Archive of SID

ارزیابی قدرت جذب و اندوزش گیاه یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) در خاکهای آلوده به کادمیوم

مرتضی محمدی [۱*]، داوود حبیبی [۲]، محمدرضا اردکانی [۳] و احمد اصغرزاده [٤]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج؛ m_mohammadi.kiau@yahoo.com

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۳- استاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

٤- استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب ایران

چکیده

آلودگی خاک به فلزات سنگین مشکل عمده زیست محیطی محسوب می‌شود. بنابراین آگاهی در مورد آلاینده‌های خاک و ارائه راهکارها مناسب جهت پالایش، ضرورتی انکار ناپذیر است. پالایش زیستی با مشارکت گیاهی نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت داشته و منجر به افزایش کارایی پالایش زیستی می‌گردد. تحقیق حاضر به منظور بررسی سطوح مختلف فلز سنگین کادمیوم [۸۰-۴۰-۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک $CdCl_2$] بر میزان جذب کادمیوم در ریشه و اندام هوایی گیاه یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) صورت پذیرفت. بدین منظور آزمایشی در سال ۱۳۸۸ در محل گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، جذب و تجمع کادمیوم در اندام هوایی و ریشه‌ی گونه مورد مطالعه افزایش یافت. میزان فاکتور انتقال (TF) ، استخراج گیاهی (AF) ، ضریب استخراج کادمیوم (EC) نشان داد که گونه مورد مطالعه از توانایی بالایی در انتقال عنصر کادمیوم به اندام هوایی برخوردار است.

واژه های کلیدی: کادمیوم ، گیاه پالایی ، یونجه یکساله ، جذب و پالایش.

مقدمه

آلودگی خاکهای ایران به کادمیوم توسط محققین مختلفی از جمله: آلودگی اراضی جنوب تهران (ترابیان و مهجوری ، ۱۳۸۱)، خاکهای شهرهای رشت، لاهیجان، اصفهان و لنگرود (واثقی و همکاران ، ۱۳۸۲)، مناطقی در گیلان، زنجان، اصفهان چهارمحال و بختیاری (عباسپور و همکاران ، ۱۳۸٤) و منطقه مازندران (بهمنیار و شهابی ، ۱۳۸٤) گزارش شده است. اصطلاح فلزات سنگین در مورد عناصری به کار برده می‌شود که جرم مخصوص آنها بیش از ۵ گرم بر سانتیمتر مکعب باشد (Page,1985). فلزات سنگین از جمله آلوده کننده‌های محیط زیست هستند بدین مفهوم که می‌توانند تغییرات نامطلوب و پیش‌بینی نشده‌ای را در محیط زیست بوجود آورند که

۱- آدرس نویسنده مسئول: دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت.

* دریافت: ۸۹/۵/۱۸ و پذیرش: ۸۹/۷/۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

باعث اختلال در روند عادی چرخه‌ی حیات می‌شود. نیمه عمر متوسط بیولوژیک کادمیوم ۱۸ سال در محیط زیست و ۱۰ سال در بدن انسان گزارش شده است (Salt et al.,1995). این عناصر با ورود به زنجیره ی غذایی ، در بدن انسان و حیوانات تجمع یافته و ممکن است ایجاد خسارت به DNA و اثرات سرطان زایی به وسیله‌ی توانایی ایجاد جهش شوند (Knasmuller et al.,1998). علت سمی بودن کادمیوم احتمال دارد به دلیل میل شدید آن به گروه تیول (SH-) در آنزیم‌ها و دیگر پروتئین‌ها باشد بنابراین وجود کادمیوم فعالیت آنزیم‌ها را مختل می‌کند، مقدار زیاد آن سبب صدمه به لوله های موئین کلیه و موجب بیماری Rhinitis (تورم غشاء مخاطی بینی)، Emphysema (بیماری مزمن ریوی) که در آن کیسه‌هایی هوایی به شدت کشیده و بزرگ می‌شوند، نکروز کبدی، بیماری‌های قلبی و عروقی و درد شکم می‌شود (سالاردینی و مجتهدی ، ۱۳۷۱). عمده‌ترین منابع پخش کادمیوم در محیط زیست، معادن سنگ فسفات، منابع فولاد، ذوب آهن، معادن روی، مس، سرب، زغال سنگ، صنایع آبکاری ، تولید لامپ ، سموم حشره کش و فاضلاب‌ها هستند. منبع اصلی آلودگی به کادمیوم خاکهای زراعی مصرف کودهای فسفری دارای غلظت زیاد کادمیوم می‌باشد. در گیاه پالایی انتخاب گونه گیاهی از اهمیت خاصی برخوردار است. گیاهان متنوعی به خاطر توانمندی‌های بالا در تسهیل گیاه پالایی مناطق آلوده مورد توجه قرار گرفته‌اند . در اکثر مطالعات علف‌های چمنی و بقولات در کاهش آلودگی‌ها بیش از دیگر گیاهان مورد توجه بوده‌اند بقولات به خاطر قابلیت تثبیت نیتروژن خاک گونه‌های مناسبی برای گیاه پالایی هستند در این گیاهان رقابتی بین گیاه با جمعیت میکروبی برای بدست آوردن نیتروژن خاک صورت نگرفته که نتیجه آن همکاری مناسبی بین باکتریها و گیاه جهت حذف آلاینده‌ها است (شهریاری و همکاران،۱۳۸۵). البته یکی از اهداف اصلی در تحقیقات مربوطه به استخراج فلزات سنگین توسط گیاهان عبارتست از یافتن گیاهانی که توانایی انتقال فلزات را از ریشه به اندام هوایی داشته باشند (Sharma and Dubey, 2005). اندازه ذرات خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی و نیز فاکتورهای گیاهی از جمله سطح ویژه ریشه، میزان تراوشات ریشه‌ای، رابطه میکوریزایی و سرعت تعرق بر قابلیت دسترسی و جذب تاثیر دارند (Peralta et al., 2001). به هر حال افزایش قابلیت دسترسی به فلزات سنگین به معنای عبور این عناصر از غشاء سلول زنده می‌باشد (Gardeatorresdey *e*t al., 2005). تجمع مقادیر سمی فلزات در گیاهان آلی سبب تاخیر رشد، کاهش بیوماس گیاهی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن، از دست رفتن یکنواختی غشاء و جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های حاوی گروه سولفیدریل می‌شود. گیاهان جهت مقابله با آسیب‌های اکسیدی که ناشی از عملکرد یونهای فلزی (فلزات سنگین) است، سیستم‌های حفاظتی خاصی دارند که از آنزیم ها و مواد آنتی اکسیدانی تشکیل شده‌اند. برخی از گیاهان خشکی زی مقادیر بسیار زیادی از فلزات سنگین را در خود جمع می‌کنند اما مکانیسم دقیق مقاومت این گیاهان در شرایط تنش فلزات سنگین هنوز مشخص نشده است(Ali *e*t al., 2003). طبق گزارش علی و همکاران (۲۰۰۳) با افزایش غلظت این فلزات در خاک (نیکل، مس و سرب) میزان سمیت نیز افزایش یافت. حداکثر تلفات بیوماس و منطقه فتوسنتز، در بیشترین غلظت از هر سه عنصر (۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) مشاهده گردید.کروم، نیکل و سرب تولید کلروفیل را تحت تاثیر قرار می‌دهند و عناصر کادمیوم، کروم، مس، نیکل و سرب رشد گیاه را کاهش می‌دهند. در تحقیقات ثابت شده است که کروم، مس، جیوه، نیکل وسرب سطح تیلاکوئید انتقال الکترون و فعالیت آنزیمی را تحت تاثیر قرار داده یا تولید کلروفیل را کاهش می‌دهند. البته، گونه‌های گیاهی از استراتژی‌های خاصی برخوردارند که آنها را قادر به رشد و نمو در خاکهای فلزی می‌نماید. برخی از این گونه‌ها تا حدی تکامل یافته‌اند که می‌توان آنها را متالوفیت (فلزدوست) نامید، حتی در برخی موارد ویژگی‌های این گونه‌ها به فلزات بستگی دارد. یکی ازانواع متالوفیت‌هایی

