

Interaction Effect of Municipal Waste Compost and Pistachio Residues Biochar on Decreasing Cadmium Stress in Shallot (A Case Study: Zarandieh Municipal Waste Compost)

Baghaie A.H

Department of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

* *Corresponding author.* Tel: +989131696721, Fax: +988633412138, E-mail: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

Received: Nov 11, 2017 Accepted: Feb 21, 2018

ABSTRACT

Background & objectives: Today soil pollution by heavy metals especially in industrial regions is one of the major health problems. This research was done to investigate the effect of pistachio residues biochar on decreasing soil cadmium (Cd) stress in shallot in a soil treated with Zarandieh municipal waste compost.

Methods: The present study is an experimental study has been done on the Cd polluted soil as a factorial experiment in the layout of randomized completely block design. Treatments were consisting of applying municipal waste compost at the rates of 0, 10 and 15 t ha⁻¹ and applying pistachio residues biochar (0 and 15 gr kg⁻¹) and the cd polluted soil at the rates of 0, 10, 20 and 30 mg cd kg⁻¹ soil. The Zarandieh municipal waste compost and pistachio residues biochar were added to the soil and after the end of the experiment; root and shoot Cd concentration and catalase enzyme activity were measured. Means comparisons were done by LSD test at a probability level of 5%.

Results: Applying 15 g kg⁻¹ pistachio residues biochar in a Cd polluted soil (20 mg Cd kg⁻¹ soil) treated with 15 t ha⁻¹ municipal waste compost caused a significant decrease in root and shoot Cd concentration by 12 and 9%, respectively. In addition, the root and shoot catalase, enzyme activity was also decreased.

Conclusion: The results of this experiment showed that applying Zarandieh municipal waste compost with pistachio residues biochar can decrease the plant Cd stress. However, the role of type and plant variety on the amount of decreasing Cd stress cannot be ignored

Keywords: Municipal Waste Compost; Biochar; Cd; Catalase Enzyme Activity

اثر برهمکنش کمپوست زباله شهری و بیوچار بقایای پسته بر کاهش تنش کادمیوم در گیاه شاهی (مطالعه موردی: کمپوست زباله شهری زرنديه)

امیرحسین بقائی *

گروه خاک‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۳۱۶۹۶۷۲۱. فکس: ۰۸۶ ۳۳۴۱۲۱۳۸. ایمیل: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: امروزه آلودگی خاک به فلزات سنگین خصوصاً در مناطق صنعتی یکی از اصلی‌ترین معضلات به شمار می‌آید. این پژوهش به منظور بررسی اثر بیوچار بقایای پسته بر کاهش اثر تنش کادمیوم (Cd) در گیاه شاهی در خاک تیمار شده با کمپوست زباله شهری زرنديه صورت پذیرفت.

روش کار: تحقیق حاضر از نوع مطالعه تجربی می‌باشد که بر روی خاک آلوده به کادمیوم به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد ۰، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری، کاربرد بیوچار بقایای پسته در دو سطح ۰ و ۱۵ گرم در کیلوگرم و خاک آلوده شده با کادمیوم در مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بود. مخلوط کمپوست زباله شهری زرنديه و بیوچار بقایای پسته به خاک اضافه شد و در پایان دوره آزمایش، غلظت کادمیوم و میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه و اندام هوایی گیاه شاهی اندازه‌گیری شد. مقایسه‌های میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

یافته‌ها: کاربرد ۱۵ گرم در کیلوگرم بیوچار بقایای پسته در خاک تیمار شده با ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و آلوده به ۲۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، به ترتیب باعث کاهش ۱۲ و ۹ درصدی در غلظت کادمیوم ریشه و اندام هوایی گیاه شد. علاوه بر این، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه و اندام هوایی گیاه نیز کاهش معنی‌داری را نشان داد. **نتیجه‌گیری:** نتایج کلی این پژوهش حاکی از آن بود که کاربرد کمپوست زباله شهری زرنديه به همراه بیوچار بقایای پسته، می‌تواند باعث کاهش اثرات تنش گیاه به فلز کادمیوم شود، هر چند که اثر نوع و تنوع گیاه بر میزان کاهش استرس کادمیوم نبایستی نادیده گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: کمپوست زباله شهری، بیوچار، کادمیوم، فعالیت آنزیم کاتالاز

دریافت: ۹۶/۸/۲۰

پذیرش: ۹۶/۱۲/۲

مقدمه

آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل کننده محیط زیست به شمار رفته و در این میان فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی در غلظت‌های کم هم حائز اهمیت هستند. در کشور ما با توجه به توسعه فعالیت‌های صنعتی، بررسی فلزات سنگین و اثرات آن‌ها در محیط زیست از جمله در خاک از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد که با وجود همه اثرات مخرب زیست محیطی هنوز هم در

بسیاری مکان‌ها، خصوصاً در شهرهای صنعتی کشور رو به افزایش است (۱). در این میان کادمیوم به دلیل پتانسیل ایجاد سمیت در گیاه، حیوان و انسان در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. غلظت کادمیوم خاک در بسیاری از کشورها خصوصاً در مناطق صنعتی افزایش یافته و سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی و ورود این عناصر به زنجیره غذایی انسان شده است (۲). کادمیوم در بین فلزات سنگین میل ترکیبی کمی برای اتصال به فازهای

آلی به عنوان کود با در نظر گرفتن استانداردهای زیست محیطی از اولویت ویژه‌ای برخوردار است. اصولاً کمپوست زباله شهری، هوموس کلوئیدی بی شکل، قهوه‌ای تیره تا سیاه‌رنگی است که تحت شرایط مناسب از نظر دما، رطوبت و تهویه و در نتیجه توالی فعالیت گروه‌های مختلف میکروارگانیسم‌ها به وجود می‌آید. به این ترتیب محصول این فرایند میکروبی یک کود زیستی به شمار می‌آید که غنی از عناصر غذایی نظیر فسفر، پتاسیم و کلسیم است (۱۰) و می‌تواند ضمن تامین مواد آلی خاک به عنوان یک ترکیب مهم کودی به شمار آید. شریفی و همکاران در مطالعه‌ای استفاده از کمپوست زباله شهری را به عنوان یک راهکار مهم در جهت افزایش عناصر غذایی در گیاه ذرت در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی کشور دانستند (۱۱).

