نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد پنجم، شماره سوم، ۱۳۹٤
http://ejsms.gau.ac.ir

بررسی تأثیر سرب بر برخی ویژگی‌های رویشی هشت رقم ذرت در یک خاک آهکی

مهدی تفویضی[۱]، *بابک متشرع‌زاده[۲] و غلامرضا ثواقبی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، [۲]دانشیار 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: ۹۲/۷/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۱

چکیده

سابقه و هدف: امروزه آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، یکی از نگرانی‌های مهم زیست‌محیطی به‌شمار می‌رود. در بین فلزات سنگین، سرب به‌دلیل، اثراتی که می‌تواند بر سلامتی انسان و محیط زیست داشته باشد، به‌عنوان یکی از نگرانی‌های اصلی به‌شمار می‌رود. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی توانایی برخی ارقام ذرت در تجمع فلز سرب در اندام‌های خود (شاخساره و ریشه) و انتقال آن از بخش ریشه به شاخساره اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: پژوهش در شرایط گلخانه‌ای و در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. به‌منظور آلوده‌سازی خاک، از نمک کلرید سرب ($PbCl_2$) استفاده گردید. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح سرب (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و هشت رقم ذرت (۲۶۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۷۰، ۵۰۰، ۶۰۴، ۶۴۷ و ۷۰۴) بود. برای اندازه‌گیری رشد طولی شاخساره و ریشه از خط‌کش فلزی استفاده گردید. برای اندازه‌گیری غلظت عنصر سرب در نمونه‌های گیاهی از روش خشک سوزانی استفاده شد. غلظت سرب در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی مدل (Shimadzu-AA 6400) اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: براساس نتایج به‌دست آمده، با افزایش غلظت کلرید سرب در خاک، وزن خشک شاخساره و ریشه کاهش یافت. همچنین، در اکثر ارقام (به‌استثنای رقم ۲۶۰) مشاهده گردید که کلرید سرب (به‌ویژه در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) موجب کاهش ارتفاع شاخساره و طول ریشه در مقایسه با تیمار شاهد گردید. نتایج حاصله نشان داد که میزان سرب تجمع‌یافته در ریشه بیش‌تر از شاخساره بود و با افزایش سطوح سرب در خاک، غلظت این عنصر سمی در اندام‌های گیاهی (ریشه و شاخساره) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P<0/05$). بیش‌ترین غلظت سرب شاخساره (۵۴/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ریشه (۳۲۵/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار سرب ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم رقم ۷۰۴ مشاهده گردید. مقدار شاخص فاکتور انتقال و غلظت زیستی شاخساره و ریشه کم‌تر از یک به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج به‌دست آمده، ارقام ذرت بررسی شده، سرب کم‌تری را در شاخساره خود در مقایسه با ریشه تجمع نمودند. مقدار فاکتور انتقال در ارقام مورد مطالعه کم‌تر از یک بود با این حال، با توجه به اثرات سمی که فلز سرب حتی در غلظت‌های پایین می‌تواند بر سلامتی انسان و حیوانات داشته باشد، باید توجه کافی به منابع ورودی این فلز سمی به محیط زیست، به‌ویژه زمین‌های کشاورزی زیر کشت ذرت که برای مصارف دام کشت می‌شود، معطوف گردد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، سرب، گیاه پالایی، فاکتور انتقال، غلظت زیستی

* مسئول مکاتبه: moteshare@ut.ac.ir

مقدمه

یکی از نگرانی‌های عمده زیست‌محیطی، آلوده شدن هوا، آب و خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین می‌باشد که با ورود آن‌ها به زنجیره غذایی، سلامتی انسان و سایر موجودات را تهدید می‌نمایند (۲۳). در بین آلاینده‌های فلزات سنگین، سرب به‌دلیل گستردگی بیش‌تر و نیز اثراتی که می‌تواند بر سلامتی انسان و محیط زیست داشته باشد، به‌عنوان یکی از نگرانی‌های اصلی به‌شمار می‌رود. این فلز می‌تواند از طریق منابع مختلفی نظیر معادن و ذوب سنگ‌های معدن حاوی سرب، سوزاندن ذغال سنگ، پساب حاصل از مخازن صنایعی نظیر باتری‌سازی، اگزوز اتومبیل‌ها، آبکاری فلز و نهایتاً کاربرد کودها، آفت‌کش‌ها و مواد افزودنی در رنگ‌ها و بنزین، وارد محیط زیست گردد (۴۷).

مطالعات نشان می‌دهد که گیاهان در برابر آلودگی‌های محیطی رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند به‌طوری‌که برخی از آن‌ها حساس و برخی دیگر متحمل می‌باشند و می‌توانند مقادیر زیادی از فلزات سنگین از جمله سرب را جذب نمایند. هر چند ممکن است که در این گیاهان آثار مسمومیت نمایان نگردد، ولی میزان محتوی فلزی آن‌ها می‌تواند سلامتی انسان یا حیواناتی را که از این گیاهان تغذیه می‌نمایند به خطر اندازد (۳۹).

گیاهان در مواجه شدن با فلزات سنگین عموماً از سه سازوکار عمده برای مقاومت در برابر سمیت این فلزات استفاده می‌کنند. دسته اول گیاهان شاخص[1] می‌باشند. این دسته از گیاهان، فلزات سنگین را در بخش‌های مختلف خود ذخیره می‌سازند و علائم ناشی از سمیت فلز (زرد شدن، چروکیدگی و پیری زودرس برگ‌ها) در این گیاهان مشاهده می‌گردد. دسته دوم گیاهان اجتناب‌کننده[2] می‌باشند. این گروه از گیاهان با استفاده از سازوکار تثبیت گیاهی[3] از ورود فلز به شاخساره خود جلوگیری می‌کنند. در این دسته از گیاهان غلظت فلز در بخش ریشه بیش‌تر از شاخساره می‌باشد. در نهایت دسته سوم گیاهان انباشتگر[4] می‌باشند که این گیاهان با به‌کارگیری سازوکار گیاه جذبی[5]، توانایی جذب و تجمع فلز در آلودگی‌های کم تا زیاد را دارند (۳۶). فلز سرب عنصری ضروری برای گیاهان نمی‌باشد، با این حال، به راحتی توسط گیاهان از خاک جذب می‌شود. با توجه به تحرک پایین این فلز، عموماً به مقدار زیاد در ریشه‌ها تجمع نموده و تنها بخش کمی از آن به شاخساره منتقل می‌شود (۴۰). شارما و دبای (۲۰۰۵) روند تجمع سرب در بخش‌های مختلف گیاه را به‌صورت بذر < گل آذین < ساقه < برگ < ریشه گزارش دادند و بیان کردند که ریشه نسبت به سایر بخش‌های گیاه، بیش‌ترین مقدار سرب را در خود تجمع می‌نماید (۴۷). وجود تفاوت زیاد بین غلظت سرب در ریشه و برگ نشان‌دهنده محدودیت انتقال داخلی فلزات از ریشه به‌سمت برگ‌های سبز می‌باشد (۲۷). این مسأله به‌ویژه در مورد سرب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا این عنصر عمدتاً در ریشه‌ها تجمع می‌یابد (۱۷). از طرفی میزان تجمع سرب در گیاه، عموماً در ارتباط با مقدار سرب موجود در محیط می‌باشد (۵۲). مالواسکی و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که با افزایش غلظت سرب در محیط کشت، غلظت سرب در ریشه گیاهچه ذرت افزایش یافت (۳۵). با این وجود، جذب فلزات توسط گیاهان از خاک تحت‌تأثیر فاکتورهایی مانند، pH، دما، حضور سایر یون‌ها در خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار مواد آلی خاک، نوع و غلظت فلز و گونه گیاهی می‌باشد (۴). غلظت زیادی سرب، باعث کاهش

