بالای آن خصوصیات رویشی گیاه را کاهش داده و باعث آسیب به گیاه می‌شود. علت سمی بودن غلظت بالای روی ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه است (Moldovan *et al*., 2011). غلظت‌های بحرانی روی بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان و عملکرد آن تاثیر منفی دارد (El-Kafafi & Rizk, 2013) و برای گیاهان سمی است.

زیرا فلز روی موجب کلروز و نکروز شدن، آسیب به سیستم ریشه‌ای، جلوگیری از فتوسنتز و آسیب به نفوذپذیری غشای پلاسما در گیاهان مختلف می‌گردد (Al-Khateeb & Al-Qwasemeh, 2014). کاهش طول کل گیاه در غلظت بالای عنصر روی در *A. victoriae* ارتباط مستقیمی با برخی صفات اندازه‌گیری شده از جمله کاهش قطر یقه، ارزش تحمل (بر مبنای طول ریشه)، میزان مهار رشد گیاه (بر مبنای وزن خشک)، وزن تر و خشک گونه مورد مطالعه داشت. علت این امر، کاهش رشد گیاه در طول تنش با فلزات سنگین است که منجر به کاهش پتانسیل آبی، جلوگیری از جذب نیترات‌ها و تنش اکسیداتیو و به دنبال آن منجر به کاهش بیشتر رشد و وزن تر آنها می‌گردد.

کاهش در رشد همچنین می‌تواند منجر به ممانعت از نسبت رشد طولی سلول‌ها شود (Minakshi *et al*., 2012). از طرفی غلظت بالای عنصر روی زیتوده گیاه را کاهش می‌دهد، زیرا این فلز منجر به کمبود عناصر ماکرو مانند فسفر می‌شود (Naz *et al*., 2015). بنابراین کاهش وزن خشک گیاه تحت تاثیر فلزات سنگین می‌تواند منجر به آسیب در جذب و انتقال مواد مغذی و آب به قسمت‌های هوایی گیاه شود (Imtiyaz *et al*., 2014). کاهش رشد ریشه ممکن است در نتیجه لیگنینی شدن دیواره سلولی تحت تنش فلزات سنگین و یا تحت تاثیر

Archive of SID

www.SID.ir

مستقیم تنش مذکور بر هسته سلولی باشد (Dauda *et al*., 2009). نتایج حاصل از این پژوهش، همچنین کاهش برگ‌های سبز گیاه و کاهش بیشتر مقدار کلروفیل a نسبت به کلروفیل b در غلظت بالای فلز روی را نشان داد. در واقع نسبت کلروفیل a به b با سمیت روی کاهش می‌یابد و در این بین کلروفیل a بیشتر از کلروفیل b تحت تاثیر روی قرار می‌گیرد. جلوگیری از توسعه و رشد برگ‌ها می‌تواند بیشترین تاثیر را در شکستن کلروفیل و یا کاهش فتوسنتز گیاه داشته باشد و سمیت روی به‌دلیل مکانیسم‌های مختلف از فتوسنتز در گیاه ممانعت می‌کند (Sagardoy *et al*., 2010). البته در غلظت بالای روی تعداد برگ‌های سبز گیاه در مقایسه با نمونه شاهد کاهش بسیار اندکی داشتند که این امر می‌تواند مربوط به مقاوم بودن گونه مورد مطالعه باشد، چرا که در برخی از گونه‌های گیاهی، برگ‌های گیاه زمانی که تحت تاثیر فلز روی قرار می‌گیرند، ممکن است در غلظت بالای این فلز نیز همچنان سبز باقی بمانند. البته مقدار بالای فلز روی می‌تواند باعث کاهش و توقف رشد و به دنبال آن کمبود آهن و منیزیم در گیاه شود، در نتیجه برگ‌های آن کلروز می‌شوند (Sagardoy *et al*., 2010). از طرفی کاهش سطح برگ در غلظت بالای روی می‌تواند منجر به کاهش فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها، کاهش محتوای کلروفیل و ممانعت از فعالیت فتوسنتز در گیاه شود (Imtiyaz *et al*., 2014). کاهش سطح برگ گیاه در غلظت بالای فلز روی در این تحقیق با نتیجه Sagardoy و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد.

یکی از شایع‌ترین علایم ناشی از فلزات سنگین، تغییر رنگ و زردی برگ‌ها است. این تغییر در بسیاری از مطالعه‌ها به‌عنوان اولین علامت مسمومیت در برابر آنها در نظر گرفته می‌شود. Sagardoy و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که علایم سمیت عنصر روی زمانی که میزان آن در برگ‌ها به ۵۰۰–۴۰۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک برسد، در گیاه ظاهر می‌شود.