جهت کاربردی شدن پژوهش و با توجه به تاثیر مفید کاربرد کمپوست زباله شهری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، ویژگی‌های شیمیایی کمپوست زباله شهری هر منطقه، همچنین میزان مصرف آن از لحاظ تجمع فلزات سنگین و تاثیر بر تغییر پی‌اچ به جهت تغییر قابلیت دسترسی عناصر غذایی، برای هر محصول بایستی به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به این که افزایش غلظت فلزات سنگین به دلیل صنعتی شدن شهرها رو به افزایش است، بایستی به دنبال راهکاری بود که بتوان گیاهان غیر آلوده یا با آلودگی کمتر را در محیط آلوده پرورش داد. با توجه به آلودگی نسبتاً بالای شهرستان زرنديه استان مرکزی به فلزات کادمیوم (به دلیل وجود قطب‌های صنعتی موجود در منطقه) و کمبود مواد آلی در مناطق خشک و نیمه خشک، کاربرد افزودنی‌های آلی علاوه بر تامین نیازهای تغذیه‌ای گیاه، احتمالاً می‌تواند کمک شایانی به کاهش قابلیت دسترسی فلز سنگین در خاک کند. هر چند که تجزیه این قبیل ترکیبات آلی ممکن است باعث توزیع مجدد فلزات سنگین در

تثبیت کننده خاک نظیر اکسیدها و فازهای جامد آلی خاک دارد. بنابراین قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه و انتقال آن به اندام هوایی گیاه زیاد است (۳). کادمیوم همچنین توانایی بالایی برای عبور از غشاء سلولی ریشه (مرز خاک و گیاه) دارد. همه این عوامل باعث شده که خطر حضور کادمیوم در زنجیره غذایی زیاد باشد. قابل ذکر است که عوامل متعددی از جمله پی‌اچ (۴) و درصد مواد آلی خاک (۵) می‌تواند بر میزان قابلیت دسترسی آن موثر باشد.

کادمیوم در فضای آپوپلاسمی یا بر روی سطح دیواره سلول یا غشاء پلاسمایی ریشه تجمع می‌یابد (۶). این تجمع در نهایت باعث اختلال در جذب عناصر غذایی ریشه شده و باعث کاهش قابل توجهی در رشد ریشه خواهد شد. به دنبال کاهش انتقال مواد به برگ‌ها در حضور این یون و در نتیجه کاهش سرعت تعرق، ساختار فضایی اندامک‌ها و رفتار آنزیم‌های کلیدی مسیرهای متابولیک دچار تغییر می‌شود (۷). کادمیوم برای رشد گیاهان ضروری نیست، بلکه یک عنصر سمی برای گیاه می‌باشد که در غلظت‌های ۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در برگ سمیت ایجاد می‌کند (۸). اثر سمیت کادمیوم بر گیاه و سایر موجودات زنده از جمله انسان به خاطر تمایل شدید آن به گروه‌های سولفیدریل موجود در ساختمان پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌باشد، همچنین بررسی‌های دیگری نشان داده سمیت کادمیوم می‌تواند سبب تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن مثل پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل شود (۹). از سویی دیگر، انباشت زباله در شهرهای بزرگ به معضل بزرگی تبدیل شده که یکی از راه‌های رفع مشکل تبدیل زباله شهری به کمپوست و استفاده از آن در کشاورزی می‌باشد (۳) که این امر می‌تواند تا حدودی مشکل کمبود مواد آلی در مناطق مرکزی کشور را نیز حل کند. با توجه به توصیه‌های وزارت کشاورزی برای مصرف کمتر کودهای شیمیایی به منظور پیشگیری از آلودگی محیط زیست، بررسی اثر کاربرد ضایعات

روش کار

تحقیق حاضر از نوع مطالعه تجربی می‌باشد که در بهار ۱۳۹۵ در یک گلخانه تحقیقاتی بر روی خاک تیمار شده با کمپوست زباله شهری و آلوده به کادمیوم به تعداد ۷۲ نمونه انجام شد. این طرح به صورت یک آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل کاربرد کمپوست زباله شهری زرنديه در سه سطح (Z_0) ، $10 (Z_{10})$ و $15 (Z_{15})$ تن در هکتار به ترتیب معادل 0 ، $12/8$ و 21 گرم در گلدان، فاکتور دوم کاربرد بیوپار بقایای پسته باغات زرنديه به میزان $0 (B_0)$ و $15 (B_1)$ گرم به ازاء هر کیلوگرم کاربرد ورمی کمپوست، و فاکتور سوم خاک آلوده شده با کادمیوم از منبع کلرید کادمیوم در سطوح $0 (Cd_0)$ ، $10 (Cd_{10})$ ، $20 (Cd_{20})$ و $30 (Cd_{30})$ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بوده است. ویژگی‌های شیمیایی کمپوست زباله شهری زرنديه و بیوپار مورد استفاده در جدول ۱ ذکر شده است. لازم به ذکر است که بیوپار بقایای پسته به روش کانترل و همکاران (۲۰۱۲) در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد تهیه شد (۱۵).

خاک شود (۱۲). در این میان استفاده از بیوپار پسماند بقایای کشاورزی احتمالاً می‌تواند کمک مناسبی به کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین موجود در منطقه کند.

با توجه به اینکه شاهی (*Lepidium sativum* L.) از جمله گیاهان جاذب فلزات سنگین یکی از محصولات عمده کشاورزی موجود در منطقه مرکزی کشور می‌باشد (۱۳، ۱۴)، یافتن روشی مناسب در جهت کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در منطقه می‌تواند راهکاری مناسب برای کاهش ورود عناصر سنگین به زنجیره غذایی باشد. با توجه به آلودگی خاک‌های منطقه زرنديه به فلز کادمیوم و مشکل دفن زباله‌های شهری موجود در منطقه و از سوی دیگر مشکل جمع‌آوری بقایای پسته موجود در منطقه زرنديه، این تحقیق با هدف بررسی اثر بیوپار بقایای پسته منطقه زرنديه بر کاهش اثر تنش کادمیوم در گیاه شاهی در خاک تیمار شده با کمپوست زباله شهری زرنديه انجام شد.

جدول ۱. ویژگی‌های کمپوست زباله شهری زرنديه و بیوپار بقایای پسته مورد استفاده در این پژوهش

pH	قابلیت هدایت الکتریکی dS m ⁻¹	درصد کربن آلی (%)	نیترژن کل (%)	فسفر قابل استفاده (mg kg ⁻¹)	کادمیم کل (mg kg ⁻¹)	سرب کل (mg kg ⁻¹)	روی کل (mg kg ⁻¹)
۸/۱	۱۰/۶	۱۸/۴	۱/۴	۱۲۲	۰/۴	۱/۳	۸۱
۹/۲	۶/۵	۲۷/۳	۱/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۳	۱۲

آلوده با کادمیوم اضافه شده، به مدت یک ماه به حال خود رها و در این مدت جهت رسیدن به تعادل نسبی، نمونه خاک‌ها تا رسیدن به حد ظرفیت زراعی مزرعه مرتباً تر و خشک شدند. سپس داخل هر جعبه کاشت به ابعاد $15 \times 25 \times 5$ cm³ تعداد ۵۰ عدد بذر گیاه شاهی کاشته شده و بعد از استقرار گیاهان، شمار بوته‌ها به ۳۰ عدد کاهش داده شد. در طول دوره رشد گیاه، عملیات آبیاری و وجین علف هرز ۳ تا ۴