1- Metal indicator
2- Metal excluders
3- Phytostabilization
4- Metal accumulator
5- Phytoextraction

زیست‌توده بخش‌های مختلف گیاه (۲۲) و نیز باعث کاهش طول شاخساره و ریشه می‌گردد (۴۷). معمولاً از دو شاخص فاکتور انتقال و فاکتور غلظت زیستی برای ارزیابی پتانسیل گیاهان برای استفاده در اهداف گیاه پالایی استفاده می‌گردد (۵۳) و با بررسی این دو فاکتور، می‌توانیم توانایی گیاهان مختلف در جذب فلزات از خاک و انتقال آن از ریشه به شاخساره را بررسی نماییم.

گلچین (۲۰۰۳) با بررسی خاک‌های کشاورزی حاشیه اطراف کارخانه‌های صنعتی، گزارش داد که مزارع اطراف کارخانه‌های صنعتی مورد مطالعه، آلوده به فلزات سرب و کادمیوم می‌باشد و نگرانی شدیدی را در مورد خاک‌های کشاورزی حاشیه مانند کارخانه‌ها را آشکار می‌سازد (۱۸). عباسپور و همکاران (۲۰۰۵) نیز با بررسی آلودگی سرب در برخی خاک‌های کشاورزی ایران گزارش دادند که مقدار سرب کل در این خاک‌ها، بین ۸۹/۴ تا ۲۶۱۰/۴ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک است (۱) و این در حالی است که حداکثر مقدار مجاز سرب در خاک توسط بسیاری از کشورهای اروپایی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تعیین شده است (۲۶).

در بین محصولاتی که در ایران کشت می‌گردد ذرت از جمله گیاهان زراعی مهمی می‌باشد که به‌عنوان علوفه و نیز برای تولید دانه کشت می‌شود. با توجه به اهمیت و جایگاه ذرت در کشاورزی و همچنین وجود مشکل آلودگی خاک‌ها به فلز سرب، این پژوهش با هدف، بررسی توانایی هشت رقم ذرت در تجمع فلز سرب در بخش‌های مختلف خود، اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی خاک: خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای، از مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج، از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری تهیه گردید. نمونه خاک برای انجام آزمایش‌های لازم هوا خشک و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با به‌کارگیری روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین شد (جدول ۱). برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری (۱۰)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۹)، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن (۳۲)، پتاسیم قابل‌جذب به روش استات آمونیوم نرمال (۲۰)، pH در عصاره اشباع (۵۱)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی مدل Jenway (۴۵)، کربنات کلسیم معادل (۱۱)، درصد ماده آلی به روش والکلی و بلاک (۳۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (۴۹) و غلظت سرب در خاک به روش عصاره‌گیری با DTPA (۳۳) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA 6400 تعیین شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل، چهار سطح آلودگی سرب در خاک با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (کوی و همکاران، ۲۰۰۴) (۱۲) و هشت رقم ذرت سینگل‌کراس ۲۶۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۵۰۰، ۶۰۴، ۶۴۷، ۷۰۴ و دبل‌کراس ۳۷۰ بود که از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردیدند.

آماده‌سازی خاک و کشت گلخانه‌ای: خاک گلدان‌ها به‌صورت مصنوعی، با استفاده از نمک کلرید سرب ($PbCl_2$) و به روش اسپری نمودن، آلوده گردید. پس از ۶ هفته دوره انکوباسیون (۳۷) گیاهان کشت گردیدند. برای کشت گیاهان از گلدان‌های پلاستیکی یک کیلوگرمی استفاده گردید. در هر گلدان به تعداد شش عدد بذر کشت و پس از حدود یک هفته به ۴ گیاه کاهش داده شد. گیاهان به‌مدت ۴۵ روز در

گلخانه با دمای ۳۰-۲۰ درجه سلسیوس و شدت نور ۱۰۰۰۰ لوکس نگهداری شدند و طول دوره روشنایی با توجه به دوره رشد، بین ۱۴-۱۲ ساعت در روز تنظیم گردید. مقدار رطوبت خاک گلدان‌ها در تمام دوره رشد در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه، براساس مقدار رطوبت اشباع (رطوبت ظرفیت مزرعه = ۰/۵ × رطوبت اشباع) تعیین گردید (۲۵). پس از گذشت ۴۵ روز از دوره رویشی، گیاهان از ۲ سانتی‌متری سطح خاک برداشت و ریشه‌ها با آب مقطر شستشو و به آرامی از خاک جدا شده و پس از هوا خشک کردن به‌مدت سه روز داخل خشک‌کن با دمای ۶۵ درجه سلسیوس نگهداری گردید. برای اندازه‌گیری غلظت عنصر سرب در ریشه و شاخساره به‌منظور محاسبه شاخص‌های فاکتور انتقال و غلظت زیستی، نمونه‌ها آسیاب گردیده و عصاره گیاهی به روش خشک سوزانی آماده شد و غلظت سرب پس از تهیه عصاره با DTPA با دستگاه جذب اتمی مدل (Shimadzu-AA 6400) اندازه‌گیری گردید (۳۳). در انتهای کشت پس از جدا نمودن اندام گیاهی (ریشه و شاخساره) از یکدیگر و شستشو با آب مقطر، توزین وزن خشک اندام‌ها با استفاده از ترازوی آزمایشگاهی (با دقت ۰/۰۱ گرم) انجام گردید و برای اندازه‌گیری رشد طولی شاخساره و ریشه از خط‌کش فلزی با دقت ۱ میلی‌متر استفاده گردید.

فاکتور انتقال[1]: برای بررسی انتقال سرب از ریشه به شاخساره از فاکتور انتقال استفاده گردید که از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\text{فاکتور انتقال} = \frac{\text{غلظت فلز در شاخساره (میلی‌گرم بر کیلوگرم)}}{\text{غلظت فلز در ریشه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)}} \quad (۱)$$

فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک، نشان‌دهنده انتقال مؤثر فلز از ریشه به شاخساره می‌باشد (۱۵).

فاکتور غلظت زیستی[2]: فاکتور غلظت زیستی (BCF) به‌عنوان شاخصی برای برآورد توانایی گیاه در تجمع نمودن فلزات سنگین استفاده می‌گردد (۵۴)، که با توجه به رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

(۲)

فاکتور غلظت زیستی = غلظت فلز در ریشه یا شاخساره (میلی‌گرم بر کیلوگرم)/ غلظت فلز در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی نیز با آزمون دانکن در سطح ۱ و ۵ درصد انجام شد (۲۱).

نتایج

در جدول ۱، نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای ارائه گردیده است. کمبود برخی عناصر غذایی نظیر پتاسیم و نیتروژن (منبع کودی: نیترات پتاسیم) در طول دوره رشد گیاه همراه با آب آبیاری تأمین گردید.

