تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی
جلد هفتم، شماره دوم، نیمه دوم۹۳
۲۵۷ - ۲۷۱

تاثیر کاربرد کادمیوم و سرب بر میزان جذب این عناصر و رشد دو رقم لوبیا چیتی

بابک متشرع زاده[1*]، لیلا آقایی[2]، غلامرضا ثواقبی[3]

۱. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۳. استاد فقید گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۳/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

در سال های اخیر بخش عمده ای از اراضی کشاورزی در نتیجه فعالیت های صنعتی، معدن کاوی، ذوب فلزات، آبیاری با فاضلاب و کوددهی، به فلزات سنگین آلوده شده است و کیفیت خاک و سلامت تولیدات گیاهی را کاهش داده است. این پژوهش به منظور بررسی پاسخ های گیاهی دو رقم لوبیا چیتی محلی خمین و G01437 به آلودگی کادمیوم و سرب در شرایط گلخانه و در یک خاک آهکی به اجرا در آمد. در یک آزمایش فاکتوریل و طرح کاملا تصادفی، کادمیوم در چهار سطح (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک به صورت نیترات کادمیوم) و سرب در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم به صورت نیترات سرب) به گلدان ها اعمال و بذر دو رقم لوبیا کشت گردید. پس از برداشت، وزن خشک، غلظت و جذب کادمیوم و سرب در شاخساره و ریشه تعیین گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کادمیوم و سرب و برهمکنش آنها، بر وزن خشک ریشه و شاخساره معنی دار بود. با اینحال تاثیر تیمارها بر پاسخ های جذب متفاوت بود. جذب کادمیوم شاخساره در رقم خمین بیشتر از G01437 ولی جذب کادمیوم ریشه در رقم G01437 بیشتر از رقم خمین بود. همچنین جذب سرب شاخساره و ریشه در رقم G01437 بیشتر از رقم خمین بود. بیشترین جذب کادمیوم در شاخساره در تیمار سرب صفر به همراه کادمیوم ۸۰ در رقم خمین (۹/۴۰ میکرو گرم در گلدان) و کمترین در تیمارسرب ۵۰ + کادمیوم صفر در رقم G01437 (۱/۲۷ میکرو گرم در گلدان) بود. فاکتور انتقال (TF) کادمیوم و سرب با افزایش غلظت آن ها در خاک و نیز شاخص پاسخ زیست توده ی گیاهی به تنش فلز سنگین (BRS) در هر دو رقم کاهش یافت.

***واژه‌های کلیدی*: آلودگی خاک، رقم محلی خمین، رقم *G01437*، فلزات سنگین، تنش**

مقدمه

عناصر سنگین از عمده ترین آلاینده های زیست محیطی محسوب می شوند که سمیت آن ها به دلایل بوم شناختی، تکاملی، تغذیه ای و محیطی مشکل بزرگی به شمار می رود (Ghasemi and Shahabi, 2010). با ورود فلزات سنگین به اراضی کشاورزی، آنها می‌توانند توسط گیاهان جذب و در نتیجه وارد زنجیره‌ی غذایی شوند. افزایش مقادیر فلزات سنگین در بدن انسان به علت مصرف محصولات گیاهی رشد کرده در مناطق آلوده به این فلزات، استنشاق ذرات خاک و مصرف آب‌های آلوده به این فلزات می‌باشد. اگر چه همه‌ی این مسیرها در افزایش مقادیر فلزات بدن انسان موثر است، اما مسیر خاک- گیاه- انسان مهمترین است (Alexander et al., 2006). کادمیوم و سرب از شایع‌ترین فلزات سنگین آلاینده ی خاک های کشاورزی هستند (Kabata-Pendiad and Pendias, 1991; Davies, 1990). حد بحرانی فلزات سنگین کادمیوم و سرب در خاک به ترتیب ۸-۳ و ۴۰۰-۱۰۰ و در گیاهان به ترتیب ۳۰-۵ و ۳۰۰-۳۰ اعلام شده است (Alloway, 1990). کادمیوم یک عنصر غیر ضروری است که می‌تواند

نگارنده پاسخگو: بابک متشرع زاده. آدرس: کرج- پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران- گروه مهندسی علوم خاک
پست الکترونیک: moteshare@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

به آسانی توسط گیاه به علت تحرک زیاد جذب شود، بنابراین می‌تواند نسبت به سایر فلزات آسیب بیشتری به گیاهان برساند (Balsberg-Pahlsson, 1989). این عنصر سبب بروز اختلال در فتوسنتز و فعالیتهای تنفسی، جذب عناصرغذایی، فعالیتهای آنزیمی، وظایف غشاءها و تعادل هورمون‌ها می‌شود (Chien and Kao, 2000). علاوه بر کادمیوم، سرب نیز یک عنصر غیر ضروری است که در طبیعت یافت می‌شود. سرب موجود در غذا می‌تواند ناشی از منابع مختلف باشد، مثلا جذب توسط گیاهان رشد کرده در خاک‌های دارای سرب زیاد یا در خاک‌هایی که آفت کش های حاوی آرسنات سرب به آن‌ها اضافه شده است (Merian, 1991).

زیقیانگ و همکاران (Zhiqiang et al., 2009) اثرات متقابل کادمیوم و سرب را بر رشد و جوانه‌زنی چهار رقم کلم *Kangbingjinchun* (KB)، *Dongyangchunxia* (DY)، *Qinglvwang* (QL) و *Qiangshi* (QS) مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی بذر گیاهان مورد مطالعه در معرض غلظت‌های مختلفی از کادمیوم (صفر، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ میلی گرم در لیتر) و سرب (صفر، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ میلی گرم در لیتر) قرار گرفتند. نتایج نشان داد تحت تنش سرب، طول ریشه و شاخساره‌ی همه‌ی ارقام مورد مطالعه بطور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین وقتی سطوح کادمیوم به تیمارهای سرب اضافه شد، بطور مشخصی، میزان کاهش بیشتر شد. این محققان دریافتند ریشه‌ها به آلودگی کادمیوم و سرب خیلی حساس هستند. در پژوهش دیگری محققان گزارش کردند که نعناع و ریحان در تیمارهای کادمیوم- سرب، کادمیوم- مس و کادمیوم- سرب- مس، دارای کادمیوم کمتری نسبت به تیمار کادمیوم هستند (Zheljazkov et al., 2006). این اثر کاهش جذب کادمیوم به علت رقابت سرب و مس با کادمیوم در محیط رشد است. اثر هر یک از فلزات کادمیوم و سرب بر جذب دیگری توسط گیاهان وقتی که هر دو در مقادیر قابل توجهی در خاک وجود دارند، بررسی شده است. اگر این اثر، جذب فلز توسط گیاه را کاهش دهد، ممکن است مفید واقع شود اما اگر جذب فلز را افزایش دهد، می‌تواند مضر واقع شود (Xian, 1988).

پژوهشگران برهمکنش کادمیوم و جذب و تجمع پنج عنصر غذایی را در برنج بررسی کردند (Liu et al., 2003). نتایج نشان داد که تحت تنش کادمیوم تغییر معنی‌داری در متوسط وزن کاه برنج وجود نداشت و در این شرایط برخی ارقام افزایش وزن و برخی کاهش وزن نشان دادند، ولی در این شرایط متوسط وزن دانه کاهش معنی‌داری داشت. همچنین رشد زایشی برنج بیشتر از رشد رویشی به تنش کادمیوم حساس بود. بر این اساس اثرات کادمیوم بر رشد برنج در ارقام مختلف، متفاوت بود. در پژوهشی، تحمل و تجمع کادمیوم در *Phragmite australis* رشد کرده در غلظت‌های متفاوت کادمیوم ، مس و روی بررسی شد (Ali et al., 2004). در تیمارهای کادمیوم، طول ریشه، ارتفاع شاخساره و وزن تر بطور معنی‌داری با افزایش غلظت کادمیوم محلول غذایی، کاهش یافت. تعداد ریشه‌های تیماری که دارای بیشترین غلظت کادمیوم (۱۷/۶ میکرومولار) بود در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد. در تیمارهای مرکب کادمیوم، مس و روی، همه‌ی پارامترهای رشد (وزن تر کل، طول ریشه و بخش هوایی و تعداد ریشه ها) به جز وزن خشک کاهش یافت.