البته بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه تغییر رنگ، پژمردگی برگ، خمیدگی و شکنندگی ریشه در این گونه مشاهده نشد. پدیدار نشدن این تغییرات مورفولوژی که شایع‌ترین علایم سمیت فلزات سنگین هستند، می‌تواند پاسخ مقاومت گونه به سمیت روی باشد. همچنین در این پژوهش، غلظت بالای فلز روی در برگ‌های جوان آثاری از سمیت و لوله شدن برگ‌ها ملاحظه نشد که با نتیجه Gonzalez و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد.

در نهایت می‌توان بیان نمود که صفت‌های مورفولوژی و فیزیولوژی مورد بررسی در این گونه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر فلز روی قرار گرفتند. اما غلظت بالای این فلز سبب کاهش جزیی صفت‌های مورد بررسی شد و اختلال جدی در رشد درختچه بیابانی *A. victoriae* به وجود نیاورد که نشان‌دهنده مقاومت این گونه بیابانی به فلز روی است.

در بررسی توانایی نهال‌های یک‌ساله *A. victoriae* در جذب و انتقال فلز روی مشخص شد که با افزایش غلظت عنصر روی روند صعودی نرخ جذب روی در گونه مورد بررسی وجود دارد که بیانگر این واقعیت است که جذب روی به‌طور مستقیم به غلظت آن در محیط رشد ریشه وابسته بوده و با افزایش غلظت روی در محیط ریشه، مقدار جذب آن توسط این گونه بیابانی افزایش یافت. چون ریشه گیاه اولین قسمتی است که فلز سنگین را در خود تجمع داده و مقدار کمی از آن را به اندام هوایی منتقل می‌کند (Gonzalez & Lobo, 2013). حرکت فلز روی در گیاه وسیع نیست و محتوای این فلز در ریشه‌ها بیشتر از اندام‌های هوایی است، به خصوص اگر گیاه در خاک غنی از روی باشد (Tito *et al*., 2014). همچنین میزان جذب روی در اندام زیرزمینی گیاه به‌طور معنی‌داری بیشتر از اندام‌های هوایی است.

Archive of SID

www.SID.ir

البته برگ و ساقه نیز در میزان جذب روی تفاوت معنی‌داری داشتند. در واقع انباشتگی فلز روی در ریشه یکی از ساز و کارهای تحمل این گونه محسوب می‌شود که بخش زیادی از روی جذب شده متصل به دیواره باقی مانده و یا در واکویل‌های ریشه ذخیره شده است. تجمع بیشتر فلز در ریشه نسبت به اندام‌های هوایی نشان‌دهنده مکانیسم تحمل آن در برابر غلظت بالای فلز در خاک است (Brunetti *et al*., 2011).

بر این اساس می‌توان اذعان داشت که *A. victoriae* توانایی بالایی در جذب روی در ریشه‌ها نسبت به اندام‌های هوایی دارد. به طوری که در حدود ۸۰ درصد فلز روی در ریشه‌های این گونه تجمع یافت. بنابراین اختلاف زیاد غلظت فلز روی بین ریشه، ساقه و برگ یک گیاه نشان‌دهنده محدودیت انتقال روی از ریشه به اندام هوایی است. در نتیجه غلظت روی در ریشه‌های گیاه بالاتر از اندام هوایی آن است (Ali *et al*., 2012). محققانی از جمله Kherbani و همکاران (۲۰۱۵)؛ Janadeleh و همکاران (۲۰۱۶)؛ Naz و همکاران (۲۰۱۵)؛ Gonzalez و Lobo (۲۰۱۳)؛ Gonzalez و همکاران (۲۰۱۲)؛ Ali و همکاران (۲۰۱۲)؛ Al-Qahtani(۲۰۱۲)؛ Han و همکاران (۲۰۱۰)؛ Ozdener و Aydin (۲۰۱۰) و Andrade و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که جذب روی در ریشه‌ها نسبت به اندام‌های هوایی گیاه بیشتر است.

از طرفی آنچه در پالایش سبز مهم می‌باشد، فاکتور انتقال و ضریب تجمع زیستی گیاه است. چنانچه گونه گیاهی دارای فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک و ضریب تجمع زیستی بزرگ‌تر از یک باشد، آن گونه برای هدف تثبیت گیاهی و چنانچه فاکتور انتقال آن بزرگ‌تر از یک باشد برای هدف استخراج گیاهی (خروج کامل گیاه از خاک منطقه) در مناطق آلوده به آن فلز مناسب است (Israila *et al*., 2015). در این تحقیق میانگین فاکتور انتقال فلز روی کوچک‌تر از یک و ضریب تجمع زیستی آن بزرگ‌تر از یک برآورد شد.

