



جذب زیستی سرب توسط گندم در خاک‌های متأثر از نفوذ شیرابه زباله در حضور دو نوع بایوچار

سمیرا زارعی^۱، اکرم فاطمی^۲، مهدی صفایی خرم^۳، زهرا کلاه چی^۴

^۱ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه رازی، ^۲ استادیار دانشگاه Ton Duc

Thang University، ^۳ استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا

چکیده

از میزان جذب سرب خاک توسط گیاهان زراعی در خاک‌های پایین دست انباشتگاه زباله کرمانشاه اطلاعاتی موجود نمی باشد. این تحقیق با اهداف بررسی میزان جذب سرب توسط گندم و تأثیر کاربرد دو نوع بایوچار تهیه شده از خاک اره (BC₁) و چوب درخت سیب (BC₂) بر میزان جذب زیستی سرب در برخی خاک‌های متأثر از نفوذ شیرابه زباله های شهری در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. مقدار سرب و وزن خشک اندام‌های زیرزمینی و هوایی گندم اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد کاربرد دو نوع بایوچار باعث کاهش معنی‌دار (۱ درصد) مقدار سرب در ریشه و اندام هوایی گندم شد. وزن خشک اندام هوایی در اثر کاربرد بایوچارها به طور معنی‌داری (۱ درصد) افزایش یافت. همچنین کاهش بیشتر جذب زیستی سرب (در سطح ۱ درصد) و افزایش بیشتر (در سطح ۱ درصد) وزن خشک اندام هوایی گندم با کاربرد BC₂ در مقایسه با BC₁ به دست آمد. این اختلاف را می‌توان به این اختلاف را می‌توان به کاهش قابلیت جذب زیستی سرب به دلیل سطح ویژه، CEC و pH بیشتر BC₂ نسبت به BC₁ مربوط دانست.

واژه های کلیدی: بایوچار، گندم، سرب، جذب زیستی

مقدمه

آلودگی به صورت واردن شدن سطوحی از مواد یا انرژی برای به مخاطره انداختن سلامتی انسان و زیان رساندن به منابع حیاتی و سیستم‌های اکولوژیک و یا تخریب و از بین بردن مطبوعیت محیط زیست تعریف می‌شود (سایرنی، ۱۹۹۳). آلاینده ها از جمله عوامل مختل کننده اکوسیستم ها به شما می روند (حسینی ۱۳۷۳). در حال حاضر، آلودگی خاک با فلزات، شبه فلزات و آلاینده های آلی از مشکلات جدی جهانی است (مر و راستمنش، ۱۳۸۷). دفع بی رویه مواد زائد شهری در بخش جنوبی شهرستان کرمانشاه واقع در ۱۵ کیلومتری دامنه شمالی کوه سفید باعث آلودگی خاکهای پایین دست انباشتگاه زباله به فلزات سنگین شده است. جذب فلزات سنگین از قبیل سرب از اراضی آلوده به وسیله گیاهان به ویژه محصولات کشاورزی یکی از مهمترین راه های ورود این عناصر به زنجیره غذایی انسان است. در سالهای اخیر تلاش های زیادی برای زدودن آلودگی فلزات سنگین از خاک صورت گرفته است. در این تحقیق، از بایوچار به عنوان یک منبع تجدیدپذیر، متخلخل، غنی از کربن و دوستدار محیط زیست به منظور اصلاح اراضی آلوده به فلزات سنگین استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در شهر کرمانشاه با عرض جغرافیایی "۳۴°۱۴'۴۷" و طول جغرافیایی "۴۰°۱۴'۴۷" در بخشی از دامنه شمالی کوه سفید در ۲۵ کیلومتری از مرکز کرمانشاه در پایین دست محل دفن زباله های شهری قرار دارد.

