بررسی غلظت سرب و کروم در برگ گیاهان جعفری و شاهی در خاک آبیاری شده با آب آلوده

سیده آیدا نجبائی[۱*]، مهدی قاجار سپانلو و محمد علی بهمنیار

کارشناس ارشد علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

Ida.nojabaee@gmail.com

دانشیار گروم علوم خاک،دانشکده علوم زراعی،دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

sepanlu@yahoo.com

استاد گروه علوم خاک دانشکده علوم زراعی،دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

Mail.bahmanyar@gmail.com

چکیده

به منظور بررسی تاثیر مقادیر مختلف سرب و کروم موجود در آب آبیاری بر تجمع آنها در خاک و جذب گیاهی (در شاهی و جعفری)، آزمایشی در گلدان هایی با ارتفاع ۲۲ و قطر ۲۸ سانتی‌متر، به‌صورت فاکتوریل در قالب کاملا تصادفی، در ۳ تکرار و ۱۶ تیمار و بافت خاک لومی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۰ اجرا گردید. تیمارها شامل چهار سطح سرب در آب (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از منبع نیترات سرب) و چهار سطح کروم در آب (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر از منبع نیترات کروم) به صورت مجزا از هر تیمار و تلفیقی از هر دو تیمار در نظر گرفته شد. نتایج همبستگی نشان داد کاربرد مقادیر مختلف سرب و کروم بر میزان سرب و کروم کل و قابل جذب خاک تاثیر معنی‌دار داشت. افزایش مقدار سرب باعث کاهش مقدار کروم در لایه سطحی و افزایش میزان سرب کل و سرب قابل جذب خاک تحت کشت شاهی و جعفری شد و همچنین با افزایش مقدار کروم در آب آبیاری و کاهش مقدار سرب در تیمارهای تلفیقی، مقدار کروم کل و قابل جذب افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت سرب در آب تا حد ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بالا رفتن سطح آلودگی خاک ، مقدار سرب در بخش هوایی در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در سطوح بالاتر آلودگی مقدار سرب و کروم مقدار آنها در بخش هوایی کاهش یافت. این نتیجه در مورد مقدار سرب به احتمال زیاد به این دلیل است که با افزایش مقدار سرب در بخش زیرزمینی، این عنصر به صورت ترکیبات نامحلول در ریشه رسوب کرده و به بخش هوایی منتقل نشده است. اما در مورد کروم، به دلیل باقی ماندن آن در جایگاه‌های تبادلی کاتیونی و تمایل به هیدرولیز و جذب سطحی شدن، غیر متحرک می‌گردد. پیوند کروم به گروه‌های هیدروکسی در دیواره سلول‌های ریشه، از جابجایی این فرم یونی به اندام‌های هوایی ممانعت می‌کند. بیشترین سرب تجمع یافته در اندام هوایی سبزیجات نیز در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب و بیشترین کروم تجمع یافته در اندام هوایی سبزیجات نیز در تیمار ۴۰۰ میلی گرم در لیتر کروم اتفاق افتاد. بدیهی است که خطرات بهداشتی قابل توجهی در استفاده از آبهای آلوده برای آبیاری مزارع سبزی و باغ‌های میوه وجود دارد و محصولات به‌دست آمده از این مزارع معضلی را ایجاد کرده که به گفته متخصصان حوزه سلامت فاجعه است.

واژه های کلیدی: **خطرات بهداشتی، سبزیجات، خاک آلوده، نیترات سرب، نیترات کروم.**

---

[۱]- آدرس نویسنده مسئول: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

*- دریافت: آذر ۹۴ و پذیرش: تیر ۹۶

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

اصطلاح "فلزات سنگین" به عناصر فلزی که چگالی بالای بیش از پنج گرم بر سانتیمتر مکعب دارند و در مقادیر اندک هم سمی و خطرناک هستند اطلاق می‌شود (آدریانو، ۲۰۰۱). سرب به مقدار بسیار اندک توسط گیاه جذب می‌شود، فلزهای سنگین در لایه بالایی خاک در منطقه ریشه تجمع می‌یابند. آنها تماماً توسط خاک تثبیت نمی‌شوند (فیلیپینسکی، ۱۹۹۰). بنابراین، مقدار زیادی از شکل متحرک این عناصر در گیاه از طریق ریشه جذب می‌شود (سیچروا و همکاران، ۲۰۰٤) و شدت جذب سرب در بیوماس گیاه به‌طور ویژه متأثر از گونه گیاهی، میزان مواد آلی و نوع و میزان کانی‌های رسی است (تلوستس و همکاران، ۲۰۰۱). حد آستانه استاندار سرب و کروم برای تولید محصول در جدول ۱، ارائه شده است (ایرس و وستکات، ۱۹۸۵).

جدول ۱- حد آستانه استاندار سرب و کروم

عنصر	حداکثر مقدار توصیه شده (mg/L)
سرب	۵
کروم	۰/۱

کانی‌های رسی خاک و مواد آلی می‌توانند با مقادیری زیاد از آلاینده‌ها پیوند برقرار کرده و آنها را جذب کنند و این میزان جذب تابعی از اسیدیته خاک است. زیرا اسیدیته خاک در ویژگی‌های اجزای جذب کننده و جذب شونده تاثیر غیر قابل انکاری دارد. قابلیت دسترسی به عناصر سنگین در خاک‌های قلیایی و دارای رس زیاد، کمتر است (کوربولسکی و همکاران، ۲۰۰۲). یکی از راه‌های مقابله با کمبود کروم درخاک و نتایج ناخوشایند ناشی از آن، استفاده از گیاهان انباشته کننده این عنصر است. چانگ و همکاران (۱۹۸۱) گزارش کردند که در خاک‌های تیمارشده با آب‌های آلوده، بیش از ۹۰ درصد عناصر سنگین مانند کادمیم، نیکل و سرب در قشر رویین خاک (۱۵-۰ سانتی‌متری) تجمع یافته‌اند و مقدار خیلی کمی به لایه‌های زیرین منتقل می‌شود. این پژوهشگران اظهار داشتند که رسوب عناصر سنگین موجود در آب آلوده در خاک با افزایش درصد رس این خاک‌ها افزایش می‌یابد که ممکن است در اثر جذب شدید روی سطح کانی‌های رسی، هیدروکسیدهای آهن و یا منگنز و یا تشکیل کمپلکس با مواد آلی باشد. سالاریا و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعات خود بر روی سبزیجات منطقه پنجاب پاکستان که با آب‌های آلوده با فلزات آبیاری می‌شوند، به افزایش میزان سرب در سبزیجات با افزایش آلودگی اشاره کردند. آنها همچنین در میان سبزیجات، بیشترین مقدار جذب سرب را به گیاه خردل و کمترین را به نخود فرنگی نسبت دادند. همچنین بیان داشتند که بیشترین تجمع سرب در سبزیجات برگی نسبت به میوه‌ای و غده‌ای می‌باشد.

در گیاه جعفری، با افزایش مقدار Cr^{3+}و Cr^{6+} در محیط خاک، مقدار آنها در بافت‌ها نیز افزایش می‌یابد و میزان تجمع این یون‌ها در ریشه جعفری بیشتر از اندام هوایی می‌باشد. بطور کلی میزان انباشت کروم در بخش‌های مختلف گیاه، متفاوت است زیرا در انتقال کروم از ریشه به رأس گیاه محدودیت وجود دارد که به دلیل اتصال این فرم یونی در جایگاه‌های مبادله کاتیونی ریشه و غیر متحرک شدن آن می‌باشد (واجپایی و همکاران، ۲۰۰۱).