بر این اساس افزایش غلظت فلز روی در اندام زیرزمینی را می‌توان به توانایی جذب بالای ریشه و ممانعت از انتقال روی به اندام‌های هوایی نسبت داد. همچنین کاهش ضریب غنی‌سازی نیز تاییدکننده این مطلب است که با افزایش غلظت فلز روی میزان کمتری از آن در اندام‌های هوایی این گونه تجمع یافته است.

با توجه به نتایج حاصله این گونه بیابانی به‌عنوان انباشت‌کننده روی در خاک‌های آلوده به این فلز به منزله گونه تثبیت گیاهی قابلیت کاربرد دارد که این استراتژی (تجمع بیشتر عنصر روی در ریشه) نشان‌دهنده سم‌زدایی و افزایش مقاومت گیاه به عنصر روی است. در مجموع بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که تاثیر افزایش غلظت فلز روی بر متغیرهای رشد گیاه متفاوت بود و گیاه به‌منظور سازگاری و تحمل بیشتر در برابر غلظت‌های مسموم‌کننده این فلز مبادرت به تجمع آن در ریشه کرده و از انتقال آن به اندام هوایی خود ممانعت ورزیده است. باقی ماندن فلزات در ریشه مطلوب است، زیرا این بخش به‌عنوان غذا یا خوراک دام استفاده نمی‌شود و در نتیجه سمیت فلز برای موجودات زنده کاهش می‌یابد.

بنابراین استفاده از گونه‌های مقاوم مناطق خشک و بیابانی مانند *A. victoriae* در کاهش آلودگی مناطق معدنی که به‌طور عمده در نواحی دور افتاده و بیابانی قرار دارند، موجب احیای اراضی تخریب شده و افزایش پوشش گیاهی خواهد شد.

از همین رو این گونه بیابانی به‌عنوان گونه مناسب جهت پالایش خاک‌ها در اکوسیستم‌های مناطق خشک و بیابانی، طراحی فضای سبز و ایجاد کمربندهای سبز در اطراف بزرگراه‌ها که در معرض آلودگی با فلز روی هستند، می‌تواند مورد استفاده و بهره‌برداری قرار گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

خرمن‌دار، خ. (۱۳۹۲) بررسی پتانسیل جذب آلاینده سرب توسط درختچه بیابانی آکاسیا ویکتوریا (*Acacia victoriae*). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی، دانشگاه ایلام، ۱۰۵صفحه.

Ali, H., Naseer, M. and Sajad, M.A. (2012) Phytoremediation of heavy metals by *Trifolium alexandrinum*. International Journal of Environmental Sciences, 2(3): 1459-1469.

Al-Khateeb, W. and Al-Qwasemeh, H. (2014) Cadmium, copper and zinc toxicity effects on growth, proline content and genetic stability of *Solanum nigrum* L., a crop wild relative for Tomato; comparative study. Physiology Mol Biology Plants, 20(1): 31–39.

Al-Qahtani, K.M. (2012) Assessment of heavy metals accumulation in native plant species from soils contaminated in Riyadh City, Saudi Arabia. Life Science Journal, 9(2): 384-392.

Andrade, S.A.L., Gratao, P.L., Schiavinato, M.A., Silveira, A.P.D., Azevedo, R.A. and Mazzafera, P. (2009) Zn uptake, physiological response and stress attenuation in mycorrhizal jack bean growing in soil with increasing Zn concentrations. Chemosphere, 75(10): 1363–1370.

Aydinalp, C. and Marinova, S. (2009) The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on Alfalfa plant (*Medicago sativa*). Bulgarian Journal of Agricultural Science, 15(4): 347-350.

Brunetti, G., Karam, F., Rovira, P.S., Nigro, F. and Sensi, N. (2011) Greenhouse and field studies on Cr, Cu, Pb and Zn phytoextraction by *Brassica napus* from contaminated soils in the apulia region Southern Italy. Geoderma, 160(3-4): 517-523.

Cui, Y. and Zhao, N. (2011) Oxidative stress and change in plant metabolism of Maize (*Zea mays* L.) growing in contaminated soil with elemental sulfur and toxic effect of zinc. Plant Soil Environ, 57(1): 34–39.