اثر غلظت‌های متفاوت کلرید سرب بر وزن خشک شاخساره و ریشه: براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر متقابل رقم × کلرید سرب بر وزن خشک شاخساره معنی‌دار شد ($P<۰/۰۵$). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت کلرید سرب خاک، وزن خشک شاخساره ارقام کاهش یافت

1- Transfer Factor

2- Bioconcentration factor

(شکل ۱). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار وزن خشک شاخساره به‌ترتیب در تیمار کلرید سرب ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم رقم ۲۶۰ و تیمار کلرید سرب ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم رقم ۷۰۴ مشاهده گردید. در بخش ریشه، اثر رقم و کلرید سرب بر وزن خشک ریشه معنی‌دار شد. با افزایش غلظت کلرید سرب، وزن خشک ریشه روند کاهشی را نشان داد (شکل ۲) و در بین ارقام، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار وزن خشک ریشه، به‌ترتیب در رقم ۶۴۷ و ۳۰۲ مشاهده گردید (شکل ۳).

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای قبل از ایجاد آلودگی سرب.

Table 1. Some of physical and chemical properties soil used in greenhouse befor contamination soil.

مقدار Content	واحد Unit	خصوصیت Property	مقدار Content	واحد Unit	خصوصیت Property
0.09	٪	نیتروژن کل Total nitrogen	33	٪	شن Sand
8.07	٪	کربنات کلسیم معادل Equivalent Calcium Carbonate	30	٪	سیلت Silt
15.17	($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل‌جذب Available P	37	٪	رس Clay
147.13	($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل‌جذب Available K	لوم رسی Clay loam	-	کلاس بافت خاک Soil texture class
1.50	($mg.kg^{-1}$)	سرب قابل استخراج با DTPA DTPA extractable Pb	8	-	pH
5.54	($mg.kg^{-1}$)	آهن قابل استخراج با DTPA DTPA extractable iron	20	%	رطوبت ظرفیت مزرعه Field capacity
14.80	($mg.kg^{-1}$)	منگنز قابل استخراج با DTPA DTPA extractable Manganese	4.60	$dS.m^{-1}$	قابلیت هدایت الکتریکی Electrical conductivity
1.48	($mg.kg^{-1}$)	روی قابل استخراج با DTPA DTPA extractable Zinc	22.50	($cmol^{+}kg^{1-}$)	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity
2.50	($mg.kg^{-1}$)	مس قابل استخراج با DTPA DTPA extractable Copper	0.88	%	کربن آلی Organic Carbon

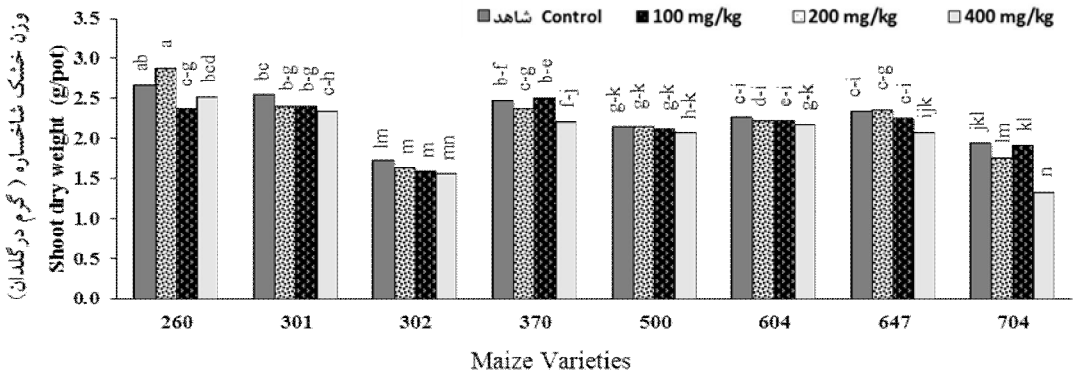
جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات تیمارهای آزمایشی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در بخش هوایی و ریشه ارقام مختلف ذرت.

Table 2. Analysis of variance effect of treatment on measured parameters in shoot and root of different maize varieties.

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	وزن خشک Dry weight		ارتفاع Height	طول Length	غلظت سرب Pb concentration		فاکتور انتقال Transfer Factor	فاکتور غلظت زیستی Bioconcentration factor	
		بخش هوایی Shoot	ریشه Root	بخش هوایی Shoot	ریشه Root	بخش هوایی Shoot	ریشه Root	_	بخش هوایی Shoot	ریشه Root
رقم Variety	7	1.36**	0.11**	146.92**	132.20**	182.32**	1768.72**	0.11**	0.88**	16.00**
کلرید سرب $PbCl_2$	3	0.24**	0.03*	47.42**	45.10*	5675.20**	157656.64**	1.35**	103.13**	283.06**
رقم × کلرید سرب $PbCl_2$×Variety	21	0.04*	0.002^{ns}	14.43**	29.09*	102.93**	929.68**	0.14**	0.92**	15.46**
خطا Error	64	0.02	0.008	4.14	15.26	7.74	37.16	0.009	0.24	0.88
ضریب تغییرات CV	-	6.71	12.24	10.73	13.02	12.79	7.00	16.70	43.08	42.72

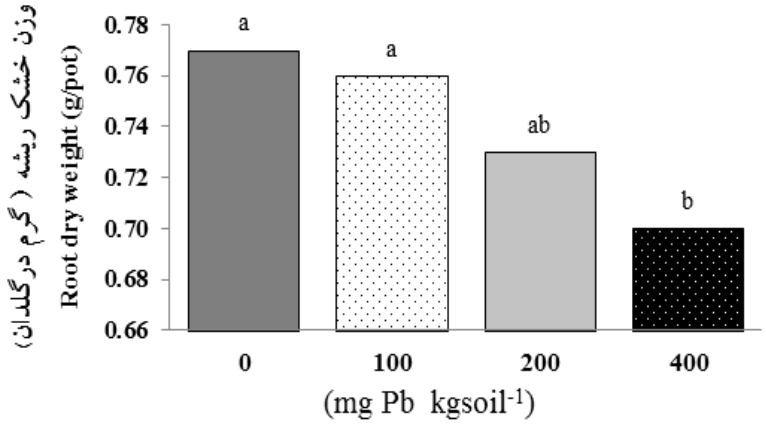
** و * به‌ترتیب در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ معنی‌دار و ^{ns} غیرمعنی‌دار می‌باشد.

** and * Significant difference at P<0.01 and P<0.05 , respectively and, ^{ns} no-Significant difference.



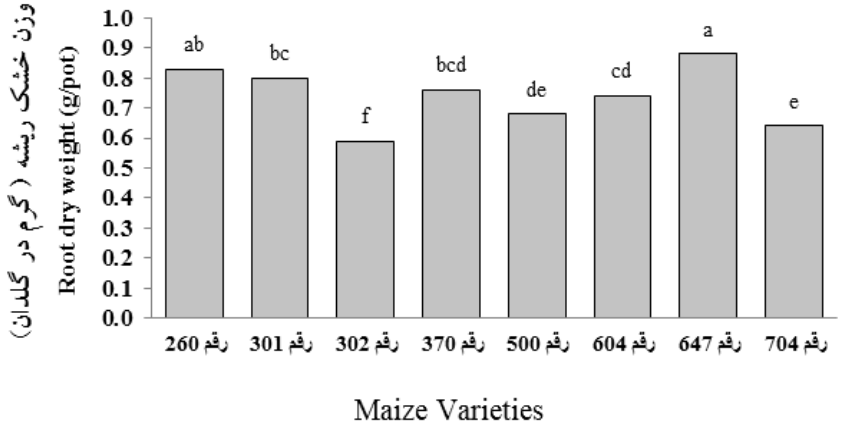
شکل ۱- اثر کلرید سرب بر وزن خشک شاخساره ارقام مختلف ذرت.