تیواری و همکاران (۲۰۱۱) تجمع عناصر سنگین را در سبزیجات از جمله شاهی، اسفناج، تربچه، گوجه فرنگی و جند سبزی دیگر با آبیاری آبهای آلوده و غیر آلوده هندوستان بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که میزان سرب و کروم در ریشه و اندام هوایی سبزیجات با آبیاری آب‌های آلوده به این فلزات افزایش می‌یابد و با افزایش میزان عناصر در خاک، میزان جذب افزایش می‌یابد. همچنین آبیاری با آبهای غیر آلوده، میزان سرب و کروم در خاک از حد قابل قبولی کمتر می‌باشد. میزان کروم در ساقه شاهی نسبت به ریشه بیشتر می‌باشد. همچنین این محققین بیان می‌کنند که عناصر سرب و کروم به علت حلالیت کمتری که در خاک نسبت به سایر

Archive of SID

www.SID.ir

فلزات سنگین دارند، حتی اگر در ریشه تجمع یابند، نمی-توانند معمولاً به برگ و میوه منتقل شوند. هدف از انجام این تحقیق تعیین میزان سرب و کروم در خاک تحت آبیاری با آب آلوده به مقادیر مختلف سرب و کروم و تعیین میزان جذب، انتقال و تجمع سرب و کروم در ریشه و اندام هوایی گیاه جعفری و شاهی می‌باشد. تحقیقاتی که در زمینه جذب و تجمع عناصر سنگین توسط گیاه انجام شده است (تیواری و همکاران، ۲۰۱۱؛ سالاریا و همکاران، ۲۰۰۲؛ فیلیپینسکی، ۱۹۹۰ و ...) بیشتر در مورد یک عنصر یا در مقدارهای محدود و یا اثر عناصر را بصورت مجزا بررسی شده است اما در این تحقیق به-صورت گسترده از چند مقدار عناصر کروم و سرب به‌طور مجزا و تلفیقی بر روی دو گیاه جعفری و شاهی در بخش‌های خاک، اندام های زیرزمینی و هوایی بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

این طرح پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۰ به اجرا درآمد. این مزرعه‌تحقیقاتی در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ٤ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳٦ درجه ۳۹ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱٦ متر واقع گردیده است در شرایط گلدان پلاستیکی با ارتفاع ۲۲ و قطر ۲۸ سانتی‌متر و به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک کاملا تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. در این طرح چهار سطح سرب ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب از منبع نیترات سرب و چهار سطح کروم ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر کروم از منبع نیترات کروم در یک خاک لومی که هدف از انتخاب این نوع بافت خاک، تحقیق میزان جذب گیاه و خاک در خاک بافت متوسط بود، برای دو گیاه شاهی و جعفری در سه تکرار جمعا ۹٦ گلدان به شرح زیر به اجرا درآمد که مبنای انتخاب این سطوح سرب و کروم در این تحقیق ایجاد طیف‌های گسترده آلودگی و بررسی میزان جذب آنها در گیاهان بوده است (جدول ۲). در جدول ۲، تیمار $pb_{500}cr_{100}$ یعنی تلفیقی از تیمار سرب ۵۰۰ میلی گرم در لیتر سرب و تیمار کروم ۱۰۰ میلی گرم در لیتر کروم می‌باشد : ٤ سطح سرب × ٤ سطح کروم × ۲ نوع گیاه × ۳ تکرار = ۹٦ گلدان

خاک مورد استفاده در این آزمایش از زمین‌های اطراف شهر آمل تهیه گردید. به‌منظور همگن شدن خاک گلدان‌ها، خاکهای مورد آزمایش کاملا مخلوط گردید و از الک دو میلی‌متر (۱۰ مش) عبور داده شد و پس از آن ۱۰ کیلو خاک در گلدان‌های ۱۲ کیلویی ریخته و دراین گلدان‌ها در تاریخ ۱۲ اسفند ۱۳۹۰بذر شاهی و جعفری به‌صورت تصادفی در هر گلدان ریخته و روی آن‌ها با مقداری خاک نرم پوشانده شد. آبیاری به‌دلیل اعمال آلودگی به‌صورت دستی انجام شد.

در ابتدای کشت، آبیاری اولیه از آب معمولی استفاده شد و بعد از سبز شدن حدود یک هفته تیمارها حاوی سرب و کروم در هر گلدان با آبیاری اعمال شد. در تمام طول دوره کشت، هنگامی‌که رطوبت خاک گلدان‌ها به حدود ٦۰ درصد ظرفیت مزرعه با روش وزنی رسید. با کنترل روزانه رطوبت خاک با روش وزنی در صورتی که مقدار آن به کمتر از ٦۰ درصد ظرفیت مزرعه می‌رسید آبیاری انجام می شد تا گیاهان دچار تنش خشکی نشوند. در هر نوبت آبیاری قریب ۸۰۰ میلی‌متر از محلول آبیاری هرتیمار به هر گلدان افزوده شد، به گونه‌ای که در تمام دوره کشت گیاه آب‌شویی از گلدان‌ها انجام نگرفت. بعد از رشد کامل گیاه از ریشه و اندام هوایی گیاهان نمونه-برداری به‌صورت بوته‌های کامل گیاه برداشت شد به نحوی که ریشه گیاهان نیز از خاک خارج گردید. سپس ریشه و اندام هوایی از هم جدا و آزمایش به‌طور مجزا بر آن‌ها انجام شد. دوره رشد گیاهان ۵۰ روز بود. از سموم آفت‌کش استفاده نشد و علف‌های هرز نیز به‌صورت دستی حذف شدند. به گلدان‌ها پیش از کاشت کود اوره و فسفاته و پتاس به‌عنوان پایه داده شد و برای سرک نیز کود اوره استفاده گردید. پس از برداشت گیاه، از خاک گلدان-ها از دو عمق ۵-۰ و ۱۲-۷ سانتی‌متر نمونه‌برداری شد و

Archive of SID

www.SID.ir

میزان سرب و کروم کل و قابل جذب برای هر عمق به‌صورت مجزا تعیین گردید.

قبل از شروع آزمایش، بافت خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (وسترمن، ۱۹۹۰) میزان ماده‌آلی (چپمن و پراف، ۱۹٦۱)، pH، EC گل اشباع و کربنات کلسیم (نلسون، ۱۹۸۲)، بر روی نمونه‌های خاک این تحقیق اندازه‌گیری شد (جدول ۳). میزان کل عناصر سنگین مورد نظر (سرب و کروم) در خاک به روش بکروآماچر (۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. شکل قابل جذب این عناصر در خاک با استفاده از روش لیندسی و نورول (۱۹۸۷) تعیین شد.

مقدار عناصر سنگین در اندام‌های گیاهی شاهی و جعفری به روش AOAC (۱۹۹۰) تعیین گردید و بعد از عصاره‌گیری با اسیدنیتریک و اسیدکلریک با دستگاه جذب اتمی مدل SepctraAA-10 تعیین شد (بکر و آماچر، ۱۹۸۲).