www.SID.ir

Archive of SID

که در دنیا شناخته شده‌اند، گونه‌هایی از *Thlaspi* می‌باشند. مشخص شده است که این گونه ها در خاک‌های حاوی مقادیر بسیار زیاد کادمیوم، سرب، روی و نیکل در برخی از کشورهای اروپایی رشد می‌کنند. گونه *Silene vulgaris* گیاه دیگری از انواع متالوفیت‌هاست که به خوبی شناخته شده است. محققان در یافته‌اند که چنین گیاهانی قادر به تجمع عناصر سمی زیادی در خود هستند، از این ویژگی می‌توان در پاکسازی خاکهای آلوده به فلزات سنگین استفاده کرد (Gardea-Torresdey et al., 2005). با وجود اینکه سرنوشت ترشحات در منطقه ریشه ها و طبیعت و ماهیت واکنش‌های دخیل در استخراج گیاهی و انتقال فلزات توسط گیاهان هنوز هم به خوبی شناخته نشده اند، اما مشخص شده است که این عوامل تاثیر بسزایی در تجمع فلزات در گیاهان دارند. ترکیبات شیمیایی که احتمالا در ریزوسفر ایجاد می‌شوند، به افزایش جذب فلزات از خاک و انتقال آنها به جوانه ها نسبت داده می‌شوند(Nascimento and Xing , 2006). اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم احتمالاً مهمترین ترشحات در سیستم‌های طبیعی استخراج گیاهی هستند. این اسیدها کسب فلزات را از طریق ایجاد ترکیباتی با یون‌های فلزی یا از طریق کاهش pH اطراف ریشه‌ها و تغییر ویژگی‌های خاک تحت تاثیر قرار می‌دهند. علی رغم این واقعیت که ممکن است جذب فلزات به دلیل کاهش pH افزایش یابد، بدیهی است که توانایی اسیدهای آلی در ایجاد ترکیب در مقایسه با توانایی آنها را در کاهش pH، مهمترین عامل مربوط به حرکت در آوردن فلزات در خاک و تجمع آنها در گیاهان است. اثرات مستقیم ترشحات ریشه بر فعالیت میکروبی، ویژگی‌های فیزیکی ریزوسفر و پویایی رشد ریشه ممکن است حلالیت و جذب یون را نیز تحت تاثیر قرار دهد(Nascimento and Xing , 2006). به عنوان مثال نشان داده شده است که میکرو ارگانیسم‌ها طریق انحلال روی از فاز غیر محلول خاک، آن را برای تجمع به وسیله گونه *Thlaspi caerulesceus* متحرک می‌سازند. شناخت مکانیسم‌های فیزیولوژیکی دخیل در تجمع فلزات در جوانه‌ها هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد. خود فلزات می‌توانند غشاءهای گیاهی را دچار آسیب نمایند و در نتیجه غلظت‌های زیاد سرب و کادمیوم ممکن است به تنهایی سبب تجمع بیش از حد این فلزات در گیاهان شود (Nascimento and Xing , 2006). Salt و همکاران (۱۹۹۵) بیان کردند که سمیت کادمیوم ممکن است سبب شکسته شدن موانع فیزیولوژیکی برای تجمع فلزات در جوانه‌ها شوند که دلیل آن تاثیر زیاد غلظت‌های سمی کادمیوم در محلول غذایی بر غلظت کادمیوم در شیره آوند چوبی است (Nascimento and Xing , 2006). یکی از گونه‌هایی که به عنوان گیاه فوق انباشتگر جیوه شناخته شده، *E.crassipes* است، همچنین گونه‌های جدیدی از خانواده *Brassicaceae* به عنوان گیاهان فوق انباشتگر کادمیوم، نیکل و سرب تعیین شده‌اند. به علاوه، گونه‌هایی از گیاهان بیابانی مثل *salsola kali* و *prosopis spp* از خانواده *chenopodiaceae* و *Fabaceae* (یا لگومینوز) نیز به لیست گیاهان فوق انباشتگر کادمیوم و کروم افزوده شده‌اند. سبک اطلاعات که درمورد گیاهان بیابانی بسیار حایز اهمیت است، زیرا در مناطق بیابانی مکانهای زیادی وجود دارند که مملو از عناصر سنگین‌اند، اما تعداد کمی از گونه‌های گیاهی قادر به رشد در چنین اکوسیستم‌هایی می‌باشند(Gardea-Torresdey *et al.*, 2005). گلشن (۱۳۸۸) در آزمایش خود گزارش کرد که در شرایط سمیت سرب و مس بیشترین میزان سرب و مس جذب شده توسط ریشه مربوط تیمارهایی بود که در معرض بالاترین غلظت سرب (۸۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) و مس (٤٥٠ میلی گرم در کیلوگرم خاک) قرار داشتند و همچنین گیاه خردل نسبت به گیاه شبدر برسیم و ماشک بیشترین سرب و مس را در ریشه کرده بود. در این آزمایش کمترین میزان جذب این عناصر در اندام هوایی مربوط به گیاه ماشک و بیشترین میزان جذب شده این عناصر در اندام هوایی مربوط به گیاه خردل بود. در آزمایش Gardea-Torresdey و همکاران (۲۰۰۵)، گیاهی مثل خردل