Figure 1. The effect of $PbCl_2$ on shoot dry weight of different Maize varieties.



شکل ۲- اثر کلرید سرب بر وزن خشک ریشه.

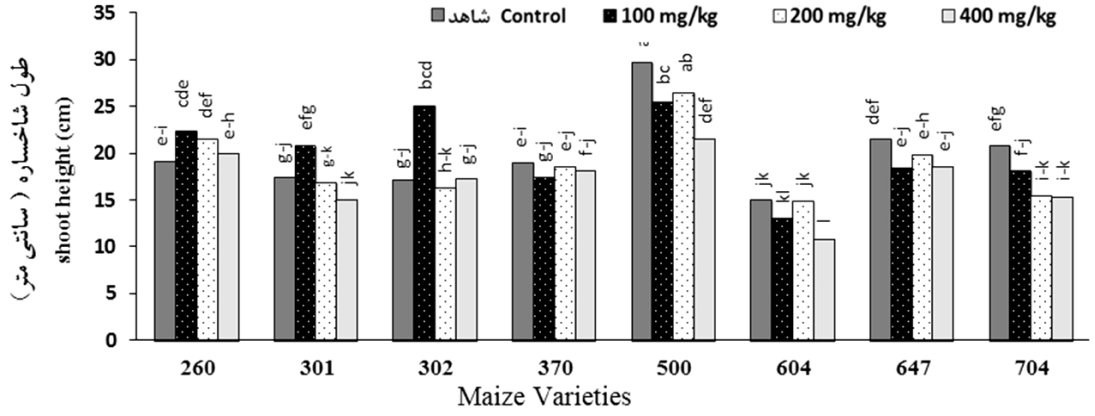
Figure 2. The effect of $PbCl_2$ on root dry weight.



شکل ۳- اثر رقم بر وزن خشک ریشه.

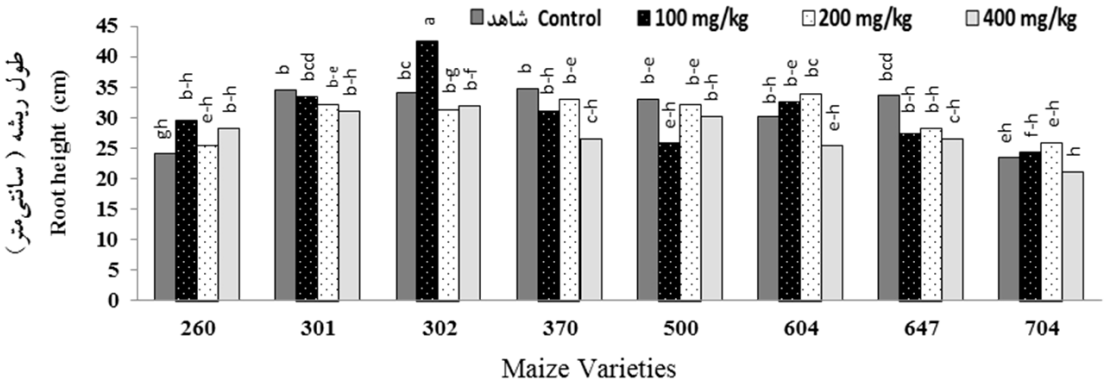
Figure 3. The effect of variety on root dry weight.

اثر غلظت‌های متفاوت کلرید سرب بر ارتفاع شاخساره و طول ریشه: براساس نتایج به‌دست آمده، اثر آلودگی کلرید سرب بر ارتفاع شاخساره و طول ریشه معنی‌دار شد و در بالاترین غلظت کلرید سرب (۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با تیمار شاهد، این صفات کاهش یافتند. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین ارتفاع شاخساره در تیمار شاهد رقم ۵۰۰ (با میانگین ۲۹/۶۷ سانتی‌متر) مشاهده گردید و رقم ۶۰۴ در تیمار کلرید سرب ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (با میانگین ۱۰/۸۶ سانتی‌متر) کم‌ترین مقدار ارتفاع شاخساره را داشت (شکل ۴). در بخش ریشه، رقم ۳۰۲ در تیمار کلرید سرب با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک (با میانگین ۴۲/۴۴ سانتی‌متر) و رقم ۷۰۴ در تیمار کلرید سرب با غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک (با میانگین ۲۰/۹۷ سانتی‌متر) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار طول ریشه را داشتند (شکل ۵).



شکل ٤- اثر کلرید سرب بر طول شاخساره ارقام مختلف ذرت.

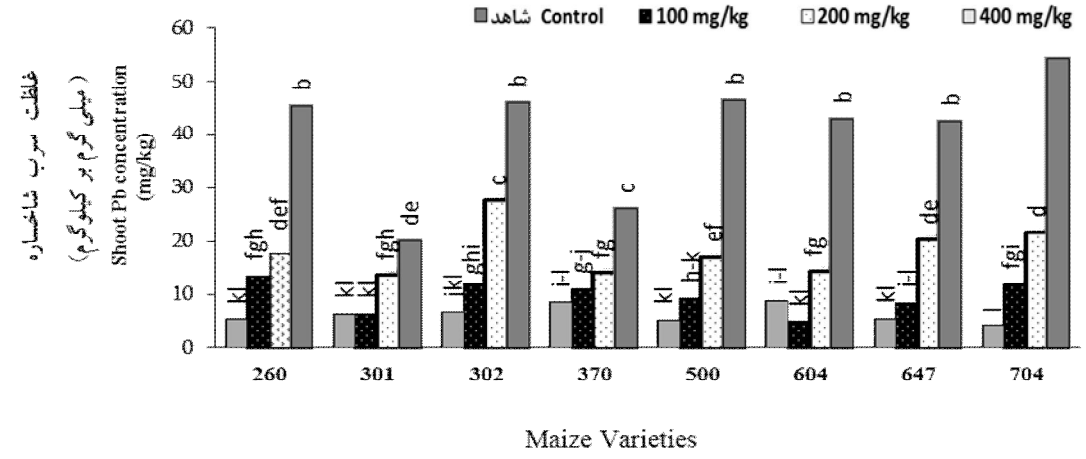
Figure 4. The effect of $PbCl_2$ on shoot height of different Maize varieties.



شکل ۵- اثر کلرید سرب بر طول ریشه ارقام مختلف ذرت.