جدول ۲- تیمارهای به‌کار گرفته شده در این تحقیق

تیمارهای این تحقیق			
T_1. $Cr_0\,pb_0$	T_2. $Cr_0\,pb_{500}$	T_3. $Cr_0\,pb_{1000}$	T_4. $Cr_0\,pb_{1500}$
T_5. $Cr_{100}\,pb_0$	T_6. $Cr_{100}\,pb_{500}$	T_7. $Cr_{100}\,pb_{1000}$	T_8. $Cr_{100}\,pb_{1500}$
T_9. $Cr_{200}\,pb_0$	T_{10}. $Cr_{200}\,pb_{500}$	T_{11}. $Cr_{200}\,pb_{1000}$	T_{12}. $Cr_{200}\,pb_{1500}$
T_{13}. $Cr_{400}\,pb_0$	T_{14}. $Cr_{400}\,pb_{500}$	T_{15}. $Cr_{400}\,pb_{1000}$	T_{16}. $Cr_{400}\,pb_{1500}$

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد آزمایش قبل از اعمال تیمارها

پارامترها	واحد	کمیت	پارامترها	واحد	کمیت
رس	٪	۲۲	کربن آلی	%	۱/۵۳
سیلت	٪	۴۵	آهک	%	۹/۶۵
شن	٪	۳۳	سرب کل	mg/kg	۱۰/۱۵
بافت خاک	–	لوم	سرب قابل جذب	mg/kg	۲/۰۸
اسیدیته (pH)	–	۷/۵۲	کروم کل	mg/kg	۷/۹۳
هدایت الکتریکی (EC)	dS/m	۱/۲۷	کروم قابل جذب	mg/kg	۰/۱
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	cmol/kg	۲۱/۷۴			

با توجه به جدول ۱، مقدار مجاز استاندارد سرب خاک پنج میلی گرم بر لیتر است (پنج میلی‌گرم بر کیلوگرم)، که مقدار سرب کل خاک این تحقیق با توجه به جدول ۳، بیشتر از مقدار مجاز استاندارد و سرب قابل جذب کمتر از این مقدار است. مقدار مجاز کروم ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر است (جدول ۱) که مقدار کروم کل خاک این تحقیق (جدول ۳) خیلی بیشتر از مقدار مجاز و کروم قابل جذب خاک برابر مقدار مجاز استاندارد است و در واقع نرمال است.

مالکی و همکاران (۲۰۱٤) مقدار و مصرف روزانه (DI)[2] فلزات سنگین مانند سرب (Pb)، کروم (Cr)، کادمیوم (Cd) و مس در چهار سبزیجات خوراکی‌های رایج از جمله گشنیز، شوید، ریشه تربچه و برگ تربچه در استان سنندج بررسی و گزارش کردند مقدار سرب و کروم از مقدار مجاز گزارش شده توسط سازمان غذا و کشاورزی (FAO)[3] بیشتر و مقدار مس و کادمیوم ار این مقدار مجاز کمتر است. نتایج بدست آمده با به‌کارگیری نرم‌افزارهای آماری SPSS و MSTATC مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت، مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی نیز با روش LSD انجام شد. فاکتورتجمع زیستی (BCF)[4] و انتقال (TF)[5] براساس رابطه‌های زیر محاسبه شد (میلیس و همکاران، ۲۰۰٤):

[2]. Daily Intake

[3]. Food and Agriculture Organization
[4]. Bioaccumulation Factor
[5]. Translocation Factor

Archive of SID

www.SID.ir

$$BCF = \frac{C_{root}}{C_{soil}} \quad (۱)$$

$$TF = \frac{C_{leaf}}{C_{root}} \quad (۲)$$

C_{root} میزان عنصر در ریشه، C_{soil} میزان عنصر قابل جذب خاک و C_{leaf} میزان عنصر در برگ است. شاخص خطر عناصر سنگین از رابطه زیر به‌دست آمد (خان و همکاران، ۲۰۰۵):

$$HQ = \frac{ADD}{RFD} \quad (۳)$$

HQ شاخص خطر برای سلامتی انسان، ADD میانگین جذب روزانه برحسب mg metal/kg body weight/day و RFD مقدار رفرنس است. این مقدار برای سرب و کروم به ترتیب mg metal/kg body weight/day ۰/۰۲ و ۱/۵ است (USEPA[6]، ۱۹۸۹). ADD از طریق رابطه زیر به‌دست آمد:

$$ADD = \frac{mc \times di}{bw} \quad (٤)$$

که mc مقدار عنصر در گیاه بر حسب میلی‌گرم برکیلوگرم براساس وزن خشک، di مصرف روزانه محصول که در این تحقیق ۰/٤ کیلوگرم و bw وزن بدن انسان که در این تحقیق ۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

تجمع سرب و کروم کل و قابل جذب خاک تحت کشت گیاه شاهی و جعفری

نتایج تجزیه واریانس مقدار سرب و کروم کل و قابل جذب خاک تحت کشت جعفری و شاهی در جدول ٤ آمده است. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که کاربرد عناصر به‌صورت جداگانه و تلفیقی، و عمق خاک اثرات معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) را بر مقدار کل و قابل جذب سرب و کروم داشته است. این اختلاف معنی‌دار احتمالا به تفاوت‌های فیزیولوژیکی و زیستی گونه‌های مختلف و همچنین تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله اسیدیته، شوری، مقدار کل و قابل جذب سرب و کروم در خاک و سایر عوامل در نقاط مختلف نمونه‌برداری ارتباط دارد. اثر سرب، کروم و عمق و همچنین اثر متقابل آنها بر میزان سرب کل و قابل جذب خاک تحت کشت شاهی و جعفری اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) را نشان داده است (جدول ٤).

جدول‌های تجزیه واریانس نشان می‌دهند که میانگین مربعات سرب و کروم کل و قابل جذب خاک بالا هستند. این می‌تواند به‌دلیل زیاد بودن موادآلی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و بافت خاک (جدول ۳) باشد. زیاد بودن موادآلی در خاک باعث فیکس شدن فلزات سنگین به‌صورت شکل‌گیری کمپلکس آلی فلزی در خاک و در نهایت سبب کاهش حرکت‌پذیری فلزات از خاک می‌شود (فولی، ۲۰۰۲). چن و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که در اثر کاربرد کمپوست مواد زاید شهری در خاک قرمز، مقداری از فلزات مس و روی از خاک نشت یافتند، به طوریکه از کل مس و روی موجود در کمپوست کمتر از چهار درصد مس و بیش از ۵۸ درصد روی نشت یافت. همچنین این محققین بیان کردند افزودن کمپوست به خاک میزان هدایت الکتریکی خاک را تا حدودی افزایش و ارتباط مستقیم بین هدایت الکتریکی و فلزات سنگین در شیرابه نشت یافته از خاک دریافت کننده کمپوست وجود دارد. کاسچل و همکاران (۲۰۰۲) علت نشت فلزات از کمپوست را پیوند فلزات با مواد آلی محلول گزارش نمود. و همچنین بیان کردند افزایش حرکت پذیری فلزات سنگین در خاکهای با pH قلیایی را به‌علت پیوند آنها با مواد آلی محلول می‌باشد. همچنین وجود رس و سیلت بالا در خاک مکان‌های جذب برای فلزات را افزایش می‌دهد (آچیبا و همکاران، ۲۰۰۹). در این تحقیق احتمالا به دلیل بالا بودن مقدار سیلت (٤۵٪) و رس (۲۲٪) مقدار مکان‌های جذب سرب و کروم افزایش یافت و مقدار سرب و کرم کل بالا بوده است (جدول ۳). در pH کم

[6]. United States Environmental Protection Agency

Archive of SID

www.SID.ir

حلالیت فلزات افزایش می‌یابد. علاوه براین در اثر کاهش pH یون‌های H^+ تولید می‌گردد که این یون با مکان‌های جذب تبادل یون ناشی از رس رقابت می‌کنند که باعث می‌شود فلزات در خاک جذب نشود در نتیجه نشت می‌یابند (توریبیو و همکاران، ۲۰۰٦). از طرفی pH خاک این تحقیق تقریبا قلیایی است (جدول ۳) و مکان-های جذب برای سرب و کروم بسیار است و این می‌تواند دلیلی بر بالا بودن میانگین مربعات مقدار سرب و کروم قابل جذب خاک باشد (جدول ٤).

جدول‌های تجزیه واریانس (جدول ٤) اثر عمق بر عناصر سرب و کروم کل و قابل جذب را معنی‌دار (در سطح احتمال ۱٪) نشان می‌دهند. که این احتمالا به دلیل مواد آلی زیاد در لایه سطحی خاک است که باعث جذب زیاد عناصر در لایه‌های سطحی شده است. رستگار و همکاران (۱۳۹۱) بیان کردند که بیشترین مقدار فلزات در لایه سطحی خاک با بافت شنی رسی لومی تجمع می یابد و به تدریج در عمق‌های پایین‌تر کاهش می‌یابد. همچنین چانگ و پیچ (۱۹۹۹) گزارش کردند عمق نفوذ فلزات در خاک یکسان نبوده به طوری که حدود ۷۰-۹۰ درصد فلزات روی و کادمیوم در لایه سطحی خاک (۰-۱۵ سانتی‌متر) در گیاه جو باقی مانده بود. این محققین همچنین بیان کردن بیشترین تجمع این عناصر در بافت سبک مانند لوم شنی بوده و در بافت سنگین خاک کمترین تجمع را داشتند.