Dauda, K., Variatha, M.T., Shafaqat, A., Najeeba, U., Jamilb, M., Hayat, Y., Dawooda, M., Khand, M.I., Zaffar, M., Cheemad, S.A., Tonga, Z.H. and Zhua, S. (2009) Cadmium induced ultramorphological and physiological changes in leaves of two transgenic Cotton cultivars and their wild relative. Journal of Hazardous Materials, 168(2-3): 614-625.

El-Kafafi, E.S. and Rizk, A.H. (2013) Effects of cadmium and combined cadmium-zinc concentrations on rooting and nutrient uptake of *Cowpea* seedlings grown in hydroponic. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 13(8): 1050-1056.

Gonzalez, A. and Lobo, M.C. (2013) Growth of four varieties of Barley (*Hordeum vulgare* L.) in soils contaminated with heavy metals and their effects on some physiological traits. American Journal of Plant Sciences, 4(9): 1799-1810.

Gonzalez, A., Chumillas, V. and Lobo, M.C. (2012) Effect of Zn, Cd and Cr on growth, water status and chlorophyll content of Barley plants (*H. vulgare* L.). Agricultural Sciences, 4(3): 572-581.

Guerra, F., Gainza, F., Perez, R. and Zamudio, F. (2011) Phytoremediation of heavy metals using Poplars *(Populus spp*): A glimpse of the plant responses to copper, cadmium and zinc stress. In: I.A. Golubev (Ed.). Handbook of Phytoremediation, Nova Science Publisher: 387-413.

Han, S.H., Kim, D.H. and Lee, J.C. (2010) Cadmium and zinc interaction and phytoremediation potential of seven (*Salix caprea clones*). Journal of Ecology & Field Biology, 33(3): 245-251.

Imtiyaz, S., Agnihotri, R.K., Ahmad, S. and Sharma, R. (2014) Effect of cobalt and lead induced heavy metal stress on some physiological parameters in *Glycine max*. International Journal of Agriculture & Crop Sciences, 7(1): 26-34.

Israila, Y.Z., Bola, A.E., Emmanuel, G.C. and Ola, I.S. (2015) Phytoextraction of heavy metals by *Vetivera zizanioides, Cymbopogon citrates* and *Helianthus annuls*. American Journal of Applied Chemistry, 3(1): 1-5.

Jadia, C.D. and Fulekar, M.H. (2008) Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by *Sunflower* plant. Environmental Engineering & Management Journal, 7(5): 547-558.

Janadeleh, H., Alhashemi, A.H. and Nabavi, S.M.B. (2016) Investigation on concentration of elements in wetland sediments and aquatic plants. Global Journal of Environmental Sciences Management, 2(1): 87-93.

Archive of SID

www.SID.ir

Naz, A., Khan, S., Muhammad, S., Khalid, S., Alam, S., Siddique, S., Ahmed, T. and Scholz, M. (2015) Toxicity and bioaccumulation of heavy metals in Spinach (*Spinacia oleracea*) grown in a controlled environment. International Journal of Environmental Research Public Health, 12(7): 7400-7416.

Naz, A., Khan, S., Qasim, M., Khalid, S., Muhammad, S. and Tariq, M. (2013) Metals toxicity and its bioaccumulation in purslane seedlings grown in controlled environment. Natural Science, 5(5): 573-579.

Ozdener, Y. and Aydin, B.K. (2010) The effect of zinc on the growth and physiological and biochemical parameters in seedlings of *Eruca sativa* L. (Rocket). Acta Physiologiae Plantarum, 32(3): 469-476.

Sagardoy, R., Morales, F., Millan, A.F.L., Abadia, A. and Abadia, J. (2009) Effects of zinc toxicity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants grown in hydroponics. Plant Biology, 11(3): 339–350.

Sagardoy, R., Vazquez, S., Sarasa, I.D.F., Albacete, A., Carbo, M.R., Flexas, J., Abadia, J. and Morales, F. (2010) Stomatal and mesophyll conductances to CO_2 are the main limitations to photosynthesis in sugar beet (*Beta vulgaris*) plants grown with excess zinc. New Phytologist, 187(1): 145–158.

Tang, Y.T., Qiu, R.L., Zeng, X.W., Ying, R.R., Yu, F.M. and Zhou, X.Y. (2009) Lead, zinc, cadmium hyperaccumul- ation and growth stimulation in *Arabis paniculata* Franch. Environmental & Experimental Botany, 66(1): 126-134.

Tito, G.A., Chaves, L.H.G., Fernandes, J.D., Monteiro, D.R. and Devasconcelos, A.C.F. (2014) Effect of copper, zinc, cadmium and chromium in the growth of *Crambe*. Agricultural Sciences, 5(11): 975-983.