کادمیوم و سرب نه تنها برای سلامتی انسان مضرند بلکه در غلظت‌های زیاد در بافت‌های گیاهی، نیز سمی هستند بنابراین کنترل غلظت کادمیوم و سرب در گیاهان به ویژه در بخش‌های خوراکی برای تضمین امنیت غذایی، مهم و ضروری است. با توجه به اهمیت موضوع و نقش حبوبات به عنوان دومین منبع تامین نیاز غذایی انسان و ارزش تغذیه ای زیاد لوبیا و سطح زیر کشت آن در کشور این پژوهش با هدف بررسی پاسخ های گیاهی دو رقم لوبیا چیتی محلی خمین و G۰۱۴۳۷ به آلودگی کادمیوم و سرب در شرایط گلخانه به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش ابتدا به صورت تصادفی نمونه خاکی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک غیر آلوده از مزرعه‌ی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. این خاک از نظر عناصر سنگین نیز فاقد آلودگی بوده و مقادیر این عناصر کمتر از حد بحرانی می‌باشند. جهت انجام آزمایش سطوح فلزات سنگین به صورت کادمیوم (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم)، و سرب (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) انتخاب شدند. این مقادیر بر اساس بررسی منابع و حدود بحرانی فلزات سنگین (کادمیوم: ۸-۳

Archive of SID

www.SID.ir

و سرب۴۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) از یک سو Kabata-Pendiad and Pendias, 1991; Alloway,) 1990) و نیز عدم نیاز گیاهان به عناصر فوق و بروز تنش حتی در مقادیر کم انتخاب گردید. برای اعمال تیمارهای فلزات سنگین از نمک های نیترات کادمیوم $Cd(NO_3)_2$ و نیترات سرب $Pb(NO_3)_2$ استفاده شد. خاک به طریق پاشش محلول نمک‌های فلزی مورد نظر به لایه‌های خاک، آلوده گردید و سپس خاک‌های آلوده تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند تا حد امکان برهمکنش های آلاینده و خاک تکوین یافته و شرایط آلودگی طبیعی‌تر شود. به منظور اطمینان از تعادل فلز با خاک، دو ماه در این حالت نگهداری گردید (Yizong et al., 2009).

این تحقیق بصورت یک آزمایش فاکتوریل و طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. در این مطالعه از گلدان‌های پلاستیکی ۲ کیلوگرمی استفاده شد. به هر گلدان ۲ کیلوگرم خاک هوا خشک که قبلا از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شده بود، اضافه شد. یادآور می‌شود که این خاک بسته به سطوح آلودگی و تیمارهای اعمال شده فلزات سنگین، در دوره انکوباسیون نگهداری شد و سپس برای کشت بذور لوبیا مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به طول دوره آزمایش و تامین عناصر غذایی به کمک کود و با توجه به نتایج آزمون خاک، به نظر می‌رسد کمبودی از نظر عناصر غذایی برای گیاهان ایجاد نگردیده است. ضمنا با توجه به وجود نیترات در تیمارهای نیترات سرب و نیترات کادمیوم، به منظور دقت بیشتر در انجام آزمایش، مقدار نیتروژن اضافه شده در این تیمارها از منبع اوره به سایر گلدان‌ها نیز اضافه گردید. بذر دو رقم لوبیا چیتی محلی خمین و G01437 از ایستگاه ملی تحقیقات لوبیا خمین در استان مرکزی تهیه و قبل از کشت ضدعفونی شدند. به این صورت که ابتدا چند دقیقه در آب خیسانده و سپس در داخل لامینار به مدت ۱۵ ثانیه در الکل ۹۶٪ قرار گرفتند و بعد از آن به مدت ۱ دقیقه در محلول ۱ به ۱۰ هیپو کلریت سدیم و آب قرار گرفتند و بعد آن چند بار با آب مقطر استریل شسته شدند و بعد از انجام این مراحل آماده ی کشت شدند. پس از آماده سازی گلدان‌ها، بذر مورد نظر با تراکم بیشتر و در عمق دو سانتی‌متری کشت شدند. بعد از سبز شدن، تعداد ۲ گیاهچه قوی در هر گلدان حفظ شد و بقیه تنک شدند. برای دوری از تنش رطوبتی، گلدان ها هر روز توزین و با فواصل کوتاه (بسته به دوره ی رشد گیاه) تا رسیدن به ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه با آب مقطر آبیاری شدند. مدت زمان روشنایی با توجه به دوره‌ی رشد بین ۱۲-۱۴ ساعت در روز تنظیم شد. دمای گلخانه هم بین ۳۰ -۲۰ درجه سلسیوس در طول شبانه روز متغیر بود. در طول دوره داشت بر اساس نتایج آزمون خاک کودهای مورد نیاز شامل اوره و نیترات پتاسیم برای تامین نیاز نیتروژنی و پتاسیمی گیاه همراه با آب ابیاری مصرف گردید تا کمبودی در آزمایش برای گیاهان ایجاد نشود. آزمایش به مدت ۷۵ روز ادامه یافت. سپس گیاهان برداشت و شاخساره و ریشه‌ی آن‌ها در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون خشک شدند. سپس وزن خشک آن‌ها اندازه گیری و آسیاب شدند.

عصاره‌ی گیاهی به روش سوزاندن خشک و ترکیب با HCl به دست آمد (Emami, 1996) و در نهایت غلظت کادمیوم و سرب در نمونه های شاخساره و ریشه ی گیاهان با دستگاه جذب اتمی مدل ShimadzuAA 6400 قرائت شد. به علت تغییرات غلظت در اثر رشد گیاه و بروز پدیده ی رقت از پارامتر جذب برای بیان نتایج استفاده گردید که نسبت به غلظت، پارامتر معتبری است. برای محاسبه‌ی میزان جذب عناصر از رابطه‌ی یک استفاده شد (Muraghan and Kenneth, 1999).

رابطه [۱]

$$\text{جذب}\left(\frac{\text{میکروگرم}}{\text{گلدان}}\right) = \text{غلظت}\left(\frac{\text{میلی‌گرم}}{\text{کیلوگرم}}\right) \times \text{وزن خشک}\left(\frac{\text{گرم}}{\text{گلدان}}\right)$$

فاکتور انتقال[1] فلزات سنگین نیز بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد:

رابطه [۲]

$$TF=\frac{C_{aerial}}{C_{root}}$$

$\frac{C_{aerial}}{C_{root}}$ نسبت غلظت فلز سنگین در شاخساره به غلظت فلز سنگین در ریشه است (Zhi-Xin et al., 2007).

داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت، مقایسه میانگین ها نیز با آزمون دانکن در سطح ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک شاخساره

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر وزن خشک شاخساره در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. رقم خمین

1- Translocation factor

Archive of SID

www.SID.ir

دارای وزن خشک بیشتری (۱/۹۸ گرم در گلدان) نسبت به رقم G01437 (۱/۷۵ گرم در گلدان) بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک شاخساره (۲/۲۵ گرم در گلدان) در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین وزن (۱/۵۹ گرم در گلدان) در تیمار ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم به دست آمد. با افزایش غلظت کادمیوم خاک، وزن خشک شاخساره، کاهش نشان داد (جدول ۴). بیشترین وزن خشک شاخساره (۲/۰۶ گرم در گلدان) در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم سرب و کمترین وزن (۱/۵۹ گرم در گلدان) در تیمار ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب خاک نیز وزن خشک شاخساره، کاهش نشان داد (جدول ۵). خاطر نشان می رسارد هدف محققان از این آزمایش، بررسی توان گیاه پالایی لوبیا نبوده بلکه بررسی احتمال جذب آلاینده‌های کادمیوم و سرب به تنهایی و نیز برهمکنش آنها در این شرایط توسط لوبیاست لذا بر این اساس بررسی صفات عملکردی نظیر ماده خشک شاخساره پارامتر مهمی است و در این تحقیق، بذرگیری صورت نگرفته و گیاهان قبل از ورود به دوره زایشی برداشت شده اند. ضمن آنکه انتقال عناصر در دوره زایشی دارای الگوی متفاوتی از دوره رویشی می باشد و لذا در این تحقیق بررسی نشده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Some soil physical and chemical properties