www.SID.ir

Archive of SID

هندی (*Brassica juncea*) که به طور موفقیت آمیزی تحت کشت آبی قرار گرفته بود به طور موثری فلزات سنگین مختلفی مثل روی و سرب را جذب کرد. در گیاهان دولپه ای، سرب از طریق بافتهای آوندی به حرکت در آمده و در نواحی مجزایی در قسمتهای دورتر انباشته می شود (Sharma and Dubey,2005). طبق آزمایش Boojar و همکاران (۲۰۰۷) درگونه (*D. stramonium*) بیشتر مس در برگها تجمع یافت بطوری که سرعت ذخیره آن در واکوئل‌ها و کلروپلاست‌ها به ترتیب ٤٢٪ و ٨٪ بود. طی آزمایش گلچین و همکاران (۱۳۸۵) میزان سرب بخش هوایی گیاهان ازمک، ورث سفید و مریم گلی به ترتیب ۷٤٦۷ و۹۵۵/۲ و۱٦٤۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و میزان سرب ریشه ٤۱و ۱۱۵/۷ و ۷۵/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. که نشان دهنده جذب بیشتر عنصر سرب در اندام هوایی نسبت به ریشه است. آتش نما و همکاران(۱۳۸۵) در بررسی تجمع برخی فلزات سنگین در سه گیاه علوفه‌ای یونجه، خلر و اسپرس گزارش دادند که گیاه یونجه در جذب و نگهداری فلزات سنگین در اندام هوایی‌های خود خصوصاً بخش هوایی استعداد بالایی دارد و بعد از یونجه، اسپرس و خلر حاوی بیشترین میزان کادمیوم و سرب در اندام هوایی خود بودند. طی‌آزمایش پارسادوست و همکاران (۱۳۸٦) نتایج نشان داد که گونه‌های گیاهی *Ebenus estellata* و*Astragalus glaucantus* و*Acantholimon sp.* به ترتیب بیشترین غلظت سرب در اندام هوایی(۱۱۸/٦و۹۸/۱و۸٦/۲ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاهی) و بیشترین ضریب انتقال سرب از اندام زیرزمینی به اندام هوایی(به ترتیب ۲/۹۵و۳/٥٤و ۳/۷) را دارا بودند. طبق آزمایش بولارباه و همکاران ۲۰۰٦ که برروی دو معدن کادمیوم در مراکش انجام شد، فاکتور انتقال مربوط به عنصرکادمیوم برای گونه *Ononis natrix* عدد ۱۵ و برای گونه *Lactuca viminea* عدد۵ را نشان داد. در آزمایشی گلخانه‌ای بلادی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که جذب سرب توسط ریشه در گیاه خلر بیشتر از دو گونه‌ی دیگر یعنی اسپرس و یونجه است و این نشان دهنده توانایی بالای این گیاه در جذب سرب توسط اندام ریشه‌ای می باشد. همچنین در این تحقیق گیاه یونجه کمترین میزان سرب را توسط اندام ریشه‌ای خود جذب کرده بود. Brunet و همکاران (۲۰۰۸) در آزمایش خود گزارش کردند که گیاه خلر توانایی بالایی در جذب عنصر سرب توسط اندام ریشه ای خود دارد. نتایج آزمایشی گلخانه‌ای حاکی از این بود که با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی، غلظت این عنصر در اندام هوایی کاهو به طرز چشمگیری افزایش یافت(حقیقی ، ۱۳۸۷) . Ostamen (۱۹۹٦) در تحقیقی بر روی کاهو و Eriksson (۱۹۹۰) در گندم مشاهده کردند با افزایش غلظت کادمیوم در خاک جذب کادمیوم در این گیاهان افزایش یافت. اریکسون ارتباط مثبتی بین میزان جذب کادمیوم و غلظت کادمیوم قابل انتقال در خاک را نشان داد. در ضمن مشاهده کردند که رابطه معنی‌داری بین میانگین کادمیوم قابل جذب توسط برگ‌ها و غلظت کادمیوم در محیط کشت وجود دارد. به این معنی که جذب کادمیوم توسط گیاه با افزایش آن در محیط افزایش می‌یابد. Anderson and Bingerfors (۱۹۸۵) در آزمایش خود نشان دادند میزان کادمیوم در گیاه و سرعت جذب آن متناسب با غلظت این عنصر در محیط است. با توجه به مطالبی که گفته شد تحقیق حاضر با این هدف انجام شد گونه مورد مطالعه از نظر قدرت جذب و اندوزش کادمیوم در اندام‌های ریشه‌ای و هوایی مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان به نقش این گیاه در بهره‌برداری از فلز کادمیوم و پاکسازی خاکهای آلوده پرداخت.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۸ در گلخانه تحقیقاتی مزرعه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج انجام شد. ابتدا نمک کلرید کادمیوم با غلظت‌های ۸۰-٤۰-۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به صورت محلول‌پاشی با خاک گلدانهایی که قبلاً

www.SID.ir

Archive of SID

مورد آزمایش خاک قرار گرفته بودند و میزان کادمیوم آنها مشخص شده بود، مخلوط و یک ماه بعد در تاریخ ۱۵ بهمن ۱۳۸۸ (به علت هموژن شدن نمک فلز سنگین با خاک) کاشت صورت گرفت. بافت خاک مورد آزمایش لومی شنی، با هدایت الکتریکی ۵/۸۲ دسی زیمنس بر متر و کربن آلی ۰/٦ ٪ و ازت کل ۰/۰٥٤ ٪ بود. گیاه مورد آزمایش یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) در نظر گرفته شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در ٤ تکرار انجام گرفت. در فروردین ماه ۱۳۸۹ از ریشه، خاک و اندام هوایی هر گلدان نمونه‌ای تهیه شد و نمونه‌ها جهت سنجش عنصر فلزی به آزمایشگاه منتقل شدند، سنجش عنصر فلزی به طریق ذیل صورت گرفت:

سنجش عنصر فلزی:

برای تجزیه گیاهی و برآورد عناصر سنگین مورد مطالعه در اندامهای مختلف، کل گیاهان پس از برداشت به صورت کامل توسط آب دیونیزه شده شستشو داده و در آون ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شدند و پس از آسیاب نمودن نمونه‌ها، به ۱ گرم آن ۵ میلی‌لیتر اسید دوتایی (پرکلریک اسید $HCLO_4$ و اسید نیتریک HNO_3) با نسبت‌های ۲:۳ در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد به مدت ۸ ساعت ، هضم شد و سپس با اضافه کردن آب مقطر حجم آن را به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و این محلول از کاغذ صافی واتمن ٤۲ عبور داده شد و سپس میزان عناصر نمونه‌ها توسط اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Atomic absorption spectrophotometer) قرائت شدند.

