Archive of SID

Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 51, No 4, Winter 2021 (773-784)
DOI: 10.22059/ijhs.2019.281235.1644

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹ (ص ۷۸۴-۷۷۳)

بررسی تأثیر بیوچار گلایول بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و جذب فلزات سنگین در گیاه کاهو (*Lactuca sativa* L.) رقم "سیاهو"

اکرم ولی‌زاده قلعه بیگ[۱]، سید حسین نعمتی[۲*]، حجت امامی[۳] و حسین آرویی[۳]
۱، ۲ و ۳. دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۷)

چکیده

بیوچار تکنولوژی زیست‌محیطی جدیدی است که استفاده از آن می‌تواند در راستای کاهش تجمع آلودگی خاک مورداستفاده قرار بگیرد. بدین منظور، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد و مقادیر بیوچار گلایول در ۳ سطح (صفر، ۵، ۱۰ گرم در کیلوگرم خاک)، کادمیوم (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و سرب (صفر، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین مقدار صفات مورفولوژیکی شامل سطح برگ، ارتفاع، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه در سطح ۵ گرم بیوچار گلایول در کیلوگرم خاک مشاهده شد و افزایش سطح بیوچار گلایول از سطح ۵ به ۱۰ گرم در کیلوگرم خاک سبب کاهش این صفات شد. کاربرد ۵ گرم بیوچار در کیلوگرم خاک در بالاترین غلظت سرب و کادمیوم، سبب کاهش ۲۷/۳۸ و ۲۱/۸۷ درصدی غلظت سرب و کادمیوم در گیاه (اندام هوایی+ ریشه) شد. در بالاترین سطح بیوچار، سرب و کادمیوم، کاهش صفات و افزایش در غلظت سرب و کادمیوم گیاه و خاک مشاهده شد. در واقع بیوچار گلایول در سطح ۵ گرم در کیلوگرم خاک به‌دلیل داشتن سطح ویژه بالا، سرب و کادمیوم را در سطح خود جذب کرد و باعث کاهش جذب این دو عنصر و بهبود صفات کاهو شد.

واژه‌های کلیدی: سرب، ضایعات کشاورزی، کادمیوم، گل شاخه‌بریده.

The effect of glayol biochar on some of morphological traits and heavy metals uptake in lettuce (*Lactuca sativa* L. cv Syaho)

Akram Valizadeh Ghale Beig[1], Seyyed Hossein Neamati[2*], Hojat Emami[3] and Hossein Aroie[3]
1, 2, 3. Ph.D. Candidate, Assistant Professor and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mahshhad, Iran
(Received: May 15, 2019- Accepted: Jun. 17, 2019)

ABSTRACT

Biochar is a new environmental technology that can be used to reduce the accumulation of soil contamination. To evaluate the effects of biochar of cutflower glayol on growth characteristics and the accumulation of heavy metals of lead and cadmium in lettuce, a factorial experiment as a completely randomized design with four replications was conducted and amount of glayol biochar at three levels (0, 5, 10 g/kg soil), cadmium (0, 10, 20 mg/kg soil) and lead (0, 300, 600 mg/kg soil) were tested. The results showed that the highest amount of lettuce traits including leaf area, height, fresh and dry weight of shoot and fresh and dry weight of root were found at the rate of 5 g glayol biochar /kg soil. Increment of glayol biochar levels from 5 to 10 g/kg soil decreased all mentioned traits. Application of 5 g biochar /kg soil of at the highest concentrations of lead and cadmium decreased the concentration of lead and cadmium in the plant (shoot+root) up to 27.38 and 21.87 %. The highest rate of biochar, lead and cadmium reduced growth traits, and increased the uptake of lead and cadmium in plant tissues and their concentrations in soil. In fact, glayol biochar (5g /kg soil), because of high specific surface area, adsorbed lead and cadmium on their surfaces and cause to reduce the absorption of these two elements and improved growth characteristics in lettuce.

Keywords: Agricultural waste, cadmium, cutflower, lead.

* Corresponding author E-mail: nemati@um.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آلودگی خاک‌ها با فلزات سنگین پدیده‌ای است که به‌طور گسترده در نتیجه فعالیت‌های بشر، کشاورزی و صنعت اتفاق می‌افتد (Fattahi *et al*., 2018). وجود این عناصر در اتمسفر، خاک و آب حتی در مقادیر بسیار کم می‌تواند مشکلاتی را برای موجودات به وجود آورد (Zheng *et al*., 2012). سرب فلزی سمی برای انسان و غیرضروری برای گیاهان محسوب می‌شود که به‌علت انحلال‌پذیری در آب، به راحتی توسط ریشه جذب شده و با افزایش غلظت آن، تأثیر منفی بر رشد و متابولیسم گیاهان می‌گذارد (Parta *et al*., 2004). کادمیم نیز فلزی سمی است که توانایی بالایی برای عبور از غشای سلولی ریشه را داشته و در فضای آپوپلاسمی یا روی سطح دیواره سلول یا غشای پلاسمایی ریشه تجمع می‌یابد که این تجمع در نهایت باعث اختلال در جذب عناصر غذایی توسط ریشه وکاهش قابل‌توجهی در رشد ریشه خواهد شد (Baghaie, 2017). به‌طورکلی، خطر حضور سرب و کادمیوم در زنجیره غذایی به‌علت سهولت در دسترسی این عناصر برای گیاهان، زیاد می‌باشد و عوامل متعددی از جمله pH و درصد مواد آلی خاک بر میزان قابلیت دسترسی این عناصر تأثیرگذار است (Zheng *et al*., 2012). یکی از تکنیک‌های متداول برای اصلاح خاک‌های آلوده، تثبیت فلزات سنگین در خاک می‌باشد. امروزه توجه جهانی بر گسترش استفاده از بیوچار (Biochar) به‌دلیل مزایای آن از قبیل هزینه کم و پایداری بالا در محیط زیست معطوف شده است. بیوچار موادی با تخلخل بسیار بالا دارای گروه‌های عاملی مختلفی است که در جذب سطحی فلزات سنگین مؤثرند. افزودن بیوچار به خاک سبب افزایش ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک، فراهمی عناصر غذایی پرمصرف و نیز ظرفیت نگهداشت آب و به‌دنبال آن بهبود رشد گیاه می‌شود (Kim *et al*., 2015). سبزیجات به‌عنوان منبع اصلی مواد معدنی، ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و سایر مواد غذایی مفید جز اصلی در رژیم غذایی انسان محسوب می‌شوند. یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار جهت تعیین میزان سلامت سبزیجات، به ویژه سبزیجات برگی غلظت فلزات سنگین موجود در آن‌هاست. آلودگی سبزیجات به فلزات سنگین از منابع مختلف آلودگی از قبیل آبیاری با فاضلاب، کاربرد آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی نشأت می‌گیرد. کاهو (*Lactuca sativa* L.)، از جمله مهمترین سبزیهای برگی و منبع اصلی ویتامین‌ها و مواد معدنی است (Hasandokht, *et al*., 2009)، که آلودگی آن تهدیدی جدی برای سلامت انسان‌ها محسوب می‌شود، لذا در پرورش آن از حیث عاری بودن از آلاینده‌های زیست‌محیطی به ویژه فلزات سنگین باید توجه زیادی صورت گیرد (Kim *et al*., 2015). افزودن بیوچار به خاک، سبب بهبود ظرفیت جذب سطحی شده و از طریق کاهش انتقال و فراهمی فلزات سنگین، سمیت آن‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین، بیوچار به‌طور مستقیم از طریق بار منفی که سطوح آن را در بر می‌گیرد، عناصر غذایی موجود در خاک را حفظ کرده و شرایط را برای بهبود رشد گیاهان فراهم می‌کند (Verheijen *et al*., 2010). Houben *et al*. (2013) با کاربرد ۱۰ درصد بیوچار حاصل از کلش برنج، کاهش ۷۱، ۸۷ و ۹۷ درصدی فراهمی فلزات سنگین کادمیوم، روی و سرب را در گیاه برنج گزارش کردند. Tshewang *et al*. (2010) در نتیجه کاربرد بیوچار چوب در یک خاک شنی، افزایش معنی‌دار عملکرد و کاهش غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، سرب، مس و روی را در ساقه‌های گیاه ذرت (*Zea mays* L.) به دو دلیل مکانیزم تشکیل کمپلکس‌های آلی- فلزی و جذب این عناصر بر سطح بیوچار گزارش کردند. همچنین کاهش غلظت عناصر کادمیوم، مس و سرب و بهبود رشد گیاه کلزا (*Brassica juncea* L.) در شرایط کاربرد بیوچار کود مرغی و بقایای سبز به دلیل بی‌تحرک‌شدن این عناصر در خاک گزارش شده است (Park *et al*., 2011). استفاده از دو نوع بیوچار کلش ذرت (*Zea mays* L.) و کود خوکی نیز منجر به بهبود رشد گیاه کاهو و کاهش غلظت فلزات سنگین روی و کادمیوم شده است (Ting *et al*., 2017). بیوچار لجن فاضلاب از طریق کاهش فراهمی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس، روی و کروم، باعث افزایش رشد گیاه کلم (*Brassica pekinensis* L.) شده است (Liu *et al*., 2014).