خصوصیت Properties	مقدار Value	خصوصیت Properties	مقدار Value
شن(درصد) Sand (%)	33.20	فسفر قابل جذب ($mg.kg^{-1}$) Phosphorous ($mg.kg^{-1}$)	15.88
سیلت(درصد) Sand (%)	37.00	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$) Potassium ($mg.kg^{-1}$)	187.37
رس(درصد) Clay (%)	29.80	کلسیم محلول ($meq.l^{-1}$) Calcium ($meq.l^{-1}$)	35.00
کلاس بافت Soil Texture	Clay Loam	منیزیم محلول ($meq.l^{-1}$) Magnesium ($meq.l^{-1}$)	15.60
رطوبت ظرفیت مزرعه(درصد) FC (%)	20.73	سدیم محلول ($meq.l^{-1}$) Na ($meq.l^{-1}$)	5.98
کربن آلی(درصد) OC (%)	0.97	نسبت جذب سدیم SAR	1.19
قابلیت هدایت الکتریکی($dS.m^{-1}$) Ec ($dS.m^{-1}$)	5.00	آهن قابل جذب* ($mg.kg^{-1}$) Fe ($mg.kg^{-1}$)	7.44
واکنش خاک pH	8.00	روی قابل جذب* ($mg.kg^{-1}$) Zn ($mg.kg^{-1}$)	1.80
ظرفیت تبادل کاتیونی($cmolc.kg^{-}$) CEC ($cmolc.kg^{-}$)	11.10	مس قابل جذب* ($mg.kg^{-1}$) Cu ($mg.kg^{-1}$)	3.90
		سرب قابل جذب* ($mg.kg^{-1}$) Pb ($mg.kg^{-1}$)	2.35
نیتروژن کل(درصد) Total N (%)	0.10	کادمیوم قابل جذب* ($mg.kg^{-1}$) Cd ($mg.kg^{-1}$)	0.6

* قابل استخراج با DTPA

* DTPA Extractable

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده

Table 2. Variance analysis results of measured parameters

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	کادمیوم شاخساره Shoot Cadmium	کادمیوم ریشه Root Cadmium	سرب شاخساره Shoot Lead	سرب ریشه Root Lead	فاکتور انتقال کادمیوم Cd TF	فاکتور انتقال سرب Pb TF
رقم Cultivar	1	1.22**	0.75**	26.054**	75886.726**	110.856**	795.401**	0.011*	0.995**
کادمیوم Cadmium	3	1.92**	0.01**	135.704**	267102.600**	22.556**	78.228**	0.116**	0.017**
سرب Lead	3	0.96**	0.03**	7.274**	2600.376^{ns}	493.854**	5671.464**	0.002^{ns}	0.590**
رقم*کادمیوم Cultivar*Cadmium	3	0.003^{ns}	0.002**	3.963**	10917.485**	8.534**	68.360**	0.005^{ns}	0.013**
رقم*سرب Cultivar*Lead	3	0.04**	0.01**	5.764**	595.062^{ns}	22.841**	489.624**	0.001^{ns}	0.39**
کادمیوم*سرب Cadmium*Lead	9	0.08**	0.002**	0.630**	2075.213^{ns}	2.490^{ns}	37.289**	0.003^{ns}	0.001^{ns}
رقم*کادمیوم*سرب Cultivar*Cadmium*Lead	9	0.01^{ns}	0.002**	0.456*	378.592^{ns}	2.115^{ns}	8.357**	0.004^{ns}	0.007**
خطا Error	64	0.01	0.0005	0.187	1171.923	1.401	2.260	0.002	0.002

**، *، ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح یک درصد و پنج درصد وعدم معنی دار

* and ** significant ap P<0.01 and P<0.05, respectively

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر وزن خشک شاخساره در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. رقم خمین دارای وزن خشک بیشتری (۱/۹۸ گرم در گلدان) نسبت به رقم G01437 (۱/۷۵ گرم در گلدان) بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک شاخساره (۲/۲۵ گرم در گلدان) در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین وزن (۱/۵۹ گرم در گلدان) در تیمار ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم به دست آمد. با افزایش غلظت کادمیوم خاک، وزن خشک شاخساره، کاهش نشان داد (جدول ۴). بیشترین وزن خشک شاخساره (۲/۰۶ گرم در گلدان) در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم سرب و کمترین وزن (۱/۵۹ گرم در گلدان) در تیمار ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب خاک نیز وزن خشک شاخساره، کاهش نشان داد (جدول ۵).

پژوهشگران در بررسی تجمع کادمیوم و سرب در شاخساره‌ی گیاهان آفتابگردان، کرچک، یونجه و خردل در کشت هیدروپونیک، نشان دادند که زیست توده‌ی گیاهان با افزایش غلظت کادمیوم و سرب کاهش یافت (Zhi-Xin et al., 2007). بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم و سرب بر وزن خشک شاخساره در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. بیشترین وزن در تیمار صفر میلی‌گرم سرب در رقم خمین (۲/۱۳ گرم در گلدان) و کمترین در تیمار ۲۰۰ میلی گرم سرب در رقم G01437 (۱/۴۳ گرم در گلدان) حاصل شد. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، وزن خشک شاخساره کاهش یافت (جدول ۷). براساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر وزن خشک شاخساره معنی دار نمی-باشد.

وزن خشک ریشه

بر اساس نتایج جدول ۲ اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر وزن خشک ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید. رقم G01437 دارای وزن خشک بیشتری نسبت به رقم خمین بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین وزن در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم به دست آمد. با افزایش غلظت کادمیوم

Archive of SID

www.SID.ir

خاک، وزن خشک ریشه افزایش یافت، اما وزن خشک ریشه در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم کمتر از تیمار ۴۰ میلی گرم بود (جدول ۴). بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم سرب و کمترین وزن در تیمار ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سرب بود که به ترتیب برابر ۰/۴۵۶ و ۰/۳۶۵ گرم در گلدان بود. با افزایش غلظت سرب خاک، وزن خشک ریشه کاهش یافت (جدول ۵).

محققان گزارش کردند فلزات سنگین به دلیل دخالت در مراحل مختلف چرخه‌ی کلوین، اثر بازدارنده‌ای بر فتوسنتز دارند (Habash et al., 1995). اگرچه در گزارش‌هایی غلظت های کم کادمیوم در محدوده بحرانی (حدود ۲ تا ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، بواسطه تاثیر بر سنتز هورمون ها و آنزیم های گیاهی، سبب بهبود رشد *Ricinus communis* (کرچک) (Lu and He, 2002) و گندم (Wong et al., 2002) گردید.

بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم و کادمیوم بر وزن خشک ریشه در سطح ۱٪ معنی دار بود. بیشترین وزن در تیمار ۴۰ میلی‌گرم کادمیوم در رقم G01437 و کمترین در تیمار سطح صفر کادمیوم در رقم خمین بود. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، وزن خشک ریشه افزایش یافت اما در رقم G01437، وزن خشک ریشه در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم کاهش یافت (جدول ۶).

بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم و سرب بر وزن خشک ریشه در سطح ۱٪ معنی دار می باشد. بیشترین وزن در تیمار صفر میلی گرم سرب در رقم G01437 (۰/۵۷ گرم در گلدان) و کمترین در تیمار ۲۰۰ میلی گرم سرب در رقم خمین (۰/۳۰ گرم در گلدان) بود. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، وزن خشک ریشه کاهش یافت، اما در رقم خمین، وزن خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ میلی گرم سرب بیشتر از تیمار صفر میلی گرم سرب بود (جدول ۷). در بررسی تاثیر فلز سنگین سرب بر رشد کلم گزارش شد وزن خشک گیاهان بعد از ۴۳ روز از رشد در محیط آلوده به سرب، در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش یافت بطوری که در غلظت‌های بالای سرب، وزن خشک بیشتر کاهش یافت (Sinha et al., 2006). در تحقیقی، زیست‌توده ی گیاهچه های کلم پنج تا ۱۵ درصد، تحت تنش سرب افزایش یافت. به عقیده این پژوهشگران، افزایش مقادیر، می تواند باعث تحریک رشد گیاه گردد (Zhiqiang et al., 2009).

بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر وزن خشک ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین وزن در تیمار سرب صفر + کادمیوم ۴۰ در رقم G01437 و کمترین در تیمارسرب ۲۰۰ + کادمیوم صفر در رقم خمین بود. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، وزن خشک ریشه کاهش یافت. در رقم G01437 با افزایش کادمیوم خاک تا ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم، وزن خشک ریشه افزایش یافت اما بعد از آن در تیمار کادمیوم ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم، کاهش یافت. در رقم خمین، می توان گفت با افزایش کادمیوم خاک، وزن خشک ریشه افزایش یافت (جدول ۸).

جذب کادمیوم در شاخساره

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق، ارائه شده و ملاحظه می‌گردد که از نظر بافت و سایر خصوصیات برای رشد لوبیا مناسب می‌باشد. شاید تنها محدودیت قابل اشاره در این خاک، قابلیت هدایت الکتریکی آن باشد که امکان ایجاد تنش بر گیاهان داشته باشد. بر اساس گزارش سینگ و مک لاگلین (Singh and McLaughlin, 1999)، شوری با افزایش زیست‌فراهمی کادمیوم و افزایش انحلال آن از طریق آنیون موجود در ترکیب نمک، می‌تواند سبب افزایش انتقال و تحرک این فلز سنگین گردد.