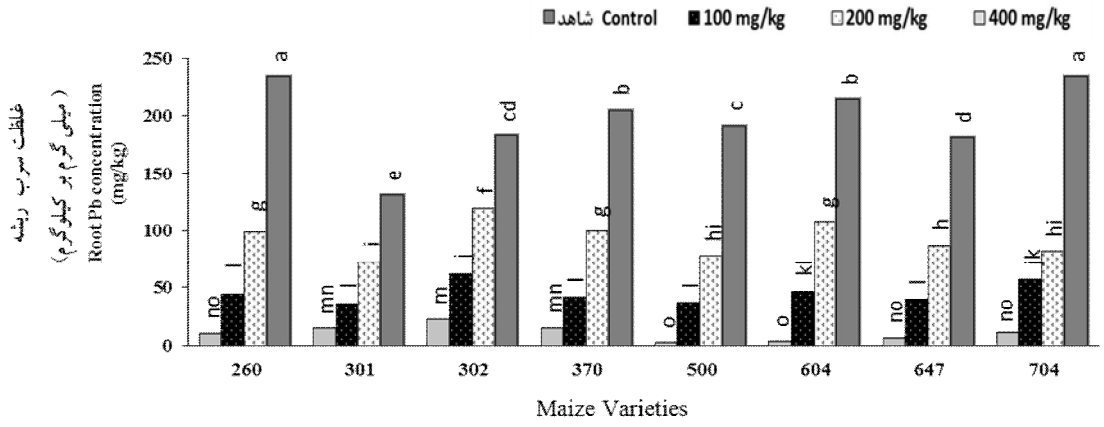
Figure 5. The effect of $PbCl_2$ on root height of different Maize varieties.

غلظت سرب در شاخساره و ریشه گیاه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر متقابل رقم × کلرید سرب بر غلظت سرب شاخساره و ریشه معنی‌دار شد ($P<0/01$). با افزایش غلظت کلرید سرب در خاک، غلظت سرب در بخش‌های مختلف گیاه (شاخساره و ریشه) افزایش یافت. نتایج نشان داد که غلظت سرب ریشه در مقایسه با شاخساره بیش‌تر بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت سرب شاخساره، به‌ترتیب در تیمار کلرید سرب با غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (با میانگین غلظت سرب ۵۴/۳۳ میلی‌گرم درکیلوگرم) و تیمار شاهد (با میانگین غلظت سرب ۴/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در رقم ۷۰۴ مشاهده گردید (شکل ۶). در بخش ریشه، ارقام ۷۰۴ و ۲۶۰ در تیمار کلرید سرب با غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، بیش‌ترین غلظت سرب ریشه و ارقام ۶۰۴ و ۵۰۰ در تیمار شاهد، کم‌ترین غلظت سرب ریشه را داشتند (شکل ۷).



شکل ٦- اثر کلرید سرب بر غلظت سرب شاخساره ارقام مختلف ذرت.

Figure 6. The effect of $PbCl_2$ on shoot Pb concentration of different Maize varieties.



شکل ۷- اثر کلرید سرب بر غلظت سرب ریشه ارقام مختلف ذرت.

Figure 7. The effect of $PbCl_2$ on root Pb concentration of different Maize varieties.

تجمع و انتقال فلز در گیاه

شاخص فاکتور انتقال: براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر متقابل رقم × کلرید سرب بر فاکتور انتقال در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. در تمام سطوح مختلف تیمار کلرید سرب، مقدار فاکتور انتقال به‌دست آمده کم‌تر از یک بود. همچنین در ارقام مطالعه شده، شاخص فاکتور انتقال تیمارهای شاهد بیش‌تر از تیمارهای کلرید سرب بود. بیش‌ترین مقدار فاکتور انتقال در تیمار شاهد ارقام ۵۰۰ (میانگین ۰/۴۱) و ۶۴۷ (میانگین ۰/۴۰) مشاهده گردید (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین مشاهده گردید که در اکثر ارقام، با افزایش غلظت کلرید سرب در خاک، میزان انتقال سرب از ریشه به شاخساره کاهش یافت (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های فاکتور انتقال و غلظت زیستی ارقام مختلف ذرت.

Table 3. Results of mean comparisons treatments on transfer factor (TF) and Bioconcentration factor (BCF) index of different maize varieties.

شاخص Index	غلظت کلرید سرب در خاک ($mg\ kg^{-1}$) $PbCl_2$ concentrtion in soil	رقم Variety							
		260	301	302	370	500	604	647	704
فاکتور انتقال Transfer factor	شاهد (control)	0.55^{c}	0.42^{cd}	0.30^{d-f}	0.57^{c}	2.41^{a}	2.40^{a}	1.03^{b}	0.43^{cde}
	100	0.30^{def}	0.18^{fg}	0.19^{fg}	0.26^{def}	0.24^{d-g}	0.10^{g}	0.21^{e-g}	0.21^{efg}
	200	0.18^{fg}	0.19^{fg}	0.23^{d-g}	0.14^{fg}	0.21^{efg}	0.13^{fg}	0.24^{d-g}	0.26^{def}
	400	0.20^{fg}	0.15^{fg}	0.25^{d-g}	0.13^{fg}	0.24^{d-g}	0.20^{fg}	0.23^{d-g}	0.23^{d-g}
غلظت زیستی بخش هوایی Bioconcentration factor of shoot	شاهد (control)	3.60^{cd}	4.22^{bc}	4.51^{b}	5.71^{a}	3.47^{cd}	5.91^{a}	3.69^{bc}	2.82^{d}
	100	0.13^{e}	0.06^{e}	0.12^{e}	0.11^{e}	0.09^{e}	0.05^{e}	0.08^{e}	0.12^{e}
	200	0.09^{e}	0.07^{e}	0.14^{e}	0.07^{e}	0.09^{e}	0.07^{e}	0.10^{e}	0.11^{e}
	400	0.11^{e}	0.05^{e}	0.11^{e}	0.06^{e}	0.12^{e}	0.11^{e}	0.11^{e}	0.14^{e}
غلظت زیستی ریشه Bioconcentration factor of root	شاهد (control)	7.04^{c}	10.02^{b}	15.42^{a}	10.20^{b}	1.62^{ef}	2.43^{e}	4.53^{d}	7.47^{c}
	100	0.45^{f}	0.37^{f}	0.62^{f}	0.42^{f}	0.37^{f}	0.47^{f}	0.40^{f}	0.57^{f}
	200	0.50^{f}	0.36^{f}	0.60^{f}	0.50^{f}	0.40^{f}	0.54^{f}	0.44^{f}	0.42^{f}
	400	0.59^{f}	0.33^{f}	0.46^{f}	0.52^{f}	0.48^{f}	0.54^{f}	0.45^{f}	0.59^{f}

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد.

Same letters within the column indicate no-significant difference at P<0.05.

شاخص فاکتور غلظت زیستی در ریشه و شاخساره: براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر کلرید سرب و اثر متقابل رقم × کلرید سرب بر شاخص فاکتور غلظت زیستی ریشه و شاخساره معنی‌دار شد (P<۰/۰۱). مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۳) نشان داد که مقدار فاکتور غلظت زیستی شاخساره و ریشه در شرایط بدون آلودگی (تیمار شاهد) به‌طور قابل‌توجهی نسبت به شرایط آلودگی خاک به کلرید سرب، بیش‌تر بود. هر چند که تفاوت آماری معنی‌داری بین سطوح مختلف آلودگی وجود

نداشت. همچنین مقدار این شاخص در ریشه در مقایسه با شاخساره بیش‌تر بود.