نمونه برداری و تعیین ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاکها: به منظور بررسی اثر مقدار بومی سرب بر جذب زیستی آن توسط گندم، سه نمونه خاک سطحی (۰-۳۰ سانتیمتری) به گونه‌ای انتخاب شدند که تا حد ممکن از نظر ویژگیهای فیزیکوشیمیایی خاک به هم شبیه باشند و تنها از نظر مقدار سرب کل خاک، بدون سرب، با مقدار متوسط و بیشترین مقدار سرب کل در منطقه مورد مطالعه باشند (جدول ۱). نمونه ها هوا خشک و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شده و برخی ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک از جمله درصد ذرات خاک به روش هیدرومتر (گی و بودر ۱۹۹۰)، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره

۲/۵: ۱ (پیچ ۱۹۹۲)، واکنش خاک (pH) با استفاده از گل اشباع (مک‌لین ۱۹۸۲)، کربن آلی به روش اصلاح شده‌ی والکی و بلاک (نلسون و سامرز ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل (ریچاردز ۱۹۵۴)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (pH=7) اندازه‌گیری شدند (رودز ۱۹۸۲).

تهیه خاک آلوده: نمونه خاکه‌ی منطقه مورد مطالعه از نظر آلودگی به سرب به حد آستانه آلودگی (۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم) ترسیده‌اند. با اینحال، مطالعات علایی و طالقانی (۱۳۸۹) نشان داد که روزانه ۶۰۰ تن زباله در محل انباشتگاه زباله تخلیه می‌شود. بنابراین احتمال آلوده شدن خاک در آینده، زیاد می‌باشد. بدین منظور، (خاک ۱) به صورت مصنوعی به سرب آلوده گردید. بدین منظور از نمک نترات سرب $Pb(NO_3)_2$ به میزان ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم استفاده گردید (استرون و اسپارکس ۲۰۰۰) و نمونه‌ها به مدت دو هفته در شرایط رطوبتی مناسب در شرایط آزمایشگاه جهت آلودگی یکنواخت خاک نگهداری شدند (چیو و همکاران ۲۰۰۵، لیائو و همکاران ۲۰۰۵).

ساخت بایوچار: پیرولیز خاک اره و چوب درخت سیب در کوره تحت شرایط بی‌هوازی (یا شرایط اکسیژن کم) انجام شد. بایوچار چوب درخت سیب در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و بایوچار خاک اره در دمای محیط ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد ساخته شدند. در این مقاله، بایوچار چوب درخت سیب با علامت اختصاری BC_1 و بایوچار خاک اره با علامت اختصاری BC_2 عنوان می‌شوند. بایوچارهای تهیه شده آسیاب و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بایوچار: ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بایوچار از جمله درصد حجمی خاکستر (بانسود و همکاران ۲۰۰۳، pH (لیو ۱۹۹۶)، سطح ویژه با روش BET، حجم خلل‌و فرج کل (یانگ و همکاران ۲۰۱۱)، ظرفیت تبادل کاتیونی (گاسکین و همکاران ۲۰۰۸) و کربن آلی کل از روش احتراق در دمای بالا (ونجاس و همکاران ۲۰۱۵) تعیین شدند.