کمپوست زباله شهری زرنديه با بیوپار بقایای پسته مخلوط شده و به مدت یک ماه در دمای اتاق (۲۱C⁰) به حالت خود رها شد تا مخلوط این دو به تعادل برسد. از سویی دیگر، خاک مورد استفاده با روش اسپری در مقادیر فوق‌الذکر به فلز کادمیوم آلوده و جهت رسیدن به تعادل نسبی خاک با کادمیوم، به مدت یک ماه به حالت خود رها شد. سپس مخلوط حاصل از کمپوست زباله شهری و بیوپار به خاک

شاهی به روش فاسمی و همکاران (۲۰۱۴) اندازه‌گیری شد (۲۰). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم افزار SAS-9.1 انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

یافته‌ها

بر اساس آنالیزهای آماری انجام شده در مطالعه حاضر مشخص شد که اثر برهمکنش کاربرد کمپوست زباله شهری زرنديه و بیوچار بقایای پسته بر پی‌اچ خاک معنی‌دار می‌باشد، به نحوی که کاربرد ۱۵ گرم بیوچار بقایای پسته در کیلوگرم کود آلی به همراه ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری زرنديه باعث افزایش ۰/۳ واحدی در پی‌اچ خاک شد.

اثر برهمکنش کاربرد کمپوست زباله شهری زرنديه و بیوچار بقایای پسته بر نسبت کربن به ازت خاک معنی‌دار بود، به نحوی که بیشترین نسبت کربن به ازت در خاک تیمار شده با ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و کمترین آن در خاک فاقد کاربرد کمپوست یا بیوچار بقایای پسته مشاهده شد. همچنین اثر برهمکنش کاربرد بیوچار و کمپوست زباله شهری زرنديه بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز معنی‌دار بود. نتایج این پ وهش حاکی از آن بود که کاربرد ۱۵ تن در هر هکتار کمپوست زباله شهری زرنديه به همراه ۱۵ گرم بیوچار در کیلوگرم کود آلی باعث افزایش ۲/۱ واحدی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده و تاثیر معنی‌داری بر میزان نیتروژن خاک داشته است.

روز یکبار به‌طور یکنواخت انجام شد. هر هفته یکبار نیز گلدان‌ها کاملاً جابجا شده تا تمامی گلدان‌ها در شرایط محیطی یکسان (نور و گرما) قرار گیرند.

چهل روز بعد از کاشت، برداشت گیاه شاهی انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار داده شدند، سپس نمونه‌ها توسط آسیاب برقی به پودر تبدیل شده و در ظروف پلاستیکی نگهداری شدند. نمونه‌ها در دمای ۴۸۰ درجه سلسیوس خاکستر و غلظت فلزات سنگین بعد از عصاره‌گیری نمونه‌ها با اسید کلریدریک دو نرمال با استفاده از دستگاه جذب اتمی پیرکین/المر مدل ۳۰۳۰ اندازه‌گیری شدند (۱۶). همچنین میزان فلزسنگین کل موجود در نمونه خاک و عناصر سنگین موجود در کمپوست زباله شهری زرنديه (۳) توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

جهت اندازه‌گیری مقدار کربن آلی در نمونه خاک یا کمپوست زباله شهری زرنديه از روش اکسیداسیون تر (۱۷) استفاده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۷) اندازه‌گیری شد. ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌های خاک به روش کلرید باریم اندازه‌گیری شد (۱۸). برای اندازه‌گیری پی‌اچ و قابلیت هدایت الکتریکی کمپوست زباله شهری یا بیوچار از نسبت ۱:۱ کود به آب و در مورد نمونه خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شد (۱۹). مقدار کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید و تیتراسیون اسید اضافی با سود (۳) تعیین شد. جهت بررسی نقش کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوچار بقایای پسته زرنديه بر کاهش استرس کادمیوم، آنزیم کاتالاز در ریشه و اندام هوایی گیاه

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر کمپوست زباله شهری، بیوجار و کادمیوم بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده

میانگین مربعات				درجه آزادی		منابع تغییر
غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه	غلظت کادمیوم ریشه گیاه	کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA	نسبت کربن به ازت	پی‌اچ		
۳/۴۵۶**	۴/۱۳۴ ^{NS}	۲/۱۷۳**	۰/۰۴۰ ^{NS}	۰/۰۲ ^{NS}	۲	بلوک (Block)
۳۴۵/۴۴۴**	۵۴۳۶/۵۴۰**	۱۳۴۵/۲۹۳*	۳/۴۳۵**	۴/۳۴۵*	۲	کود آلی (organic manure)
۱۳۴/۳۴۴**	۱۴۵۶/۳۲**	۴۵۵/۴۳۲**	۳/۳۲۳**	۰/۱۲۱*	۱	بیوجار (Biochar)
۸۳۲/۳۲۱**	۱۰۵۰/۱۲۳**	۲۳۴۵/۲۲۲*	۰/۰۲۳ ^{NS}	۰/۰۱۲ ^{NS}	۳	کادمیوم (Cd)
۸/۱۴۳*	۱۸/۴۳۲*	۱۱/۲۴۳**	۰/۲۱۱**	۰/۱۱**	۲	کود آلی × بیوجار (Organic manure × Biochar)
۲۶/۶۵۴*	۷۶۲/۵۳۴*	۱۲۲/۲۴۶**	۰/۱۶ ^{NS}	۰/۲۱ ^{NS}	۶	کادمیوم × کود آلی (Cd × Organic manure)
۱۶/۶۵۴**	۹۸/۸۷۶**	۷۵/۶۴۵**	۰/۱۱۲ ^{NS}	۰/۱۲۳ ^{NS}	۳	کادمیوم × بیوجار (Cd × Biochar)
۱۸/۷۶۵**	۵۰/۵۳۴*	۱/۶۵۴**	۰/۰۱۸ ^{NS}	۰/۰۳۶ ^{NS}	۶	کادمیوم × بیوجار × کود آلی (Cd × Biochar × Organic manure)
۰/۳۱۲	۰/۵۴۶	۰/۳۴۵	۰/۲۳۴	۰/۳۴۵	۴۶	خطا (Error)

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

آلوده به ۱۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک (Z₁₅B₁Cd₁₀) مشاهده شد (جدول ۳). مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک در خاک‌های فاقد کاربرد کادمیوم به وسیله دستگاه جذب اتمی قابل اندازه‌گیری نبود.