فاکتور انتقال (TF)[1] :

با استفاده از این فاکتور میزان توانایی گیاه در انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی محاسبه می‌شود. برای اندازه‌گیری فاکتور انتقال (TF) از فرمول ذیل استفاده شد(Marchiol *et al.*, 2004):

$$TF = \frac{\text{element in shoot}}{\text{element in root}}$$

استخراج گیاهی (AF)[2] :

پس از بدست آمدن مقدار فلز سنگین در اندام هوایی این فاکتور برای عنصر کادمیوم از رابطه ذیل بدست آمد: (Zu *et al.*, 2005).

$$AF = \frac{\text{element in shoot}}{\text{normal level in plant}}$$

ضریب استخراج فلز سنگین از خاک به اندام هوایی (EC)[3]:

پس از اینکه مقدار عنصر سنگین در خاک و اندام هوایی بدست آمد این فاکتور برای کادمیوم از رابطه ذیل بدست آمد(Zu *et al.*, 2005).

$$EC = \frac{\text{element in shoot}}{\text{available level in soil}}$$

روش آنالیز:

تبدیل داده‌ها و تجزیه و تحلیل آماری آنها با استفاده از نرم افزارهای sas(ver 9.1) ، Excel انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به شکل ۱ که نشان دهنده‌ی میزان عنصر کادمیوم در ریشه گونه مورد آزمایش می‌باشد، مشاهده می‌شود که بین کمترین میزان استعمال عنصر که شاهد می‌باشد با بیشترین میزان استفاده عنصر کادمیوم (۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) تفاوت معنی‌داری وجود دارد، با افزایش غلظت کادمیوم میزان جذب این عنصر توسط ریشه گیاه افزایش یافته است، بیشترین میزان عنصر کادمیوم در ریشه گیاه، مربوط به تیماری است که بیشترین

[1]. Translocation Factor

[2]. Accumulation Factor
[3]. Enrichment Coefficient

www.SID.ir

Archive of SID

میزان استعمال کادمیوم (۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) را دارا می‌باشد. که این میزان حدود ٦/٦ (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) است که در مقایسه با سطح متوسط سمیت (٤٠ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کادمیوم) حدود ۳۳ درصد بیشتر بود.

بلادی و همکاران (۱۳۸۸) در آزمایشی گزارش کردند که در شرایط سمیت سرب، کمترین سرب جذب شده توسط ریشه مربوط به گیاه یونجه (*Medicago sativa*) بوده و بیشترین میزان سرب جذب شده توسط ریشه مربوط به گیاه خلر بوده است.

شکل ۲ میزان عنصر کادمیوم در خاک را نشان می‌دهد. در این نمودار بین سطوح مختلف استعمال عنصر سنگین کادمیوم اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود که با افزایش عنصر کادمیوم در خاک با سطوح متفاوت، مقدار این عنصر در خاک افزایش می‌یابد. بیشترین میزان کادمیوم موجود در خاک مربوط به بالاترین سطح استعمال کادمیوم (۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) می‌باشد. این میزان که حدود ۲۱ (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) است در مقایسه با سطح متوسط سمیت کادمیوم (٤٠ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کادمیوم) حدود ٤١ درصد بیشتر بود.

شکل ۳ میزان عنصر کادمیوم در اندام هوایی را نشان می‌دهد در این نمودار مشاهده می‌شود که بین کمترین میزان استعمال عنصر که شاهد می‌باشد با بیشترین میزان استفاده عنصر کادمیوم (۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) تفاوت معنی داری وجود دارد که نشان دهنده‌ی حرکت و ذخیره شدن این عنصر در اندام هوایی گیاه مورد مطالعه می‌باشد. بیشترین میزان کادمیوم موجود در اندام هوایی مربوط به بالاترین سطح استعمال کادمیوم (۸۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) می‌باشد. این میزان حدود ٥٦,٩ (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) است که حدود ۵۹ درصد بیشتر از سطح متوسط سمیت کادمیوم (٤٠ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک کادمیوم) حدود ۵۹ درصد بیشتر است.

گیاه خردل نسبت به شبدر برسیم و ماشک از جذب بالاتر عنصر سرب و مس در ریشه و اندام هوایی برخوردار است (گلشن ، ۱۳۸۸). نتایج آزمایشی گلخانه‌ای حاکی از این بود که با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی، غلظت این عنصر در اندام هوایی کاهو به طرز چشمگیری افزایش یافت(حقیقی، ۱۳۸۷) .

طی آزمایش سود هاکار و همکاران در سال ۱۹۹۲ ظرفیت عنصر سنگین ریشه‌ها و برگ‌ها در تمام گونه‌های لگوم که بر روی خاک آلوده رشد کرده بودند به طور معنی‌داری افزایش یافت. بلادی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که در بالاترین سطح مصرف سرب ، جذب در اندام هوایی یونجه و خلر بیشتر از گیاه اسپرس بود. استمان (۱۹۹٦) در تحقیقی بر روی کاهو و اریکسون (۱۹۹۰) در گندم مشاهده کردند با افزایش غلظت کادمیوم در خاک جذب کادمیوم در این گیاهان افزایش یافت. اریکسون ارتباط مثبتی بین میزان جذب کادمیوم و غلظت کادمیوم قابل انتقال در خاک را نشان داد. در ضمن مشاهده کردند که رابطه معنی داری بین میانگین کادمیوم قابل جذب توسط برگ‌ها و غلظت کادمیوم در محیط کشت وجود دارد. به این معنی که جذب کادمیوم توسط گیاه با افزایش آن در محیط افزایش می‌یابد.

Anderson and Bingerfors (۱۹۸۵) در آزمایش خود نشان دادند میزان کادمیوم در گیاه و سرعت جذب آن متناسب با غلظت این عنصر در محیط است. مطالعات اندکی درباره‌ی ذخیره‌ی کادمیوم در سلول گیاه وجود دارد وازکوئز و همکاران (۱۹۹۲) دریافتند که کادمیوم در آپوپلاست و واکوئل‌های گیاه *T. caerulescense* وجود دارد و بیشترین میزان کادمیوم در *T. caerulescense* در دیواره سلولی قرار داشت (Boominthathan and Doran, 2003). نتایج آزمایشی حاکی از این بود که تقریباً ۳۵ درصد کادمیوم جذب شده در دیواره‌ی سلولی آپوپلاست برگهای گیاه *T. caerulescense* وجود داشت (Peer et al., 2003).

با وجود اینکه سرنوشت ترشحات در منطقه ریشه ها و طبیعت و ماهیت واکنش‌های دخیل در استخراج گیاهی و انتقال فلزات توسط گیاهان هنوز به خوبی شناخته نشده‌اند،

www.SID.ir

Archive of SID

اما مشخص شده است که این عوامل تاثیر بسزایی در تجمع فلزات در گیاهان دارند. ترکیبات شیمیایی که احتمالاً در ریزوسفر ایجاد می‌شوند، به افزایش جذب فلزات از خاک و انتقال آنها به جوانه‌ها کمک می‌کنند (Nascimento and Xing, 2006).

با توجه به شکل ۱ و ۳ مشخص شد که گیاه یونجه یکساله (*Medicao scutellata*) قادر است که بیشتر عنصر کادمیوم را در اندام هوایی خود انباشته کند. شکل ٤ نشان دهنده‌ی فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی می‌باشد با افزایش میزان کادمیوم، میزان انتقال این عنصر از ریشه به اندام هوایی افزایش یافته است. با توجه به شکل ٤، گیاه یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) از توانایی بالایی در انتقال عنصر کادمیوم از ریشه به اندام هوایی برخوردار است. مقدار جذب کادمیوم از خاک توسط گیاه به توانایی گیاه در انتقال فلز در سطح بین خاک – ریشه و نیز به مقدار کل کادمیوم موجود در خاک بستگی دارد. بلادی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه خود بر روی یونجه ، خلر و اسپرس گزارش کردند که گیاه یونجه (*Mdeicago sativa*) دارای بالاترین فاکتور انتقال (TF) جهت عنصر سرب بوده است.