بر اساس نتایج جدول ۲ اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر جذب کادمیوم در شاخساره در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید. رقم خمین دارای جذب کادمیوم در شاخساره بیشتری نسبت به رقم G01437 بود (جدول ۳). بیشترین جذب کادمیوم شاخساره در تیمار ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین جذب در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم بود (شکل ۱). با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب کادمیوم در شاخساره افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین جذب کادمیوم شاخساره در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم سرب و کمترین جذب در تیمار ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب خاک، جذب کادمیوم در شاخساره کاهش یافت (جدول ۵).

بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم و کادمیوم بر جذب کادمیوم در شاخساره در سطح ۱٪ معنی‌دار می باشد. بیشترین جذب در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم در رقم خمین و کمترین در تیمار صفر میلی گرم

Archive of SID

www.SID.ir

کادمیوم در رقم G01437 به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب کادمیوم در شاخساره افزایش یافت (جدول ۶).

بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم و سرب بر جذب کادمیوم در شاخساره در سطح ۱٪ معنی دار می باشد. بیشترین جذب در تیمار صفر میلی گرم سرب در رقم خمین و کمترین در تیمار ۵۰ میلی گرم سرب در رقم G01437 به دست آمد (جدول ۷). همچنین بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر جذب کادمیوم در شاخساره در سطح ۵٪ معنی دار گردید. بیشترین جذب در تیمار سرب صفر + کادمیوم ۸۰ در رقم خمین و کمترین در تیمارسرب ۵۰ + کادمیوم صفر در رقم G01437 بود. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، جذب کادمیوم در شاخساره کاهش یافت (جدول ۸).

مطابق با نتیجه‌ی این تحقیق، در بررسی ژی-زین و همکاران (Zhi-Xin et al., 2007) حضور همزمان کادمیوم و سرب بر تجمع کادمیوم و سرب گونه های مختلف گیاهی اثر بازدارنده ای داشت. یعنی حضور یک فلز در محیط توانست جذب فلز دیگر محیط را در گیاه کاهش دهد. پژوهشگران، گزارش کردند تجمع کادمیوم در گیاهان نه تنها به غلظت کادمیوم محلول بلکه به غلظت سرب محلول نیز بستگی دارد(Liu et al., 2008). به عبارت دیگر، سرب به تجمع کادمیوم گیاه کمک کرد در حالی‌که کادمیوم از تجمع سرب در شاخساره ها جلوگیری کرد. برهمکنش بین کادمیوم و دیگر عناصر ممکن است اشاره به حضور سازوکارهای انتقال مشابه داشته باشند (Grant et al., 1997).

جذب کادمیوم در ریشه

بر اساس نتایج جدول ۲ اثرات رقم و کادمیوم بر جذب کادمیوم در ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود، اما اثر اصلی سرب بر جذب کادمیوم در ریشه معنی‌دار نبود. رقم G01437 دارای جذب کادمیوم در ریشه بیشتری نسبت به رقم خمین بود (جدول ۳). بیشترین جذب کادمیوم در ریشه در تیمار ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین جذب در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم بود. با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب کادمیوم در ریشه گیاهان لوبیا نیز افزایش یافت (جدول ۴).

بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم و کادمیوم بر جذب کادمیوم در ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین جذب در تیمار ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در رقم G01437 و کمترین در تیمار صفر میلی گرم کادمیوم در رقم خمین به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب کادمیوم در ریشه افزایش یافت (جدول۶). برهمکنش رقم و سرب بر جذب کادمیوم در ریشه معنی دار نمی باشد. بیشترین جذب سرب در تیمار ۱۰۰ میلی گرم سرب رقم G01437 و کمترین در تیمار ۵۰ میلی گرم سرب رقم خمین سرب به دست آمد (جدول ۷). همچنین بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر جذب کادمیوم در ریشه معنی دار نبود.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر رقم بر صفات اندازه گیری شده

Table 3. Comparison of cultivar effect mean on measured parameters

رقم Cultivar	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه Shoot dry weight	جذب کادمیوم شاخساره Shoot Cd uptake	جذب کادمیوم ریشه Root Cd uptake	جذب سرب شاخساره Shoot Pb uptake	جذب سرب ریشه Root Pb uptake	فاکتور انتقال کادمیوم Cd TF	فاکتور انتقال سرب Pb TF
	---------- gr pot^{-1} ----------		---------- µg pot^{-1} ----------					
G01437	1.75^{b}	0.508^{a}	4.41^{b}	160.15^{a}	16.667^{a}	25.207^{a}	0.061^{a}	0.350^{a}
خمین Khomein	1.98^{a}	0.330^{b}	5.45^{a}	103.93^{b}	14.518^{b}	19.450^{b}	0.039^{b}	0.147^{b}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد هستند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (P<0.05)

Archive of SID

www.SID.ir

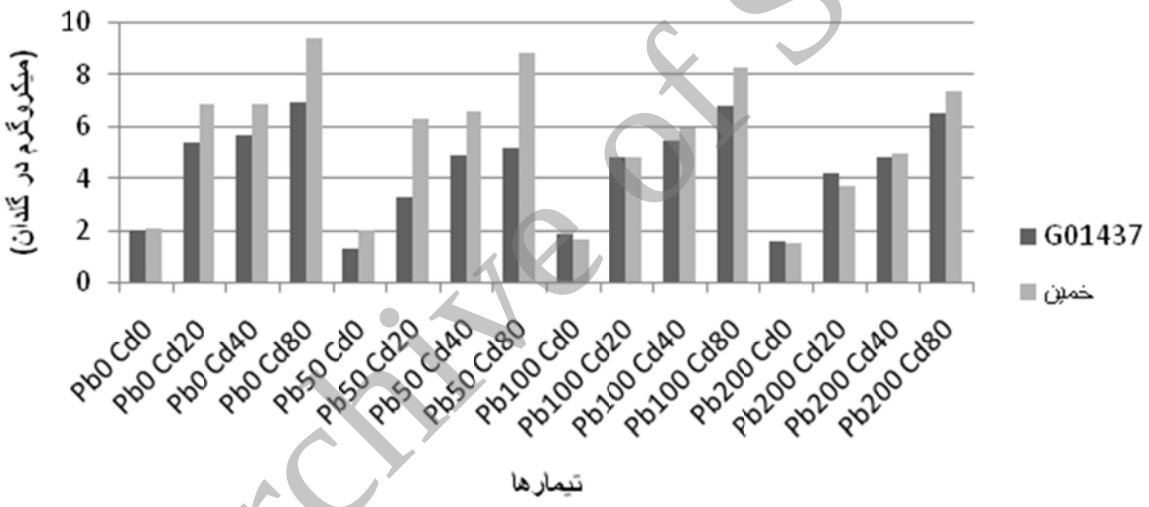
جدول ۴. مقایسه میانگین اثر سطوح کادمیوم بر صفات اندازه گیری شده

Table 4. Comparison of cadmium levels effect mean on measured parameters

سطوح کادمیوم Cadmium Treatments	وزن خشک شاخساره Shoot dry weoght	وزن خشک ریشه Root dry weight	جذب کادمیوم شاخساره Shoot Cd uptake	جذب کادمیوم ریشه Root Cd uptake	جذب سرب شاخساره Shoot Pb uptake	جذب سرب ریشه Root Pb uptake	فاکتور انتقال کادمیوم Cd TF	فاکتور انتقال سرب Pb TF
$mg.kg^{-1}$	---------- gr pot^{-1} ----------		---------- µg pot^{-1} ----------					
0	2.25^{a}	0.38^{b}	1.73^{d}	1.96^{d}	14.17^{b}	19.70^{c}	0.154^{a}	0.213^{c}
20	1.90^{b}	0.42^{a}	4.92^{c}	102.50^{c}	15.76^{a}	22.94^{b}	0.011^{b}	0.241^{b}
40	1.72^{c}	0.43^{a}	5.65^{b}	174.08^{b}	16.17^{a}	23.83^{a}	0.008^{b}	0.266^{ab}
80	1.59^{d}	0.42^{a}	7.42^{a}	249.62^{a}	16.26^{a}	22.82^{b}	0.027^{b}	0.274^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد هستند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (LSD)



شکل ۱. مقایسه اثر تیمارهای غلظت سرب و کادمیوم بر جذب کادمیوم شاخساره در ارقام G01437 و خمین

Fig. 1. Comparison of lead and cadmium concentration treatments on shoot cadmium uptake in G01437 and khomein cultivars.