اثر بر همکنش تیمارهای مورد آزمایش بر کادمیوم قابل دسترس خاک
بیشترین مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک در خاک فاقد کمپوست زباله شهری یا بیوجار و آلوده به ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک (Z₀B₀Cd₃₀) و کمترین آن در خاک تیمار شده با ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری همراه با کاربرد بیوجار و

جدول ۳. اثر کاربرد کمپوست زباله شهری، بیوجار و کادمیوم بر کادمیوم قابل دسترس خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)

B ₁ Cd ₃₀	B ₁ Cd ₂₀	B ₁ Cd ₁₀	B ₁ Cd ₀	B ₀ Cd ₃₀	B ₀ Cd ₂₀	B ₀ Cd ₁₀	B ₀ Cd ₀	تیمار
۱۳/۱ ^b	۹/۳ ^g	۳/۹ ^k	ND	۱۵/۴ ^a	۱۱/۳ ^d	۵/۴ ^{j**}	ND*	Z ₀
۱۰/۸ ^e	۷/۸ ^h	۳/۱ ^l	ND	۱۲/۲ ^b	۹/۸ ^f	۴/۱ ^k	ND	Z ₁₀
۹/۱ ^g	۶/۹ ⁱ	۱/۶ ⁿ	ND	۱۰/۱ ^f	۸/۱ ^h	۲/۲ ^m	ND	Z ₁₅

Z₀, Z₁₀ و Z₁₅ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری، Cd₀, Cd₁₀, Cd₂₀ و Cd₃₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، B₀ و B₁ کاربرد مقادیر ۰ و ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوجار می‌باشد. ND قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود. ** اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند.

کاهش مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک داشته باشد، به نحوی که کاربرد ۱۵ گرم بیوجار در خاک

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، کاربرد بیوجار بقایای پسته توانسته است نقش موثری در

شهری به همراه تیمار بیوجار مشاهده شد، به نحوی که کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری زرنديه به همراه ۱۵ گرم در کیلوگرم بیوجار در خاک آلوده به ۲۰ میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش معنی‌دار ۱۷ و ۲۶ درصدی در میزان کادمیوم قابل دسترس خاک شده است.

غلظت کادمیوم ریشه و فعالیت آنزیم کاتالاز

بیشترین غلظت کادمیوم ریشه گیاه شاهی در خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوجار و آلوده به ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک ($Z_0B_0Cd_{30}$) و کمترین آن در خاک تیمار شده با ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و آلوده به ۱۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک ($Z_{15}B_1Cd_{10}$) مشاهده شد (جدول ۴). مقدار کادمیوم ریشه گیاه در خاک‌های فاقد کاربرد کادمیوم به وسیله دستگاه جذب اتمی قابل اندازه‌گیری نبود.

فاقد کاربرد کود آلی و آلوده به ۳۰ میلی گرم کادمیوم باعث کاهش ۱۵ درصدی در مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک شده است. نتایج مشابهی در خاک حاوی کمپوست زباله شهری نیز مشاهده شد، به نحوی که کاربرد همین میزان بیوجار بقایای پسته در خاک حاوی ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری زرنديه و آلوده به ۲۰ میلی گرم کادمیوم باعث کاهش ۲۱ درصدی در مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک شد.

نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که کاربرد کمپوست زباله شهری زرنديه تاثیر معنی‌داری بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک داشته است، به نحوی که کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری زرنديه در خاک آلوده به ۳۰ میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش ۲۱ و ۳۵ درصدی در میزان کادمیوم قابل دسترس خاک شده است. نتایج مشابهی در مورد تیمار کمپوست زباله

جدول ۴. اثر کاربرد کمپوست زباله شهری، بیوجار بقایای پسته و کادمیوم بر غلظت کادمیوم ریشه گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم)

تیمار	B_0Cd_0	B_0Cd_{10}	B_0Cd_{20}	B_0Cd_{30}	B_1Cd_0	B_1Cd_{10}	B_1Cd_{20}	B_1Cd_{30}
Z_0	ND*	۲۶/۳ ^{f**}	۳۴/۲ ^d	۴۸/۹ ^a	ND	۲۴/۱ ^g	۳۰/۲ ^e	۴۱/۴ ^b
Z_{10}	ND	۲۱/۳ ⁱ	۲۹/۷ ^e	۳۶/۱ ^c	ND	۱۹/۱ ^j	۲۶/۴ ^f	۳۰/۲ ^e
Z_{15}	ND	۱۵/۱ ^m	۱۸/۲ ^k	۲۳/۱ ^h	ND	۱۴/۱ ⁿ	۱۶/۱ ^l	۱۹/۳ ^j

Z_0 یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر Z_{10} و Z_{15} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری، Cd_{10} ، Cd_{20} و Cd_{30} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، B_0 و B_1 کاربرد مقادیر ۰ و ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوجار می‌باشد. ND^۱ قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود، ** اعدادی که در هر ستون ماری اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند.

است، این در حالی است که میزان آنزیم کاتالاز نیز افزایش ۱/۵ برابری را نشان داد (جدول ۵). قابل ذکر است که با افزایش آلودگی از ۲۰ به ۳۰ میلی گرم کادمیوم در خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوجار، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه گیاه ۷ درصد کاهش یافت.

مشابه نتایج بدست آمده در مورد مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک، افزایش آلودگی خاک باعث افزایش میزان کادمیوم ریشه گیاه شاهی شده است، به نحوی که با افزایش آلودگی خاک از ۱۰ به ۲۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک در خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوجار افزایش ۳۰ درصدی در میزان کادمیوم ریشه گیاه مشاهده شده

جدول ۵. اثر کاربرد کمپوست زباله شهری، بیوجار و کادمیوم بر فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه گیاه (میلی مول بر دقیقه بر گرم وزن مرطوب)

تیمار	B ₀ Cd ₀	B ₀ Cd ₁₀	B ₀ Cd ₂₀	B ₀ Cd ₃₀	B ₁ Cd ₀	B ₁ Cd ₁₀	B ₁ Cd ₂₀	B ₁ Cd ₃₀
Z ₀	۰/۲۰ ^{i*}	۱/۶۰ ^f	۲/۴۷ ^a	۲/۳۴ ^b	۰/۲۱ ⁱ	۱/۵۸ ^f	۲/۴۴ ^a	۲/۳۵ ^b
Z ₁₀	۰/۲۱ ⁱ	۱/۲۲ ^g	۲/۱۳ ^d	۲/۲۳ ^c	۰/۲۱ ⁱ	۱/۱۹ ^g	۲/۱۰ ^d	۲/۳۵ ^c
Z ₁₅	۰/۲۳ ⁱ	۱/۱۲ ^h	۱/۸۳ ^e	۲/۱۰ ^d	۰/۲۲ ⁱ	۱/۱۰ ^h	۱/۸۱ ^e	۲/۱۳ ^d

Z₀, Z₁₀ و Z₁₅ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری، Cd₀, Cd₁₀, Cd₂₀ و Cd₃₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، B₀ و B₁ کاربرد مقادیر ۰ و ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوجار می باشد. * اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند.

شده است.