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) میزان سرب و کروم کل و قابل جذب خاک تحت کشت جعفری و شاهی

	درجه آزادی	سرب کل	سرب قابل جذب	کروم کل	کروم قابل جذب	درجه آزادی	سرب کل	سرب قابل جذب	کروم کل	کروم قابل جذب
	تحت کشت جعفری					تحت کشت شاهی				
بلوک	۲	۴/۸۷^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۰/۸۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۲	۱۲/۳۶^{ns}	۰/۸۳^{ns}	۰/۶۵^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
سرب	۳	۱۵۹۴۱۱۶**	۴۹۰۴۶۱**	۴۸**	۰/۱۹**	۳	۱۵۹۲۴۵۸**	۴۱/۴۴**	۸/۹۶**	۰/۱۴۱**
کروم	۳	۴۲۸**	۱/۵۹**	۴۴۷۴۹**	۱/۵۹**	۳	۴۷/۲۸**	۲۰۳۷۴**	۴۲۱۴۹**	۰/۱۸**
عمق	۱	۳۲۳۱۹**	۴۳۹۸۹**	۲۸۲۶**	۰/۸۲**	۱	۳۸۹۱۵**	۲۴۴۶۷**	۱۱۸۳**	۰/۶۶**
سرب×عمق	۳	۵۱۱۰**	۲۰۷۸۷**	۱۸/۸۴**	۰/۰۰۶**	۳	۸۶۱۵**	۹۰۰**	۱۰/۹۶**	۰/۰۰۹**
کروم×عمق	۳	۹۲**	۲۴۱**	۳۲۱**	۰/۰۵**	۳	۱۳۹**	۱۰۶۵**	۸۳/۹۴**	۰/۰۰۵**
سرب×کروم	۹	۲۸۴**	۱۴۱۸۳**	۱۴/۸۹**	۰/۰۱**	۹	۱۰۱**	۱۵۳۶۶**	۳/۸۷**	۰/۰۱**
سرب×کروم×عمق	۹	۱۱۶**	۶۸۰**	۱۱/۷۸**	۰/۰۰۱**	۹	۱۰۴**	۷۳۳**	۴/۱۷**	۰/۰۰۱**
خطا	۶۴	۵/۱۸	۰/۴	۰/۴۵	۰/۰۰۱	۶۴	۷/۳۸	۰/۴۶	۰/۳۶	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات	-	۵/۲۱	۹/۳۷	۹/۵۹	۲/۸۱	-	۵/۲۲	۱۲/۰۸	۹/۸۵	۳/۲۵

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و ns عدم تفاوت معنی دار

با افزایش سطح کاربرد سرب، میزان سرب کل و قابل جذب خاک افزایش می‌یابد. در مورد خاک تحت کشت شاهی نیز بیشترین تجمع سرب کل در بالاترین تیمارهای سرب و کمترین نیز در کاربرد بدون سرب نشان داده شده است. همچنین بیشترین تجمع سرب کل خاک تحت کشت جعفری نیز در کمترین تیمار کروم و در لایه سطحی (۰- ۵ سانتی‌متر) و کمترین آن در بیشترین تیمار کروم اعمال شده و لایه زیرین (۷ تا ۱۲ سانتی‌متر) بود. به طوری که با افزایش مقدار سرب و کاهش مقدار کروم در لایه سطحی میزان سرب کل و قابل جذب خاک تحت کشت شاهی و جعفری روند افزایشی نشان داد (جدول ۵ و ٦). همچنین با افزایش مقدار کروم در آب آبیاری و همچنین کاهش مقدار سرب در تیمارهای تلفیقی، مقدار کروم کل و قابل جذب در خاک روند افزایشی را نشان می‌دهد اما در برخی سطوح اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداده‌اند (جدول ۷). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل سرب و کروم بر محتوای کروم کل و قابل جذب خاک (جدول ۷) تحت کشت جعفری نشان داد که

Archive of SID

www.SID.ir

بیشترین کروم کل خاک حدود ۱۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیشترین کروم قابل جذب نیز ۰/۸٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که هر دو در بالاترین تیمار کروم به‌تنهایی و بدون استفاده از سرب می‌باشد. کمترین تجمع کروم کل خاک نیز در تیمار های بدون مصرف کروم مشاهده شده است. در مورد کروم قابل جذب خاک تحت کشت جعفری، کمترین تجمع مربوط به بالاترین ترین تیمار سرب به تنهایی و بدون مصرف کروم به مقدار ۰/۰٤٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط می‌باشد (جدول ۷). بیشترین کروم کل و قابل جذب خاک تحت کشت شاهی به ترتیب ۱۰۷ و ۰/٦٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که در بالاترین میزان مصرف کروم به تنهایی مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۵- مقایسه میانگین بر همکنش سرب و عمق بر سرب کل و قابل جذب خاک تحت کشت جعفری و شاهی (میلی‌گرم در کیلوگرم)

	کل				قابل جذب				
سرب / عمق	۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	
۵-۰	۱۲/۷۰^{g}	۱۶۱/۷۹^{e}	۳۴۰/۷۰^{c}	۶۴۵/۳۲^{a}	۲/۴۵^{g}	۴۰/۷۳^{e}	۱۰۶/۸۰^{c}	۳۸۳/۷۰^{a}	خاک تحت کشت
۱۲-۷	۸/۸۵^{h}	۱۳۸/۰۸^{f}	۲۹۲/۴۲^{d}	۵۷۴/۳۷^{b}	۱/۸۲^{h}	۳۴/۰۳^{f}	۷۰/۹۱^{d}	۲۵۵/۶۷^{b}	جعفری
٪۵ LSD	۱/۸۵۸				۰/۵۱۴۵				
۵-۰	۱۰/۷۳^{g}	۱۵۵/۱۵^{e}	۳۴۶/۵۶^{c}	۶۵۰/۳۹^{a}	۲/۳۶^{g}	۳۱/۵۹^{e}	۸۱/۶۸^{c}	۲۲۸/۱۱^{a}	خاک تحت کشت
۱۲-۷	۸/۷۶^{h}	۱۲۸/۸۰^{f}	۳۰۶/۵۴^{d}	۵۸۵/۴۸^{b}	۱/۸۹^{h}	۲۳/۰۶^{f}	۴۹/۳۴^{d}	۱۴۱/۷۴^{b}	شاهی
٪۵ LSD	۲/۲۱۶				۰/۵۵۶۱				

در هر ردیف و در هر ستون میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل کروم و عمق بر سرب کل و قابل جذب خاک تحت کشت شاهی و جعفری (میلی‌گرم در کیلوگرم)

	کل				قابل جذب				
کروم / عمق	۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰	
۵-۰	۲۹۳/۹۲^{a}	۲۹۰/۴۰^{b}	۲۹۰/۳۶^{b}	۲۸۶/۷۵^{c}	۱۶۶/۶۴^{a}	۱۴۹/۱۳^{b}	۱۱۶/۵۲^{d}	۱۰۱/۳۹^{f}	خاک تحت
۱۲-۷	۲۶۰/۹۷^{d}	۲۵۳/۹۷^{e}	۲۵۰/۲۲^{f}	۲۴۸/۵۶^{f}	۱۲۵/۱۵^{c}	۱۰۴/۳۱^{e}	۸۱/۶۳^{g}	۵۱/۳۵^{h}	کشت جعفری
٪۵ LSD	۱/۸۵۸				۰/۵۱۴۵				
۵-۰	۲۹۵/۲۰^{a}	۲۹۰/۲۸^{b}	۲۸۷/۳۲^{b}	۲۷۴/۸۴^{c}	۱۲۷/۸۷^{a}	۱۰۱/۶۲^{b}	۶۳/۲۸^{e}	۵۰/۹۷^{f}	خاک تحت
۱۲-۷	۲۵۲/۷۵^{d}	۲۵۰/۹۶^{de}	۲۵۰/۰۸^{e}	۲۴۸/۷۷^{e}	۷۸/۶۲^{c}	۶۶/۶۴^{d}	۴۴/۲۴^{g}	۴۶/۴۳^{h}	کشت شاهی
٪۵ LSD	۲/۲۱۶				۰/۵۵۶۱				

در هر ردیف و در هر ستون میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی دار ندارند.