در این تحقیق غلظت کادمیوم در ریشه ی لوبیا بیشتر از شاخساره بود. پژوهشگران نشان داده‌اند که در برنج، تفاوت-های معنی‌داری در تجمع کادمیوم قسمت‌های مختلف ارقام مختلف برنج وجود داشت (Liu et al., 2003). برخی ارقام در ریشه‌ها کادمیوم بیشتر و در شاخساره کادمیوم کمتری جذب کردند و برخی دیگر غلظت کمتری را در ریشه و غلظت بیشتری در شاخساره نشان دادند. مطابق با نتیجه‌ی این تحقیق، پژوهشگران نشان دادند که تجمع کادمیوم در ریشه‌های *Impatiens balsamina* بیشتر از سایر قسمت‌ها بود (Liu et al., 2008). این امر، بیانگر آن است که انتقال کادمیوم از ریشه به شاخساره ضعیف بود و کادمیوم جذب شده بیشتر در ریشه ها تجمع یافته بود. همچنین، با افزایش مقدار کادمیوم محیط، غلظت کادمیوم تمام بخش‌های گیاهان افزایش یافت. در بررسی زلجازکوف و همکاران (Zheljazkov et al., 2006) نیز در نعناع و ریحان تقریبا غلظت کادمیوم در شاخساره ها کمتر از ریشه ها بود. در

Archive of SID

www.SID.ir

تحقیق دیگری نتایج مشابهی در تجمع کادمیوم ریشه خزه (reed) اعلام شد (Ali et al., 2004). گزارش شده است که کادمیوم به راحتی از پوست ریشه جذب، سپس از راه سیمپلاستی یا آپوپلاستی وارد بافت چوب می شود (Sanita and Toppi, 1999). مطابق با این تحقیق، گزارش شده است که در اغلب گونه های گیاهی کادمیوم در ریشه تجمع می یابد و مقدار کمی به بخش هوایی منتقل می شود. کادمیوم اغلب در واکوئل سلول‌ها، دیواره‌ی سلول و تیغه‌ی میانی آندودرم و دایره‌ی محیطیه تجمع می‌یابد (Ramos et al., 2002). گزارش شده است که تجمع کادمیوم در ریشه‌های چغندر قند ۵ تا ۱۰ برابر بیش از اندام هوایی آن بوده است و در سویا نیز فقط ۲٪ کادمیوم انباشته شده به بخش هوایی منتقل می شود (Larsson et al., 1998). بیشتر کادمیوم جذب شده توسط ریشه ها در واکوئل ها به صورت کمپلکس‌های Cd-phytochelatin تجمع می‌یابد که این کمپلکس‌ها قادر به انتقال به اندام‌های هوایی نیستند (Cohen et al., 1998).

جذب سرب در شاخساره

بر اساس نتایج جدول ۲ اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر جذب سرب در شاخساره در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. رقم G01437 دارای جذب سرب در شاخساره بیشتری نسبت به رقم خمین بود (جدول ۳). بیشترین جذب سرب در شاخساره در تیمار ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین جذب در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم بود. با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب سرب در شاخساره‌ی گیاهان افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین جذب سرب در شاخساره در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و کمترین جذب در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب خاک، جذب سرب در شاخساره‌ی گیاهان افزایش یافت اما در مجموع جذب سرب در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم سرب کمتر از تیمار ۱۰۰ میلی گرم سرب بود و این به آن دلیل بود که وزن خشک شاخساره‌ی گیاهی در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب کمتر از تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم سرب بود (جدول ۵). بر اساس گزارش آلووی (Alloway, 1990) حد بحرانی کادمیوم در گیاهان ۳۰-۵ و برای سرب ۳۰۰-۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بافت گیاهی اعلام شده است. با توجه به تاثیر پذیری پارامتر جذب از دو پارامتر ماده خشک تولیدی گیاه و غلظت آلاینده (کادمیوم/سرب)، در مطالعات تنش و مقاومت گیاهان، با اعتبار سنجی بالاتری می توان از این صفت استفاده نمود. بر این اساس جذب سرب شاخساره در رقم G01437 تفاوت آماری معنی داری با رقم محلی خمین نشان داد (جدول ۳).

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، برهمکنش رقم و کادمیوم بر جذب سرب در شاخساره در سطح ۱٪ معنی دار بود. بیشترین جذب در تیمار ۴۰ میلی‌گرم کادمیوم در رقم G01437 و کمترین در تیمارصفر میلی‌گرم کادمیوم در رقم خمین به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب سرب در شاخساره‌ی گیاهان افزایش یافت (جدول ۶).

بر اساس نتایج جدول ۲، برهمکنش رقم و سرب بر جذب سرب در شاخساره در سطح ۱٪ معنی‌دار می باشد. بیشترین جذب در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم سرب در رقم G01437 و کمترین در تیمار صفر میلی‌گرم سرب در رقم خمین به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، جذب سرب در شاخساره‌ی گیاهان افزایش یافت (جدول ۷). برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر جذب سرب در شاخساره معنی دار نبود (جدول ۲).

جذب سرب در ریشه

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر غلظت سرب در ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. رقم G01437 دارای جذب سرب در ریشه بیشتری نسبت به رقم خمین بود (جدول ۳). بیشترین جذب سرب در ریشه در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین جذب در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم بود. با افزایش غلظت کادمیوم خاک تا ۴۰ میلی گرم، جذب سرب در ریشه گیاهان افزایش یافت. اما بعد از آن در تیمار۸۰ میلی گرم کادمیوم، کمی کاهش یافت (جدول ۴). بیشترین جذب سرب ریشه در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و کمترین جذب در تیمار صفر میلی‌گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب در خاک، جذب سرب در ریشه گیاهان افزایش یافت (جدول ۵).

برهمکنش رقم و کادمیوم بر جذب سرب در ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین جذب در تیمار ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در رقم G01437 و کمترین در تیمار صفر میلی گرم کادمیوم در رقم خمین به دست آمد. در رقم

Archive of SID

www.SID.ir

G01437 با افزایش غلظت کادمیوم خاک، جذب سرب در ریشه، افزایش یافت. در رقم خمین با افزایش غلظت کادمیوم خاک تا ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم، جذب سرب در ریشه افزایش یافت، اما در غلظت ۸۰ میلی گرم سرب در کیلوگرم خاک، کاهش یافت (جدول ۶).

بر اساس نتایج جدول ۲، برهمکنش رقم و سرب بر جذب سرب در ریشه در سطح ۱٪ معنی دار گردید. بیشترین جذب در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم سرب و کمترین در تیمار صفر میلی گرم سرب در رقمG01437 به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب خاک، جذب سرب در ریشه گیاهان افزایش یافت (جدول ۷). بر اساس نتایج جدول ۲ مشخص شد که برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر جذب سرب در ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار می باشد.

بیشترین غلظت در تیمار سرب۲۰۰ + کادمیوم و کمترین در تیمارسرب صفر + کادمیوم صفر در رقم G01437 به دست آمد (جدول ۸).

در این تحقیق جذب سرب در ریشه ی لوبیا تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم سرب در خاک، کمتر از شاخساره بود. اما بعد از آن در ریشه ها بیشتر از شاخساره بود. و جذب سرب در ریشه ها کمتر از جذب کادمیوم در ریشه ها بود. مطابق با نتیجه ی این تحقیق، لی‌یو و همکاران (Liu et al., 2008) نشان دادند که در گیاهان زینتی در تیمارهای مختلف، تجمع سرب در بخش های مختلف گیاهان متفاوت بود و غلظت سرب شاخساره ها کمتر از ریشه ها بود. ضمن آن که در مقایسه با کادمیوم، تجمع سرب در گیاهان کمتر بود.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر سطوح سرب بر صفات اندازه گیری شده