www.SID.ir

Archive of SID

گزارش شده است بیوچار باگاس نیشکر قابلیت دسترسی فلزات سنگین را برای اندام هوایی و ریشه‌های کلم چینی (*Brassica chinesis* L.) کاهش داد (Vaccari *et al*., 2011). افزودن بیوچار به خاک، از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی و فراهمی آب در خاک، وزن خشک شاخساره گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (Hossain *et al*., 2017). بیوچار بادام هندی (*Anacardium occidentale* L.)، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی را در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) افزایش و غلظت فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیوم را در این بخش‌ها کاهش داد (Al-Wabel *et al*., 2015). با توجه به مشکل آلودگی‌های زیست‌محیطی و توجه به این نکته که یکی از مزایای بیوچار، مدیریت ضایعات کشاورزی می‌باشد، استفاده از انواع بیوچار در سطح جهانی رو به افزایش است، ولی تاکنون تأثیر بیوچار حاصل از گل شاخه‌بریده گلایول که به مقدار زیادی در گل‌فروشی‌ها تولید می‌شود در ایران بررسی نشده است. لذا مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر بیوچار حاصل از پسماند گل شاخه‌بریده گلایول بر تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه کاهو، به‌عنوان گیاه شاخصی که مستعد تجمع آلاینده‌های فلزی می‌باشد، صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه تأثیر بیوچار حاصل از پسماند گل شاخه‌بریده گلایول بر ویژگی‌های رشدی و تجمع فلزات سنگین در گیاه کاهو، آزمایشی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. پس از توزین هر گلدان با ارتفاع ۲۵ و عرض دهانه ۳۰ سانتی‌متر، گلدان‌ها به نسبت ۱:۲ از خاک زراعی سطحی و شن پر شدند. سپس خاک موردنظر جهت تعیین بافت خاک و عناصر تشکیل‌دهنده آن مورد آنالیز قرار گرفت. بر اساس نتایج آزمون خاک، بافت خاک از نوع لوم شنی بود و ویژگی‌های آن نیز در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در این آزمایش مقادیر بیوچار گلایول در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم) و مقادیر فلزات سنگین هر یک در سه سطح، شامل سرب (صفر، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کادمیوم (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) مورداستفاده قرار گرفت. پسماند گل‌های شاخه‌بریده گلایول شامل ساقه و برگ، به‌وسیله‌ی کوره پیرولیز در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس، طی فرایند تجزیه حرارتی در کوره الکتریکی در شرایط اکسیژن محدود (در قوطی در بسته) و طی مدت‌زمان دو ساعت به بیوچار تبدیل شد (Baba *et al*., 2008). سپس، بیوچارهای تهیه‌شده به میزان ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم با خاک گلدان‌هایی که می‌بایست تحت تیمار قرار بگیرند، مخلوط شد. ویژگی‌های شیمیایی بیوچار نیز در جدول ۲ ارائه شده است. برای آلوده‌کردن خاک مقادیر محاسبه شده نمک فلزات سنگین از دو منبع نیترات کادمیوم و نیترات سرب به صورت محلول در آب مقطر تهیه و با استفاده از اسپری محلول پاشی و با خاک مخلوط شد. در این آزمایش از بذر کاهو اصلاح‌شده رقم "سیاهو" (*Lactuca sativa* L. cv. Syaho) جهت تهیه نشا استفاده و یک عدد نشا در مرحله چهار برگی به هر گلدان منتقل گردید. آبیاری گلدان‌ها بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و در هر هفته یک‌بار انجام شد. همچنین با توجه به فقیربودن خاک از نظر عناصر غذایی و نیاز غذایی بالای گیاه کاهو کوددهی از یک منبع کودی کامل در دو مرحله (بعد از آماده‌سازی بسترهای کشت قبل از انتقال نشا و اواسط دوره رشد) و به میزان ۲۵۰ سی‌سی (از محلول ۵ در ۱۰۰۰) در هر گلدان انجام گرفت. پس از پایان آزمایش یعنی زمان حداکثر رشد رویشی کاهو (۹۰ روز بعد از کشت بذر)، شاخص‌های مورفولوژیکی نظیر سطح برگ، ارتفاع بخش هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری شدند. همچنین غلظت عناصر فلزی سرب و کادمیوم در گیاه (اندام هوایی و ریشه) و خاک نیز اندازه‌گیری شد. روش‌های مورداستفاده در اندازه‌گیری فاکتورهای مختلف به‌طور مستقل در ادامه شرح داده است.

www.SID.ir

Archive of SID

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

Table 1. Physical and chemical characteristics of soil

Soil texture	Sand	Loam (%)	Clay	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)*	OM (%)	FC (%)	PWP (%)	Pb (ppm)	Cd (ppm)
Sandy loam	60	28	12	8.25	5.22	15.01	6.7	1.20	0.28	14.50	8.50	Nd	Nd

* OM: مواد آلی، F.C: ظرفیت زراعی، PWP: نقطه پژمردگی دائم، Nd: قابل تشخیص نبود.

* EC: Electrical Cnonductivity, OM: Organic Materials, FC: Field Capacity, PWP: Permanent Wilting Point, Nd: Not detectabl.

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار

Table 2. Physical and chemical characteristics of biochar

EC ($dS\ m^{-1}$) *	3.95
CEC (meq (+) $100g^{-1}$ soil)	24.98
Bulk Density ($g\ cm^{-3}$)	0.22
pH	7.5
Ash Content (%)	5.8
N (%)	1.7
P (%)	0.15
K (%)	1.26

* EC: هدایت الکتریکی، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، Bulk density: جرم مخصوص ظاهری، Ash Content: محتوای خاکستر.

* EC: Electrical Cnonductivity, CEC: Cationic Exchange Capacity.

اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیکی

در مرحله حداکثر رشد رویشی، صفات سطح برگ، ارتفاع بخش هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری شد. ارتفاع بخش هوایی با خط‌کش، سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح‌سنج برگ (Li-Cor, Model Li-1300, USA) اندازه‌گیری شد. سپس اقدام به توزین جداگانه اندام هوایی و ریشه‌ها نموده و اندام‌های مذکور در داخل آون (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت) قرار داده شدند و در نهایت وزن خشک آنها به‌طور جداگانه محاسبه گردید (Azadi *et al*., 2014).

اندازه‌گیری غلظت سرب و کادمیوم در خاک و اندام‌های گیاه

سه گرم از هر یک از نمونه‌های خشک شده خاک و عبور داده شده از الک دو میلی‌متری و نیز دوگرم از نمونه‌های خشک‌شده اندام هوایی و ریشه‌های کاهو که توسط آسیاب برقی آسیاب شده بودند، در لوله‌های پیرکس ۲۵۰ میلی‌لیتری قرار داده شد. هضم اولیه در دمای اتاق به‌مدت ۱۶ ساعت توسط ۲۸ میلی‌لیتر از اسیدکلریدریک ۳۷ درصد و اسید نیتریک ۷۰ درصد به نسبت ۱:۳ انجام شد. سپس محلول سوسپانسیون بر روی هیتر در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به‌مدت دو ساعت جوشانده شد تا نمونه‌ها هضم شدند. محلول به‌دست آمده توسط کاغذ واتمن شماره چهار صاف شد و توسط اسید نیتریک ۰/۵ مول بر لیتر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در بطری‌های پلی‌اتیلنی در دمای چهار درجه سانتی‌گراد جهت آنالیز نگهداری شد و سپس غلظت سرب و کادمیوم در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu PG-990) مجهز به کوره گرافیت (GF-990) تحت شرایط استاندارد، قرائت گردید (Baba *et al*., 2008).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ($P<۰/۰۵$) انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار EXCEL رسم گردیدند.

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژیکی

سطح برگ و ارتفاع بخش هوایی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف بیوچار گلایول، سرب، کادمیوم و برهمکنش آنها در مورد صفات سطح برگ و ارتفاع بخش هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، به‌جز اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم که در مورد سطح برگ معنی‌دار نبود و اثر متقابل گلایول و کادمیوم در ارتفاع بخش هوایی که در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مطابق نتایج مقایسه میانگین‌ها، با کاربرد ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار گلایول، سطح برگ نسبت به شاهد افزایش ۱۰/۷۵ درصدی و با افزایش سطح از ۵ به ۱۰ گرم در کیلوگرم، کاهش ۲۳/۶۵ درصدی نشان داد. مقایسه میانگین بین سطوح مختلف سرب نیز نشان داد که بین تیمار شاهد و سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم

www.SID.ir

Archive of SID

تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، ولی با افزایش غلظت سرب به ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش سطح برگ مشاهده شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات سه گانه، نیز گویای اثر مثبت سطح ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار گلایول نسبت به شاهد بر افزایش سطح برگ در شرایط تنش فلزات سنگین سرب و کادمیوم می‌باشد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار سطح برگ به‌ترتیب در تیمارهای ($Gb_1Pb_0Cd_1$) و ($Gb_2Pb_2Cd_2$) با مقادیر ۴۴۲/۹۹ و ۲۰۹/۵۶ سانتی‌متر مربع مشاهده شد (جدول ۵). یکی از فاکتورهای مهم رشد گیاه ارتفاع بخش هوایی آن می‌باشد که عوامل محیطی و ژنتیکی نقش حیاتی در تعیین آن دارند. بررسی غلظت‌های بیوچار گلایول در رابطه با این فاکتور نشان داد که، سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم موجب کاهش ۱۱/۵۸ و ۷/۶۴ درصدی نسبت به شاهد و سطح ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار شد. همچنین کاربرد سرب و کادمیوم باعث کاهش ارتفاع بخش هوایی نسبت به تیمار شاهد شد، ولی بین غلظت‌های ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). همچنین، مطابق نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات سه‌گانه تیمارهای ($Gb_1Pb_0Cd_1$ و $Gb_1Pb_0Cd_0$) با مقادیر (۲۰/۱۰ و ۲۱/۰۲) سانتی‌متر و تیمار ($Gb_2Pb_2Cd_2$) با مقدار (۱۲/۷۵) سانتی‌متر به‌ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع بخش هوایی را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). بررسی‌های صورت‌گرفته توسط Lehmann (2007) نشان داد که بیوچار می‌تواند به‌طور غیر مستقیم رشد گیاه را از طریق عرضه مواد غذایی، کاهش سمیت فلزات سنگین و بهبود خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک افزایش دهد. Park *et al.* (2011) طی آزمایش‌های خود دریافتند که استفاده از بیوچار به‌طور معنی‌داری تنفس خاک را افزایش می‌دهد که می‌توان آن را به‌علت کاهش سمیت فلزات، افزایش عرضه مواد غذایی و بهبود رشد رویشی گیاه که در نتیجه آن فعالیت میکروبی و تجزیه مواد آلی خاک افزایش می‌یابد، دانست. در این آزمایش نیز سطح ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار توانست از طریق کاهش فراهمی کادمیوم و سرب در گیاه، و کاهش اثر تنش زای فلزات سنگین، دو فاکتور سطح برگ و ارتفاع بخش هوایی را ارتقا بخشد. حال آن‌که همزمان با افزایش سطح بیوچار به ۱۰ گرم در کیلوگرم، روند کاهشی در مقادیر سطح برگ و ارتفاع بخش هوایی مشاهده شد (جدول ۵). گزارش Salari (2014) با نتیجه آزمایش فعلی هم‌خوانی دارد، کاربرد بیوچار بقایای پسته (*Pistacia vera* L.) در دو سطح ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم باعث افزایش سطح برگ و ارتفاع بخش هوایی ذرت (*Zea mays* L.) شد و سطح ۲۰ گرم در کیلوگرم به دلیل افزایش جذب سدیم و شوری محیط ریشه، باعث کاهش این شاخص‌ها شد. مطابق نتایج سایر محققان نیز، علت کاهش رشد گیاه در شرایط به کارگیری سطوح بالای بیوچار افزایش شوری خاک گزارش شده است (Howard, 2011; Zheng *et al.*, 2012). در شرایط تنش فلزات سنگین کاهش سطح برگ، ارتفاع و زیست توده گیاهی به دلایل کاهش سرعت توسعه برگ، پیچیدگی، پیری و ریزش برگ‌ها مشاهده می‌شود (Israr & Shivendra, 2008). در سمیت ناشی از سرب تدریجا ضخامت برگ‌ها و قطر آوندهای چوب و آبکشی در دستجات آوندی کاهش می‌یابد، در نتیجه در بخش‌هایی از دیواره که ضخامت کمتری پیدا کرده مانند محل پلاسمودسماتا مقادیر زیادی سرب تجمع می‌یابد که منجر به ایجاد شکاف در دیواره و کاهش شدید قدرت ارتجاعی و الاستیکی آن می‌شود و به این طریق موجب توقف رشد سلول‌ها می‌گردد (Ruley *et al.*, 2006). در برخی موارد نیز تأثیر مخرب فلزات سنگین بر متابولیسم و انتقال اکسین به‌عنوان علت اصلی کاهش رشد در گیاهان گزارش شده است (Israr & Shivendra, 2008). در حضور کادمیوم به‌دلیل کاهش رشد ریشه‌ها، کاهش جذب و انتقال آب، کاهش هدایت هیدرولیکی از ریشه به آوندهای چوبی و برهم‌خوردن بالانس آب در گیاهان مشاهده می‌شود، که منجر به کاهش پتانسیل آماس سلولی و کاهش خاصیت کشسانی دیواره سلولی شده در نتیجه سلول‌ها کوچکتر و فضاهای بین سلولی کمتر می‌شود (Fiaz *et al.*, 2014). هزمان با افزایش غلظت سرب و کادمیوم کاهش ارتفاع گیاه توسط Zhang *et al.* (2000) در گندم و Jalalipur (2014) در آفتاب گردان گزارش گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