مویو و چیمبرا (۲۰۰۹) در بررسی خود روی فراهمی زیستی سرب در خاک تحت تیمارهای مختلف سرب به تنهایی و به صورت مخلوط با کروم بر گیاه کاهو تحت شرایط گلخانه‌ای بیان داشتند که سرب قابل جذب خاک با افزایش مقدار آن روند صعودی داشته اما برهمکنش سرب و کروم، فراهمی زیستی آن را در خاک کاهش می‌دهد. تیواری و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند افزایش سطوح سرب در آب آبیاری باعث افزایش معنی‌دار مقدار سرب در خاک و آلودگی خاک می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش مقدار کروم تجمع کروم کل و قابل جذب در خاک افزایش یافت. موررا و همکاران (۲۰۰۱) مقدار کروم کل را در خاک‌های با مقادیر متفاوت سرب، کادمیوم و کروم تیمار شده اندازه‌گیری و اظهار داشتند که مقدار کروم کل پس از مصرف، تفاوت معنی داری را نشان دادند. شومان و همکاران (۲۰۰۱) گزارش نمودند که تجمع کروم در مناطقی که با آب آلوده به این عنصر آبیاری شدند، مشاهده شده و این افزایش رابطه مستقیم با مقدار مصرفی آن داشته است. همچنین افزایش کروم کل و قابل جذب خاک در اثر کاربرد آب آلوده به

Archive of SID

www.SID.ir

این فلز توسط جیریس و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش شده است.

جدول ۷- مقایسه میانگن اثر متقابل سرب و کروم بر میزان کروم کل و قابل جذب خاک تحت کشت جعفری و شاهی (میلی‌گرم در کیلوگرم)

	کل				قابل جذب			
کروم / سرب	۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰
خاک تحت کشت جعفری								
۰	۷/۷۴^{j}	۴۸/۵۲^{g}	۸۳/۱۳^{c}	۱۱۰^{a}	۰/۱۱^{k}	۰/۴۵^{g}	۰/۶۱^{d}	۰/۸۴^{a}
۵۰۰	۷/۷۵^{j}	۴۵/۲۶^{i}	۷۷/۸۷^{e}	۱۰۹^{a}	۰/۰۸۶^{l}	۰/۲۸^{h}	۰/۵۵^{e}	۰/۷۳^{b}
۱۰۰۰	۷/۸۵^{j}	۴۶/۱۹^{h}	۸۰/۰۲^{d}	۱۰۵^{b}	۰/۰۶۰^{m}	۰/۳۲^{i}	۰/۴۴^{g}	۰/۶۵^{c}
۱۵۰۰	۷/۶۳^{j}	۴۷/۹۱^{g}	۷۶/۵۴^{f}	۱۰۶^{b}	۰/۰۴۶^{n}	۰/۲۵^{j}	۰/۳۸^{h}	۰/۵۲^{f}
٪۵ LSD	۰/۷۷				۰/۰۳۶			
خاک تحت کشت شاهی								
۰	۷/۷۸^{i}	۴۵/۳۳^{g}	۷۵/۷۵^{d}	۱۰۷^{a}	۰/۰۸۲^{l}	۰/۴۳^{d}	۰/۵۳^{b}	۰/۶۵^{a}
۵۰۰	۷/۶۸^{i}	۴۴/۱۸^{h}	۷۳/۶۴^{f}	۱۰۵^{b}	۰/۰۷۱^{ij}	۰/۳۷^{e}	۰/۴۴^{d}	۰/۵۳^{b}
۱۰۰۰	۷/۷۵^{i}	۴۴/۵۰^{h}	۷۳/۲۱^{f}	۱۰۵^{b}	۰/۰۶۳^{j}	۰/۳۱^{g}	۰/۳۶^{ef}	۰/۴۵^{c}
۱۵۰۰	۷/۶۰^{i}	۴۵/۲۹^{g}	۷۴/۸۲^{e}	۱۰۴^{c}	۰/۰۶۳^{j}	۰/۲۵^{h}	۰/۳۱^{g}	۰/۳۵^{f}
٪۵ LSD	۰/۶۹				۰/۰۳۶			

در هر ردیف و در هر ستون میانگین هایی که دارای حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی دار ندارند.

در این تحقیق مشاهده شد با افزایش مقدار کروم در خاک، بر میزان قابل جذب آن افزوده می‌شود که این افزایش در تیمارهای منفرد بسیار بیشتر از کاربرد توام آن با سرب می‌باشد (جدول ۷). مطالعات پاتکوواسکا و همکاران (۲۰۰۵) روی اثرات متقابل عناصر سنگین در تجمع آنها در خاک نشان داد که جذب سطحی ذرات خاک از محلول‌های حاوی عناصر به‌تنهایی بسیار بیشتر از جذب تحت شرایط تلفیقی عناصر می‌باشد که در این صورت بستگی به اثر رقابتی آنها دارد. همچنین دریافتند که بر خلاف سرب خاک که بیشتر از محلول خاک جدا شده و جذب ذرات خاک می‌شود، ترکیبات کروم بیشتر از خاک به سمت محلول مشاهده شده است.

پیریز- نوو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که روی به دلیل پیوند ضعیفی با ذرات خاک دارد به راحتی از سطح خاک دفع می‌شود. زیمانووا و همکاران (۲۰۱٤) جذب رقابتی بین کادمیوم، مس، سرب و روی در سه خاک مختلف بررسی و گزارش کردند جذب این عناصر به این ترتیب Pb> Cu> Zn> Cd در خاک کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج زیمانووا و همکاران (۲۰۱٤) سرب نسبت به سایر عناصر سنگین دیگر با ذرات خاک پیوند محکم دارد و بیشتر جذب ذرات خاک می‌شود.

همبستگی ساده میان سرب و کروم خاک تحت کشت شاهی و جعفری

ضریب همبستگی پیرسون[۷] بین سرب و کروم خاک تحت کشت جعفری و شاهی بررسی شد (جدول۸). این همبستگی نشانه‌ای از ارتباط بین آن‌ها می‌باشد. همبستگی ساده میان سرب و کروم خاک تحت کشت جعفری و شاهی روند مشابهی نشان می‌دهد که بالاترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار به کروم کل و کروم قابل جذب اختصاص داشت ($r = ۰/۹۱^{**}$). سرب قابل جذب و کروم قابل جذب و همچنین سرب کل و کروم کل دارای همبستگی منفی و معنی‌دار می‌باشند. به طوری که مقدار کروم در محلول خاک با افزایش مقدار سرب به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همبستگی ساده میان فلزات سنگین خاک تحت کشت شاهی نیز نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سرب کل و سرب قابل

[7]. Pearson coefficient of correlation

Archive of SID

www.SID.ir

جذب ($r = ۰/۸۰^{**}$) و همچنین کروم کل و کروم قابل جذب ($r = ۰/۸۰^{**}$) خاک تحت کشت شاهی وجود دارد. جدول ۷ نشان می‌دهد که با افزایش سرب قابل جذب، کروم قابل جذب خاک کاهش می‌یابد و همبستگی منفی و غیرمعنی‌دار را نشان دادند.