بحث

اثر غلظت‌های متفاوت کلرید سرب بر زیست‌توده گیاه: نتایج به‌دست آمده، نشان داد که کلرید سرب اثر منفی بر وزن خشک اندام‌های گیاهی (ریشه و شاخساره) داشت و موجب کاهش وزن خشک ارقام ذرت گردید. اسلام و همکاران (۲۰۰۸)، شارما و دبای (۲۰۰۵)، کسبوروخوف و همکاران (۲۰۰۴) نتایج مشابهی را گزارش دادند (۲۱، ۴۷، ۳۱). دوود و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که فلزات سنگین در گیاه، موجب کاهش میزان فتوسنتز می‌گردند و در نتیجه کاهش فتوسنتز، رشد اندام گیاهی کاهش می‌یابد (۱۳). سینها و همکاران (۲۰۰۶)، کاهش زیست‌توده تحت سمیت سرب را به اثر سرب بر ایجاد اختلال در فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن نسبت دادند (۴۸). آلمیدا و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیان نمودند که فلزات سنگین با اثر بر ناقلین الکترون، خود را به مرکز واکنش فتوسیستم II رسانده و از این طریق موجب کاهش سطح انرژی (ATP Pool) می‌گردند و در نهایت منجر به کاهش میزان فتوسنتز در گیاه می‌شوند (۳). بنابراین، احتمال می‌رود که افزایش غلظت کلرید سرب در بخش‌های مختلف گیاه ذرت، موجب بروز عوارض نامطلوبی در متابولیسم و فیزیولوژی گیاه گردیده و در نتیجه موجب کاهش ماده خشک گردیده است.

اثر غلظت‌های متفاوت کلرید سرب بر ارتفاع شاخساره و طول ریشه: براساس نتایج به‌دست آمده، تیمارهای کلرید سرب موجب کاهش ارتفاع شاخساره و طول ریشه گردید. نتایج به‌دست آمده، مشابه با نتایج گوپال و ریزوی (۲۰۰۸)، جان و همکاران (۲۰۰۹) اکینجی و همکاران (۲۰۱۰) بود (۱۹، ۲۴، ۲). خودسر و همکاران (۲۰۰۰) بیان نمودند که برهم‌کنش فلزات سنگین با گروه‌های سولفیدریل و غیرفعال کردن پروتئین‌های گیاهی از رشد ریشه و شاخساره جلوگیری می‌کند (۲۸). از طرفی اختلال در فعالیت هورمون‌هایی نظیر اکسین در تیمار فلزات سنگین نیز می‌تواند موجب کاهش رشد گیاه گردد (۴۱). شارما و دبای (۲۰۰۵) گزارش کردند که سرب باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌گردد و جلوگیری از رشد شاخساره ممکن است به‌دلیل کاهش فتوسنتز، اختلال در تعادل آب و مواد معدنی، تغییر وضعیت هورمونی و اثر بر نفوذپذیری و ساختار غشاء سلولی باشد (۴۷). اون و همکاران (۲۰۰۰) بیان نمودند که اثر اولیه سرب بر گیاهان، ممانعت سریع از رشد ریشه به‌دلیل جلوگیری از تقسیم سلولی در نوک ریشه می‌باشد (۱۴). رنگل (۱۹۹۲) پیشنهاد داد که علت کاهش رشد ریشه می‌تواند به‌دلیل اثری باشد که سرب می‌تواند بر عنصر کلسیم داشته باشد و از طریق کاهش غلظت کلسیم، تقسیم سلولی یا طویل شدن سلول‌ها در نوک ریشه را مختل نمایند و بنابراین موجب کاهش ارتفاع گیاه گردد (۴۳). همچنین مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، کاهش رشد ریشه ممکن است به‌دلیل لیگنینه شدن دیواره سلولی تحت تنش فلز سنگین (۳) یا اثر مستقیم تنش فلز بر هسته سلولی (۱۳) باشد.

فاکتور انتقال و فاکتور زیستی: فاکتور انتقال بیانگر توانایی گیاه در انتقال دادن فلز از ریشه به‌سمت شاخساره می‌باشد. معمولاً گیاهان تحت شرایط طبیعی رشد، می‌توانند عنصر بیش‌تری را نسبت به محیط اطراف خود جذب نمایند (۲۹). به‌طور طبیعی با اعمال تیمارهای فلزات سنگین، غلظت فلز در اندام‌های مختلف گیاه تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (شکل‌های ۶ و۷)، به این دلیل که با حضور سرب در محیط ریشه، گیاه به جذب آن اقدام می‌نماید و علی‌رغم این‌که روند مقدار عددی فاکتور انتقال در

تیمارهای کلرید سرب ممکن است دارای تغییرات کمی باشد اما تفاوت بسیاری از نظر میزان غلظت سرب در شاخساره و ریشه از نظر کمی مشاهده گردید. براساس نتایج به‌دست آمده غلظت سرب با افزایش غلظت کلرید سرب در خاک افزایش یافت و همچنین مشاهد گردید که غلظت سرب در بخش ریشه نسبت به شاخساره بیش‌تر بود. مالواسکی و همکاران (۲۰۰۲)، پاترا و همکاران (۲۰۰۴)، آزمات و همکاران (۲۰۰۹) نتایج مشابهی را گزارش کردند (۳۵، ۴۰، ۶).

در نتایج به‌دست آمده مشاهده گردید که مقدار فاکتور انتقال در تیمارهای کلرید سرب کم‌تر از یک بود که دلیل این امر، تجمع بیش‌تر سرب در ریشه و مقاومت گیاه در انتقال دادن این فلز از ریشه به شاخساره می‌باشد. رضوانی و ظفریان (۲۰۱۱) در گیاه چمن شور (Aeluropus littoralis)، تانگ و همکاران (۲۰۰۹) در گیاه Arabis paniculata Franch، نیز نتایج مشابهی را در رابطه با فلز سرب گزارش دادند (۴۴، ۵۰). پژوهشگران دلایل متفاوتی را برای کاهش انتقال سرب از ریشه به شاخساره گزارش داده‌اند که از آن جمله می‌توان به مواردی مانند جلوگیری از حرکت سرب به‌وسیله پکتین‌های دارای بار منفی واقع در دیواره سلولی (۵)، رسوب دادن سرب در فضاهای بین سلولی به‌صورت نمک‌های نامحلول سرب (۳۴)، تجمع دادن سرب در غشاء پلاسمایی (۲۳)، تجزیه در واکوئل ریزودرمی و غشاء سلولی (۴۶، ۳۰) اشاره نمود. همچنین پوروت و همکاران (۲۰۱۱)، بیان نمودند که گیاهان از آندودرم ریشه می‌توانند به‌عنوان مانع فیزیکی در جلوگیری از انتقال سرب از ریشه به شاخساره استفاده نمایند و از طریق نوارهای کاسپرین واقع در آندودرم سلول‌های ریشه، مسیر حرکت سرب را مسدود سازند (۴۲).