وزن تر و خشک بخش هوایی

تجزیه واریانس داده‌های وزن تر بخش هوایی نشان داد که کلیه‌ی اثرات ساده و متقابل بیوچار گلایول، سرب، کادمیوم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین، آنالیز داده‌ها نشان داد سطوح مختلف کادمیوم در مورد وزن خشک بخش هوایی تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد، ولی سایر اثرات ساده و متقابل بیوچار گلایول، سرب، کادمیوم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مطابق نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده بیوچار، سطح ۵ گرم در کیلوگرم آن سبب افزایش ۱۳/۶۹ درصدی وزن تر بخش هوایی نسبت به تیمار شاهد شد و غلظت‌های مختلف سرب و کادمیوم سبب کاهش وزن تر بخش هوایی نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و سرب نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک بخش هوایی مربوط به تیمار ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار و سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار و سطح ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب بود (شکل ۱). نتایج بر همکنش اثرات سه‌گانه نیز نشان داد که بیشترین و کمترین وزن تر و خشک بخش هوایی به ترتیب در تیمار ($Gb_1Pb_0Cd_1$) و ($Gb_2Pb_2Cd_2$) مشاهده شد (جدول۵). به‌دنبال بروز سمیت ناشی از کادمیوم بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش تعرق، کلروز برگی، اختلال در فعالیت‌های آنزیمی رخ داده، در نتیجه میزان فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدارت‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این عنصر کادمیوم بر فعالیت هورمون‌های گیاهی به‌ویژه سیتوکینین که نقش اصلی در تقسیم سلولی و رشد گیاه دارد، تأثیر منفی داشته و باعث افت وزن تر و خشک اندام هوایی می‌شود (Namgay *et al.*, 2010). همچنین در حضور سرب کاهش اتساع سلولی، رشد ریشه‌ها و اختلال در جذب آب و عناصر غذایی اتفاق می‌افتد که مستقیماً منجر به کاهش رشد، کاهش وزن تر و خشک بخش هوایی می‌گردد (Paz-Ferreiro *et al.*, 2013). با توجه به اینکه ماهیت بیوچار ماده آلی می‌باشد، استفاده از بیوچار در خاک‌های فقیر از مواد آلی، علاوه بر تامین ماده آلی خاک، موجب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و نیز دسترسی عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، فسفر، روی، آهن و نیتروژن، میزان فتوسنتز و رنگدانه‌ها را ارتقاء بخشیده و منجر به افزایش زیست توده، وزن تر و خشک بخش هوایی در محصولات مختلف شده است (Zhang, 2013). در آزمایش حاضر نیز استفاده از بیوچار به میزان ۵ گرم در کیلوگرم اثرات سوء تنش فلزات سنگین را کاهش و میزان وزن تر و خشک بخش هوایی را افزایش داد. حال آن‌که سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار به دلیل افزایش شوری، افزایش فراهمی عناصر سرب و کادمیوم در گیاه و تشدید اثرات تنش سبب کاهش این صفات شد. در رابطه با تأثیر بیوچار بر وزن تر و خشک اندام هوایی، نتایج تحقیق Zhang *et al.* (2000) و Vaccari *et al.* (2011) بر روی گندم (*Triticum aestivum* L.) و Kolton *et al.* (2011) در فلفل گلخانه‌ای (*Capsicumannuum* L.)، با نتایج آزمایش حاضر مطابقت داشت.

وزن تر و خشک ریشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات مختلف بیوچار گلایول، سرب، کادمیوم بر وزن تر و خشک ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، در حالی که اثر متقابل بیوچار گلایول و کادمیوم در مورد وزن خشک ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۳). مطابق نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بیوچار بیشترین وزن تر و خشک ریشه به ترتیب ۳۸/۲۷ و ۸/۸۹ گرم در سطح ۵ گرم در کیلوگرم و کمترین مقادیر به ترتیب ۲۷/۲۰ و ۶/۴۰ گرم در سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار حاصل شد. بررسی سطوح سرب نشان داد، تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سبب کاهش ۱۹/۹۰ و ۱۳/۰۷ درصدی وزن تر و خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین وزن تر ریشه ۳۲/۸۲ و ۳۲/۲۲ گرم در سطوح ۰ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین در سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم مشاهده شد. همچنین سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم به ترتیب منجر به کاهش ۱۸/۱۷ و ۲۰/۶۲ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به شاهد شدند (جدول ۴). بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب ۵۶/۰۰ و ۱۱/۱۱ گرم در شرایط به‌کارگیری ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار و در غیاب سرب و کادمیوم به‌دست آمد و کمترین مقدار وزن تر ریشه در تیمارهای ($Gb_2Pb_2Cd_1$ و $Gb_2Pb_2Cd_2$) و وزن خشک

www.SID.ir

Archive of SID

ریشه در تیمار ($Gb_2Pb_2Cd_2$) ملاحظه گردید (جدول ۵). در شرایط تنش کادمیوم تخریب ساختار مجاری آوندی به دلیل تجمع فنل‌های نامحلول و ترکیبات شبه لیگنینی رخ می‌دهد، همچنین اختلال در فرایند تنظیم اسمزی تعادل آب را از وضعیت تعادل خارج کرده و پتاسیل تورژسانس برگ و محتوای نسبی آب گیاه کاهش می‌یابد. به علاوه غلظت‌های بالای سرب میزان دسترسی ریشه به آب و عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (David *et al.*, 2018). به دنبال اختلالات مذکور رشد ریشه‌ها محدود شده و کاهش در وزن تر و خشک مشاهده شده است. طبق نظر محققین میزان جذب فلزات سنگین تابعی از غلظت آن در خاک است و با افزایش سطح فلز، جذب آن نیز افزایش می‌یابد تا به یک حد بیشینه رسیده و پس از آن ثابت می‌شود Azadi *et al.* (2016) بر این اساس، با افزایش سطح کاربرد سرب و کادمیم، غلظت این فلزات در اندام هوایی و ریشه افزایش یافته و به دلیل بروز سمیت وزن تر و خشک کاهش نشان داده است. Howard (2011)، Namgay *et al.* (2010) در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) و Hejazizadeh *et al.* (2016) در گیاه آفتاب گردان (*Helianthus annuus* L.)، افزایش وزن تر و خشک ریشه را نسبت به تیمار شاهد در شرایط کاربرد بیوچار و تنش فلزات سنگین گزارش کردند.