غلظت کادمیوم اندام هوایی و فعالیت آنزیم کاتالاز

بیشترین غلظت کادمیوم اندام هوایی شاهی در خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری یا بیوجار و آلوده به ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک (Z₀B₀Cd₃₀) و کمترین آن در خاک تیمار شده با ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و آلوده به ۱۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک (Z₁₅B₁Cd₁₀) مشاهده شد (جدول ۶). نتایج مشابه مشاهده شده در مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک (جدول ۳) و ریشه گیاه (جدول ۴) تاییدی بر این ادعا است.

کاربرد کمپوست زباله شهری زرنندیه نیز باعث کاهش مقدار کادمیوم ریشه گیاه شد، به نحوی که کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری زرنندیه در خاک آلوده به ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به ترتیب باعث کاهش ۵ و ۱۱ درصدی در مقدار کادمیوم ریشه گیاه شد قابل ذکر است که کاربرد کمپوست زباله شهری در خاک آلوده به کادمیوم باعث کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شده است، به نحوی که کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری زرنندیه در خاک آلوده به ۲۰ میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش ۱۴ و ۲۲ درصدی در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (جدول ۵)

جدول ۶. اثر کاربرد کمپوست زباله شهری، بیوجار و کادمیوم بر غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم)

تیمار	B ₀ Cd ₀	B ₀ Cd ₁₀	B ₀ Cd ₂₀	B ₀ Cd ₃₀	B ₁ Cd ₀	B ₁ Cd ₁₀	B ₁ Cd ₂₀	B ₁ Cd ₃₀
Z ₀	ND**	۱۳/۱ ^{e*}	۱۶/۴ ^b	۱۸/۲ ^a	ND	۱۲/۱ ^f	۱۳/۸ ^d	۱۵/۶ ^c
Z ₁₀	ND	۱۱/۲ ^g	۱۳/۶ ^d	۱۶/۴ ^b	ND	۹/۴ ⁱ	۱۱/۹ ^f	۱۲/۸ ^e
Z ₁₅	ND	۷/۲ ^k	۸/۱ ^j	۱۰/۰ ^h	ND	۶/۱ ^l	۷/۴ ^k	۸/۳ ^j

Z₀, Z₁₀ و Z₁₅ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری، Cd₀, Cd₁₀, Cd₂₀ و Cd₃₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، B₀ و B₁ کاربرد مقادیر ۰ و ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوجار می باشد. * اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند. ** ND قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

گیاه نداشته است. هر چند که نتایج داده ها حاکی از کاهش میزان کادمیوم اندام هوایی گیاه همزمان با کاربرد بیوجار در خاک فاقد افزودنی آلی می باشد. نتایج مشابه مشاهده شده در مورد عدم معنی دار بودن میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه گیاه تاکید می بر این ادعا است. از سویی دیگر مقایسه نتایج میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه و اندام هوایی گیاه حاکی از بالاتر بودن میزان فعالیت این آنزیم در ریشه گیاه

کاربرد بیوجار بقایای پسته نقش موثری را در کاهش کادمیوم اندام هوایی گیاه شاهی داشته است، به نحوی که کاربرد ۱۵ گرم در کیلوگرم بیوجار بقایای پسته در خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری زرنندیه و آلوده به ۳۰ میلی گرم کادمیوم باعث کاهش ۱۵ درصدی در کادمیوم اندام هوایی گیاه شده است. قابل ذکر است که کاربرد بیوجار تاثیر معنی داری بر تغییر فعالیت آنزیم کاتالاز اندام هوایی

خاک، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز همزمان با کاربرد ۱۵ گرم بیوجار در خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری زرنديه تا سطح آلودگی ۲۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک افزایش و با افزایش آلودگی بیشتر روند کاهشی داشته است.

(جدول ۵) نسبت به اندام هوایی گیاه (جدول ۷) است و این در حالی است که غلظت کادمیوم ریشه گیاه (جدول ۸) نیز بیشتر از غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه (جدول ۶) می باشد. همچنین نتایج این پژوهش حاکی از آن است که همزمان با افزایش آلودگی

جدول ۷. اثر کمپوست زباله شهری، بیوجار و کادمیوم بر فعالیت آنزیم کاتالاز اندام هوایی گیاه (میلی مول بر دقیقه بر گرم وزن مرطوب)

تیمار	B_0Cd_0	B_0Cd_{10}	B_0Cd_{20}	B_0Cd_{30}	B_1Cd_0	B_1Cd_{10}	B_1Cd_{20}	B_1Cd_{30}
Z_0	۰/۱۴k*	۱/۳۶f	۲/۲۱a	۲/۰۵c	۰/۱۴k	۱/۳۳f	۲/۲۳a	۲/۰۸cd
Z_{10}	۰/۱۳k	۱/۰۵g	۱/۸۵e	۲/۱۰bc	۰/۱۱k	۱/۰۷g	۱/۸۷e	۲/۱۲b
Z_{15}	۰/۱۳k	۰/۶۱j	۰/۸۲i	۰/۹۱h	۰/۱۲k	۰/۶۳j	۰/۸۴i	۰/۹۳h

Z_0 ، Z_{10} و Z_{15} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری، Cd_0 ، Cd_{10} ، Cd_{20} و Cd_{30} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، B_0 و B_1 کاربرد مقادیر ۰ و ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوجار می باشد. * اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند.

تثبیت شیمیایی فلزات سنگین ناپیستی نادیده گرفته شود. عموی و همکاران در تحقیقی به نقش ترکیبات شیمیایی بر میزان حذف و تثبیت فلزات سنگین اشاره کرده و آن را راهکار مناسبی جهت کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک دانستند (۲۴). همچنین افزایش نسبت کربن به ازت خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز می تواند بر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک تاثیر گذار باشد (۲۵). نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که کاربرد ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری زرنديه به همراه ۱۵ گرم بیوجار در کیلوگرم کود آلی باعث افزایش ۲/۱ واحدی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده است که این با نتیجه پژوهش حجازی زاده و همکاران مطابقت دارد (۲۲). همچنین تبرته و همکاران در تحقیقی کاربرد کود گاوی را عامل موثری در جهت کاهش قابلیت دسترسی فلز سنگین در خاک دانسته و دلیل آن را به نقش کاربرد کود گاوی در افزایش ویژگی های جذبی خاک و به دنبال آن کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک دانستند (۲۶). همچنین کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوجار بقایای پسته توانسته است تاثیر معنی داری بر میزان نیتروژن خاک داشته باشد که این احتمالاً می تواند بر روی رشد و

نتیجه پژوهش حاضر حاکی از آن است که کاربرد کمپوست زباله شهری زرنديه نیز تاثیر معنی داری بر کاهش غلظت کادمیوم اندام هوایی داشته است، به نحوی که کاربرد ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری زرنديه در خاک آلوده به ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک باعث کاهش ۵۰ درصدی در غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه شده است. قابل ذکر است که همزمان با افزایش آلودگی خاک در خاک تیمار شده با کمپوست زباله شهری زرنديه، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز اندام هوایی گیاه افزایش یافت.