تجمع سرب و کروم در گیاه شاهی و جعفری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که میزان مقدار سرب و کروم و همچنین برهم‌کنش آنها بر میزان سرب و کروم ریشه و اندام هوایی جعفری و شاهی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سرب و کروم بر مقدار سرب در ریشه و اندام هوایی جعفری و شاهی نشان داد که بالاترین مقدار سرب در ریشه جعفری (٤٦٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم) هنگامی بدست آمد که بیشترین تیمار سرب به تنهایی اعمال گردید. کمترین نیز در کاربرد تیمارهای کروم بدون سرب بدست آمد. بیشترین مقدار سرب اندام هوایی جعفری و شاهی نیز متعلق به کاربرد تیمار pb_{1000} به‌تنهایی بود که اختلاف معنی‌داری را با کلیه سطوح نشان داد (جدول ۱۰). مقدار سرب در ریشه جعفری و شاهی بیشتر از اندام هوایی این دو گیاه بود. سرب تقریبا با شدت به دیواره سلولی متصل می‌شود و از عناصری است که قابلیت انتقال کمی داشته و به همین دلیل سرب جذب شده از خاک اغلب در ریشه باقی می‌ماند (کاباتا و پنداس، ۱۹۹۲).

در سایر تحقیقات نیز گزارش شده، سرب به علت تشکیل رسوب با قابلیت حلالیت کم توسط بخش باقی‌مانده خاک کمتر در دسترس گیاه قرار می‌گیرد (لینهام، ۱۹۸۵) که این امر، با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. از مهمترین دلایل تجمع بیشتر سرب در ریشه نسبت به اندام هوایی را می‌توان حرکت آن در گیاه به صورت به دنبال آن ممانعت حلقه کاسپاری، تحرک کم و در نتیجه رسوب سرب در دیواره‌های سلولی اندام ریشه نام برد (جیمز و همکاران، ۱۹۷۳).

جدول ۸- همبستگی ساده میان فلزات سنگین خاک تحت کشت جعفری

	سرب کل	سرب قابل جذب	کروم کل	کروم قابل جذب	سرب کل	سرب قابل جذب	کروم کل	کروم قابل جذب
	تحت کشت جعفری(n=۴۸)				تحت کشت شاهی(n=۴۸)			
سرب کل	۱				۱			
سرب قابل جذب	$۰/۹۰^{**}$	۱			$۰/۸۰^{**}$	۱		
کروم کل	$-۰/۰۱^{**}$	$-۰/۱۷^{ns}$	۱		$-۰/۰۱^{**}$	$-۰/۲۶^{ns}$	۱	
کروم قابل جذب	$-۰/۲۷^{ns}$	$-۰/۳۲^{**}$	$۰/۹۱^{**}$	۱	$-۰/۲۸^{ns}$	$-۰/۳۴^{**}$	$۰/۸۰^{**}$	۱

** و ns = به ترتیب معنی دار در سطح یک درصد و عدم معنی دار

همچنین نتایج نشان داد که با افزایش سطح آلودگی خاک تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم سرب در لیتر، مقدار سرب در بخش هوایی در مقایسه با شاهد افزایش و در سطوح بالاتر آلودگی، مقدار سرب در بخش هوایی کاهش یافته است (جدول۱۰). به احتمال زیاد نتایج ما نشان داد که تجمع سرب همانند مطالعات ماری و همکاران (۱۹۷٦) در ریشه گیاه تحت تیمار، با افزایش غلظت آن در محیط رشد افزایش یافته و در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی است و این نشان‌دهنده‌ی تحرک کم این فلز بوده و انتقال ناچیز آن را به اندام‌های هوایی نشان می‌دهد بیان شده است که فرآیند اصلی مسئول برای تجمع سرب در ریشه، ته نشینی سرب خصوصا به‌صورت پیروفسفات در طول دیواره‌های سلولی می‌باشد (چانی و ریان،۱۹۹۳). به نظر می‌رسد یکی از دلایل تحمل نسبی گیاهان مورد مطالعه نسبت به مقدارهای مسموم کننده سرب، تشکیل ترکیبات نامحلول پیروفسافات در دیواره سلولی است که مانع از انتقال این عنصر به اندام‌های هوایی و بخشهای دیگر است که این نشان‌دهنده‌ی نقش ریشه‌ها در نگه‌داری

Archive of SID

www.SID.ir

سرب اضافی می‌باشد. صیادی منش و همکاران (۱۳۹٤) با بررسی برخی از عناصر سنگین (کروم، کادمیوم، نیکل و سرب) در خاک و گیاه گلزا گزارش کردند با افزایش مقدار عناصر سنگین در خاک، جذب این عناصر توسط کلزا نیز افزایش یافت، به‌علت تحرک کم عناصر سنگین در گیاه، تجمع عناصر در ریشه بیش از سایر اندامها بود.

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مقدار سرب و کروم در گیاه جعفری و شاهی تحت تیمارهای مختلف آب آبیاری

منابع تغییرات	سرب		کروم		سرب		کروم	
	درجه آزادی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	درجه آزادی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
	مقدار سرب و کروم در گیاه جعفری				مقدار سرب و کروم در گیاه شاهی				
بلوک	۲	۹۴^{ns}	۴/۴^{ns}	۶/۳^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۲	۲۷۷^{ns}	۲/۹۴^{ns}	۳^{ns}	۰/۳۲^{ns}
سرب	۳	۲۷۳۱۲۸**	۴۰۴۲۰**	۱۰۸۶۰**	۶۷۵۰**	۳	۳۲۵۳۹۰**	۱۰۷۱۹۸**	۹۳۵۸**	۴۲۸۱**
کروم	۳	۲۳۵۲۱**	۸۲۱۸**	۳۷۵۵۷**	۹۹۶۴**	۳	۳۱۵۲۵**	۱۶۱۶۹**	۲۵۵۳۵**	۳۵۸۳**
سرب×کروم	۹	۲۳۸۷**	۲۰۷۷**	۴۰۴۴**	۱۷۲۹**	۹	۳۵۶۲**	۴۱۹۶**	۲۸۱۰**	۱۳۰۱**
خطا	۳۰	۲۲	۳/۱	۱/۹	۰/۵۱	۳۰	۶۵	۹	۳/۳	۰/۸۷
CV	–	۶/۲۱	۹/۴۹	۶/۹۲	۵/۵۴	-	۵/۰۳	۸/۴۹	۸/۷۶	۷/۲۵

** و ns = به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد و عدم معنی‌دار

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل سرب و کروم بر مقدار سرب ریشه و اندام هوایی شاهی (میلی‌گرم در کیلوگرم)