غلظت سرب و کادمیوم

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد، اثرات ساده و متقابل سطوح مختلف بیوچار گلایول، سرب و کادمیوم برای غلظت سرب و کادمیوم در خاک و گیاه در سطح خطای ۱٪ معنی‌دار شد، به جز اثر متقابل بیوچار گلایول و کادمیوم، که در مورد غلظت سرب گیاه در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار شد. مطابق (شکل۲)، با کاربرد سطوح ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار، مقدار کادمیوم گیاه کاهو (اندام هوایی+ریشه) برای سطوح مختلف کادمیوم نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده است، حال آن‌که مطابق (شکل ۳)، با افزایش سطوح بیوچار و کادمیوم مقدار کادمیوم خاک افزایش یافته است. بیشترین مقدار کادمیوم گیاه در شرایط عدم کاربرد بیوچار و در سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم، ۲۵۲/۹۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. مطابق اثرات متقابل سه‌گانه، بیشترین (۲۶۶/۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین (۶۶/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) غلظت کادمیوم گیاه در تیمارهای ($Gb_2Pb_2Cd_2$) و ($Gb_1Pb_1Cd_1$) و بیشترین (۱۳۰/۸۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین (۳۶/۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) غلظت کادمیوم خاک به ترتیب در تیمارهای ($Gb_1Pb_1Cd_2$) و ($Gb_0Pb_1Cd_1$) مشاهده شد (شکل‌های ۴ و ۵). به‌طورکلی، با افزایش سطح سرب و کادمیوم، میزان جذب در گیاه (اندام هوایی و ریشه) نیز افزایش یافت، این موضوع به دلیل افزایش فراهمی عناصر فلزی و نیز افزایش جذب آن توسط ریشه گیاه می‌باشد. حال آن‌که در حضور تیمارهای مختلف بیوچار کاهش در غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه و افزایش در خاک رخ داده است. محققان مختلف طی پژوهش‌هایی که انجام دادند به این نتیجه رسیدند که جذب سطحی بیوچار، دستیابی زیستی آلاینده‌های فلزی را برای گیاه کاهش می‌دهد (Shuguang *et al.*, 2017). با توجه به تولید بیوچار در دماهای بالا، افزایش در سطح ویژه آن رخ می‌دهد، که این سطح بزرگ و جذب سطحی فراوان بیوچار منجر به ایجاد یک سوله میکروبی در خاک سمی شده و بدین طریق بر تحرک آلاینده‌های فلزی تأثیر گذاشته و آن را محدود می‌کند (Steinbeiss *et al.*, 2009). همچنین، بررسی‌ها نشان داده است که بیوچار فعالیت‌های میکروبی خاک را افزایش می‌دهد که همین مسئله می‌تواند باعث تحریک تجزیه آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین و در نهایت کاهش تجمع در گیاهان شود (Parta *et al.*, 2017). طبق گزارش Naderi *et al.* (2016) با افزایش سطح بیوچار پوست انار، کاهش در میزان کادمیوم اندام هوایی گیاه توت‌فرنگی مشاهده شد، Younis *et al.* (2015) با افزایش سطح بیوچار غوزه پنبه از ۳ به ۵ درصد، کاهش غلظت کادمیوم اندام هوایی را در شنبلیله از ۵/۴۲ به ۳/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در اسفناج از ۷/۷۲ به ۳/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. Namgay *et al.* (2010) درگیاه ذرت (*Zea mays* L.) و Fiaz *et al.* (2014) درگیاه کلزا (*Brassica juncea* L.)، کاهش معنی‌دار غلظت کادمیوم موجود در اندام هوایی را در حضور بیوچار گزارش کرده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر بیوچار گلایول، سرب، کادمیوم بر برخی صفات مورفولوژیکی و غلظت عناصر سرب و کادمیوم در خاک و گیاه (اندام هوایی+ریشه) کاهو رقم "سیاهو"

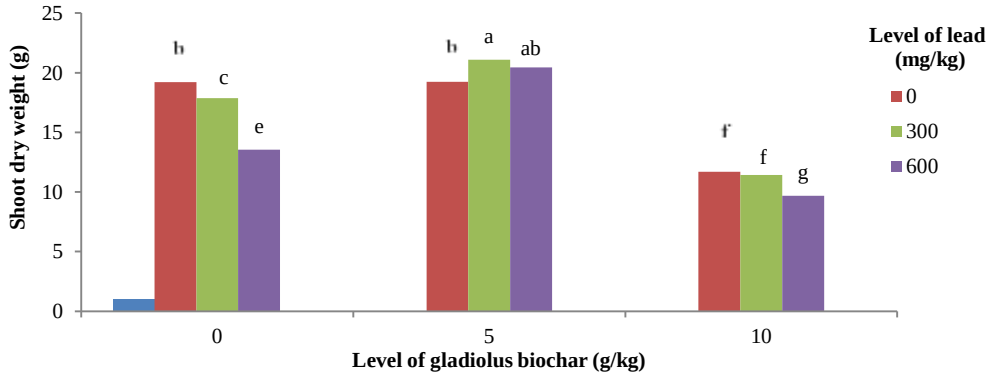
Table 3. Results of variance analysis effect of gladiolus biochar, lead, cadmium levels on some morphological traits and concentration of lead and cadmium elements in soil and plant (shoot+root) of lettuc (*Lactuca sativa* L. cv Syaho)

		Means of Square									
Source of variation.	d.f.	Leaf area	Shoot height	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root fresh weight	Root dry weight	Plant lead concentration	Soil lead concentration	Plant cadmium concentration	Soil cadmium concentration
Gb	2	2938.60**	33.37**	20619.17**	678.47**	1256.58**	58.68**	498393.26**	48998961.90**	56027.84**	9487.74**
Pb	2	3385.78**	18.96**	4781.64**	45.16**	584.94**	11.12**	1924388.45**	184174020.02**	401.25**	975.09**
Cd	2	329.34^{ns}	15.39**	5065.37**	3.95^{ns}	108.08**	36.52**	9242.38**	2001204.60**	242492.80**	106199.87**
Gb× Pb	4	17798.16**	41.75**	22188.59**	72.13**	389.07**	13.59**	139323.91**	12253466.31**	503.81**	252.71**
Gb×Cd	4	5306.17**	8.46*	3856.38**	43.96**	164.23**	3.74^{ns}	1811.34*	99542.11**	22574.28**	2957.01**
Pb×Cd	4	9527.27**	8.97**	4767.28**	25.91**	78.89**	15.19**	3260.09**	1005215.04**	693.14**	290.66**
Gb×Pb×Cd	8	8627.00**	10.79**	14308.92**	31.15**	380.97**	12.39**	2644.45**	1431925.50**	433.58**	113.66**
Error	81	238.24	2.49	121.52	1.81	9.96	2.25	593.92	7754.40	30.73	16.18
CV%		5.43	10.15	8.22	8.56	10.00	19.21	9.34	3.47	6.17	6.72

ns، * و **: به‌ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

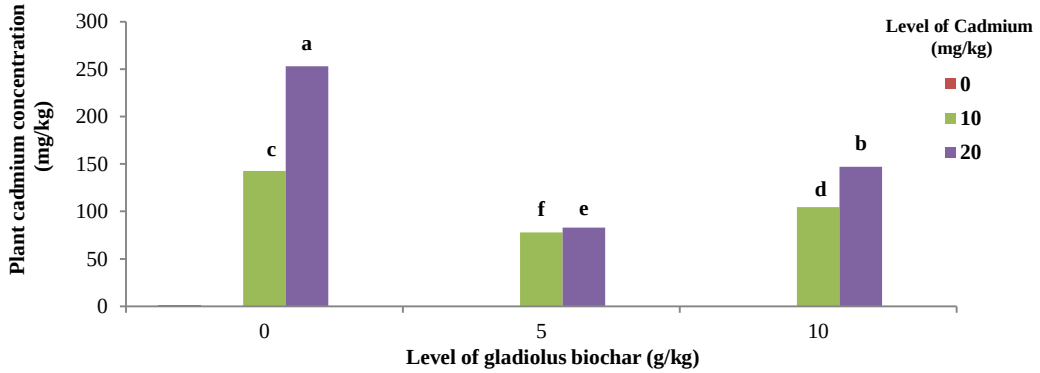
بیوچار گلایول (Gb)، سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، ضریب تغییرات (CV).

ns, *, **: Non-significantly difference and Significantly difference at 5 and 1% probability levels and, respectively.
Gladiolus biochar (Gb), Lead (Pb), Cadmium (Cd), Coefficient of variation (CV).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار گلایول و سرب بر وزن خشک اندام هوایی گیاه کاهو رقم سیاهو.