گلشن (۱۳۸۸) در آزمایش خود گزارش کرد که گیاه ماشک از توانایی بالایی در انتقال عنصر مس از ریشه به اندام هوایی برخوردار است. شکل ۵ که میزان استخراج گیاهی (AF) عنصر کادمیوم را نشان می‌دهد. در این نمودار بین کمترین سطح استعمال کادمیوم (شاهد) و بیشترین سطح مصرف کادمیوم (۸۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) تفاوت معنی‌داری وجود دارد گیاه مورد آزمایش در بالاترین غلظت کادمیوم نسبت به شاهد بیشترین میزان عنصر را در اندام هوایی خود تجمع داده است و با زیاد شدن میزان استعمال عنصر کادمیوم، میزان تجمع این عنصر در اندام هوایی نسبت به شاهد بالارفته است.

شکل ٦ ضریب استخراج فلز سنگین کادمیوم از خاک به اندام هوایی را نشان می‌دهد در این نمودار با افزایش میزان کادمیوم استعمالی در خاک، مقدارEC سیر صعودی داشته است. این بدین دلیل است که با زیاد شدن استعمال عنصر کادمیوم میزان کادمیوم قابل دسترس در خاک بالارفته و با توجه به فرمول EC این ضریب افزایش یافته است. با توجه به نمودار EC مشخص می‌شود که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک میزان تجمع این عنصر در اندام هوایی بیشتر شده است و این دلیلی بر افزایش ضریب استخراج کادمیوم در گیاه یونجه می‌باشد یعنی گیاه یونجه مقدار عنصر بیشتری را در اندام هوایی خود جذب کرده است. شکل ۷ رگرسیون بین کادمیوم اندام هوایی و میزان کادمیوم جذب توسط ریشه گونه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که طبق رابطه‌ی رگرسیونی $R^2=1,\ y=0/2x+8E-15$ افزایش کادمیوم باعث افزایش استخراج گیاهی کادمیوم (AF) می‌گردد.

با توجه به نمودار ۸ افزایش کادمیوم اندام هوایی طبق رابطه رگرسیونی ($R^2=0/91,\ y= 0/141x+0/8078$) باعث افزایش فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی (TF) می‌گردد.

جذب فلزات در گیاهان با درجات مختلفی صورت می‌گیرد در یک مطالعه گلخانه‌ای ضرایب استخراج گیاهی (نسبت غلظت فلز در اندام هوایی به غلظت آن در خاک) برای فلزات جذب شده به وسیله خردل هندی ۵۸ ، برای کروم (VI) ۵۲، برای کادمیوم ۳۱، برای نیکل ۱۷، برای روی ۷، برای مس ۱/۷، و برای کروم (III) ۰/۱ بود که ضرایب بالاتر استخراج گیاهی نشان دهنده‌ی جذب بیشتر فلزات می‌باشد خردل هندی یک گیاه انباشت کننده مضاعف به شمار می‌رود. (Kumar et al.,1995).

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق نتیجه می‌گیریم که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک میزان جذب آن توسط اندام ریشه‌ای و اندام هوایی افزایش یافت که این افزایش جذب دلایل گوناگونی می‌تواند داشته باشد. گیاه یونجه دارای سیستم ریشه‌ای بسیار قوی و وسیعی می‌باشد، همچنین گیاهی سریع الرشد، دارای بیوماس بالا می‌باشد که این ویژگی‌ها، از خصوصیات بارز یک گیاه برای موفقیت در فرآیند گیاه پالایی می‌باشد. ریشه‌ی گسترده این گیاه به

www.SID.ir

Archive of SID

دلیل همزیستی بالا با میکروارگانیسم‌های موجود در خاک نظیر قارچ‌های میکوریزا و افزایش سطح جذب خود موجب افزایش جذب عناصر سنگین می‌شود. ترشحاتی که از ریشه به محیط ریزوسفر وارد می‌شود باعث تغییراتی چون تغییر اسیدیته (pH) در این محیط می گردد که این امر موجب افزایش جذب عناصر توسط ریشه می‌شود. ترشحات ریشه باعث ایجاد رابطه همزیستی بین ریشه گیاه و میگروارگانیسم‌های خاک می‌گردد. محققین متعددی در آزمایشات خود، به نقش اساسی رابطه میکوریزی در بهبود و موفقیت فرآیند گیاه پالایی عناصر سنگین اشاره کرده‌اند.

شکل‌های (٥،٤و٦) نشان می‌دهد، با افزایش تجمع کادمیوم در اندام هوایی گیاه به ترتیب موجب افزایش TF، AF و EC می شود. در آزمایش مشاهده شد که گیاه یونجه در خاکهای آلوده به کادمیوم، فرآیند استخراج گیاهی (Phytoextraction) را که یکی از حالات گیاه پالایی می‌باشد به کار برده است و عنصر سنگین کادمیوم را از خاک به ریشه و اندام هوایی خود منتقل کرده است و این عنصر در اندام مختلف گیاه تجمع یافته است که با توجه به اشکال ١و٣ این تجمع در اندام هوایی گونه‌ی مورد مطالعه بیشتر از اندام ریشه‌ای آن است به طوری که میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی گونه‌ی مورد مطالعه در بالاترین سطح سمیت کادمیوم (٨٠ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در مقایسه با مقدار تجمع کادمیوم در اندام ریشه‌ای گونه‌ی مورد مطالعه در همان سطح سمیت، حدود ٨٨ درصد بیشتر بود. همچنین تجمع کادمیوم در اندام هوایی نسبت به مقدار این عنصر در اندام ریشه‌ای در غلظت ٤٠ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کادمیوم حدود ٤٦ درصد بیشتر بود.

این ویژگی گیاه یونجه، جهت موفقیت فرآیند گیاه پالایی اراضی آلوده بسیار حائز اهمیت است که عناصر سنگین در قسمتی از گیاه تجمع یابد که قابل برداشت باشد و بتوان مقدار بیشتری از عناصر سنگین را از خاکهای آلوده خارج کرد. گیاه یونجه یکساله مورد مطالعه در این آزمایش دارای فاکتور انتقال و ضریب استخراج بالایی است و می‌تواند به عنوان یک گیاه انباشت‌گر مضاعف جهت پاکسازی مناطق آلوده به کار گرفته شود. از طرفی گیاه یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) توانایی تجمع مقادیر زیادی کادمیوم در اندام هوایی که قسمت خوراکی و مورد استفاده این گیاه محسوب می‌باشد، بدون بروز علائم مسمومیت و تغییرات مرفولوژیکی را دارا می‌باشد. بر این اساس گونه مورد مطالعه در این آزمایش جهت زراعت و مصرف دام در مناطق آلوده به فلزات سنگین توصیه نمی‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