بحث

اثر تیمارهای مورد آزمایش

کاربرد بیوجار بقایای پسته به همراه ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری زرنديه باعث افزایش پی اچ خاک شده که این می تواند قابلیت جذب فلزات سنگین را تحت تاثیر قرار دهد (۲۱). بقائی در پژوهشی به نقش افزایش پی اچ خاک در جهت کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در یک خاک آلوده به کادمیوم اشاره کرده است (۳)، هر چند که در این میان نقش کاربرد بیوجار (۲۲) و کود آلی (۲۳) در

عملکرد گیاه تاثیر مثبتی داشته باشد.

اثر بر همکنش تیمارهای مورد آزمایش بر کادمیوم قابل دسترس خاک

نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که کاربرد بیوچار بقایای پسته توانسته است نقش موثری در کاهش مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک داشته باشد که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش کاربرد بیوچار در افزایش ویژگی‌های جذبی خاک و به دنبال آن کاهش قابلیت دسترسی مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA دانست (۲۲). بی‌ریا و همکاران نیز در تحقیقی کاربرد بیوچار باگاس نیشکر را عامل موثری در جهت کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک دانستند و دلیل آن را ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه بالای بیوچار، همچنین گروه‌های عاملی با بار منفی موجود در سطح آن گزارش کردند (۲۷). شفق مولایی و همکاران نیز در تحقیقی نشان دادند که کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی نظیر پوست پسته و پوست میگو در خاک آلوده به فلزات سنگین نظیر سرب و کادمیوم باعث کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک شده و گروه‌های عاملی موجود در سطح این اصلاح‌کننده‌های آلی را عامل اصلی این کاهش دانستند (۵).

افراسیابی و همکاران نیز در پژوهشی بیوچار تفاله خام پسته را عامل موثری در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک آهکی دانستند، هر چند که در این میان به نقش ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در تغییر قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک اشاره‌ای نشده است (۲۸). کامیاما و همکاران نیز گزارش کردند که کاربرد بیوچار از طریق افزایش نسبت کربن به ازت می‌تواند نقش موثری در افزایش ویژگی‌های جذبی خاک داشته باشد (۲۹). اصولاً بیوچار بر روی سطوح خود دارای گروه‌های عاملی است و بار منفی گروه‌های عاملی در طول زمان در خاک افزایش می‌یابد. کربوکسیل، فنولیک و هیدروکسیل و دیگر گروه‌های عاملی که شامل

اکسیژن‌های سطحی‌اند، بیوچار را قادر می‌سازند تا بتوانند آلودگی ناشی از فلزات سنگین را کاهش دهند (۲۲). قابل ذکر است که هر چند بالاتر بودن نسبت کربن به ازت بیوچار بقایای پسته نسبت به کمپوست زباله شهری زرنندیه می‌تواند عامل مهمی در جهت افزایش ویژگی‌های جذبی خاک و در نتیجه کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین به حساب آید (۱۸)، ولی بالاتر بودن نسبت کربن به ازت ممکن است مشکلات تغذیه‌ای را برای گیاه در پی داشته باشد، لذا کاربرد کمپوست زباله شهری به همراه بیوچار بقایای پسته امری ضروری به نظر می‌رسد.

از سویی دیگر، هر چند که غلظت فلزات سنگین موجود در کمپوست زباله شهری پائین‌تر از میزان موجود این فلزات در خاک می‌باشد و کاربرد این قبیل پسماندهای آلی می‌تواند به عنوان عامل جاذب فلزات سنگین عمل کند، ولی تجزیه این ترکیبات در درازمدت می‌تواند باعث آزادشدن فلزات سنگین موجود در آن شود. لذا کاربرد بیوچار به همراه پسماند آلی چه به جهت غلظت فلزات سنگین موجود در خاک و چه به لحاظ مشکلات تغذیه‌ای گیاه خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی کشور می‌تواند مفید واقع شود. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که کاربرد کمپوست زباله شهری زرنندیه تاثیر معنی‌داری بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک داشته است که این می‌تواند یک نکته مثبت زیست محیطی به شمار آید و دلیل احتمالی آن را می‌توان غلظت نسبتاً کم فلز سنگین موجود در کمپوست زباله شهری زرنندیه (در مقابل میزان آلودگی خاک) و از سویی دیگر بالا رفتن ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در اثر کاربرد کمپوست زباله شهری دانست.

زمانی بابگری و همکاران نیز در پژوهشی گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری تأثیری بر افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک نداشته و دلیل آن را پائین بودن غلظت فلزات سنگین در

درصد کاهش یافت. کاهش در فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی به عنوان یک پاسخ عمومی در بسیاری از تنش‌های محیطی شدید است که این امر احتمالاً به دلیل بازدارندگی از سنتز آنزیم یا تغییر در تجمع زیرواحدهای این آنزیم است (۳۱). پورقاسمیان و همکاران در تحقیقی به بررسی پاسخ‌های آنتی‌اکسیداتیو به آلودگی کادمیومی خاک و ارتباط آن با برخی صفات فیزیولوژیکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ پرداخته و افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز را نقش کلیدی در افزایش مقاومت گیاه به آلودگی کادمیوم دانستند (۳۲).

شی و همکاران در پژوهشی به بررسی پاسخ‌های آنتی‌اکسیداتیو به آلودگی خاک به فلز کادمیوم در گیاه پرداخته و چنین نتیجه‌گیری کردند که فعالیت آنزیم اکسیدانی در غلظت‌های پائین آلودگی فلزات سنگین افزایش یافته و با افزایش آلودگی، فعالیت آنزیم کاهش می‌یابد و دلیل آن را این چنین بیان کردند که افزایش آنزیم تولیدی در تنش کمتر به دلیل وجود مکانیزم‌های جمع‌آوری کننده موثر برای از بین بردن ROS و کم‌شدن فعالیت این آنزیم در سطح آلودگی بالاتر را به دلیل افزایش سطح تشکیل پراکسید هیدروژن تولید شده به دلیل حضور کادمیوم می‌باشد (۳۳). اصولاً افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز منجر به مهار انواع اکسیژن فعال از جمله H_2O_2 می‌شود که در طی تنش کادمیوم تجمع می‌یابد (۹).