Figure 1. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar and lead levels on the shoot dry weight in (*Lactuca sativa* L. cv Syaho).

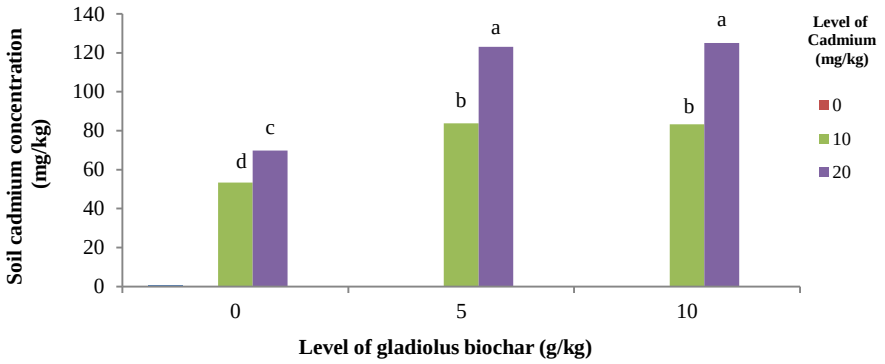


شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار گلایول و کادمیوم بر غلظت کادمیوم گیاه کاهو رقم سیاهو.

Figure 2. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar and cadmium levels on the plant cadmium concentration in (*Lactuca sativa* L. cv Syaho).

www.SID.ir

Archive of SID



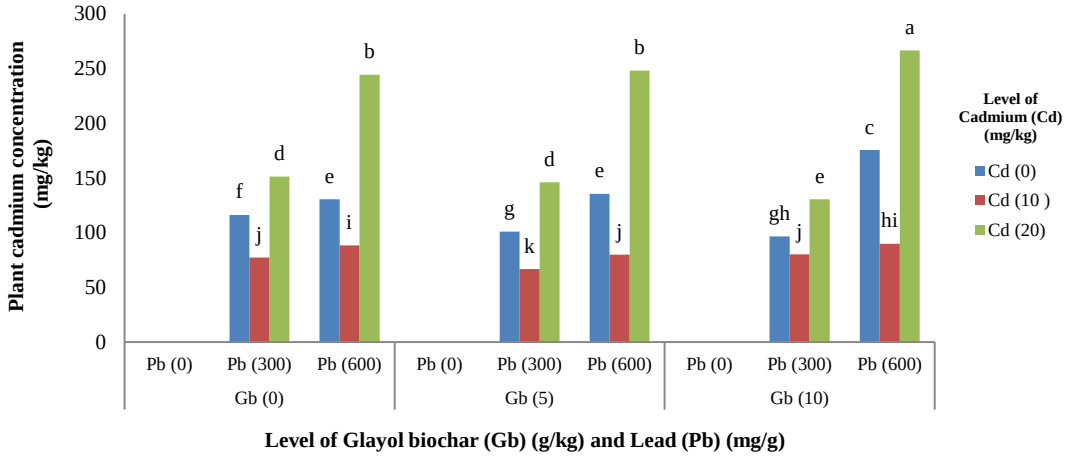
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار گلایول و کادمیوم بر غلظت کادمیوم خاک
Figure 3. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar and cadmium levels on the soil cadmium concentration

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر بیوچار گلایول، سرب و کادمیوم بر برخی صفات مورفولوژیکی و غلظت سرب و کادمیوم در خاک و گیاه (اندام هوایی+ریشه) کاهو (*Lactuca sativa* L.) رقم "سیاهو"

Table 5. Mean comparison interaction effect of gldiolus biochar, lead, cadmium levels on some morphological traits and concentration of lead and cadmium in soil and plant (shoot+root) of lettuc (*Lactuca sativa* L. cv Syaho)

Treatment	Leaf area (cm^2)	Shoot height (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)	Plant lead concentration (mg/kg)	Soil lead concentration (mg/kg)	Plant cadmium concentration (mg/kg)	Soil cadmium concentration (mg/kg)
Gladiolus biochar (g/kg)										
0	281.53 b	16.40 a	127.76 b	16.87 b	29.15 b	8.14 b	376.01 a	1236.13 c	131.83 a	41.09 b
5	315.46 a	15.70 a	148.04 a	19.39 a	38.27 a	8.89 a	265.76 b	2866.37 b	83.91 b	68.97 a
10	255.12 c	14.50 b	106.45 c	10.94 c	27.20 c	6.40 c	140.84 c	3496.93 a	53.58 c	69.45 a
Lead (mg/kg)										
0	288.99 a	16.37 a	142.09 a	16.79 a	36.18 a	8.41 a	0.00 c	0.00 c	93.61 a	53.84 b
300	290.25 a	15.11 b	124.90 b	15.85 b	29.44 ab	7.45 ab	342.18 b	2448.97 b	87.55 b	63.17 a
600	272.86 b	15.12 b	120.87 b	14.56 c	28.98 b	7.31 b	440.43 a	4350.47 a	88.16 b	62.50 a
Cadmium (mg/kg)										
0	281.36 a	14.79 b	143.56 a	16.11 a	32.82 a	8.97 a	243.40 b	2271.50 c	0.00 c	0.00 c
10	287.32 a	16.01 a	137.90 b	15.59 a	32.22 a	7.34 b	264.34 a	2598.79 b	108.39 b	73.51 b
20	283.43 a	15.80 a	120.78 c	15.50 a	29.57 b	7.12 b	274.88 a	2729.14 a	160.94 a	106.01 a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
In each column means followed by at least a common letter, are not significantly different at 5% probability level.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار گلایول، سرب و کادمیوم بر غلظت کادمیوم کاهو.
Figure 4. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar, lead and cadmium levels on the plant cadmium concentration of lettuce

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار گلایول، سرب و کادمیوم بر برخی صفات مورفولوژیکی و غلظت سرب در خاک و گیاه (اندام هوایی+ ریشه) کاهو (*Lactuca sativa* L.) رقم "سیاهو"

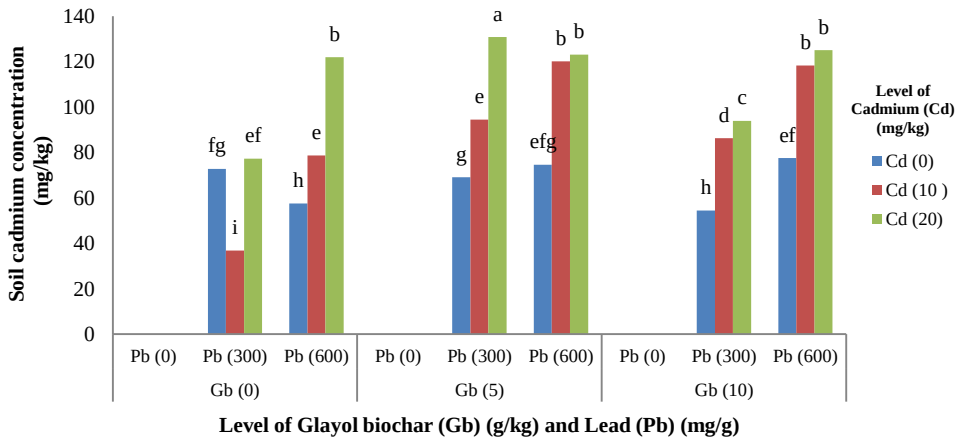
Table 5. Mean comparison interaction effect of gldiolus biochar, lead, cadmium levels on some morphological traits and concentration of lead in soil and plant (shoot+root) of lettuc (*Lactuca sativa* L. cv Syaho)