آزمایش گلخانه‌ای: آزمایش گلخانه‌ای با اهداف بررسی تأثیر سرب در خاک‌های آلوده بر میزان وزن خشک ریشه و ساقه گندم و همچنین مقدار تجمع سرب در این بافت‌های گیاهی، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی انجام شد. برای این منظور، نمونه‌های خاک از الک با قطر ۸ میلی‌متری عبور داده شده و در گلدان‌هایی به قطر ۱۵/۸ و ارتفاع ۱۱/۲۲ سانتی‌متر در سه تکرار ریخته شدند. گیاه مورد مطالعه در این پژوهش، گندم (رقم مرودشت) بود. علت انتخاب گندم به دلیل اهمیت آن در استان کرمانشاه و سطح وسیع زیر کشت آن در این استان و کشور می‌باشد. برای هر نمونه تعداد ۱۰ بذر گندم در هر گلدان در عمق ۵ سانتی‌متر در یک الگوی دایره‌ای کاشته و رطوبت گلدان‌ها در رطوبت ظرفیت مزرعه حفظ شد. یک هفته بعد از جوانه‌زنی، ۸ جوانه مرغوب تا پایان دوره‌ی رویشی باقی گذاشته و در پایان فصل رشد، گیاهان برداشت شدند (ون زویتن و همکاران، ۲۰۱۰). پس از برداشت، وزن تر و خشک ریشه و ساقه گندم تعیین گردید. نمونه‌های گیاهی هضم (علی‌احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲) و غلظت سرب در عصاره‌ها توسط دستگاه جذب اتمی قرائت (مدل AA220 ساخت شرکت Varian استرالیا) تعیین گردید.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک منطقه مطالعاتی در جدول ۴-۱ ارائه شده است. طبق این نتایج مقدار pH خاک در محدوده بین ۷/۴ تا ۷/۶ متغیر است. بنابراین، خاک‌های مورد مطالعه در شمار خاک‌های قلیایی قرار دارند. تجمع و انتقال عناصر سنگین در خاک به pH بستگی دارد. واکنش اسیدی خاک باعث می‌شود گونه‌های فلزی بیشتر به حالت کاتیونی و قابل جذب باشند. در خاکهایی با واکنش قلیایی گونه‌های فلزی موجود در خاک بیشتر به حالت رسوب بوده و تحرک کمتری دارند و در نتیجه به دلیل غیرمتحرک شدن فلزهای سنگین و تشکیل رسوب، انتقال آنها به گیاه کمتر صورت می‌گیرد. اما در خاک‌هایی با واکنش اسیدی فلزهای سنگین موجود در خاک به صورت متحرک و قابل جذب در می‌آیند. در نتیجه خطر آلودگی فلزهای سنگین در خاک‌های اسیدی بیشتر از خاک‌های قلیایی است (میرسال ۲۰۰۸). مقدار هدایت الکتریکی (EC) در محدوده ۰/۱۹ تا ۰/۲۳ دسی‌زیمنس بر متر متغیر است و نشان می‌دهد که خاک‌های مورد مطالعه

مشکل شوری ندارند. در خاک‌هایی با EC پایین جذب عناصر سنگین توسط گیاه کمتر است (میرسال ۲۰۰۸). میانگین درصد ذرات سیلت، شن و رس خاک به ترتیب برابر ۴۸/۸، ۱۸/۸، ۳۲/۲، به طور کلی رس‌ها و شیل‌ها به دلیل توانایی جذب یون‌های فلزی، حاوی غلظت بالایی از عناصر سنگین هستند و ذرات شن به دلیل اینکه از کوارتز تشکیل شده‌اند، غلظت‌های کمتری از فلزات را دارند (آلووی، ۱۹۹۵). دامنه تغییرات کربن آلی در منطقه ۰/۸۵ تا ۱/۳ درصد است. تغییر کربن آلی خاک با تأثیر بر روی واکنش خاک به طور غیر مستقیم موجب تغییر در جذب عناصر سنگین می‌شود (مارتین ۲۰۰۶). درصد کربنات کلسیم معادل در محدوده ۱۴/۵ تا ۲۳/۵ است. کربنات کلسیم معادل خاک با تأثیر بر واکنش خاک به طور غیرمستقیم در جذب عناصر سنگین مؤثر است (مارتین، ۲۰۰۶). به عبارتی که با افزایش کربنات کلسیم معادل غلظت عناصر سنگین در محلول خاک کاهش می‌یابد (میرسال، ۲۰۰۸). دامنه تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) در منطقه مطالعاتی ۲۶/۲ تا ۳۰/۵ میلی مول بر کیلوگرم به دست آمد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	واکنش خاک	هدایت-الکتریکی (dS/m)	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	کربن آلی	کربنات-معادل کلسیم	ظرفیت تبادل کاتیونی (mmol/kg)	سرب کل (mg/kg)
۱	۷/۵	۰/۲۳	۱۸/۸	۴۸	۳۳/۲	۱/۳	۱۴/۵	۲۷/۷	۲۷
۲	۷/۶	۰/۱۹	۲۲/۸	۴۴	۳۳/۲	۰/۸۵	۱۶/۵	۳۰/۵	۶۳
۳	۷/۴	۰/۲۰	۱۸/۸	۴۸	۳۳/۲	۰/۸۹	۲۳/۵	۲۶/۲	۰