از سویی دیگر، کاربرد کمپوست زباله شهری زرنديه با کاهش مقدار کادمیوم ریشه گیاه باعث کاهش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (جدول ۷) شده است که دلیل احتمالی آن را می‌توان نقش کاربرد کمپوست زباله شهری در کاهش قابلیت کادمیوم ریشه گیاه (۳) و به دنبال آن کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر کاهش تنش استرس کادمیوم دانست. هوشیار و همکاران در پژوهشی به نقش کاربرد ترکیبات آلی در کاهش قابلیت دسترسی فلزات پرداخته و بخش معدنی و آلی موجود در این ترکیبات

پسماندهای آلی دانسته‌اند (۳۰). نتایج پژوهش بقائی نیز حاکی از آن است که خاک آلودگی نسبتاً بالاتری در غلظت فلزات سنگین نسبت به کمپوست زباله شهری اراک داشته و کمپوست زباله شهری مذکور به عنوان یک عامل جاذب فلز سنگین عمل کرده است (۳). لازم به ذکر است که در بسیاری از پژوهش‌ها به کاربرد بیوجار یا پسماند آلی نگاه تک بعدی داشته‌اند ولی لازم به ذکر است در مناطقی مثل استان مرکزی که مشکل اصلی هم آلودگی به فلزات سنگین و هم پائین بودن قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌باشد، کاربرد توام بیوجار و پسماند آلی از قبیل کمپوست زباله شهری (غیر آلوده به فلز سنگین) احتمالاً می‌تواند مفید واقع شود، هر چند که نوع گیاه و کمپوست زباله شهری در هر منطقه بایستی جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. مشایخی و همکاران نیز در پژوهشی کاربرد کود گاوی را عامل مهمی در جهت کاهش غلظت کادمیوم قابل دسترس خاک در خاک آلوده به کادمیوم دانسته و دلیل آن را به نقش گروه‌های عاملی موجود در کود گاوی در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم نسبت دادند (۲۵).

غلظت کادمیوم ریشه و فعالیت آنزیم کاتالاز

مشابه نتایج بدست آمده در مورد مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک، افزایش آلودگی خاک باعث افزایش میزان کادمیوم ریشه گیاه شاهی شده است و این افزایش کادمیوم ریشه گیاه باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و نیز افزایش ۱/۵ برابری را نشان داد (جدول ۷) که احتمالاً نشان‌دهنده مقابله گیاه با استرس کادمیوم می‌باشد. هر چند که این افزایش تا حدی می‌تواند ادامه داشته باشد و در بسیاری مواقع با افزایش آلودگی خاک مقاومت گیاه در مقابل تنش محیطی کاهش یافته و فعالیت آنزیم کاتالاز نیز کاهش می‌یابد، به نحوی که نتایج این پژوهش حاکی از آن است که با افزایش آلودگی از ۲۰ به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم در خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوجار، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه گیاه ۷

را عامل مهمی در جهت تثبیت فلزات سنگین در خاک دانستند (۲۳).

غلظت کادمیوم اندام هوایی و فعالیت آنزیم کاتالاز

کاربرد بیوجار بقایای پسته نقش موثری را در کاهش کادمیوم اندام هوایی گیاه شاهی داشته است که دلیل آن را می‌توان به نقش کاربرد بیوجار در کاهش مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک و ریشه گیاه و به دنبال آن کاهش مقدار کادمیوم اندام هوایی گیاه دانست. هر چند که کاربرد بیوجار تأثیر معنی‌داری بر تغییر فعالیت آنزیم کاتالاز اندام هوایی گیاه نداشته است و این حاکی از آن است که فیزیولوژی گیاه نیز عامل موثری بر فعالیت آنزیم‌های گیاهی می‌باشد (۳۲). نتایج مشابه مشاهده شده در مورد عدم معنی‌دار بودن میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه گیاه نیز تأکیدی بر این ادعا است. از سوی دیگر، مقایسه نتایج میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه و اندام هوایی گیاه حاکی از بالاتر بودن میزان فعالیت این آنزیم در ریشه گیاه (جدول ۵) نسبت به اندام هوایی گیاه (جدول ۷) است و این در حالی است که غلظت کادمیوم ریشه گیاه (جدول ۸) نیز بیشتر از غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه (جدول ۶) می‌باشد و چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بالاتر بودن میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه گیاه به دلیل مقابله با تنش کادمیوم بیشتر تجمع یافته در ریشه گیاه می‌باشد. نتایج مشابه مشاهده شده توسط پورقاسمیان و همکاران مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر تنش کادمیوم تأکیدی بر این مطلب است (۳۲).

نتیجه‌گیری

نتیجه این مطالعه نشان داد که کاربرد کمپوست زباله شهری زرنندیه و بیوجار پسته پسته می‌تواند راهکار

مناسبی برای کاهش استرس گیاه به فلز کادمیوم باشد، هر چند که در این میان نقش کاربرد این ترکیبات در بازیافت محیط زیست ناپستی نادیده گرفته شود. نتیجه پژوهش حاضر حاکی از آن است که کاربرد کمپوست زباله شهری زرنندیه باعث کاهش غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه شده است که دلیل آن را احتمالاً می‌توان به دلیل نقش بخش معدنی و آلی موجود در این ترکیبات در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم قابل دسترسی خاک و به دنبال آن کاهش مقدار کادمیوم اندام هوایی گیاه دانست. قابل ذکر است که همزمان با افزایش آلودگی خاک در خاک تیمار شده با کمپوست زباله شهری زرنندیه، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز اندام هوایی گیاه افزایش یافت که این می‌تواند نشان از مقاومت گیاه در مقابل استرس کادمیوم در گیاه باشد، هر چند که در این میان نقش نوع گیاه و شرایط رشد گیاه بر میزان قابلیت جذب کادمیوم توسط گیاه می‌تواند موثر باشد که بایستی برای هر گیاه و شرایط آب و هوایی رشد آن به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. از سوی دیگر، جهت کاربردی کردن این پژوهش در محیط مزرعه‌ای علاوه بر در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی مسئله، اثرات جانبی کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوجار بر ویژگی‌های خاک نیز بایستی مد نظر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسنده مقاله بر خود لازم می‌داند از معاونت پژوهشی و حمایت‌های بی‌دریغ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، به جهت در اختیار قرار دادن امکانات برای انجام این پژوهش، کمال تقدیر و تشکر را بنماید.

References

1-Qing X, Yutong Z, Shenggao L. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2015; 120: 377-385.