Treatment			Leaf area	Shoot height	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root fresh weight	Root dry weight	Plant lead concentration	Soil lead concentration
Gb (g/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	(cm^2)	(cm)	(g)	(g)	(g)	(g)	(mg/kg)	(mg/kg)
Gb_0	Pb_0	Cd_0	331.12 bc†	17.87 b	193.13 b	20.07 d	46.32 b	10.53 ab	0.00 l	0.00 o
Gb_0	Pb_0	Cd_1	323.52 bcd	17.25 bc	169.17 cd	20.15 d	42.06 bc	9.80 abc	0.00 l	0.00 o
Gb_0	Pb_0	Cd_2	316.04 bcde	16.05 def	163.64def	17.40 ef	34.91 cd	8.40 cde	0.00 l	0.00 o
Gb_0	Pb_1	Cd_0	330.42 bc	16.25 bcdef	166.01 cde	19.26 de	44.49 b	10.75 ab	297.04 g	1229.95 n
Gb_0	Pb_1	Cd_1	325.88 bcd	14.75 efghij	155.54defg	17.25 f	32.45 cdefg	7.79 cdefg	317.71 fg	1498.95 mn
Gb_0	Pb_1	Cd_2	233.55 lm	12.92 ij	77.68 jk	17.08 fg	28.77 efghi	8.01cdefg	333.37 f	1522.60 m
Gb_0	Pb_2	Cd_0	274.57 fg	17.00 bcd	180.33 bc	15.23 gh	32.91 cdef	9.68 bcd	421.70 e	1738.60 l
Gb_0	Pb_2	Cd_1	289.83 ef	14.87 defghij	149.96 fg	13.69 hi	29.72 defghi	7.90 cdefg	510.61 d	2457.35 k
Gb_0	Pb_2	Cd_2	230.55 lm	13.00 ij	89.93ij	11.70 jk	28.40 ghij	5.84 ghij	511.49 d	2977.75 j
Gb_1	Pb_0	Cd_0	413.40 ab	21.02 a	238.88 ab	23.55 ab	56.00 a	11.11 a	0.00 l	0.00 o
Gb_1	Pb_0	Cd_1	442.99 a	20.10 a	275.61 a	26.32 a	54.02 ab	10.28 ab	0.00 l	0.00 o
Gb_1	Pb_0	Cd_2	307.49 bcde	17.87 b	175.18 bcd	20.55 cd	30.88 cde	8.68 bcd	0.00 l	0.00 o
Gb_1	Pb_1	Cd_0	390.42 ab	19.82 ab	232.12 ab	22.16 abc	40.88 bc	9.49 bc	160.88 k	5944.81ab
Gb_1	Pb_1	Cd_1	330.11 bcd	19.98 ab	151.16 fg	17.82 ef	33.88 cd	7.52 defgh	191.94 jk	5421.01 bc
Gb_1	Pb_1	Cd_2	316.10 cde	17.37 bcd	141.53 g	11.77 jk	29.72 defgh	7.40 defgh	242.78 hi	5327.15 bcd
Gb_1	Pb_2	Cd_0	306.01 de	16.85 bcde	169.70 cd	22.22 bc	33.84 cd	6.36 efghi	204.34 j	4155.07 f
Gb_1	Pb_2	Cd_1	274.57 fg	16.50 cde	147.83 g	17.58 ef	32.76 cdefg	7.52 defgh	215.20 ij	5141.84 cd
Gb_1	Pb_2	Cd_2	244.57 gh	16.25 bcdef	76.66 jk	16.60 fg	22.84 kl	5.06 ij	252.45 h	5235.55 c
Gb_2	Pb_0	Cd_0	240.74 ijklm	15.50 cdefg	115.80 h	13.21 ij	46.39 b	8.68 bcd	0.00 l	0.00 o
Gb_2	Pb_0	Cd_1	263.67 gh	13.37 ghij	104.79 hi	11.75 jk	27.89 hij	7.50 defgh	0.00 l	0.00 o
Gb_2	Pb_0	Cd_2	260.67 ghi	13.00 ij	85/87 jk	10.16 klm	24.92 ijk	5.92 efghij	0.00 l	0.00 o
Gb_2	Pb_1	Cd_0	316.25 cd	15.25 cdefgh	153.08 efg	11.26 kl	35.89 c	9.89 abc	482.75 d	3435.85 i
Gb_2	Pb_1	Cd_1	261.07 ghi	15.00 defghi	110.01 h	13.74 hi	28.51 fghij	7.91 cdefg	503.07 d	5644.81b
Gb_2	Pb_1	Cd_2	264.60 gh	15.37 cdefgh	107.12 h	9.56lm	17.92 mn	4.90 ij	550.16 c	4943.66 e
Gb_2	Pb_2	Cd_0	258.77 ghij	15.87 bcdef	103.89 hi	9.76 lm	21.65 klm	5.97 fghij	592.75 b	6127.15 a
Gb_2	Pb_2	Cd_1	220.80 mn	14.12 fghij	87.56jk	10.48 klm	15.75 n	4.87 ij	604.30 b	5072.14 d
Gb_2	Pb_2	Cd_2	209.56 n	12.75 j	74.39 k	8.84 m	15.31 n	4.17 j	651.11 a	5548.77 b

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly different at 5% probability level.

Gladiolus biochar (Gb), Lead (Pb), Cadmium (Cd), (Gb_0: 0, Gb_1: 5, Gb_2: 10), (Pb_0: 0, Pb_1: 300, Pb_2: 600), (Cd_0: 0, Cd_1: 10, Cd_2: 20)



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار گلایول، سرب و کادمیوم بر غلظت کادمیوم خاک.

Figure 5. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar, lead and cadmium levels on the soil cadmium concentration.

نتیجه‌گیری کلی

گل‌های گلایول شاخه‌بریده بعد از حذف خار، ساقه و برگ‌های اضافی به بازار عرضه می‌گردد، بنابراین میزان قابل‌توجهی پسماند بعد از پاک‌سازی گلایول شاخه‌بریده در گلخانه‌های محل تولید و گلفروشی‌ها تولید می‌گردد. ازآنجایی‌که این پسماند در سایر موارد از جمله علوفه دام غیر قابل استفاده می‌باشد، لذا تولید بیوچار راهکاری مناسب و مقرون به‌صرفه در به کارگیری این نوع پسماند می‌باشد. به‌طور کلی مطابق نتایج این بررسی، بیشترین مقدار صفات مورفولوژیکی

www.SID.ir

Archive of SID

در سطح ۵ گرم بیوچار گلایول در کیلوگرم خاک مشاهده شد و افزایش سطح بیوچار گلایول به ۱۰ گرم در کیلوگرم خاک به‌دلیل ایجاد محدودیت دسترسی به عناصر غذایی منجر به کاهش این صفات شد. همچنین، با کاربرد سطح ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار، مقدار سرب و کادمیوم در گیاه کاهش و در خاک افزایش پیدا کرد. مطابق نتایج این آزمایش، مقدار ۵ گرم بیوچار گلایول در کیلوگرم خاک، به‌طور مؤثری توانست، از طریق کاهش زیست فراهمی سرب و کادمیوم، ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه کاهو را بهبود بخشد. لذا، مطالعه انواع بیوچار حاصل از پسماند محصولات کشاورزی به ویژه سایر گل‌های شاخه‌بریده، در بحث بررسی بهبود رشد گیاهان و اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها، پیشنهاد می‌گردد.