Table 5. Comparison of lead levels effect mean on measured parameters

سطوح سرب ($mg.kg^{-1}$) Lead treatments	وزن خشک شاخساره ($gr.pot^{-1}$) Shoot dry weight	وزن خشک ریشه ($gr.pot^{-1}$) Root dry weight	جذب کادمیوم شاخساره ($\mu g.pot^{-1}$) Shoot Cd uptake	جذب کادمیوم ریشه ($\mu g.pot^{-1}$) Root Cd uptake	جذب سرب شاخساره ($\mu g.pot^{-1}$) Shoot Pb uptake	جذب سرب ریشه ($\mu g.pot^{-1}$) Root Pb uptake	فاکتور انتقال کادمیوم Cd TF	فاکتور انتقال سرب Pb TF
0	2.067^{a}	0.456^{a}	5.659^{a}	134.355^{ab}	8.935^{d}	6.148^{d}	0.042^{a}	0.458^{a}
50	1.956^{b}	0.426^{b}	4.797^{b}	120.589^{b}	16.622^{c}	13.913^{c}	0.063^{a}	0.286^{b}
100	1.852^{c}	0.431^{b}	4.950^{b}	145.180^{a}	18.911^{a}	28.550^{b}	0.054^{a}	0.158^{c}
200	1.597^{d}	0.365^{c}	4.330^{c}	128.050^{ab}	17.903^{b}	40.702^{a}	0.040^{a}	0.103^{d}

(در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد هستند)

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (LSD)

فاکتور انتقال کادمیوم

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات رقم و کادمیوم بر فاکتور انتقال کادمیوم در سطح ۱٪ معنی‌دار بود، اما اثر اصلی سرب بر فاکتور انتقال کادمیوم معنی‌دار نبود. رقم G01437 دارای فاکتور انتقال کادمیوم (۰/۰۶۱) بیشتری نسبت به رقم خمین (۰/۰۳۹) بود (جدول ۳). بیشترین فاکتور انتقال کادمیوم در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین فاکتور انتقال کادمیوم در تیمار ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم بود. با افزایش غلظت کادمیوم در خاک تا ۴۰ میلی گرم، فاکتور انتقال کادمیوم کاهش یافت، ولی در

Archive of SID

www.SID.ir

تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، فاکتور انتقال کادمیوم کمی افزایش یافت اما همچنان کمتر از تیمار شاهد بود (جدول ۴). مطابق با نتیجه ی این تحقیق، در بررسی ژی-زین و همکاران (Zhi-Xin et al., 2007) نیز فاکتور انتقال کادمیوم گیاهان با افزایش کادمیوم محیط، تمایل به کاهش داشت. بر اساس نتایج جدول ۲، برهمکنش رقم و کادمیوم بر فاکتور انتقال کادمیوم معنی دار نبود. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، فاکتور انتقال کادمیوم به طور غیر معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۶). همچنین برهمکنش رقم و سرب بر فاکتور انتقال کادمیوم معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۲). در هر دو رقم (به جز تیمارهای شاهد) با افزایش غلظت سرب خاک، فاکتور انتقال کادمیوم، به طور غیرمعنی داری کاهش یافت (جدول ۷). برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر فاکتور انتقال کادمیوم معنی دار نبود (جدول ۲).

جدول ۶. مقایسه میانگین برهمکنش رقم و کادمیوم بر خصوصیات اندازه گیری شده

Table 6. Comparison of interaction cultivar and cadmium mean on measured parameters

سطوح کادمیوم	رقم	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه	جذب کادمیوم شاخساره	جذب کادمیوم ریشه	جذب سرب شاخساره	جذب سرب ریشه	فاکتور انتقال کادمیوم	فاکتور انتقال سرب
Cadmium Treatments	Cultivar	Shoot dry weight	Root dry weight	Shoot Cd uptake	Root Cd uptake	Shoot Pb uptake	Root Pb uptake	Cd TF	Pb TF
$mg.kg^{-1}$		gr pot^{-1}		μg pot^{-1}					
0	**G01437**	2.12^{b}	0.48^{c}	1.66^{e}	2.21^{e}	14.41^{bc}	21.27^{cd}	0.18^{a}	0.33^{a}
	Khomein	2.37^{a}	0.28^{e}	1.80^{e}	1.71^{e}	13.94^{c}	18.14^{e}	0.12^{b}	0.08^{c}
20	**G01437**	1.77^{de}	0.51^{b}	4.40^{d}	132.31^{c}	17.34^{a}	24.33^{b}	0.009^{c}	0.35^{a}
	Khomein	2.02^{c}	0.34^{d}	5.43^{c}	72.70^{d}	14.17^{bc}	21.55^{c}	0.01^{c}	0.12^{c}
40	**G01437**	1.62^{f}	0.53^{a}	5.20^{c}	226.31^{b}	17.57^{a}	27.53^{a}	0.007^{c}	0.36^{a}
	Khomein	1.82^{d}	0.34^{d}	6.10^{b}	121.86^{c}	14.77^{bc}	20.13^{d}	0.009^{c}	0.16^{b}
80	**G01437**	1.49^{g}	0.50^{b}	6.37^{b}	279.81^{a}	17.34^{a}	27.68^{a}	0.04^{c}	0.34^{a}
	Khomein	1.70^{ef}	0.35^{d}	8.47^{a}	219.45^{b}	15.18^{b}	17.96^{e}	0.008^{c}	0.20^{b}

(در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد هستند)

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (LSD)

فاکتور انتقال سرب

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات رقم، کادمیوم و سرب بر فاکتور انتقال سرب در سطح ۱٪ معنی دار بود. رقم G01437 دارای فاکتور انتقال سرب (۰/۳۵۰) بیشتری نسبت به رقم خمین (۰/۱۴۷) بود (جدول ۳). بیشترین فاکتور انتقال سرب در تیمار ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین فاکتور انتقال سرب در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم کادمیوم بود. با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، فاکتور انتقال سرب، افزایش یافت (جدول ۴). در ارتباط با اثر اصلی سرب بر فاکتور انتقال سرب، بیشترین فاکتور انتقال سرب در تیمار صفر میلی گرم در کیلوگرم سرب و کمترین در تیمار ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سرب بود. با افزایش غلظت سرب در خاک، فاکتور انتقال سرب کاهش یافت (جدول ۵). فاکتور انتقال سرب بیشتر از فاکتور انتقال کادمیوم به دست آمد و فاکتور انتقال کادمیوم با افزایش غلظت کادمیوم خاک کاهش یافت. فاکتور انتقال سرب نیز با افزایش غلظت سرب خاک، کاهش یافت. هرچه فاکتور انتقال کوچک باشد نشانگر این است که انتقال فلز از ریشه به شاخساره کم است. اگر فاکتور انتقال عددی بزرگتر از یک باشد بیانگر این است که فلز سنگین انتقال یافته به شاخساره بیشتر از ریشه است.

Archive of SID

www.SID.ir

بر اساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم و کادمیوم بر فاکتور انتقال سرب در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین فاکتور انتقال سرب در تیمار ۴۰ میلی گرم کادمیوم در رقم G01437 (۰/۳۶) و کمترین در تیمار صفر میلی گرم کادمیوم در رقم خمین (۰/۰۸) به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت کادمیوم خاک، فاکتور انتقال سرب افزایش یافت. فقط در رقم G01437 فاکتور انتقال سرب در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیوم کمی کاهش یافت (جدول ۶).

براساس نتایج جدول ۲ برهمکنش رقم و سرب بر فاکتور انتقال سرب در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین فاکتور انتقال سرب در تیمار صفر میلی گرم سرب در رقم G01437 (۰/۷۴) و کمترین در تیمار صفر سرب در رقم خمین (۰/۱۷) به دست آمد. در هر دو رقم با افزایش غلظت سرب در خاک، فاکتور انتقال سرب کاهش یافت. فقط در رقم خمین در تیمار ۵۰ میلی گرم سرب کمی بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۷). بر اساس نتایج جدول ۲، برهمکنش رقم، کادمیوم و سرب بر فاکتور انتقال سرب در سطح ۱٪ معنی دار می باشد. بیشترین فاکتور انتقال سرب در تیمار سرب صفر + کادمیوم صفر در رقم G01437 (۰/۷۹۱) و کمترین در تیمارسرب صفر + کادمیوم صفر در رقم خمین (۰/۰۵۹) بود. در هر دو رقم فاکتور انتقال سرب با افزایش غلظت سرب کاهش یافت و در رقم خمین، افزایش غلظت کادمیوم خاک سبب افزایش فاکتور انتقال سرب گردید (جدول ۸). مقادیر فاکتور انتقال می‌تواند حرکت و توزیع فلزات سنگین را در گیاهان توضیح دهد. انتقال از بین غشای سلول های ریشه یک فرایند مهمی است که جذب فلز در بافت های گیاهی از آنجا آغاز می شود. مقدار فاکتور انتقال در گیاهان وابسته به فاکتورهای زیادی است. ترسیب سلولی کادمیوم یا سرب می تواند تاثیر زیادی بر مقدار کادمیوم یا سرب آزاد در سیمپلاست بگذارد و در نتیجه حرکت کادمیوم یا سرب را در گیاه تحت تاثیر قرار دهد (Zhi-Xin et al., 2007).