بر اساس داده‌های جدول ۱ و استانداردهای آلودگی منابع خاک و آب خاک‌های مورد مطالعه از نظر غلظت سرب، خاک‌های غیرآلوده به حساب می‌آیند. به طوری که خاک ۱ با غلظت ۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و خاک ۳ با غلظت صفر میلی‌گرم بر کیلوگرم بدون آلودگی و خاک ۲ با غلظت ۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در حد مرز آلودگی بشمار می‌روند. براساس استانداردهای آلودگی منابع خاک و آب، حد آستانه آلودگی برای سرب ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شده است (سازمان حفاظت محیط زیست کشور ۱۳۹۲).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بایوچارهای مورد مطالعه

بایوچار	pH	EC	کربن آلی محلول (%)	خاکس تر	سطح ویژه	خلل و فرج کل	CEC	کاتیون‌های تبدالی				ماده اولیه	
								Ca	Mg	Na	K		
		ds/m			m ² /g	cm ³ /g	mmol/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg		
BC ₁	۸/۲۲	۰/۱۶	۲/۹۶	۱۶/۲	۱۰۵/۶	۰/۰۸۲	۲۵۶/۹	۱۲۹/۲	۰/۰۱	۸/۶	۸/۶	۰	خاکاره
BC ₂	۹/۷۵	۰/۱۵	۱/۲۹	۳۳/۷	۱۸۹/۴	۰/۰۲۱۶	۲۶۴/۹	۱۳۳/۲	۰/۰۲	۸/۲	۱۰/۶	۰	چوب‌درخت سیب

مقدار سرب در ریشه گندم در محدوده صفر (در خاک ۳) تا ۲۸/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (در خاک ۱) و سرب در ساقه نیز در محدوده صفر (خاک ۳) تا ۱۳/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم (در خاک ۱) به دست آمد. براساس یافته‌های دیویس (۱۹۹۰) مقدار محدوده مجاز غلظت سرب در ریشه ۰/۲ تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بنابراین، براساس داده‌های جدول ۳ به جز در خاک آلوده شده (خاک ۱) مقدار سرب در ساقه و ریشه گندم در حد مجاز این فلزات تجمع یافته است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از نظر مقدار سرب در ساقه و ریشه گندم اختلاف معنی‌داری (در سطح ۱٪) در شرایط بدون بایوچار و با کاربرد ۱۰٪ بایوچار BC₁ و BC₂ وجود داشت. کاهش مقدار سرب در ریشه و ساقه را می‌توان به اثرات مثبت بایوچار در افزایش غیرمتحرک شدن فلزات در خاک و ویژگی‌های خاک نسبت داد. حسین و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که بایوچارها می‌توانند باعث کاهش جذب فلزات سنگین برای گیاهان شوند. بایوچار BC₂ نسبت به بایوچار BC₁ تمایل بیشتری برای جذب

سرب نشان داد. این نتیجه مشابه با نتایج زو و همکاران (۲۰۱۶)، یوچیمیا و همکاران (۲۰۱۰) بود. همچنین با مقایسه مقدار سرب در ساقه و ریشه گندم (جدول ۳) می توان نتیجه گرفت که مقداری بیشتری از این فلزات در ریشه نسبت به ساقه تجمع یافته است و این نتیجه برای خاک‌های مورد مطالعه و هر دو بایوچار دیده شد.