Wang, H., Liu, R.L. and Jin, J.Y. (2009) Effects of zinc and soil moisture on photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of *maize*. Biologia Plantarum, 53(1): 191–194.

Zhi, Y., Deng, Z., Luo, M., Ding, W., Hu, Y., Deng, J., Li, Y., Zhao, Y., Zhang, X., Wu, W. and Huang, B. (2015) Influence of heavy metals on seed germination and early seedling growth in *Eruca sativa Mill*. American Journal of Plant Sciences, 6(5): 582-590.

Jiang, W., Sun, X.H., Xu, H.L., Mantri, N. and Lu, H.F. (2014) Optimal concentration of zinc sulfate in foliar spray to alleviate salinity stress in *Glycine soja*. Journal of Agricultural Sciences & Technology, 16(2): 445-460.

Junaid, M., Adnan, M., Khan, N., Khan, N., Rahman, M.U. and Ali, N. (2013) Plant growth, biochemical characteristics and heavy metals contents of *Medicago sativa* L.*, Brassica jcea* L. *Czern.* and *Cicer arietinum* L. Fuuast Journal of Biology, 3(2): 95-103.

Kherbani, N., Abdi, N. and Lounici, H. (2015) Effect of cadmium and zinc on growing *Barley*. Journal of Environmental Protection, 6(2): 160-172.

Khermandar, K.H., Mahdavi, A. and Ahmady-Asbchin, S. (2016) Differential expression of Lead accumulation during two growing seasons by desert shrub *Acacia victoriae* L. Desert, 21(2): 143-154.

Mahdavi, A. and Khermandar, K.H. (2018) Potential of lead and cadmium accumulation in *Washingtonia filifera*. Iranian Journal of Science Technology Transaction A: Science, 42(1): 273-282.

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

Minakshi, D., Singh, A.K., Singh, V.P., Mishra, P.K. and Singh, S.K. (2012) Studies on different concentration of lead (Pb) and cadmium (Cd) on growth and accumulation in different parts of Tulsi (*Ocimum tenuifolium* L.). International Journal of Environmental Sciences, 2(3): 1733-1741.

Moldovan, C., Crainiceanu, E., Hadaruga, N.G., Dumbrava, D.G., Druga, M., Popa, M., Druga, M. and Radoi, B. (2011) Content evaluation of some vegetal pigments of wheat shoots obtained by germination consecutive to zinc treatment. Romanian Journal of Food Science, 1(1): 74–80.

Moreira, H., Marques, A.P.G.C., Rangel, A.O.S.S. and Castro, P.M.L. (2011) Heavy metal accumulation in plant species indigenous to a contaminated Portuguese site: Prospects for phytoremediation. Water Air Soil Pollution, 221(14): 377–389.

Archive of SID

www.SID.ir

Zinc Phytoremediation by Desert Shrub *Acacia victoriae* Benth.

Khadijeh Khermandar[1]* and Ali Mahdavi[2]

1) Ph.D. Candidate in Desert Management and Control, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. *Corresponding Author Email Address: khermandar625@yahoo.com
2) Associated Professor, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture & Natural Resources Ilam University, Ilam, Iran.

Date of submission: 2017/07/27 Date of Acceptance: 2018/02/03

Abstract

In this study was purposed to investigate the absorption of zinc by *Acacia victoriae*. The one year old shrubs were randomly selected in 3 replications and exposed by Zinc-sulfate in four concentration (0, 50, 250, 500 mg/l). Some of the morphological and physiological properties such as plant height, collar diameter, leaf number and area, green and dry weight of plant, tolerance index, grade of growth inhibition and chlorophyll content as well as bioaccumulations of Zn in different plant tissues were evaluated. Results showed that the properties were significantly affected by Zn. However, the effect of high concentration of Zn slight had as well as tree on effects series any have didn't that ,properties the in decreasethe signs of toxicity with zinc,addition In .observed not was the amounts of accumulation of Zn in the roots were higher than above-ground tissues, so that about 80% of Zn (4794.5 mg/kg), more than 13% of Zn (797.9 mg/kg), and about 7% of Zn (488.35 mg/kg) were accumulated in the root tissues, the stem tissues, and the leaves, respectively. The bioaccumulation and transfer factors were also measured to higher one and lower one, respectively. Generally, the result demonstrated that the *Acacia victoriae* could be affected as a phytoremediation in reduction of soil pollution to Zn.

Keywords: Heavy metals, Phytoremediation, Pollution, Tolerance index, Zinc.

Archive of SID

www.SID.ir