محاسبه فاکتور غلظت زیستی شاخساره و ریشه نشان داد که در بخش ریشه مقدار این شاخص در مقایسه با شاخساره بیش‌تر بود که وجود این تفاوت نشان‌دهنده این نکته می‌باشد که این ارقام در انتقال دادن سرب از ریشه به شاخساره خود مقاومت نشان می‌دهند و از انتقال سرب به شاخساره ممانعت به‌عمل می‌آورند. همان‌طورکه اشاره گردید، معمولاً برای ارزیابی پتانسیل گیاهان برای استفاده در اهداف گیاه پالایی از دو شاخص فاکتور انتقال (ارزیابی توان گیاه در انتقال دادن فلز از ریشه به شاخساره) و فاکتور غلظت زیستی (برآوردی از توانایی گیاه در تجمع نمودن فلزات سنگین) استفاده می‌گردد (۵۳). با مقایسه این دو فاکتور می‌توانیم توانایی گیاهان مختلف در جذب فلزات از خاک و انتقال به شاخساره را بررسی نماییم. گیاهان متحمل به فلز، تمایل به محدود ساختن انتقال فلز از خاک به ریشه و از ریشه به شاخساره را دارند. در نتیجه تجمع فلز در زیست‌توده این گیاهان بسیار کم‌تر می‌باشد. در مقابل گیاهان بیش اندوز، به‌صورت فعال، فلز را جذب نموده و به شاخساره منتقل می‌سازند (۱۶). در تیمارهای شاهد مشاهده گردید که فاکتور غلظت زیستی شاخساره و ریشه بزرگ‌تر از یک بود. این امر ممکن است با توجه به این واقعیت باشد که در غلظت‌های نسبتاً پایین سرب در خاک، گیاهان تمایل به تجمع بیش‌تر فلزات را در مقایسه با غلظت‌های بالای فلز دارند (۸).

بکر (۱۹۸۱) بیان نمود که گیاهان انباشتگر مقدار فاکتور غلظت زیستی بزرگ‌تر از یک داشته و در مقابل گیاهان اجتناب‌کننده مقدار فاکتور غلظت زیستی کوچک‌تر از یک دارند (۷). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این آزمایش و پایین بودن مقدار فاکتور غلظت زیستی بخش‌های مختلف گیاه (شاخساره و ریشه) در سطوح مختلف سرب، می‌توان این‌گونه بیان نمود که این ارقام به‌عنوان گیاهان اجتناب‌کننده

شناخته می‌شوند. بنابراین با توجه به شرایط این آزمایش، احتمال می‌رود از این ارقام نتوان به‌عنوان گیاهی ابر جاذب برای اهداف گیاه پالایی در پاکسازی سرب استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده، ارقام ذرت بررسی شده، سرب کم‌تری را در شاخساره خود در مقایسه با ریشه تجمع نمودند. با این وجود، با توجه به اثرات سمی که فلز سرب حتی در غلظت‌های پایین می‌تواند بر سلامتی انسان و حیوانات داشته باشد، باید توجه کافی به منابع ورودی این فلز سمی به محیط زیست، به‌ویژه زمین‌های کشاورزی زیر کشت ذرت که برای مصارف دام کشت می‌شود، معطوف گردد.

منابع

1. Abbaspour, A., Kalbasi, M., Hajrasoliha, Sh., and Golchin, A. 2005. Investigation of Cadmium and Lead contamination in some agricultural soils of Iran. 9th Soil Science Congress of Iran. 1: 543-545. (In Persian)
2. Akinci, I.E., Akinci, S., and Yilmaz, K. 2010. Response of tomato (*Solanumlycopersicum* L.) to lead toxicity: Growth, element uptake, chlorophyll and water content. Afr. J. Agri. Res. 5: 6. 416-423.
3. Almeida, A.A.F., Valle, R.R., Mielke, M.S., and Gomes, F.P. 2007. Tolerance and prospection of phytoremediation woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. Braz. J. Pant Physiol. 19: 2. 83-98.
4. Antosiewicz, D.M. 1992. Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals. Acta. Soc. Bot. Polo. 61: 281-299.
5. Arias, J.A., Peralta-Videa, J.R., Ellzey, J.T., Ren, M., Viveros, M.N., and Gardea-Torresdey, J.L. 2010. Effects of Glomusdeserticola inoculation on Prosopis: enhancing chromium and lead uptake and translocation as confirmed by X-ray mapping, ICP-OES and TEM techniques. Environ. Exp. Bot. 68: 2. 139-148.
6. Azmat, R., Haider, S., and Riaz, M. 2009. An inverse relation between Pb^{2+} and Ca^{2+} ions accumulation in Phaseolus Mungo and Lens Culinaris under Pb stress. Pakistan J. Bot. 41: 5. 2289-2295.
7. Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and excluder- strategies in the response of plants to heavy metals. J. Plant Nut. 3: 643-654.
8. Benzarti, S., Nohri, S., and Ono, Y. 2008. Plant Response to Heavy Metal Toxicity: Comparative Study between the Hyper Accumulator *Thlaspi caerulescens* (Ecotype gauge) and Non Accumulator Plants, Lettuce, Radish and Alfalfa. Environ. Toxicol. 5: 25. 607-616.
9. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total, P 1085-1122. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, M.E. Sumner (Eds.), Method of soil analysis. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
10. Bouyoucos, C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.
11. Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd edition. Canadian Society of Soil Science.
12. Cui, Y., Dong, Y., Li, H., and Wang, Q. 2004. Effect of elemental sulphur on solubility of soil heavy metals and their uptake by maize. Environ. int. 30: 323-328.
13. Daud, M.K., Variatha, M.K., Shafaqat, A., Najeeba, U., Jamilb, M., Hayat, Y., Dawooda, M., Khand, M.I., Zaffar, M., Cheemad, S.A., Tonga, X.H., and Zhua, S. 2009. Cadmium-induced ultra-morphological and physiological changes in leaves of two transgenic cotton cultivars and their wild relative. J. Hazard. Mater. 168: 614-625.

14.Eun, S.O., Youn, H.S., and Lee, Y. 2000. Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of Zea mays. Physiol. Plant. 98: 611-620.
15.Fayiga, A.Q., and Ma, L.Q. 2006. Using phosphate rock to immobilize metals in soils and increase arsenic uptake in Pteris vittata. Sci. Total. Environ. 359: 17-25.
16.Fitz, W.J., and Wenzel, W.W. 2002. Arsenic transformation in the soil-rhizosphere-plant system, fundamentals and potential application of phytoremediation. J. Biotechnol. 99: 259-78.
17.Gardea-Torresdey, J.L., Peraha-Videa, J.R., Rosa, G.D.L., and Parsons, J.G. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by x-ray absorption spectroscopy. Coordi. Chemis. Reviews. 24: 1979-1810.
18.Golchin, A. 2003. Industrial activities and heavy metal contamination of agricultural soils. 8th Soil Science Congress of Iran. 2: 776-779. (In Persian)
19.Gopal, R., and Rizvi, A.H. 2008. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. Chemosphere.70: 9. 1539-1544.
20.Hemke, P.H., and Spark, D.L. 1996. Potassium, P 551-574. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, M.E. Sumner (Eds.), D.L. Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
21.Islam, E., Yang, X., Li, T., Liu, D., Jin, X., and Meng, F. 2007. Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of Elsholtzia argyi. J. hazard. Mater. 147: 3. 806-816.
22.Islam, E., Liu, D., Li, T.Q., Yang, X.E., Jin, X.F., Mahmooda, Q., Tian, S., and Li, J. 2008. Effect of Pb toxicity on leaf growth, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of Elsholtzia argyi. J. Hazard. Mater. 154: 914-920.
23.Jiang, W., and Liu, D. 2010. Pb-induced cellular defense system in the root meristematic cells of Allium sativum L. BMC Plant Biology. 10: 40-40.
24.John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., and Sharma, S. 2009. Heavy metal toxicity Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by (*Brassica Juncea* L.). Int. J. Plants Prod. 3: 3. 65-75.
25.Jones-Jr, J.B. 2012. Plant nutrition and soil fertility manual. CRC press.
26.Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 1992. Trace metals in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Boca Raton, Ann Arbor London, Pp: 131-140.
27.Kadukova, J., and Kalogerakis, N. 2007. Lead accumulation from non-saline and saline environment by Tamarix smyrnesis Bunge. Eur. J. Soil Biol. 43: 216-223.
28.Khudsar, T., Uzzafar, M., Soh, W.Y., and Iqbal, M. 2000. Morphological and anatomical variations of Cajanus cajan (Linn.) Huth raised in cadmium-rich soil. J. Plant Biol. 43: 149-157.
29.Kim, I.S., Kang, H.K., Johnson-Green, P., and Lee, E.J. 2003. Investigation of heavy metal accumulation in Polygonum thunbergii for phytoextraction. Environ. Pollut. 126: 235-243.
30.Kopittke, P.M., Asher, C.J., Kopittke, R.A., and Menzies, N.W. 2007. Toxic effects of Pb^{2+} on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). Environ. Pollut. 150: 280-287.
31.Kosobrukhov, A., Knyazeva, I., and Mudrik, V. 2004. Plant ago major plants responses to increase content of lead in soil: growth and photosynthesis. Plant Growth. Regul. 42: 145-151.
32.Kuo, S. 1996. Phosphorus, P 869-920. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, M.E. Sumner (Eds.), Method of soil analysis. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
33.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
34.Małecka, A., Piechalak, A., Morkunas, I., and Tomaszewska, B. 2008. Accumulation of lead in root cells of Pisumsativum. Acta. Physiol. Plant. 30: 5. 629-637.