جدول ۳- غلظت سرب در ساقه و ریشه، وزن خشک ساقه گندم در شرایط با و بدون دو نوع بایوچار

وزن خشک اندام هوایی (گرم)	غلظت سرب (mg kg ⁻¹)		شماره خاک
	ساقه	ریشه	
۱/۵۶ ^a	۱۳/۳۳ ^a	۲۸/۵۰ ^a	خاک ۱
۳/۷۶ ^{cA}	۴/۰۰ ^{aA}	۱۰/۳۳ ^{aA}	BC ₁
۶/۲۶ ^{bC}	۲/۶۷ ^{bB}	۹/۳۳ ^{bB}	BC ₂
۳/۴۶ ^b	۲/۲۹ ^b	۶/۱۷ ^b	خاک ۲
۵/۳۳ ^{aB}	۲/۱۵ ^{bB}	۳/۱۷ ^{bB}	BC ₁
۷/۳۵ ^{cA}	۰/۸۷ ^{aA}	۱/۸۳ ^{aA}	BC ₂
۴/۳۷ ^c	۰/۰۰ ^{cC}	۰/۰۰ ^{cC}	خاک ۳
۶/۳۳ ^{bC}	۰/۰۰ ^{cC}	۰/۰۰ ^{cC}	BC ₁
۸/۴۹ ^{aB}	۰/۰۰ ^{cC}	۰/۰۰ ^{cC}	BC ₂

حروف کوچک متفاوت انگلیسی نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۰/۰۱) بین غلظت فلزات در ساقه و ریشه گندم در خاک‌ها مورد مطالعه و حروف بزرگ انگلیسی نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۰/۰۱) دو نوع بایوچار می باشد.

توانایی جذب بایوچار برای انواع مختلف فلزات سنگین متفاوت است. ظرفیت جذب بایوچار به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن بستگی دارد که بیشتر تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله نوع ماده خام، اندازه ذرات، دمای پیرولیز، نرخ تغییرات دمایی و زمان نگهداشت دما می باشد.

ژو و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند افزایش مقدار جذب مس، سرب و کادمیوم بعد از اختلاط بایوچار تهیه شده از ضایعات کلزا و بادام زمینی که در دمای ۳۵۰ درجه تهیه شد جذب فلزات مذکور در خاک توسط جذب غیروالکترواستاتیک افزایش می یابد. اگرچه جذب این فلزات توسط هر دو مکانسیم الکترواستاتیک و غیر الکترواستاتیک صورت می گیرد و سهم نسبی از هر دو مکانسیم به نوع بایوچار و فلز متفاوت است. نتایج تحقیق این محققین نشان داد با افزایش درصد بایوچار جذب فلزات مذکور افزایش می یابد به طوری که در حضور ۳ درصد کائولا جذب فلزات مذکور به ترتیب ۱۵، ۲۲، ۳۰ درصد رسید و در حضور ۵ درصد بایوچار میزان جذب به ۳۰، ۳۹ و ۳۱ درصد رسید.

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد بایوچار باعث کاهش معنی‌دار (۰/۰۱) غلظت سرب در ریشه و اندام هوایی گندم شد. از سوی دیگر، بایوچار BC₂ در مقایسه با BC₁ در کاهش جذب زیستی سرب در اندام هوایی و ریشه گندم اثر مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین، وزن خشک اندام هوایی با کاربرد بایوچار BC₂ به طور معنی‌داری (۰/۰۱) بیشتر از بایوچار BC₁ به دست آمد. کاربرد بایوچار در خاک، پتانسیل زیادی در افزایش بلند مدت فرایند به دام انداختن دارد، زیرا بیشتر کربن موجود در بایوچار، از نوع آروماتیک بوده، که ماندگاری بالایی در محیط دارد (لهمن ۲۰۰۸). به‌طور کلی بایوچار pH و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را بالا برده و لذا می‌تواند باروری خاک را افزایش دهد (یوچیمیا ۲۰۱۰).

کمپلکس فلزات سنگین با مواد معدنی و مواد هومیک بایوچارها که شامل کمپلکس با هیدروکسیل آزاد مواد معدنی صورت می‌گیرد. اجزای معدنی مانند کربنات، فسفات و سولفات نقش مهمی در تثبیت فلزات سنگین در خاک توسط بایوچارها دارند و این نمک‌ها می‌توانند با فلزات سنگین رسوب کنند و در نهایت باعث کاهش فراهمی زیستی شود (کائو و همکاران ۲۰۰۹).

یوچیمیا و همکاران (۲۰۱۱) پیش‌بینی کردند، بایوچار تهیه شده در دمای ۳۵۰ درجه‌سانتی‌گراد دارای اکسیژن بالایی هستند که منجر به جذب بالایی از مس، نیکل، کادمیوم و سرب می‌شود. اگرچه بایوچار تولید شده در دمای پایین در غیر-



متحرک کردن سرب موثر است (یوچیمیا و همکاران ۲۰۱۲)، باعث افزایش پتاسیم، فسفر و کلسیم قابل دسترس و تثبیت سرب می شود.

بایوچارها به دلیل بالا بردن ظرفیت نگهداری آب، pH، CEC و در دسترس بودن مواد معدنی، به تدریج فلزات سنگین سمی را حفظ می کنند و به عنوان اصلاح کننده خاک مورد استفاده قرار می گیرد (یوچیمیا ۲۰۱۰).

منابع

- حسینی، محمدطاهر. ۱۳۷۳. بررسی برخی از عناصر کمیاب و آگاهی به میزان تجمع آنها در تعدادی از خاکهای اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- علایی طالقانی، م.، سنجر، ف. و جلیلیان، آ. ۱۳۸۹. مکان یابی بهینه محل دفن بهداشتی پسماندهای جامد شهری به روش تجربی بر اساس ویژگیهای ژئومورفولوژی منطقه. صفحه های ۱۹ تا ۳۴. مطالعات و پژوهشهای شهری و منطقه ای سال دوم، شماره ی ششم.
- علی احيائي، م و بهبهانی زاده، ع. ۱۳۷۲. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک. جلد اول نشریه فنی شماره ۸۹۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
- مر، ف. و راستمنش، ف. ۱۳۸۷. زمین شیمی زیست محیطی فلزات بالقوه سمی. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۳۷۲. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک (جلد اول). نشریه شماره ۸۹۳. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. زارت کشاورزی.

- Alloway B.J. 1995. In Heavy metals in soils, 2nd ed. Blackie Academic and professional: NewYork, pp 11-37.
- Bansode RR., Losso JN., Marshall WE., Rao RM. and Portier RJ. 2003. Adsorption of volatile organic compounds by pecan shell and almond shell-based granular activated carbons. *Bioresour Technol* 90: 175-184.
- Cairney, T. 1993. Contaminated Land: Problems and Solutions. Lewis Pub., USA.
- Cao, X., L. Ma, B. Gao and W. Harris. 2009. Dairy- manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine . *Enviro. Sci. Technol.* 43: 3285-3291
- Chiu, K. K., Z. H. Ye and M. H. Wong. 2005. Enhanced uptake of As, Zn, and Cu by *Vetiveria zizanioides* and *Zea mays* using chelating agents, *Chemosphere* 60:1365-1375.
- Davies B.E. 1990. Lead. PP. 177-197. In: B. J. Alloway (Ed.), Heavy Metals in Soils. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Gaskin J.W., Steiner C., Harris K., Das K.C. and Bibens B. 2008. Effect of lowtemperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *T. ASABE* 51, 2061-2069.
- Gee G. W. and J. W. Bauder. 1990. Particle size analysis. P. 383-411. In: A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties. Monograph No. 9. 2nd ed. Medison, WI: SSSA.
- Hossain M.K., V. Strezov K., Yin Chan, and Nelson P.F. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere* 78:1167-1171.
- Lehmann, J.; Skjemstad, J.; Sohi, S.; Carter, J.; Barson, M.; Falloon, P.; Coleman, K.; Woodbury, P.; Krull, E. 2008. Australian climate-carbon cycle feedback reduced by soil black carbon. *Nat. Geosci.* 1, 832-835.
- Liao, M., L. Yun-kuo., Z. Xiao-min and H. Chang-yong. 2005. Toxicity of cadmium to soil microbial biomass and its activity: Effect of incubation time on Cd ecological dose in paddy soil. *J. Zhejiang Univ-Sc B.* 5: 324-330.
- Liu GS. 1996. Physical and chemical analysis of soils and profile description. Standard Publishing House, China.
- Martin J. A. R., Arias, M. L. and Corbi J. M.G., 2006. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations. *Environ Pollut*, 144(3), 1001-1012.



- McLean E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, 199-224.
- Mirsal, I. A. 2008. *Soil Pollution. Origin, Monitoring and Remediation*, 2th (EDS), Springer Verlag Berlin Heidelberg. Germany, 115-172
- Nelson D.W., Sommers L.E., Sparks D.L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., ... & Sumner, M. E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods.*, 961-1010.
- Page, A.L., R.H. Miller., & D.R. Keeney. 1992. *Method of Soil Analysis. Part II: Chemical and Mineralogical Properties*. 2nd. SSSA pub., Madison, Wis.
- Rhoades J.D. 1982. Cation exchange capacity. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monogr. 9*, Am. Soc. Agron., Madison, WI. p. 149-157.
- Richards L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science*, 78(2), 154.
- Strawn, D.G., and Sparks, D. L., 2000. Effects of Soil Organic Matter on the Kinetics and Mechanisms of Pb(II) Sorption and Desorption in Soil. Published in *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:144-156.
- Uchimiya M, Lima IM, Klasson T, Chang S, Wartelle LH, Rodgers JE .2011. Immobilization of heavy metal ions (CuII, CdII, NiIII, and PbII) by broiler litter-derived biochars in water and soil. *J Agric Food Chem* 58:5538-5544.
- Uchimiya, M. Bannon, D.I. Wartelle, L.H. Lima, I.M. Klasson, K.T. 2012. Lead retention by broiler litter biochars in small arms range soil: impact of pyrolysis temperature, *J. Agric. Food Chem.* 60 , 5035-5044.
- Uchimiya, M., Lima, I.M., Klasson, K.T., Wartelle, L.H., 2010. Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: roles of natural organic matter. *Chemosphere* 80: 935-940.
- van Zwieten L., Kimber S., Downie A., Morris S., Petty S., Rust J., and Chan K. Y. 2010. A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil. *Australian Journal of Soil Research*, 48: 569-576.
- Venegas A., Rigol A., Vidal M. 2015. Viability of organic wastes and biochars as amendments for the remediation of heavy metal-contaminated soils. *Chemosphere*, 119, 190-198.
- Xu D., Zhao, Y., Zhou, H., Cao, B. 2016. Effects of biochar amendment on relieving cadmium stress and reducing cadmium accumulation in pepper. *Environ Sci Pollut Res* 23:12323-12331.
- Xu DY., Chen ZF., Sun K. 2013. Effect of cadmium on the physiological parameters and the subcellular cadmium localization in the potato (*Solanum tuberosum* L.). *Ecotoxicol Environ Saf* 97:147-153.
- Yuan, J. H., R. K. Xua and H. Zhang. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresour. Technol.* 102: 3488-3497.

Lead uptake by wheat from soils affected by municipal wastewater under application of two biochar types

S. Zarei¹, A. Fatemi², M. Safaei Khorram³, Z. Kolahchi⁴

^{1,2} Former MSc student and Assistant Professor of Soil Science Razi University, Assistant Professor of Environmental Toxicology Ton Duc Thang University, Assistant Professor of Soil Science Bu-Ali Sina University

Abstract

There is no information about lead (Pb) uptake by crops grown in downhill soils of municipal disposal in Kermanshah city. This study was conducted to investigate Pb uptake by wheat grown in soils affected by wastewater of municipal waste and the effect of application of two biochar types prepared from sawdust (BC₁) and apple wood (BC₂) in a greenhouse experiment. Pb concentration in plant and the weights of root and shoot were measured. The results showed that application of two biochars significantly (at probably 1%) decreased Pb concentration in both root and shoot. The weight of shoot was significantly (at probably 1%) increased under two biochar applications. A significant decrease (at probably 1%) of Pb uptake and a significant increase (at probably 1%) of weight of shoot were observed by BC₂ application in comparison with BC₁. These results were related to lower Pb bioavailability due to more specific surface area, CEC and pH of BC₂ than BC₁.

Keywords: biochar, wheat, Pb, uptake