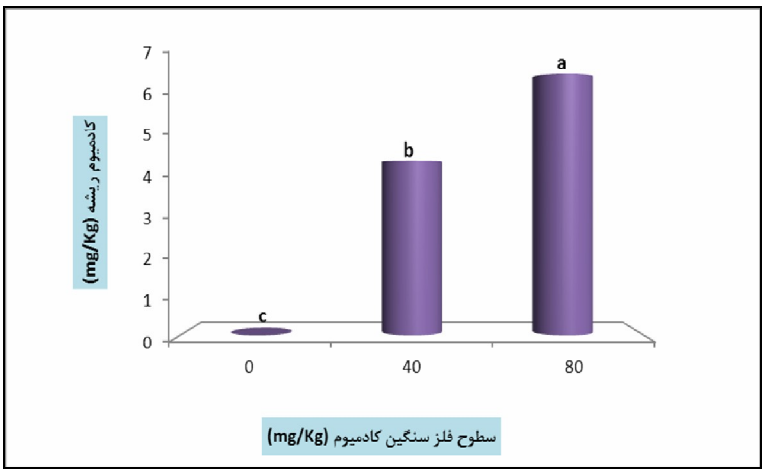
جدول۱- مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف کادمیوم بر جذب و پالایش کادمیوم در ریشه و اندام هوایی یونجه یکساله (*Medicago scutellata*).

میانگین مربعات صفات					
سطوح مورد آزمایش	کادمیوم ریشه Cd(root) (mg/kg dry weight)	کادمیوم خاک Cd(soil) (mg/kg soil)	کادمیوم اندام هوایی Cd(shoot) (mg/kg dry weight)	AF	TF	EC
a_1) شاهد	۰/۰۰۰۰۰ C	۰/۰۰۰۰۰ C	۰/۰۰۰۰۰ C	۰/۰۰۰۰۰ C	۰/۰۰۰۰۰ C	۰/۰۰۰۰۰ C
a_2) ٤٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک	٤/٣٩٨٤٤ B	١٢/٣٥٩٤ B	٢٣/٠٢٥٠ B	٤/٦٠٥٠٠ B	٥/٠٩١٠ B	٠/٥٧٥٦٢٥ B
a_3) ٨٠ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک	٦/٦٠٣٧٥ A	٢١/٠٠٥٢ A	٥٦/٨٢٣٤ A	١١/٣٦٤٦٩ A	٨/٥٩٣٩ A	٠/٧١٠٢٩٣ A

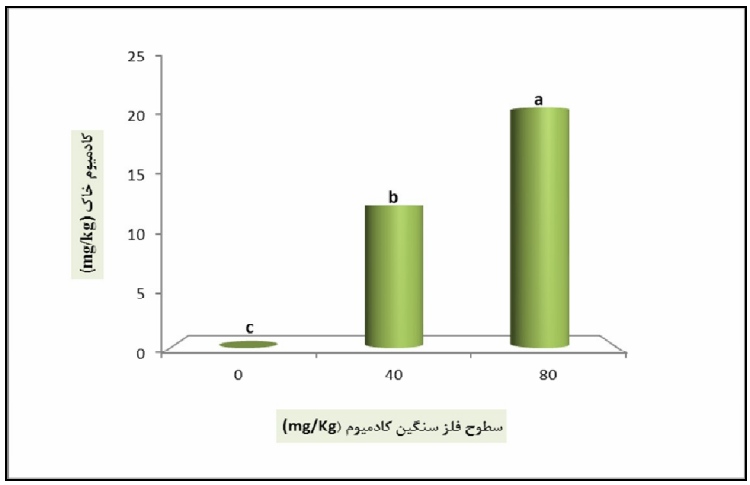
حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

www.SID.ir

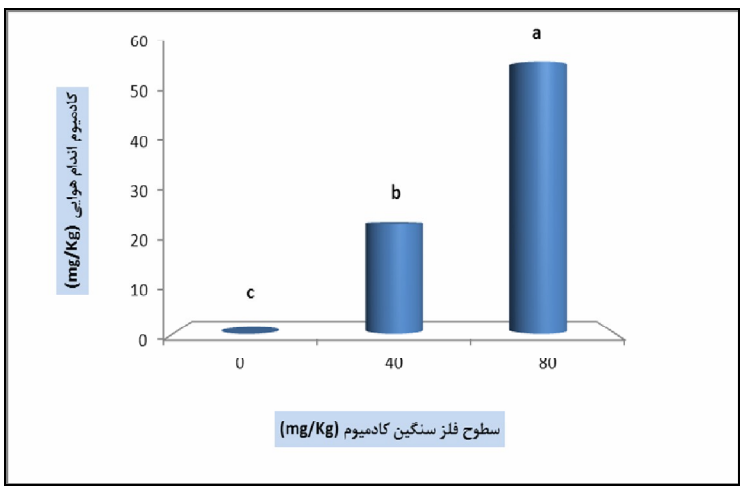
Archive of SID



شکل ۱– مقدار عنصر کادمیوم در ریشه گیاه مورد مطالعه (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک)



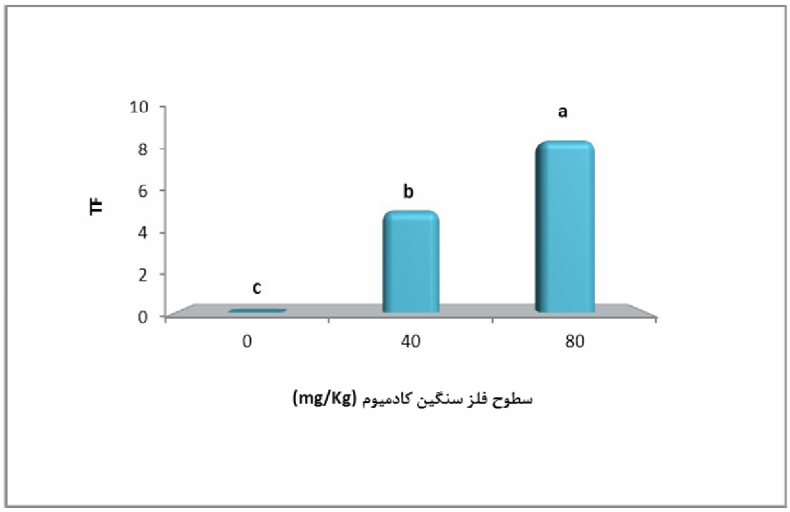
شکل ۲– مقدار عنصر کادمیوم در خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)