35.Malkowski, E., Kita, A., Galas, W., Karcz, W., and Kuperberg, J.M. 2002. Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium. Plant Growth Regul. 37: 1. 69-76.
36.Memon, A.R., Aktoprakligil, D., Özdemir, A., and Vertll, A. 2009. Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plants. Turk. J. Bot. 25: 111-121.
37.Miller, G., Begonia, G., Begonia, M., and Ntoni, J. 2008. Bioavailability and Uptake of Lead by Coffeeweed (Sesbania exaltata Raf.). Int. J. Environ. Res. Public Health. 5: 5. 436-440.
38.Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum, P 181-196. In: A.L. Page (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Chemical and microbiological properties. Agronomy monograph no.9. SSSA and ASA. Madison, WI.
39.Olivares, E. 2003. The effect of lead on the phytochemistry of Tithonia diversifolia exposed to roadside automotive pollution or grown in pots of Pb-supplemented soil. Braz. J. Plant Physiol. 15: 3. 149-158.
40.Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B., and Sharma. A. 2004. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. Environ. Exp. Bot. 52: 199-223.
41.Potters, G., Pasternak, T.P., Guisez, Y., Palme, K.J., and Jansen, M.A.K. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble. Plant Sci. 12: 98-105.
42.Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P., and Pinelli, E. 2011. Lead Uptake, Toxicity, and Detoxification in Plants. Rev. Environ. Contam & Toxicol. 213: 113-36.
43.Rengel, Z. 1992. The role of calcium in salt toxicity. Plant Cell Environ. 15: 625-632.
44.Rezvani, M., and Zaefarian, F. 2011. Bioaccumulation and translocation factors of cadmium and lead in Aeluropuslittoralis. AJAE. 2: 4. 114-119.
45.Rhoades, J.D. 1996. Electrical conductivity and total dissolved solids, P 417-436. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, M.E. Sumner (Eds.), Method of soil analysis. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
46.Seregin, I.V., Shpigun, L.K., and Ivanov, V.B. 2004. Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots. Russ. J. Plant Physiol. 51: 4. 525-533.
47.Sharma, P., and Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol. 17: 1. 35-52.
48.Sinha, P., Dube, B., Srivastava, P., and Chatterjee, C. 2006. Alteration in uptake and translocation of essential nutrients in cabbage by excess lead. Chemosphere. 65: 4. 651-656.
49.Sumner, M.E., and Milker, W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients, P 1201-1230, In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, M.E. Sumner (Eds.), Method of soil analysis. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
50.Tang, Y.T., Rong, L., Qiu, R.L., Zenga, J.W., Ying, R.R., Yu, F.M., and Zhou, X.Y. 2009. Lead, zinc and cadmium hyper-accumulation and growth stimulation in Arabis paniculata French. Environ. Exp. Bot. 66: 26-134.
51.Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity, P 475-490. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, M.E. Sumner (Eds.), Method of soil analysis. Soil Science Society of America, Inc. Am. Soc. Agro. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
52.Vesk, P.A., and Allaway, W.G. 1997. Spatial variation of copper and lead concentrations of water hyacinth plants in a wetland receiving urban run-off. Aquat Bot. 59: 33-44.
53.Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., and Ma, L.Q.A. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Sci. Total Environ. 368: 456-464.
54.Zhuang, P., Yang, Q.W., Wang, H.B., and Shu, W.S. 2007. Phytoextraction of Heavy Metals by Eight Plant Species in the Field. Water Air Soil Poll. 184: 235-242.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 5(3), 2015
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Investigating the effect of lead on some growth parameters in eight corn (*Zea mays* L.) cultivars in a calcareous soil

M. Tafvizi[1], *B. Motesharehzadeh[2] and Gh.R. Savaghebi[3]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, [2]Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, [3]Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

Received: 10/19/2013; Accepted: 09/23/2014

Abstract

Background and Objectives: Nowadays soil contamination with heavy metals is considered as one of the most serious environmental concerns. Among the heavy metals, lead due to inverse impacts on human health and substantial environmental problems causes major concern. Accordingly, this study was carried out with the aim of assessing the ability of different corn cultivars in the accumulation of lead in their parts (shoot and root) and transfer it from the roots to the shoots.

Materials and Methods: The Experiment was conducted in a greenhouse condition and was tested in a factorial experiment in completely randomized design with three replicates. Lead chloride salt ($PbCl_2$) was used for contaminated soil. Treatments included four lead levels (0, 100, 200 and 400 mg $Pb.kg^{-1}$) and eight varieties of maize (260, 301, 302, 370, 500, 604, 647 and 704). Shoots and roots height was measured by a metal ruler. To determine Pb concentration of plant samples, dry ashmethod was used and after extraction Pb concentrations were measured in roots and shoots by atomic absorption spectroscopy (Shimadzu-AA6400).

Results: According to the obtained results, dry weight of shoot and root decreased with increasing lead-chloride concentration in the soil. Moreover, it was observed that in most varieties (except for 260), the lead-chloride (especially for 400 mg/kg) caused reduction of the shoot height and root length compared to the control treatment. The results showed that the amount of lead accumulated in the roots was higher than shoots and with increase of lead levels in the soil, concentration of lead in plant tissues (roots and shoots) has significantly increased ($P<0.05$). The highest lead concentration of shoot (54.33 mg/kg DM) and root (325.11 mg/kg DM) were observed in 400 mg/kg and also both of them were in the variety of 704. The amount of transfer factor and bio-concentration of shoot and root biomass were less than one.

Conclusion: Results showed that maize varieties studied in the current experiment accumulated more Pb in roots compared to shoots. Therefore, the amount of transfer factor (TF) was less than one. However, Pb can be toxic to humans and animals causing of health effects. So, it should be considered, especially in land under maize cultivation that is used for livestock feed.

***Keywords**:* Corn, Lead, Phytoremediation, Transfer factor, Bio-concentration

* Corresponding Authors; Email: moteshare@ut.ac.ir