جدول ۷. مقایسه میانگین برهمکنش رقم و سرب بر خصوصیات اندازه گیری شده

Table 6. Comparison of interaction cultivar and lead mean on measured parameters

سطوح سرب	رقم	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه	جذب کادمیوم شاخساره	جذب کادمیوم ریشه	جذب سرب شاخساره	جذب سرب ریشه	فاکتور انتقال کادمیوم	فاکتور انتقال سرب
Lead Treatments	**Cultivar**	**Shoot dry weight**	**Root dry weight**	**Shoot Cd uptake**	**Root Cd uptake**	**Shoot Pb uptake**	**Root Pb uptake**	**Cd TF**	**Pb TF**
$mg.kg^{-1}$		---------- gr pot^{-1} ----------		---------- µg pot^{-1} ----------					
0	**G01437**	2.00^{b}	0.57a	5.00^{cd}	169.52^{a}	10.81^{d}	4.47^{f}	0.041^{ab}	0.74^{a}
	Khomein	2.13^{a}	0.34^{de}	6.31^{a}	99.19^{c}	7.05^{e}	7.82^{e}	0.043^{ab}	0.17^{c}
50	**G01437**	1.82^{c}	0.52^{b}	3.64^{g}	144.87^{ab}	17.41^{b}	13.86^{d}	0.083^{a}	0.36^{b}
	Khomein	2.09^{a}	0.32^{e}	5.94^{b}	96.31^{c}	15.83^{c}	13.95^{d}	0.044^{ab}	0.18^{c}
100	**G01437**	1.75^{c}	0.51^{b}	4.73^{de}	173.25^{a}	20.72^{a}	33.75^{b}	0.070^{ab}	0.18^{c}
	Khomein	1.94^{b}	0.35^{d}	5.16^{c}	117.11^{bc}	17.10^{b}	23.35^{c}	0.038^{ab}	0.13^{d}
200	**G01437**	1.43^{d}	0.42^{c}	4.27^{f}	153.00^{a}	17.71^{b}	48.73^{a}	0.050^{ab}	0.10^{d}
	Khomein	1.57^{c}	0.30^{f}	4.39^{ef}	103.10^{c}	18.08^{b}	32.67^{b}	0.031^{b}	0.09^{d}

(در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد هستند)

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (LSD)

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۸. مقایسه میانگین برهمکنش رقم، سرب و کادمیوم بر خصوصیات اندازه گیری شده

Table 8. Comparison of interaction cultivar, lead and cadmium mean on measured parameters

سطوح سرب	سطوح کادمیوم	رقم	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه	جذب کادمیوم شاخساره	جذب کادمیوم ریشه	جذب سرب شاخساره	جذب سرب ریشه	فاکتور انتقال کادمیوم	فاکتور انتقال سرب
Pb Levels	Cd Levels	Cultivar	Shoot dry weight	Root dry weight	Shoot Cd uptake	Root Cd uptake	Shoot Pb uptake	Root Pb uptake	Cd TF	Pb TF
--- mg.kg^{-1} ---			-------- gr pot^{-1} --------		---------- µg pot^{-1} ----------					
0	0	G01437	2.60^{a}	0.55^{abcd}	1.99^{mn}	3.10^{j}	8.61^{j}	2.29^{r}	0.137^{b}	0.791^{a}
		Khomein	2.73^{a}	0.33^{lm}	2.09^{m}	1.89^{j}	4.83^{j}	9.89^{no}	0.134^{b}	0.059^{l}
	20	G01437	2.03b^{cde}	0.58^{ab}	5.40^{gh}	140.98^{defg}	11.15^{h}	4.45^{qr}	0.011^{c}	0.733^{ab}
		Khomein	2.19^{b}	0.35^{jkl}	6.87^{cd}	66.08^{ij}	6.87^{i}	8.72^{op}	0.016^{c}	0.127^{ghijkl}
	40	G01437	1.8f^{ghijk}	0.59^{a}	5.65^{fgh}	221.39^{bc}	12.34^{h}	5.17^{q}	0.008^{c}	0.783^{a}
		Khomein	1.89^{defgh}	0.30^{m}	6.87^{cd}	95.92^{fghi}	7.95^{i}	6.04^{q}	0.011^{c}	0.211^{fg}
	80	G01437	1.58^{lmn}	0.56^{abc}	6.97^{cd}	312.60^{a}	11.15^{h}	5.97^{q}	0.008^{c}	0.663^{b}
		Khomein	1.7^{hijklm}	0.38^{ijk}	9.40^{a}	232.88^{bc}	8.56^{i}	6.62^{pq}	0.009^{c}	0.293^{de}
50	0	G01437	2.13^{bc}	0.51^{ed}	1.27^{n}	1.92^{j}	16.01^{fg}	11.73^{mn}	0.159^{b}	0.327^{d}
		Khomein	2.58^{a}	0.31^{lm}	1.97^{mn}	1.71^{j}	16.26^{efg}	15.94^{k}	0.145^{b}	0.126^{ghijkl}
	20	G01437	1.85^{efghi}	0.52^{cde}	3.27^{l}	131.08^{jkl}	17.41^{cdefg}	13.04^{lm}	0.007^{c}	0.376^{cd}
		Khomein	2.11^{bc}	0.32^{lm}	6.34^{def}	69.46^{hi}	15.28^{g}	13.62^{klm}	0.014^{c}	0.171^{fghijkl}
	40	G01437	1.7^{hijklm}	0.54^{bcd}	4.86^{hij}	228.69^{bc}	19.98^{cdefg}	15.13^{kl}	0.006^{c}	0.357^{cd}
		Khomein	1.9^{defg}	0.34^{klm}	6.63^{cde}	117.96^{fghi}	15.70^{fg}	13.88^{klm}	0.010^{c}	0.307^{fgh}
	80	G01437	1.6^{klmn}	0.53^{cde}	5.15^{gef}	217.79^{bc}	19.24^{bc}	15.56^{kl}	0.160^{b}	0.412^{c}
		Khomein	1.7^{6ghijkl}	0.31^{lm}	8.84^{ab}	196.12^{cde}	16.06^{efg}	12.38^{mn}	0.008^{c}	0.233^{ef}
100	0	G01437	2.06^{bcd}	0.49^{ef}	1.86^{mn}	1.76^{j}	17.57^{cdefg}	27.61^{gf}	0.255^{a}	0.151^{fghijkl}
		Khomein	2.20^{b}	0.24^{n}	1.60^{mn}	1.42^{j}	16.78^{efg}	19.54^{j}	0.126^{b}	0.094^{jkl}
	20	G01437	1.77^{fghijkl}	0.51^{ed}	4.79^{ij}	134.5^{efg}	21.85^{a}	30.60^{f}	0.010^{c}	0.205^{fgh}
		Khomein	2.03^{bcde}	0.37^{ijk}	4.81^{ij}	82.27^{fghi}	17.41^{cdefg}	26.89^{h}	0.011^{c}	0.119^{ghijkl}
	40	G01437	1.65^{jklm}	0.53cde	5.44^{ghi}	234.33^{bc}	22.29^{a}	36.56^{e}	0.007^{c}	0.196^{fghi}
		Khomein	1.83^{fghij}	0.38^{hij}	5.93^{efg}	135.03^{efg}	17.05^{cdefg}	23.67^{i}	0.009^{c}	0.152^{fghijkl}
	80	G01437	1.54^{mn}	0.52^{cde}	6.82^{cd}	322.42^{a}	21.15^{ab}	40.22^{d}	0.007^{c}	0.177^{fghij}
		Khomein	1.72^{ghijklm}	0.39hij	8.31^{b}	249.72^{bc}	17.15^{cdefg}	23.29^{i}	0.008^{c}	0.168^{fghijk}
200	0	G01437	1.71^{hijkl}	0.39hij	1.54^{mn}	2.08^{j}	15.44^{g}	43.44^{c}	0.176^{ab}	0.081^{kl}
		Khomein	1.96^{cdef}	0.23^{n}	1.52^{mn}	1.81^{j}	17.87^{cdef}	27.18^{gh}	0.101^{bc}	0.078^{kl}
	20	G01437	1.45^{no}	0.43^{gh}	4.15^{jk}	122.68^{fghi}	18.94^{cd}	49.23^{b}	0.010^{c}	0.114^{hijkl}
		Khomein	1.76^{ghijkl}	0.32^{lm}	3.7^{kl}	72.97^{ghi}	17.14^{cdefg}	37.00^{e}	0.009^{c}	0.086^{jkl}
	40	G01437	1.35^{op}	0.46^{fg}	4.85^{hij}	220.83^{bc}	18.6^{7cd}	53.27^{a}	0.007^{c}	0.119^{ghijkl}
		Khomein	1.66^{ijklm}	0.34^{klm}	4.98^{hi}	138.52^{def}	18.38^{cde}	36.93^{e}	0.007^{c}	0.103^{ijkl}
	80	G01437	1.23^{p}	0.41^{ghi}	6.52^{de}	266.42^{ab}	17.81^{cdef}	48.98^{b}	0.008^{c}	0.123^{ghijkl}
		Khomein	1.63^{klmn}	0.31^{lm}	7.35^{c}	199.09^{cd}	18.94^{cd}	29.56^{fg}	0.007^{c}	0.122^{ghijkl}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد هستند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different (LSD)