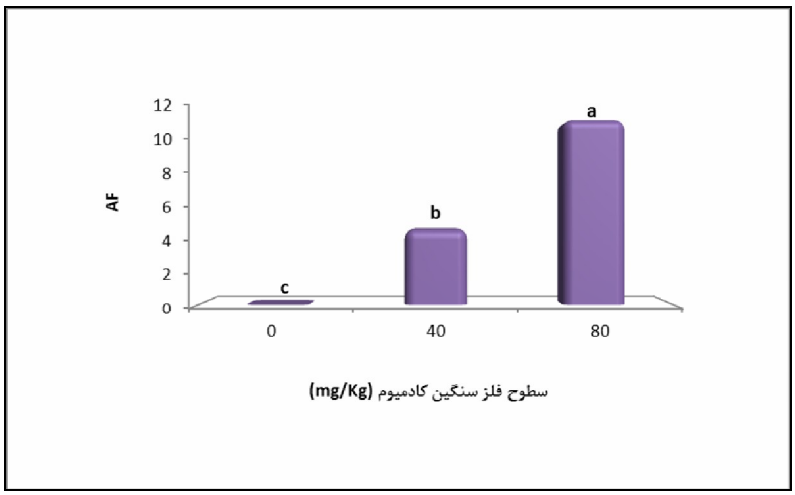
شکل ۳– مقدار عنصر کادمیوم در اندام هوایی گیاه مورد مطالعه (میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک)

www.SID.ir

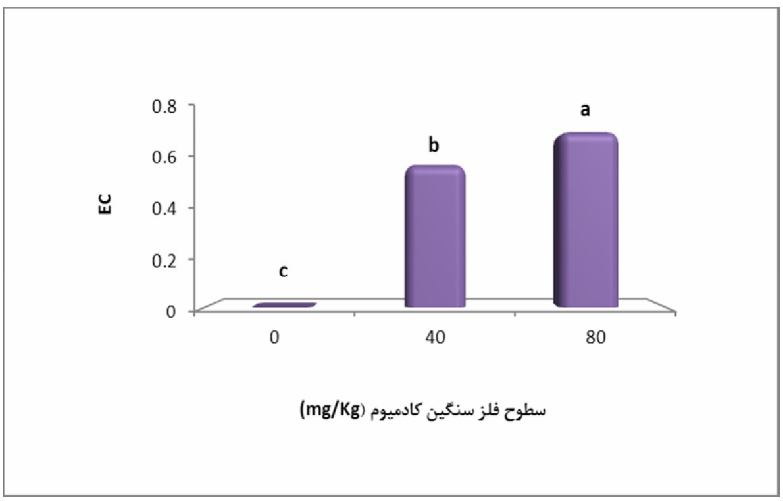
Archive of SID



شکل ٤- فاکتور انتقال (TF) فلز سنگین کادمیوم در گیاه مورد آزمایش



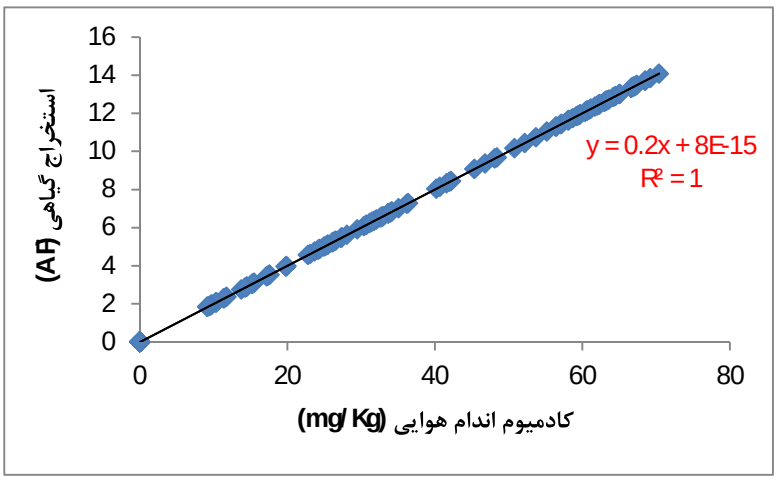
شکل ٥- استخراج گیاهی (AF) فلز سنگین کادمیوم در گیاه مورد آزمایش



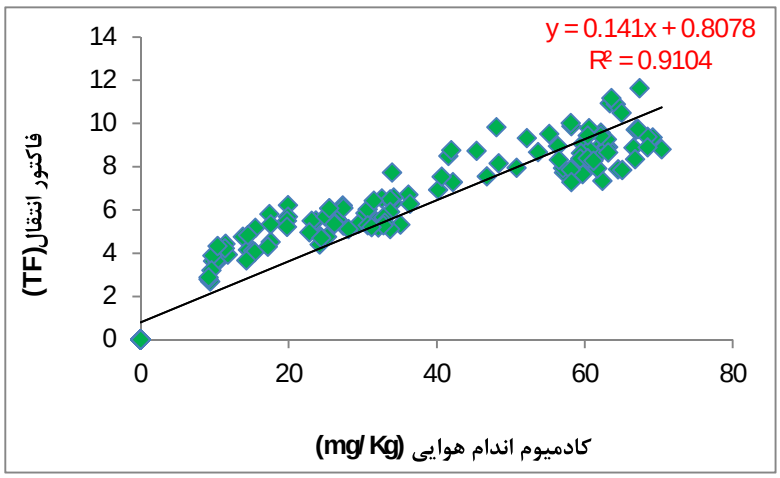
شکل ٦- ضریب استخراج فلز سنگین کادمیوم در گیاه مورد آزمایش

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷– رگرسیون کادمیوم اندام هوایی و استخراج گیاهی کادمیوم (EC)



شکل ۸ – رگرسیون کادمیوم اندام هوایی و فاکتور انتقال کادمیوم (TF)

فهرست منابع:

۱. آتش نما، ک.، گلچین، ا.، اسماعیلی، م.، ۱۳۸۵. میزان تجمع برخی از فلزات سنگین در سه گیاه علوفه ای یونجه، خلر و اسپرس. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، کرج،۱۷و۱۸ آبان ۱۳۸۵. ۳۰٤–۳۰۳.

۲. بلادی ، س. م.، کاشانی ، ع. ، حبیبی ، د.، پاک نژاد ، ف.، گلشن ، م.۱۳۸۸ . مقایسه و ارزیابی قدرت جذب و اندوزش سه گونه خلر ، اسپرس و یونجه در خاکهای آلوده به سرب و مس . اولین همایش منطقه ای میریت منابع آب وخاک. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس . ص ٥٤.

۳. بهمنیار ، م. ع. و شهابی، م. ۱۳۸٤ . تاثیر آبیاری و پساب صنعتی و شهری بر مقدار کادمیوم، نیکل، سرب و کروم خام در منطقه مازندران. دانشگاه کشاورزی مازندران . نهمین کنگره علوم خاک ایران. تهران .

٤. پارسادوست، ف.، بحرینی نژاد، ب.، صفری سنجانی، ع.، کابلی، م.۱۳۸٦. گیاه پالایی عنصر سرب توسط گیاهان مرتعی و بومی در خاک های آلوده منطقه ایران کوه(اصفهان). پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی شماره۷۵. ٦۳– ٥٤.

www.SID.ir

Archive of SID

۵. ترابیان، ع. و مهجوری، م. ۱۳۸۱. بررسی اثر آبیاری با فاضلاب بر روی جذب فلزات سنگین بوسیله سبزیهای برگی جنوب تهران. مجله علوم خاک و آب . جلد ١٦. شماره ۲.