سرب / کروم	ریشه				اندام هوایی			
	۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰
	جعفری							
۰	۷/۰۱^{l}	۱۷۸^{g}	۴۲۱^{c}	۴۶۰^{a}	۳/۹۷^{k}	۱۲۷^{c}	۲۲۲^{a}	۳۴/۳۴^{j}
۱۰۰	۶/۹۹^{lm}	۱۵۰^{h}	۲۳۳^{f}	۴۲۱^{b}	۳/۵۱^{k}	۱۰۳^{e}	۱۷۱^{b}	۴۷/۴۲^{h}
۲۰۰	۶/۹۴^{lm}	۱۰۸^{j}	۱۷۳^{g}	۳۷۹^{d}	۲/۹۴^{l}	۵۱/۲۲^{g}	۱۱۴^{d}	۳۶/۰۴^{j}
۴۰۰	۶/۶۸^{m}	۷۵/۱۸^{k}	۱۲۶^{i}	۳۱۰^{e}	۲/۱۹^{l}	۴۰/۷۹^{i}	۹۹/۲۱^{f}	۲۲/۹۵^{l}
٪۵ LSD	۷/۸۲				۲/۹۳			
	شاهی							
۰	۷/۴۸^{l}	۲۶۵^{g}	۴۳۵^{c}	۵۲۷^{a}	۳/۷۲^{l}	۲۰۸^{c}	۳۳۱^{a}	۴۴/۹۶^{i}
۱۰۰	۵/۲۲^{lm}	۲۳۳^{h}	۳۴۷^{e}	۴۷۹^{b}	۳/۷۹^{l}	۱۹۱^{e}	۲۲۷^{b}	۴۰/۷۹^{i}
۲۰۰	۵/۹۴^{lm}	۲۰۴^{i}	۲۶۱^{g}	۳۶۸^{d}	۲/۶۴^{m}	۱۵۰^{f}	۲۰۱^{d}	۳۴/۷۲^{j}
۴۰۰	۴/۶۷^{lm}	۱۵۳^{K}	۱۸۱^{j}	۲۸۴^{f}	۲/۳۳^{m}	۹۸/۸۳^{h}	۱۳۱^{g}	۱۷/۸۳^{k}
٪۵ LSD	۱۳/۴۴				۹/۱۳۳			

در هر ردیف و در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌دار ندارند.

با افزایش مقدار سرب بعد از مقدار ۱۰۰۰ میلی-گرم سرب در لیتر، رشد ریشه و اندام هوایی کاهش می-یابد. این کاهش رشد ریشه و اندام هوایی در اثر جذب مقادیر بیشتر سرب می‌تواند در نتیجه عکس‌العمل منفی گیاه و بروز سمیت این عنصر دانست. از علایم سمیت ناشی از سرب توقف سریع رشد ریشه‌ها، کلروز و کاهش رشد گیاه است (بورتن و روجیا، ۱۹۸٤). فلزات سنگین به‌روش‌های مختلف مانع رشد گیاهان می‌شوند. این فلزات با کاهش تورژسانس سلولی موجبات کاهش تقسیم سلولی و مهار رشد سلولی را فراهم می‌آورند و از طرف دیگر با تجمع در دیواره سلولی و ورود به سیتوپلاسم در متابولیسم طبیعی سلول اختلال ایجاد کرده و باعث کاهش رشد می‌گردند (مولاسیوتیس و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج همچنین نشان داد که تجمع سرب در ریشه و اندام هوایی شاهی بیشتر از جعفری می‌باشد. این نتایج، با نتایج ترابیان و مهجوری (۲۰۰۲) مطابقت دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

با افزایش مقدار کروم در خاک، افزایش معنی داری در مقدار کروم در ریشه و اندام هوایی مشاهده شد (جدول ۹)، به‌طوریکه بیشترین میزان مقدار کروم در بالاترین تیمار تعیین شد. مقایسه بین انباشت کروم در ریشه و بخش هوایی نشان داد که مقدار کروم در ریشه‌ها چندین برابر مقدار آن در بخش هوایی می‌باشد. نتایج شانکر و همکاران (۲۰۰٤) نشان داد که کروم به‌طور عمده در ریشه انباشته می‌شود و دلیل آن نیز غیر متحرک شدن کروم در واکوئل‌های ریشه می‌باشد. (مک فارلن، ۲۰۰۱). با این حال با توجه به چند برابری تجمع کروم در ریشه نسبت به اندام هوایی مصرف بخش خوراکی آن توصیه نمی‌شود.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار کروم در جعفری نسبت به شاهی بیشتر است (جدول ۱۰). سمرقندی و همکاران (۲۰۰۰) نیز اظهار داشتند اگر چه شاهی میزان سرب بیشتری را جذب کرده است، جعفری نسبت به شاهی میزان کروم بیشتری را جذب نموده است. اما نتایج باهموکا و موبوفو (۲۰۰٤) در همین رابطه نشان داد که شاهی در جذب کروم از جعفری تواناتر می‌باشد. اثر متقابل سرب و کروم نیز بر مقدار کروم موثر است به‌طوری که بیشترین تجمع مربوط به تیمارهای کروم به‌تنهایی می‌باشد و اعمال کروم توام با سرب، میزان تجمع کروم در گیاه را کاهش می‌دهد. به طور کلی باید این مسئله را در نظر داشت که سبزیجاتی که با آب‌های آلوده تغذیه می‌شوند جایی در رژیم سلامت ندارند چرا که آلاینده‌های غیرمیکروبی که به این واسطه وارد سبزیجات می‌شوند حتی در اثر حرارت پخت غذا هم از بین نمی‌روند و این در حالی است که بسیاری از سبزیجات به صورت خام مصرف می‌شوند.

نتیجه‌گیری

حضور فلزات سرب و کروم به‌تنهایی در آب، تاثیر بیشتری در اثر متقابل و رقابتی بین سرب و کروم کل و قابل جذب خاک داشت. بر همکنش سرب و کروم، فراهمی زیستی در خاک را کاهش داد. مقدار سرب جذب شده از خاک در اندام هوایی توسط شاهی و جعفری با افزایش آلودگی خاک تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد. شاهی توانایی بیشتری در انتقال سرب از خاک به ریشه و همچنین از ریشه به اندام هوایی از خود نشان داد.

فهرست منابع

۱. صیادمنش شیاده،م.، قاجارسپانلو، م .، و م.ع. بهمنیار. ۱۳۹٤. بررسی میزان برخی عناصر سنگین در خاک و گیاه کلزادر مزارع تحت آبیاری با پساب شهرک صنعتی آمل. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. شماره ۲. ۱۵۵-۱٤۱

۲. رستگار، الف.، جنیدی، الف.، فرزادکیا، م.، رضائی، ر.، و الف. اله‌آبادی. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کمپوست مواد زائد شهری بر میزان نشت و جذب فلزات سنگین از خاک شنی رسی لومی. مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار. شماره ۳: ۲۷۷-۲۸٦.

3. Achiba, W.B., Gabteni, N., Lakhdar, A., Laing, GD., Verloo, M., and N. Jedidi. 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment. 130:156-63.

4. Adriano, D.C., 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments; Biochemistry Bioavailability and Risks of Metals. Springer-Verlag. New York

5. Almeida, A. F., Valle, A. A., Mielke, M. S., Gomes, F. P., and J. Braz. 2007. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. Plant Physiology 19: 83-98.

Archive of SID

www.SID.ir

6. Amin, A. W., and F. K. Shenf. 2001. Heavy metals contents in maize affected by sewage sludge application 1- Morphology logic and spatial interpolation. Geoderma. 124: 223-233.
7. AOAC. 1990. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, USA.
8. Ayers, R. S., and D.W. Westcot. 1985. Water Quality for agriculture. FAO, Irrigation and Drainage Paper 29. Review of FAO. 174.
9. Bahemuka, T. E., and E. B. Mubofu. 2004. Heavy metal in edible green vegetable grown along the sites of the sinza and mismbazi rivers in Dares Salaam, Tanzania. Food Chemistry. 66: 63-66.
10. Baker, D. E., and M. C. Amacher. 1982. Nickel, copper, zinc and cadmium. In Methods of soil analysis, eds. A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, 323-336. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.
11. Burton, K.W., and A. Rogia . 1984. The influence of heavy metal on the growth of sitka- spruce in south wales forests. II greenhouse experiment. Plant Soil. 36: 301-313
12. Chang, A., Page, A., Warneke, J., Resketo, M., and T. Jones.1983. Accumulation of cadmium and zinc in barley grown on sludge-treated soils: a long-term field study. Journal of Environmental Quality. 12:391-7.
13. Chaney, R.L., and J. A. Ryan. 1993. Heavy metal and toxic organic pollutants in MSW- compost: Research results on phytoavail ability, bioavailability, fate, etc. PP 451-506. Renaissance Pub. Worthington, Ohio.
14. Chapman, H.D., and P.F. Paraff. 1961. Method of analysis for soil, Plant & water. University of California, division of agricultural science.
15. Chen, G., Zeng, G., Du, C., Huang, D., Tang, L., Wang, L., and G. Shen.2010. Transfer of heavy metals from compost to red soil and groundwater under simulated rainfall conditions. Journal of hazardous materials. 181: 211-216.
16. Daud, M. K., Variatha, A., Shafaqat, U., Najeeba, M., Jamilb, Y., Hayat, M., Dawooda, M., Khand, I., Zaffar, M., Cheemad, S.A., Tonga, X.H., and S. Zhua. 2009. Cadmium induced ultramorphological and physiological changes in leaves of two transgenic cotton cultivars and their wild relative. Journal of Hazardous Materials. 168: 614-625.
17. Foley, B. 2002. Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. Journal of Envirommental Quality. 31:2086-2095
18. james, L. H. P., Jarvis, S. C., and D. W. Cowling. 1973. Lead uptake from soils by perennial ryegrass and its relation to the supply of an essential element (sulfur). Plant and Soil. 38: 605-619.
19. Jiries, A. G., and F. M. Al Nasir. 2002. Beese. Pesticide and heavy metals residue in wastewater soil and plants in wastewater disposal site near Al- Lajoun Valley, Karak/Jordan. Water, Air and Soil Pollution. 133: 97-107.
20. Kabato, P., and A.H. Pendias. 1992. Trace element in soils and plants. 2nd. Edition. 365.
21. Kaschl, A., Römheld, V., and Y. Chen.2002. The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils. Science of the Total Environment. 291:45-57.
22. Khan, S., Farooq, R., Shahbaz, S., Khan, M. A., and M. Sadique. 2009. Health Risk Assessment of heavy metals for population via consumption of vegetables. World Application Science Journal. 6:1602-1606.

Archive of SID

www.SID.ir

23. Korboulewsky, N., Dupouyet, S., and G. Bonin. 2002. Environmental risks of applying sewage sludge compost to vineyards: carbon, heavy metals, nitrogen and phosphorus accumulation. Journal of Environmental Quality. 31: 1522-1527.
24. Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal. 42: 421-428.
25. Lineham, D. J. 1985. Organic matter and trace metal in soil. Junk publishers Dordecht. 403-422.
26. Maleki, A., Gharibi, F., Alimohammadi, M., Daraei, H., and Y.Zandsalimi. 2014. Concentration levels of heavy metals in irrigation water and vegetables grown in peri-urban areas of Sanandaj, Iran. Journal of Advances in Environmental Health Research. 1: 81-88.
27. Marry, R., H. Tiller., and M. Alston. 1986. The effects of contamination of soil with Cu, Pb, and Al on the growth and composition of plants. Effects of season, genotype and fertilizer. Plant and Soil. 91:115-128.
28. MCfarlane, G.R., and M.D. Burchett. 2001. Photosynthetic pigments and peroxidase activity as indicators of heavy metal stress in the grey mangrove, Avicennia marina. Marine Pollution Bulletin. 42:233-240.
29. Millis, P.R., Ramsey, M.H., and E.A. John. 2004. Heterogeneity of cadmium concentration in soil as a source of uncertainly in plant uptake and its implication for human health risk assessment. Journal of Science Environ. 326:49-53.
30. Molassiotis, A., Tanouc, G., Diamantidis, G., and A. Patakas. 2005. Effects of 4-month Fe deficiency exposure on Fe reduction mechanism. Photosynthetic gas exchange chlorophyll fluorecence and antioxidant defense in two peach rootstock different in Fe deficiency tolerance. Journal of plant physiology. 25: 843- 860.
31. Morera, M. T., Echeverria, J. C., and J. J. Garrido. 2001. Mobility of heavy metals in soils amended with sewage sludge. Canadian. Journal of Soil Science. 81: 405-414.
32. Moyo, D.Z., and C.Chimbira. 2009. The Effect of single and mixed treatments of lead and cadmium on soil bioavailability and yield of Brassica napus irrigated with sewage effluent: A potential human risk. African Journal of Agriculture Research. 4: 359-364.
33. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. In Methods of Soil Analysis, eds. A. L Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, 181-198. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
34. Patkowska, J.M., Hursthouse and A., H. Przybyla. 2005. The interaction of heavy metals with urban soils: sorption behavior of Cd, Cu, Cr, Pb and Zn with a typical mixed brownfield deposit. Environment International. 31: 513-521.
35. Pérez-Novo, C., Bermúdez-Couso, A., López-Periago, E., Fernández-Calviño, D., and M. Arias-Estévez. 2011. Zinc adsorption in acid soils. Influence of phosphate. Geoderma. 162: 358–364.
36. Philynepsky, j. 1990. Sewage sludge effect on chemical properties soil. Soil Sience, 32: 12-23.
37. Salariya, A. M., Rehman, Z.U., and M. Ashraf. 2002. Effect of polluted water on accumulation of heavy metals in commonly consumed vegetables. Journal Chemical Society Pakistan. 2: 161-165.
38. Samarghandi, M.R., Kari, M.M., and GH.H, Sadri. 2000. A study of hamadas n vegetables heavy metals irrigated with water polluted to these metals, Iran, 1996: 45-53

Archive of SID

www.SID.ir

39. Shanker, A. K., Djanaguiraman, M., Sudhagar, R., Chandrashekar, C. N., and G. Pathmanabhan. 2004. Differential antioxidative response of ascorbate glutathione pathway enzymes and metabolites to chromium speciation stress in green gram roots. Plant Science. 166:1035- 1043.
40. Shuman, L.M., Dudka, S., and K. Das. 2001. Zinc dormes and plant availability in a compost amended soil .Water Air and Soil Pollution journal. 128: 1-11.
41. Sichrova, K., Tlustos, P., Szakova, J., Korinek, K., and J. Balik. 2004. Horizontal and vertical variability of heavy metals in the soil of a pollued area. Plant Soil Environment, 50: 525-534.
42. Tiwari , K. K., Singh, N.K., Patel, M. P., Tiwari. M. R., and U. N. Rai. 2011. Metal contamination of soil and translocation in vegetables growing under industrial wastewater irrigated agricultural field of Vadodara, Gujarat, India. Ecotocxicology and Environmental Safety. 10: 4-29.
43. Tlustos, P., Balik, J., and D. Pavilkova. 2001. Zinc and lead uptake by three crops planted on onsideratio soils treated by sewage sludge. Environmental Pollution, 47: 129-134.
44. Torabian, A., and M, Mahjouri. 2002. Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated water in south Tehran. Journal Environ Study. 16:34.
45. Toribio, M., and J. Romanya. 2006. Leaching of heavy metals (Cu, Ni and Zn) and organic matter after sewage sludge application to Mediterranean forest soils.Science of the Total Environment. 363 :11-21.
46. Tyler, L.D., and M.B. McBride. 1982. Mobility and extractability of cadmium, copper, nickel, and zinc in organic mineral soil columns. Soil Science. 134:198-205.
47. Vajpayee, P., Rai, U.N., Ali, M.B., Tripathi, R.D., Yadav, V., Sinha S., and S.N. Singh. 2001. Chromium-induced physiologic changes in Vallisneria spiralis L. and its role in phytoremediation of tannery effluent. Bulletin Environmental Contamination Toxicolpgy. 67:246-256.
48. United States Environmental Protection Agency. 1989. Office of Water Regulations and Standard: Guidance manual for assessing human health risks from chemically contaminated, fish and shellfish U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-503/8-89-002.
49. Westerman, R.L. 1990. Soil testing and plant analysis. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
50. Zemanova, V., Trakal, L., Ochecova, P., Szakova, J., and D. Pavlikova. 2014. A Model Experiment: Competitive Sorption of Cd, Cu, Pb and Zn by Three Different Soils. *Soil and Water Research*. *9*: 97-103.

Archive of SID

www.SID.ir