- 2-Galitskaya IV, Mohan KR, Krishna AK, Batrak GI, Eremina ON, Putilina VS, et al. Assessment of soil and Groundwater Contamination by Heavy Metals and Metalloids in Russian and Indian Megacities. *Procedia Earth Planetary Science*. 2017; 17: 674-677.
- 3-Baghaie A. Effect of municipal waste compost and zeolite on reduction of cadmium availability in a loamy soil (A case study: Arak municipal waste compost). *Journal of Soil Management Sustainable Product*. 2017; 6(4): 103-117.
- 4-Baghaie A. 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*. 2017; 10(3): 401-410.
- 5-Molaei S, Shirani H, Hamidpour M, Shekofteh H, Besalatpour AA. Effect of Vermicompost, Pistachio Kernel and Shrimp Shell on Some Growth Parameters and Availability of Cd, Pb and Zn in Corn in a Polluted Soil. *Journal of Water and Soil Science*. 2016; 19(74): 113-124. (In Persian)
- 6-Luka ová Z, Švubová R, Kohanová J, Lux A. Silicon mitigates the Cd toxicity in maize in relation to cadmium translocation, cell distribution, antioxidant enzymes stimulation and enhanced endodermal apoplasmic barrier development. *Plant Growth Regulation*. 2013; 70(1): 89-103.
- 7-Suzuki M, Takeda S, Teraoka-Nishitani N, Yamagata A, Tanaka T, Sasaki M, et al. Cadmium-induced malignant transformation of rat liver cells: Potential key role and regulatory mechanism of altered apolipoprotein E expression in enhanced invasiveness. *Toxicology*. 2017; 382: 16-23.
- 8-Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, Fourth ed. Boca Raton, London, New York Washington, DC. 2011.
- 9-Manquián-Cerda K, Cruces E, Escudey M, Zúñiga G, Calderón R. Interactive effects of aluminum and cadmium on phenolic compounds, antioxidant enzyme activity and oxidative stress in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plantlets cultivated in vitro. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018; 150: 320-326.
- 10-Baniyani E, Farahani E. The Impact of municipal solid waste compost and nitrogen fertilizer on growth and yield characteristics of Varamin cotton cultivar. *Iranian Journal of Cotton Researches*. 2014; 2(2): 91-105.
- 11-Sharifi M, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh AH. Effects of Sewage Sludge, Compost and Cow Manure on Availability of Soil Fe and Zn and their Uptake by Corn, Alfalfa and Tagetes Flower. *Journal of Water and Soil Science*. 2011; 15(56): 141-154.
- 12-Bagheri S, Baghaei A, Nabaei SM. Effect of enriched vermicompost with iron slag on corn Fe availability in a cadmium polluted. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2017; 48(4): 771-780.
- 13-Abedi-Koupai J, Matin N, Javahery Tehrani M. Uptake of cadmium by cress, lettuce and tomato in Cd-contaminated soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*. 2015; 6(1): 41-53.
- 14-Alidadi KM, Dordipour E, Barani MM. Interactive Effect of Iron and Lead on Growth and Their Uptake In Cress (*Lepidium Sativum* L.). *J of Soil Management and Sustainable*. 2016; 5: 41-59.
- 15-Cantrell KB, Hunt PG, Uchimiya M, Novak JM, Ro KS. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology*. 2012; 107: 419-428.
- 16-Lee P-K, Choi B-Y, Kang M-J. Assessment of mobility and bio-availability of heavy metals in dry depositions of Asian dust and implications for environmental risk. *Chemosphere*. 2015; 119: 1411-1421.
- 17-Raya-Moreno I, Cañizares R, Domene X, Carabassa V, Alcañiz JM. Comparing current chemical methods to assess biochar organic carbon in a Mediterranean agricultural soil amended with two different biochars. *Science of the Total Environment*. 2017; 598: 604-618.
- 18-Baghaie A, Khoshgoftarmanesh AH, Afyuni M, Schulin R. The role of organic and inorganic fractions of cow manure and biosolids on lead sorption. *Soil Science Plant Nutrition*. 2011; 57(1): 11-18.
- 19-Saadat K, Barani Motlagh M. Influence of Iranian natural zeolites, clinoptilolite on uptake of lead and cadmium in applied sewage sludge by Maize (*Zea mays*. L.). *Journal of Water Soil Conservation*. 2013; 20: 123-143.

- 20-Ghasemi S, Khoshgoftarmanesh AH, Afyuni M, Hadadzadeh H. Iron (II)-amino acid chelates alleviate salt-stress induced oxidative damages on tomato grown in nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae*. 2014; 165: 91-108.
- 21-Wang H, Xia W, Lu P. Study on adsorption characteristics of biochar on heavy metals in soil. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2017: 1-7.
- 22-Hejazizadeh A, Gholamalizadeh Ahangar A, Ghorbani M. Effect of Biochar on Lead and Cadmium Uptake from Applied Paper Factory Sewage Sludge by Sunflower (*Heliantus annus L.*). *Water Soil Science*. 2016; 26(1): 259-271.
- 23-Houshyar P, Baghaei A. Effectiveness of DTPA Chelate on Cd Availability in Soils Treated with Sewage Sludge. *Journal of Water and Wastewater*. 2017; 28(4): 103-111.
- 24-Amouei A, Mahvi AH, Naddafi k. Effect of chemical compounds on the removal and stabilization of heavy metals in soil and contamination of water resources. *Feyz Journal of Kashan University of Medical Sciences*. 2012; 16(5): 420-425. (In Persian)
- 25-Mashayekhi HR, Baghaie AH, Gomarian M. Effect of EDTA Chelate and Cow Manure on Cd Uptake by Pot Marigold in a Polluted Soil. *Iranian Journal of Soil Research*. 2017; 31(3): 405-417.
- 26-Tabarteh Farahani N, Baghaie A. Interactive Effect of Fe and Pb on Decreasing Corn Pb Availability in a Pb-Polluted Soil. *Journal of Water and Soil*. 2017; 31: 1187-1199.
- 27-Biria M, Moezzi A, AmeriKhah H. Effect of Sugercan bagasse,s biochar on maize plant growth, grown in lead and cadmium contaminated soil. *Journal Of Water And Soil*. 2016; 31: 609-626.
- 28-Afrasiabi B, adhami E, Owliaie H. The effect of biochars produced under different temperatures and moisture condition on cadmium availability. *Journal of Water and Soil*. 2016; 31(2): 609-626.
- 29-Kameyama K, Miyamoto T, Shiono T, Shinogi Y. Influence of sugarcane bagasse-derived biochar application on nitrate leaching in calcaric dark red soil. *Journal of Environmental Quality*. 2012; 41(4): 1131-1137.
- 30-Zamani babghohari J, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh AH, Eshghizadeh HR. Effect of Polyacryl Sewage Sludge, Municipal Compost And Cow Manure on Soil Properties and Maize Yield. *Journal of Water and Soil Science*. 2011; 14(54): 153-166.
- 31-Khodarahmi S, Khoshgoftarmanesh AH. The Effect of Cadmium Toxicity and Silicon Supplementation on the Activity of Antioxidative Enzymes and the Concentration of Zinc and Iron in Hydroponically Grown Cucumber. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2017; 48(1): 51-62.
- 32-Poorghasemian N, Ehsanzadeh P. Cadmium-induced oxidative stress and its interrelationships with physiological characteristics of safflower genotypes. *journal of plant process and function*. 2013; 2(5): 15-30.
- 33-Shi G, Liu C, Cai Q, Liu Q, Hou C. Cadmium accumulation and tolerance of two safflower cultivars in relation to photosynthesis and antioxidative enzymes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010; 85(3): 256-263.