٦. حقیقی ، مریم . ۱۳۸۷ . اثر تنش کادمیوم بر تغییرات فیزیولوژیکی ، آنتی اکسدانتی و آنزیمی کاهو در حضور هومیک اسید. پایان نامه دکتری تخصصی ، دانشگاه تهران.

۷. سالاردینی، ع. و مجتهدی، م. ۱۳۷۱. اصول تغذیه گیاه ، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران. ص ٣٦٧.

۸. شهریاری، محمد حسین.، غ. ثواقبی فیروزآبادی.، د. مینایی تهرانی و م. پدیدار. ۱۳۸۵. تاثیر مخلوط دو گیاه (*Medicago sativa*) و فسیکو (*Festuca arundinacea*) در گیاه پالایی خاک آلوده به نفت خام سبک. علوم محیطی . شماره ۱۳. پاییز ۱۳۸۵. ص ۳۳.

۹. عباسپور، ع. ، کلباسی، م.، حاج رسولیها، ش. و گلچین، ا. ١٣٨٤. بررسی آلودگی برخی خاکهای کشاورزی ایران به کادمیوم و سرب . نهمین کنگره علوم خاک ایران ، تهران ، ص ٥٤٣.

۱۰. گلشن، محیا. ۱۳۸۸. بررسی صفات فیزیولوژیکی برخی گونه‌های زراعی و توانایی آنها در پالایش خاکهای آلوده به برخی فلزات سنگین. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

۱۱. گلچین، ا.، شفیعی، س.، ۱۳۸۵. بررسی تاثیر کارخانجات سرب و روی زنجان بر آلودگی محصولات زراعی و باغی به فلزات سنگین. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، کرج،۱۷و۱۸ آبان ۱۳۸۵. ۲۲-۲۱.

۱۲. گلچین، ا.، صفوی، ع.، آتش نما، ک.، ۱۳۸۵. گونه های گیاهی بومی ابر جاذب Pbو Zn در استان زنجان. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، کرج،۱۷و۱۸ آبان ۱۳۸۵. ١٦-١٥.

۱۳. واثقی، س.، افیونی، م.، شریعتمداری، ح.، و مبلی، م. ۱۳۸۲. اثر لجن فاضلاب و pH خاک بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف و فلزات سنگین. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی . سال هفتم . شماره سوم .

14. Anderson, A. and Bingefors . 1985. Trends and annual variation in cd concentration in grain of winter wheat. Acta Agriculture Scandinavia, 35:339-344.

15- Ali, M.B., Vajpayee, P., Tripathi, R.D., Rai, U.N., Singh, S.N., Singh, S.P., 2003. Phytoremediation of lead, Nickel, and Copper by *Salix acmophylla* Boiss.: Role of Antioxidant Enzymes and Antioxidant Substances. Bull. Environ. Contam. Toxicol 70: 462-469.

16. Boominathan, R. Duran, P.M. 2003. Cadmium tolerance and antioxidative defenses in hairy root of the cadmium hyperaccumulator *Thalaspi caerulescens*.Biotechnol. Bioeng. 83:158 – 167.

17. Boojar, M., Goodarzi, F., 2007. The copper tolerance strategies and the rol of antioxidative enzymes in three plant species grown on copper mine. Chemosphere 67:2138-2147.

18. Boularbah, A., Schwartz, Ch., Bitton, G., Aboudrar, W., Ouhammou, A., Morel, J.L., 2006. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. Chemosphere 63, 811-817.

19. Brunet, J., Repellin, A., Varrault, G., Terryn, N., Fodil, Y.Z., 2008. Lead accumulation in the roots of grass pea(*Lathyrus sativus* **L.**): a novel plant for phytoremedition systems?. C. R. Biologies 331, 859-864.

20. Eriksson, J.E. 1990. Factors influencing adsorption and plant uptake of Cd from agricultural soils. Swedish University of Agricultural Science, Department of Soil Science , Reports and Dissertations.

www.SID.ir

Archive of SID

21. Gardea-Torresdey, J.L., Peralta, J.R., De La Rosa, G., Parsons, J.G., 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. Coordination Chemistry Reviews 249, 1797-1810.
22. Knasmuller,S. Gottmann, F. Steinkellner, H. Fomin, A. Piekl, C. Paschke, A. God, R. Kundi, M. 1998. Detection of genotoxic effects of Heavy metal Contaminated soils with plant bioassay. Mutat. Res. 420:37- 48.
23. Kumar, P.B. Nanda, A. Dushenkov, V. mott, H. Raskin, I. 1995. Phytoextraction : The use of Plants to remove heavy metals from soils. Environ. Sci. Technol. 29(5):1232-1238.
24. Lopez, M.L, J.R. Peralta-videa., T.Benitez., J.L. Gardea-Torresdey. 2005. Enhancement of lead uptake by alfalfa (Medicago sativa) using EDTE and a plant growth promoter. Chemosphere, 61,595-598.
25. Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P., Zerbi, G. 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicotaminated soil. Environ. Pollut. 132, 21-27.
26. Nascimento, C.W.A.D., Xing, B., 2006. Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and plant accumulation . Sci. Agric3, 299-311.
27. Ostamen, G. 1996. Salix formaga att ta upp Kadmiumen faltstudie. Swedish university of Agriculture Science, Department of Ecology and Environmental research, Section of Rotation Forestry, Report, 55: 71- 73.
28. Page, A. L., 1985. Trace element in waste water: their effects on plant growth and composition and their behavior in soil, pp 182-221. SSSA. Madison, Wisc. USA.
29. Peer, W.A. Mamoudian, M. Lahner, B. Reeves, R.D. Murphy, A.S. Salt, D.E. 2003. Indentifying model hyperaccumulating plants: germplasm analysis of 20 Brassicaceae accessions from a wide geographic area. New Phyto. 159:421- 430.
30. Peralta,. J.R., J.L. Gardea Torresdey., K.J. Timann., E.Gomez., S. Arteaga., E.Rascon., J.G. Parsons. 2001. Uptake and effects of five heavy metals on seed Germination , and Toxicology , 66,727-734.
31. Salt, D.E. Blaylock, M. KumarNanda, P.B.A. Dushenkov, V. Esley, B.D. Chet, I. Raskin, I. 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Bio/Technology. 13:468- 478.
32. Sharma, P., Dubey, R.Sh., 2005. Lead toxicity in plants. Braz. J. plant Physiol., 17(1): 35-52.
33. Sudhakar, C., Syamalabai, L., Veeranjaneyulu, K., 1992. Lead tolerance of certain legume species grown on lead ore tailings. Agriculture, Ecosystems and Environment. 41,253-261.
34. Zu, Y.Q., Li, Y., Chen, H. Y., Qin, L.,Schvartz, C., 2005. Hyper accumulation of Pb, Zn,Cd in Yunnan, China. Inviroment international. 31, 755-762.

www.SID.ir