REFERENCES

1. Al-Wabel, M. I., Usman, R.A., El-Naggar, H., Aly, A., Ibrahim, M., Elmaghraby, S. & Al-Omran, A. (2015). Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22, 503-511.
2. Azadi, F., Kasraian, A. & Karimiyan, N. (2014). Effect of soil cadmium contamination on growth indices of spinach and radish**.** *Iranian Journal of Soil Research*, 28(3), 522-530. (in Farsi)
3. Baghaie, A. (2017). Effect of tire rubber ash enriched municipal waste compost on decreasing spinach Cd concentration a case study: Arak municipal waste compost. *Iranian Journal of Health and Environment*, 10(3), 401-410. (in Farsi)
4. Baba, A., Erees, F.S. & Cam, H.S. (2008). An assessment of the quality of various bottled mineral water marketed in turkey. *Enviromental Monitoring and Assessment*, 85, 139-277.
5. David, O., Tianyue, P., Junli, Zh., Daniel, C.W., Daniel, S. A., Zhengtao, Sh., Nanthi, S.& Deyi, H. (2018). Biochar application for the remediation of heavy metal polluted land: A review of in situ field trials. *Science of the Total Environment*, 162, 619-620.
6. Fattahi, B., Arzani, K., Souri, M. K. & Barzega, M. (2018). Effect of cadmium and lead on morpho-physiological traits and Photosynthesis of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(14), 839-849. (in Farsi)
7. Fiaz, K., Danish, S., Younis, U., Malik, S., Raza Shah, M. & Niaz, S. (2014). Drought impact on Pb/ Cd toxicity remediated by biochar in *Brassica campestris*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14, 845-854.
8. Hasandokht, M. R., Mastoori, F. & Padasht Dehkaii, M. (2009). Effect of tea waste and tree Bark waste composts on some properties of growing media and quantity and quality of greenhouse lettuce. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 40(1), 37-43. (in Farsi)
9. Hejazizadeh, A., Gholamalizadeh Ahangar, A. & Ghorbani, M. (2016). Effect of biochar on lead and cadmium uptake from applied paper factory sewage sludge by sunflower (*Heliantus annus* L.). *Journal of Water and Soil Science*, 26 (2), 259-271. (in Farsi)
10. Houben, D., Evrardand, L. & Sonnet, P. (2013). Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Biomass and Bioenergy*, 57, 196-204.
11. Howard, T. (2011). The effect of biochar on the root development of corn and soybeans in minnesota soil and sand. *International Biochar Initiative*, 53(1), 1-23.
12. Hossain, M.K., Strezov, V., Chan, K.Y. & 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.
13. Israr, M. & Shivendra, V. (2008). Promising role of plant hormones in translocation of lead in Sesbania drummondii shoots. *Environmental Pollution*, 153, 29-36.
14. Jalalipur, S. (2014). *The biochar effect on yield of sunflower* (*Helianthus annuus* L.) *and cadmium bioavailability in soil*. MSc. Thesis. University of Zabol, Zabol, Iran.
15. Kim, H.S., Kim, K.R., Kim, H.J., Yoon, J.H., Yang, J.E., Ok, Y.S., Owens, G. & Kim, K.H. (2015). Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. *Environmental Earth Science*, 74, 1249-1259.
16. Kolton, M., Meller Harel, Y., Pasternak, Z., Graber, E.R., Elad, Y. & Cytryn, E. (2011). Impact of biochar application to soil on the root-associated bacterial community structure of fully developed greenhouse pepper plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 77, 4924-4930.
17. Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and Environment*, 5, 381-387.

www.SID.ir

Archive of SID

18. Liu, T., Liu, B. & Zhang, W. (2014). Nutrientsand heavy metals in biochar produced by sewage sludge pyrolysis: Its application in soil amendment. *Polish Journal Environmental Studies*, 23(1), 271-275.
19. Lusiba, S., Ogola, J. & Odhiambo, J. (2017). Effect of biochar and phosphorus fertilizer application on soil fertility: soil physical and chemical properties. *Agronomy and Soil Science*, 63(4), 477-490.
20. Naderi, S. (2016). *Effect of pomegranate peel biochar on reducing cadmium stress in vegetative stage of strawberry*. M.Sc. Thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
21. Namgay, T., Singh B. & Singh, B.P. (2010). Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research*, 48, 638-647.
22. Park, J.H., Choppala, G.K., Sirangie, N.J., Chung, W. & Chuasavathi, T. (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil*, 348, 439–451.
23. Parta, M., B. Bhowmik, N. & Sharma, A. (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 52, 199-223.
24. Paz-Ferreiro, J., Lu, H. Fu, S. Mendez, A. & Gasco, G. (2013). Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. *Solid Earth Discussion*, 5, 2155-2179.
25. Ruley, A.T., Sharma, N.C., Sahi, S.V., Singh, S.R. & Sajwan, K.S. (2006). Effects of lead and chelators on growth, photosynthetic activity and Pb uptake in *Sesbania drummondii* grown in soil. *Environmental Pollution*, 144, 11-18.
26. Salari, M. (2014). Effects of Pistachios Residues Biochar on corn up take zinc and cadmium. MSc. Thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
27. Shuguang, W., Yan, X., Namkha, N. & Zhan, W. (2017). Remediation of biochar on heavy metal polluted soils. *Earth and Environmental Science*, 108, 042113.
28. Steinbeiss, S., Gleixner, G. & Antonietti, M. (2009). Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 1301-1310.
29. Ting, W., Hongwen, S., Xinhao, R., Bing, L. & Hongjun, M. (2017). Evaluation of biochars from different stock materials as carriers of bacterial strain for remediation of heavy metal-contaminated soil. *Scientific Reports*, 7, 121-138.
30. Tshewang, N., Balwant, S. & Bhupinder, P. S. (2010). Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research*, 48, 638-647.
31. Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasie, F. & Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 34, 231-238.
32. Verheijen, F.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., Velde, M. & Diafas, I. (2010). Biochar Application to Soils-A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. *Scientific and Technical Research Series*, 24099.
33. Younis, U., Qayyum, M.F., Shah, M., Danish, S., Shahzad, A.N., Malik, S.A. & Shu, M. (2015). Growth, survival, and heavy metal (Cd and Ni) uptake of spinach (*Spinacia oleracea*) and fenugreek (*Trigonella corniculata*) in a biochar- amended sewage- irrigated contaminated soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 178, 209-217.
34. Zhang, G., Fukami, M. & Sekimoto, H. (2000). Genotypic differences in effects of cadmium on growth and nutrient compositions in wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 23,1337-1350.
35. Zhang, X. (2013). Using biochar for Remdition Heavy metals. *Soil Science Society of America*, 69, 1651-1658.
36. Zheng, R.L., Cai, C., Liang, J., Huang, H., Chen, Q., Huang, Z., Arp, Y.Z. & Sun, G. X. (2012). The effects of biochars from rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb, As in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings, *Chemosphere*, 89, 856-863.

www.SID.ir