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع با افزایش غلظت هر یک از عناصر آلاینده (کادمیوم/سرب) در خاک، جذب آنها در شاخساره و ریشه‌ی دو رقم لوبیای مورد مطالعه، افزایش یافت و با افزایش غلظت سرب خاک، جذب کادمیوم شاخساره، در هر دو رقم کاهش یافت. ۹۷/۵ درصد کادمیوم در رقم G01437، ۹۵/۵درصد کادمیوم رقم محلی خمین در ریشه ها اندازه گیری شد که حاکی از تمایل این فلز به تجمع در ریشه و عدم انتقال به

Archive of SID

www.SID.ir

اندام هوایی داشت(جداول ۳ و ۸). الگوی تجمع فلز سرب نسبت به کادمیوم تفاوت داشت و در رقم G01437 از مجموع ۴۱/۸۷ میکرو گرم در گلدان سرب جذب شده، ۶۰ درصد آن در ریشه این رقم تجمع یافت. در رقم خمین نیز ۵۸/۷ درصد سرب در ریشه ها ذخیره گردید. بیشترین میزان سرب شاخساره در رقم G01437 به میزان ۲۲/۲۹ میکروگرم در گلدام و در تیمار حاوی سرب ۱۰۰ و کادمیوم ۴۰ (میلی‌گرم در کیلوگرم) گزارش شد (جدول ۸). در مجموع بین دو رقم مورد مطالعه، بیشترین جذب کادمیوم شاخساره در رقم خمین و بیشترین جذب سرب شاخساره در رقم G01437 اندازه گیری شد که از نظر آماری دارای تفاوت معنی دار بود ($P>0.05$). با توجه به بروز سمیت کادمیوم در مقادیر کمتر نسبت به فلز سرب، تاثیر محدودکنندگی کادمیوم در رشد و نمو گیاهان بسیار بیشتر می باشد و مقادیر بالاتر از حد بحرانی این عنصر در صورت امکان جذب توسط گیاه می تواند بر رشد و نمو و کیفیت محصول اثر منفی داشته باشد. با توجه به سمی بودن این عناصر و زمینه های بروز تنش ناشی از ورود این آلاینده ها به اراضی کشاورزی، انجام تحقیقات تکمیلی بر روی سایر ارقام و در شرایط مزرعه‌ای پیشنهاد می‌گردد.

منابع

Alexander, P.D., Alloway, B.J., Dourado, A.M., 2006. Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb, and Zn exhibited by six commonly grown vegetables. Environmental Pollution. 144, 736-745.

Ali, N.A., Pilar Bernal, M., Ater, M., 2004. Tolerance and bioaccumulation of cadmium by Phragmites australis grown in the presence of elevated concentrations of cadmium, copper, and zinc. Aquatic Botany. 80, 163-176.

Aliehyaee, M., and Behbahanizadeh, A. A., 1995. Methods Of Soil analysis. Technical bulletin No.983, SWRI, Tehran, Iran (In Persian).

Alloway, B.J., 1990. Heavy metals in soils. Blackie and Son Ltd. New York.

Balsberg-Pahlsson, A.M., 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. Water Air Soil Pollut. 47, 287–319.

Black A L., Miller R H. and Keeney D R. 1989. Methods of soil analysis part II. ASA, I. SSSA. No.9.

Chien, H. F., and Kao, C.H., 2000. Accumulation of ammonium inrice leaves in response to excess cadmium. Plant Sci. 156, 111–115.

Cohen, C.K., Fax, T.C,. Garvin, D.F., and Kochian, L.V., 1998. The role of iron deficiency stress responses in stimulating heavy metal transport in plants. Plant Physiology. 116, 1063-1072.

Davies, B.E., 1990. Lead. In: Alloway, B.J. (Ed.), Heavy Metals in Soils. Blackie and Son Ltd., 177–196.

Emami, A., 1996. Methods of plant analysis. Bulletin No. 982. TAAT Publication.

Ghasemi, Z., and Shahabi, A. A., 2010. Effect of cadmium on the phisioligical indices, growth charactristics and nutrient element concentration in tomato *(Lycopersicon esculentum* mill.) in soilles culture, Ms thesis, Isfahan university of technology. (In Persian).

Grant, C.A., Buckley, W.T., Bailey, L.D., and Selles, F., 1976. Cadmium accumulation in crops. Can. J. of Plant Sci. 78, 1-17.

Hassett, J.J., Miller, J.E., and Koeppe, D.E., 1976. Interaction of lead and cadmium on maize root growth and uptake of lead and cadmium by roots. J. Department of Agronomy, Universty of Illinois, Urbana, Illinois, USA.

Kabata-Pendias, A., and Pendias, H., 1991. Trace Elements in Soils and Plants, second ed. CRC Press. 365 pp.

Lindsay, W.L., and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil tests for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. 42, 421-428.

Archive of SID

www.SID.ir

Liu. DY., and Wang, Y.B., 2002. Effect of Cu and As on germination and seedling growth of crops. Chin J Appl Ecol. 13(2), 179–182.

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

Liu, J., Li, K., Xu, J. and Liang, J., 2003. Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes. Field Crops Research. 83, 271-281.

Lu, X.Y., He, C.Q., 2005. Tolerance, uptake and accumulation of cadmium by Ricinus communis L. J Agro Environ Sci. 24(4), 674–677.

Moraghan, J.T., and Kenneth, G., 1999. Seed-Zinc Concentration and the Zinc-Efficiency Trait in Navy Bean. Soil Sci. Am. J. 63, 918-922.

Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J.J., and Garate, A., 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of Lactuca sp. Cd-Mn intraction. Plant Science. 162, 761-767.

Rhoades, J.D., 1996. Salinity electrical conductivity and tital dissolved solids. In: Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. (Ed. DI. Sparks). Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. 417-435.

Sanita-di Toppi, L., and Gabbrielli, R., 1999. Response to cadmium in higher plants-review. Environmental and Experimental Botany. 41, 105-130.

Sinha, P., Dube, B.K., Srivastava, P. and Chatterjee, C., 2006. Alteration in uptake and translocation of essential nutrients in cabbage by excess lead. Chemosphere. 65, 651-656.

Singh, B.R., and McLughlin, MJ., 1999. Cadmium in soils and plants, 271 p, Springer.

Sparks, D.L., 1996. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of American, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Summer, M.E., and Miller, W.P., 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. (Ed. Dl. Sparks). pp. 1201-1229. Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI.

Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In: Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. (Ed. DI. Sparks). Soil. Sci. Soc. Am. Madison, WI. 415-490.

Xian, X., 1988. Response of kidney bean concentration and chemical form of cadmium, zinc, and lead in polluted soils. Environmental Pollution. 57, 127-137.

Xin, J., Huang, B., Zhongyi, Z., Yuan, J., Dai H., and Qiu, Q., 2010. Responses of different water spinach cultivars and their hybrid to Cd, Pb and Cd-Pb exposure. Hazardous Materials. 175, 468-476.

Yizong, H., Ying, H., and Yunxia, L., 2009. Combined toxicity of copper and cadmium to six rice genotypes (*Oryza sativa L.*). Environmental sciences, 21, 647-653.

Zheljazkov, V.D., Craker, L.E., and Xing, B., 2006. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. Environmental and Experimental Botany. 58, 9-16.

Zhiqiang, X., Qixing, Z., and Weitao, L., 2009. Joint effects of cadmium and lead on seedlings of four Chinese cabbage cultivars in northeastern China. Environmental Sciences. 21, 1598-1606.

Zhi-Xin, N., Li-na, S., Tie-heng, S., Yu-shuang L., and Hong, W., 2007. Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. Environmental Sciences. 19, 961-967.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir