Archive of SID

مجله مهندسی بهداشت محیط، زمستان ۱۳۹۶، سال ۵، شماره ۲: ۱۴۷-۱۵۶

بررسی پتانسیل خطرپذیری کادمیوم ناشی از مصرف گوجه فرنگی در خاک تیمار شده با زغال زیستی باگاس نیشکر و ورمی کمپوست زباله شهری

امیرحسین بقائی*

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

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۵/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۵

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به اهمیت استفاده از سبزیجات سالم، کنترل غلظت عناصر سنگین جهت حفظ سلامتی مصرف کننده حائز اهمیت است. این پژوهش با هدف بررسی اثر زغال زیستی باگاس نیشکر و ورمی کمپوست زباله شهری بر تغییر ضریب خطرپذیری کادمیوم ناشی از مصرف گوجه فرنگی انجام گرفت.

مواد و روش: تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد ۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست زباله شهری غنی‌شده با ۰ و ۵ درصد وزنی زغال زیستی باگاس نیشکر در خاکی با مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم و گیاه مورد نظر گوجه فرنگی بوده است. غلظت کادمیوم میوه گیاه با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. ضریب خطرپذیری به بیماری‌های غیر سرطانی با استفاده از فرمول ارایه شده توسط سازمان محیط زیست آمریکا محاسبه شد.

یافته‌ها: کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست زباله شهری در خاک آلوده به ۳۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک باعث کاهش ۲۵ درصدی در مقدار کادمیوم میوه گوجه فرنگی شد، این در حالی است که میزان جذب روزانه کادمیوم حاصل از مصرف گوجه فرنگی و پتانسیل خطرپذیری کادمیوم به بیماریهای غیر سرطانی نیز به ترتیب ۲۷ و ۲۲ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری : نتایج این پژوهش حاکی از آن است که کاربرد ورمی‌کمپوست زباله شهری لنجان و زغال زیستی باگاس نیشکر توانسته است با کاهش غلظت کادمیوم میوه گوجه فرنگی باعث کاهش میزان جذب روزانه کادمیوم از طریق مصرف گوجه فرنگی شود که این می‌تواند نکته مثبتی در کاهش خطرپذیری کادمیوم به بیماریهای غیر سرطانی همزمان با مصرف گوجه فرنگی شود.

کلمات کلیدی: کادمیوم، گوجه فرنگی، ارزیابی خطرپذیری، ورمی کمپوست زباله شهری

* **نویسنده مسئول:** گروه خاک‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
ایمیل: a-baghaie@iau-arak.ac.ir - تلفن تماس: ۰۹۱۳-۱۶۹۶۷۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی فلزات سنگین از جمله کادمیوم می باشند، به طوریکه وجود چند میلی‌گرم بر کیلوگرم از آنها در خاک، سلامت گیاه و انسان را تهدید می‌کند.[1] به دلیل ارتباط تنگاتنگ بین اکوسیستم‌های کشاورزی و سلامتی انسان، آلودگی فلزات سنگین به یکی از نگرانی‌های بزرگ در سراسر جهان تبدیل شده است. فلزات سنگین از قبیل سرب و کادمیوم به عنوان ترکیبات سرطان زا شناخته شده‌اند و همچنین عامل موثری در ایجاد بیماریهای قلبی و فشار خون می‌باشند.[2] زمانی که این فلزات وارد بدن می شود، در کلیه و کبد، اندام‌های تولید مثل، سیستم‌های عصبی، تنفسی، گوارش و ماهیچه‌های قلب تجمع یافته و هنگامی که مقدار آن از حد معینی تجاوز کند، به واسطه اثر درازمدت، عوارض ناشی از آن به صورت بیماریهای گوناگون نمایان می‌شود.[3]

آلودگی زمین‌های کشاورزی به فلزات سنگین، باعث کاهش کیفیت خاک، کاهش رشد گیاه و آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی می‌شود. در سال‌های اخیر به‌خصوص در جوامع شهری، مصرف سبزیجات از جمله گوجه فرنگی رو به افزایش است، و این ناشی از افزایش آگاهی های مردم از ارزش مفید غذاهای حاوی سبزیجات است. فائو با انتشار جدیدترین آمار خود اعلام کرده که ایران در تولید این محصول مهم کشاورزی در میان هفت کشور نخست دنیا قرار گرفته است.[3] سبزیجات منبع مهمی از تجمع عناصر سمی و ضروری است و با وجود همه خواص مهم آن، کاشت سبزیجات در خاک‌های آلوده به کادمیوم می‌تواند خطر بالایی برای سلامت انسان دارد.[4] لذا بایستی به دنبال راه حلی بود تا با کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین، خطر آلودگی زنجیره غذایی به فلزات سنگین را کاهش داد.

تا کنون از روش‌های متعدد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای مقابله با آلودگی‌های فلزات سنگین استفاده شده است، اما اکثر این روش‌ها نه تنها هزینه‌بر بوده و برای پالایش مناطق کوچک کاربرد دارند، بلکه خطر از بین رفتن ساختمان خاک و اختلال در فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و آلودگی بخش دیگری از محیط زیست را در پی خواهند داشت. یکی از روش‌های مناسب، استفاده از مواد آلی است که دارای خصوصیات جذبی خوبی باشند. در میان این مواد، زغال زیستی ماده‌ای با تخلخل بالا است، که گروه‌های عاملی فراوانی داشته و می‌تواند نقش موثری در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین داشته باشد [5] و از آن جمله می‌توان به زغال زیستی باگاس نیشکر در خاک اشاره کرد که با افزایش ویژگی‌های جذبی خاک می‌تواند باعث کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک شود. بی ریا و همکاران در پژوهشی کاربرد ۴ درصد وزنی باگاس نیشکر را عامل موثری در کاهش قابلیت دسترسی سرب و کادمیوم در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت در یک خاک آلوده به این ترکیبات دانستند.[6] علاوه بر این، افزایش کلروفیل، سطح برگ، ارتفاع گیاه و وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت همزمان با کاهش غلظت کادمیوم و سرب ریشه گیاه ذرت مشاهده شده است. حجازی و همکاران نیز در پژوهشی به نقش کاربرد زغال زیستی در کاهش قابلیت جذب کادمیوم توسط گیاه آفتابگردان اشاره داشتند[7] و بیان کردند که کاربرد ۱۵ گرم زغال زیستی در کیلوگرم خاک باعث کاهش ۲۰ درصدی در غلظت کادمیوم اندام هوایی گیاه شده است. نجفی قیری در تحقیقی کاربرد زغال زیستی گندم و ذرت را به عنوان منبع کودی پتاسیم در خاکهای اهکی معرفی کرده است[8] و چنین گزارش کردند که افزودن بیوچار سبب تغییرات در برخی ویژگی های خاک مانند قابلیت هدایت الکتریکی، پ هاش و مقدار کربن آلی و همچنین قابلیت استفاده برخی عناصر پرمصرف و کم مصرف بخصوص پتاسیم شده است.

از سویی دیگر، با توجه به کمبود مواد آلی در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی کشور، استفاده از افزودنی‌های آلی غیر آلوده (یا با آلودگی کم) به فلزات سنگین نیز علاوه بر

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین، می‌توانند باعث تامین عناصر غذایی گیاه شده [9] که این تا حدودی می‌تواند مشکل کاهش زیست توده گیاه در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین را جبران نماید. در این راستا با توجه به پائین بودن غلظت فلزات سنگین از جمله کادمیوم و سرب در ورمی‌کمپوست زباله شهری شهرستان لنجان، کاربرد این ترکیب احتمالاً می‌تواند ضمن مدیریت بازیافت افزودنی‌های آلی به محیط زیست، تا حدودی تامین کننده عناصر غذایی و افزایش میزان مواد آلی خاک باشد، ضمن اینکه قابلیت دسترسی کادمیوم را در خاک نیز می‌تواند تحت تاثیر قرار دهد. با توجه به مطالب ذکر شده، این پژوهش با هدف اثر ورمی‌کمپوست زباله شهری لنجان و زغال زیستی باگاس نیشکر بر کاهش میزان خطرپذیری کادمیوم ناشی از مصرف گوجه فرنگی در خاک تیمار شده با ورمی کمپوست زباله شهری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت یک آزمایش گلدانی با هدف بررسی اثر مخلوط ورمی کمپوست زباله شهرستان لنجان (واقع در جنوب غربی اصفهان) با زغال زیستی باگاس نیشکر بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه گوجه فرنگی در یک خاک آلوده شده با کادمیوم در یک گلخانه پژوهشی در انجام پذیرفت. طرح آزمایشی مورد نظر به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد ورمی کمپوست زباله شهری لنجان در سه سطح ۰(M_0)، ۵ (M_5) و ۱۰(M_{10}) تن در هکتار به ترتیب معادل ۰، ۲۰ و ۴۰ گرم در گلدان ۱۰ لیتری، همچنین کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر به میزان ۰ (Z_0) و ۵ درصد وزنی(Z_5) و آلودگی خاک به فلز سنگین کادمیوم از منبع نیترات کادمیوم در سطوح ۰(Cd_0)، ۱۰(Cd_{10})، ۲۰ (Cd_{20}) و ۳۰ (Cd_{30}) میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بود. قابل ذکر است که میزان آلودگی انتخاب شده بر اساس میزان آلودگی موجود در منطقه بوده است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، و زغال زیستی مورد استفاده درجدول شماره ۱ ذکر شده است.

مخلوط ورمی کمپوست زباله شهری با زغال زیستی به خاک آلوده به فلز کادمیوم اضافه شده و خاک تیمار شده به مدت یک ماه داخل گلدان پلاستیکی پنج کیلوگرمی به حال خود رها شد و در پایان دوره رشد گیاه، میوه گوجه فرنگی برداشت و بعد از شستشو با آب مقطر دو بار تقطیر در دستگاه خشک کن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا نمونه خشک شود. سپس نمونه های خشک شده آسیاب شده و ۲۰ گرم از آن در بوته چینی قرار داده شد و در کوره الکتریکی با دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت سوزانده شده تا به خاکستر تبدیل شود. سپس ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد به یک گرم خاکستر تهیه شده اضافه شده و در حمام آب گرم در دمای ۸۰-۷۰ سانتیگراد قرار داده شد تا کاملاً هضم شود.

جدول ۱: ویژگی‌های ورمی کمپوست زباله شهری لنجان و زغال زیستی مورد استفاده در این پژوهش

تیمار	pH	قابلیت هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل استفاده	کادمیم کل	سرب کل	روی کل
	-	$dS\ m^{-1}$	(%)	(%)	$(mg\ kg^{-1})$	$(mg\ kg^{-1})$	$(mg\ kg^{-1})$	$(mg\ kg^{-1})$
ورمی کمپوست	۷/۶	۳/۶	۲۲/۴	۱/۴	۹۱	۰/۱	۱/۲	۸۳
زغال زیستی	۹/۲	۷/۶	۲۵/۶	۰/۸	۱/۴	۰/۲	۰/۶	۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

پس از سرد شدن نمونه موردنظر توسط فیلتر واتمن شماره ۴۲ صاف شد و در بالن با آب مقطردو بار تقطیر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسید و در نهایت غلظت کادمیوم میوه گیاه توسط دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیت تعیین شد.[۱۰] جهت اندازه‌گیری مقدار کربن آلی (OC) در نمونه خاک یا ورمی کمپوست زباله شهری از روش اکسیداسیون تر[۱۱] استفاده شد. برای اندازه گیری pH و EC ورمی کمپوست زباله شهری یا زغال زیستی از نسبت ۱:۵ ترکیب آلی به آب و در مورد نمونه خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شده است.[۱۲] مقدار نیتروژن ورمی کمپوست زباله شهری به روش کجلدال[۱۲] اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم افزار SAS 9.1 انجام گرفت و مقایسه‌های میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مورد بررسی قرارگرفت.

برای محاسبه احتمال خطر پذیری افراد به بیماری‌های غیرسرطانی از فرمول های ارائه شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا استفاده شد به این ترتیب که ابتدا میزان جذب آلاینده از طریق ماده غذایی به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد:

$$EDI = (CF \times IR \times FI \times EF \times ED) / (BW \times AT) \quad (۱)$$

EDI: میزان جذب آلاینده از طریق ماده غذایی به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز(mg /kg-day)

CF: غلظت آلاینده در غذا (mg/kg)

IR: میزان مصرف غذا در هر وعده ($g\ day^{-1}$) که در این پژوهش میزان مصرف گوجه‌فرنگی روزانه ۱۵۰ گرم و در نظر گرفته شده است.[۱۳]

FI: مقدار آلاینده که از طریق غذا جذب بدن می‌شود. این ضریب بین ۰/۲۵ تا ۰/۴ متغییر می باشد. معمولا برای محاسبه خطر پذیری از ضریب ۰/۴ که بدترین حالت را نشان می‌دهد استفاده می‌شود.[۱۴] در این مطالعه نیز این ضریب ۰/۴ در نظر گرفته شد.

EF: دفعات مصرف در سال را نشان می‌دهد (days/years) که در این پژوهش ۳۶۵ روز در نظر گرفته شده است.[۴]

ED : تعداد سال‌هایی را که از این ماده خوراکی استفاده می‌شود را نشان می‌دهدکه برای افراد بالغ ۱۸ تا ۵۵ سال در نظر گرفته شده است.[۴]

BW: وزن بدن (kg) که در این مطالعه به طور میانگین ۶۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد.[۱۵]

AT: از حاصل ضرب ED در تعداد روزهای سال به دست می‌آید (days)

سپس احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیر سرطانی با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

$$HQ = EDI / RFD \quad (۲)$$

در این معادله :

HQ: احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی

EDI: مقدار جذب محاسبه شده از رابطه قبل

RFD: برای هر عنصر مقدار مشخصی است و نشان دهنده حداکثر غلظتی از عنصر است که برای موجودات مشکلی ایجاد نکرده است. واحد آن نیز(mg/kg/day) می‌باشد.

یافته‌ها

ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از افزایش معنی‌دار pH خاک در اثر کاربرد ورمی کمپوست زباله شهری و زغال زیستی باگاس نیشکر می‌باشد. همچنین کاربرد ۵ و ۱۰ تن در همتار کمپوست زباله شهری به ترتیب باعث افزایش ۰/۸ و ۱/۴ واحدی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شد که این می توان بر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک تاثیر به سزایی داشته باشد.

بیشترین غلظت کادمیوم قابل دسترس خاک در خاک فاقد ورمی کمپوست زباله شهری و آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بود، این در حالی است که کمترین آن در

www.SID.ir

Archive of SID

خاک تیمار شده با ۱۰ تـن در هکتـار ورمـی کمپوسـت زبالـه شهری و آلوده به ۱۰ میلـی‌گـرم کـادمیوم در کیلـوگرم خـاک مشاهده شد (جدول ۲). میزان کادمیوم قابل دسترس خـاک در خاک فاقد کادمیوم (Cd_0) زیر حد تشـخیص دسـتگاه جـذب اتمی بوده است. کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوسـت زباله شهری در خاک آلوده به ۲۰ میلی‌گرم کادمیوم به ترتیـب باعـث کـاهش ۱۴ و ۳۵ درصـدی در میـزان کـادمیوم قابـل دسترس خاک شد. کاربرد زغـال زیسـتی باگـاس نیشـکر نیـز نقش مهمی را در کاهش میزان کادمیوم قابـل دسترسـی خـاک نشان داد.

غلظت کادمیوم میوه گیاه

بیشترین غلظت کادمیوم میوه گیاه گوجه فرنگی در خـاک فاقد کـاربرد ورمـی کمپوسـت زبالـه شـهری و آلـوده بـه ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خـاک ($M_0Z_0Cd_{30}$) و کمتـرین آن در خاک تیمار شده با ۱۰ تن در هکتـار ورمـی کمپوسـت زباله شهری و آلوده به ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک ($M_{10}Z_5Cd_{10}$) مشاهده شد (جـدول ۲). میـزان کـادمیوم قابـل دسترس خاک در خاک فاقد کادمیوم (Cd_0) قابل انـدازه‌گیـری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

کاربرد زغال زیستی نیز نقش موثری را در کاهش کادمیوم میوه گیاه گوجه فرنگی داشته است، بـه نحـوی کـه کـاربرد ۵ درصد وزنی زغال زیستی باگاس نیشکر در خاک فاقد کـاربرد ورمی کمپوست زباله شهری لنجان و آلوده بـه ۳۰ میلـی‌گـرم کادمیوم باعث کاهش ۱۲درصدی در مقدار کادمیوم میوه گیـاه شده است. همچنین کاربرد ورمـی کمپوسـت زبالـه شـهری لنجان نیز تاثیر معنی‌داری بر کاهش غلظت کادمیوم میوه گیـاه داشته است، به نحوی که کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتـار ورمـی کمپوست زباله شهری لنجان در خاک آلوده به ۱۰ میلـی گـرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بـه ترتیـب باعـث کـاهش ۳۵ و۶۵ درصدی در مقدار کادمیوم میوه گیاه شده است.

جذب روزانه کادمیوم

نتـایج جـدول ۳ حـاکی از معنـی‌دار بـودن اثـر کـاربرد تیمارهـای ورمـی کمپوسـت زبالـه شـهری، زغـال زیسـتی و کادمیوم بر میزان جذب روزانه کادمیوم بـه ازاء هـر کیلـوگرم وزن بدن (EDI) می‌باشد.

جدول ۲: اثر کاربرد ورمی کمپوست زباله شـهری، زغـال زیسـتی و کـادمیوم بـر غلظـت کـادمیوم قابـل دسـترس خـاک (mg/kg) و میـوه گوجـه فرنگـی (mg/Kg wet weight)

تیمار		Z_0Cd_0	Z_0Cd_{10}	Z_0Cd_{20}	Z_0Cd_{30}	Z_5Cd_0	Z_5Cd_{10}	Z_5Cd_{20}	Z_5Cd_{30}
C_0	خاک	ND**	۳/۱۰^{j}	۷/۸۰^{e}	۱۱/۰۰^{a}	ND	۲/۱۰^{k}	۶/۲۰^{f}	۹/۸۰^{c}
	میوه	ND	۰/۵۵^{j}	۱/۴۰^{e}	۱/۹۸^{a}	ND	۰/۳۷^{k}	۱/۱۱^{f}	۱/۷۶^{c}
C_5	خاک	ND	۲/۲۰^{k}	۶/۵۰^{f}	۱۰/۲۰^{b}	ND	۱/۴۰^{l}	۵/۳۰^{g}	۸/۷۰^{d}
	میوه	ND	۰/۳۹^{k}	۱/۱۷^{f}	۱/۸۳^{b}	ND	۰/۲۵^{l}	۰/۹۵^{g}	۱/۵۶^{d}
C_{10}	خاک	ND	۱/۶۰^{l}	۴/۹۰^{h}	۸/۰۰^{e}	ND	۰/۶۰^{m}	۳/۶۰^{i}	۶/۴۰^{f}
	میوه	ND	۰/۲۸^{l}	۰/۸۸^{h}	۱/۴۴^{e}	ND	۰/۰۹^{m}	۰/۶۴^{i}	۱/۱۵^{f}

C_0، C_5 و C_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست زباله شهری، Cd_0، Cd_{10}، Cd_{20}، وCd_{30} بـه ترتیـب شـامل کـاربرد مقـادیر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، Z_0 و Z_1 کاربرد مقادیر ۰ و ۵ درصد وزنی زغال زیستی می باشد. * اعدادی که در هر پارامتر دارای حروف مشـابه آمـاری مـی‌باشـند از نظـر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند، **ND زیر حد تشخیص دستگاه بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳: اثر کاربرد ورمی کمپوست زباله شهری، زغال زیستی و کادمیوم بر میزان جذب روزانه کادمیوم ($mg\ kg^{-1}$)

تیمار	Z_0Cd_0	Z_0Cd_{10}	Z_0Cd_{20}	Z_0Cd_{30}	Z_1Cd_0	Z_1Cd_{10}	Z_1Cd_{20}	Z_1Cd_{30}
C_o	NC**	^{j}۰/۰۰۳۱	^{e}۰/۰۰۷۸	^{a}۰/۰۱۱۰	NC	^{k}۰/۰۰۲۱	^{f}۰/۰۰۶۲	^{c}۰/۰۰۹۸
C_5	NC	^{k}۰/۰۰۲۲	^{f}۰/۰۰۶۵	^{b}۰/۰۱۰۲	NC	^{l}۰/۰۰۱۴	^{g}۰/۰۰۵۳	^{d}۰/۰۰۸۷
C_{10}	NC	^{l0}/۰۰۱۶	^{h}۰/۰۰۴۹	^{e}۰/۰۰۸۰	NC	^{m}۰/۰۰۰۶	^{i}۰/۰۰۳۶	^{f}۰/۰۰۶۴

C_0، C_5 و C_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست زباله شهری، Cd_0، Cd_{10}، Cd_{20}، وCd_{30} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، Z_0 و Z_1 کاربرد مقادیر ۰ و ۵ درصد وزنی زغال زیستی می باشد. * 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، **NC: محاسبه نشده است.

بیشترین میزان جذب کادمیوم مربوط به خاک فاقد کاربرد ورمی‌کمپوست یا زغال زیستی و آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم باشد، این در حالی است که کمترین مقدار جذب روزانه کادمیوم مربوط به خاک حاوی ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست زباله شهری به همراه کاربرد ۵ درصد وزنی زغال زیستی باگاس نیشکر بوده است. لازم به ذکر است که در تیمارهایی که هیچ آلودگی کادمیومی به نمونه اضافه نشده است (Cd_0)، میزان کادمیوم قابل دسترس خاک و کادمیوم میوه گیاه زیر حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بوده است، بنابراین میزان ریسک پذیری کادمیوم محاسبه نشده است که در جدول نیز با علامت NC مشخص شده است.

کاربرد کمپوست زباله شهری کاهش معنی‌داری را در میزان روزانه جذب کادمیوم نشان داد، به نحوی که کاربرد ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری در یک خاک فاقد کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر و آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم باعث کاهش ۲۷ درصدی در میزان جذب روزانه کادمیوم شده است. همچنین کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر نیز کاهش معنی‌داری را در میزان روزانه جذب کادمیوم نشان داد، به نحوی که کاربرد ۵ درصد وزنی زغال زیستی باگاس نیشکر در خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری و آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم باعث کاهش ۳۴ درصدی در میزان جذب روزانه کادمیوم شده است.

پتانسیل خطرپذیری کادمیوم

بیشترین پتانسیل خطرپذیری بیماریهای غیر سرطانی (HQ) در اثر جذب کادمیوم مربوط به خاک فاقد کاربرد ورمی کمپوست یا زغال زیستی و آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم می‌باشد که عددی بزرگتر از یک را نشان می‌دهد (جدول ۴)، این در حالی است که کمترین پتانسیل خطرپذیری کادمیوم مربوط به خاک حاوی ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست زباله شهری به همراه کاربرد ۵ درصد وزنی زغال زیستی باگاس نیشکر بوده و آلوده به ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم بوده است. قابل ذکر است که کمترین میزان جذب روزانه کادمیوم نیز در این تیمار مشاهده شد.در اینجا نیز در تیمارهایی که هیچ کادمیومی به نمونه اضافه نشده است (Cd_0)، میزان ریسک پذیری کادمیوم محاسبه نشده است که در جدول نیز با علامت NC مشخص شده است.

همچنین نتایج این پژوهش حاکی از است که کاربرد ۲۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست زباله شهری لنجان در خاک آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم، خطر ریسک آلودگی گوجه فرنگی به فلز کادمیوم را کاهش داده است. اثر بر همکنش کاربرد ورمی کمپوست زباله شهری لنجان و زغال زیستی باگاس نیشکر بر کاهش خطر ریسک پذیری گوجه فرنگی به فلز کادمیوم معنی‌دار بود، به نحوی که کاربرد ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و ۵ درصد وزنی زغال زیستی در یک خاک آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم باعث کاهش ۳۳ درصدی خطر ریسک آلودگی گوجه فرنگی به فلز کادمیوم شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤: اثر کاربرد ورمی کمپوست زباله شهری، زغال زیستی و کادمیوم بر ریسک پذیری گوجه به فلز کادمیوم

تیمار	Z_0Cd_0	Z_0Cd_{10}	Z_0Cd_{20}	Z_0Cd_{30}	Z_1Cd_0	Z_1Cd_{10}	Z_1Cd_{20}	Z_1Cd_{30}
C_o	NC**	^{j*}۰/۷	^{e}۱/۹	^{a}۲/۷	NC	^{k}۰/۵	^{f}۱/۵	^{c}۲/۴
C_5	NC	^{k}۰/۵	^{f}۱/۶	^{b}۲/۵	NC	^{l}۰/۳	^{g}۱/۳	^{d}۲/۱
C_{10}	NC	^{l}۰/۴	^{h}۱/۲	^{e}۲/۰	NC	^{m}۰/۱	^{i}۰/۹	^{f}۱/۶

C_0، C_5 و C_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست زباله شهری، Cd_0، Cd_{10}، Cd_{20}، وCd_{30} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، Z_0 و Z_1 کاربرد مقادیر ۰ و ۵ درصد وزنی زغال زیستی می باشد. * 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، **NC: محاسبه نشده است.

بحث

غلظت کادمیوم قابل دسترس خاک

نتایج پژوهش حاضر نشان داده است که کاربرد ورمی‌کمپوست زباله شهری لنجان نقش موثری را در کاهش قابلیت دسترس کادمیوم خاک داشته است، به طوری که افزایش ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست زباله شهری در خاک آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم، کاهش ۲۵ درصدی در میزان کادمیوم قابل دسترس خاک ایجاد کرده است که این مسئله می‌تواند ناشی از تغییر ویژگی‌های جذبی نظیر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک باشد، البته ضرورت دارد نقش کاربرد ورمی‌کمپوست در افزایش pH خاک و به دنبال آن کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک نیز در نظر گرفته شود.[۱۶]

نتایج حاصل از تحقیقات گذشته نشان داده افزودنی‌های آلی ظرفیت جذب سطحی بالایی برای جذب عناصر سنگین دارند، که این به دلیل حضور گروه‌های عامل دارای بارمنفی (کربوکسیلیک، فنلیک و هیدروکسیل) در ساختار ترکیبات آلی بوده که می‌توانند کادمیوم را از محلول خاک خارج کرده و از دسترس گیاه دور کنند.[۱۱] نتایج بدست آمده از تحقیق مولایی و همکاران در ارتباط با نقش کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک با پژوهش حاضر مطابقت دارد.[۱۷]

علاوه بر این، نتایج این تحقیق نشان داد، کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر باعث افزایش ویژگی‌های جذبی خاک از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده است که این می‌تواند میزان کادمیوم قابل دسترس خاک را کاهش دهد، به نحوی که کاربرد ۵ درصد وزنی باگاس نیشکر در خاک آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم باعث کاهش ۱۵ درصدی قابلیت دسترسی کادمیوم خاک شده است که این کاهش را می‌توان مربوط به نقش گروه‌های عاملی موجود بر سطح زغال زیستی در کاهش میزان کادمیوم قابل دسترس خاک دانست.[۱۸]

بی‌ریا و همکاران نیز در تحقیقی به نقش کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم خاک اشاره کرده و دلیل آن را توان تعامل الکترواستاتیک، تبادل یونی و کمپلکس سطحی قوی زغال زیستی باگاس نیشکر با فلزات سنگین و همچنین نقش افزایش ویژگی‌های جذبی نظیر ظرفیت تبادل کاتیونی در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم خاک دانستند.[۶]

غلظت کادمیوم میوه گیاه

کاربرد ورمی کمپوست زباله شهری باعث کاهش غلظت کادمیوم میوه گیاه گوجه فرنگی شده است که این مسئله می‌تواند ناشی از تغییر ویژگی‌های جذبی خاک[۱۶] باشد، به نحوی که کاربرد ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری شهرستان لنجان در خاک آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم باعث

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش معنی داری در میزان کادمیوم میوه گیاه شده است که این میزان کادمیوم کمتر از حد مجاز کادمیوم تعیین شده برای سبزیجات برگی توسط سازمان ملی استاندارد ایران می‌باشد.[۱۳] شریفی و همکاران در پژوهشی کاربرد کمپوست زباله شهری و کود گاوی را عامل موثری در جهت کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین بیان کرده و آن را به نقش بخش معدنی و آلی موجود در این ترکیات در تثبیت فلزات سنگین نسبت دادند.[۱۹] با توجه به اینکه تجزیه افزودنی‌های آلی از قبیل کمپوست زباله شهری در دراز مدت باعث آزاد سازی مجدد فلزات سنگین می‌شود،[۱۸] کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر می‌تواند با افزایش ویژگی های جذبی خاک تا حدود زیادی مانع آزاد سازی مجدد فلزات سنگین شود. حجازی زاده و همکاران نیز در پژوهشی تأثیر بیوچار بر جذب سرب و کادمیم لجن فاضلاب کارخانه‌های کاغذ توسط آفتابگردان را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که کاربرد بیوچار نقش مهمی را در کاهش قابلیت جذب فلز سنگین توسط آفتابگردان داشته است.[۷]

جذب روزانه و پتانسیل خطرپذیری کادمیوم

بیشترین میزان جذب روزانه کادمیوم مربوط به خاک فاقد کاربرد ورمی کمپوست یا زغال زیستی و آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم باشد که این میزان جذب ۱۰ برابر حد استاندارد پیشنهاد شده توسط استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا می‌باشد، این در حالی است که بیشترین پتانسیل خطرپذیری بیماریهای غیر سرطانی در اثر جذب کادمیوم نیز مربوط این تیمار می‌باشد. تحسینی و همکاران در تحقیقی میانگین غلظت کادمیوم در گوجه فرنگی را ۴/۸ برابر استاندارد جهانی[۱۰] گزارش کردند. جعفریان و آل هاشم نیز در تحقیقی غلظت کادمیوم در گوجه فرنگی را بیش از مقدار جهانی گزارش شده توسط سازمان بهداشت جهانی فائو دانسته اند و دلیل آن را استفاده زیاد از سموم شیمیایی دانسته‌اند،[۲۰] هر چند که در این موارد به راهکارهای کاهش غلظت کادمیوم در میوه محصولات زراعی و سبزیجات اشاره‌ای نشده است. با توجه به اینکه امروزه به دلیل توسعه صنایع، غلظت فلزات سنگین در اکثر محصولات زراعی و باغی تولید شده در شهرهای صنعتی رو به افزایش بوده و از طرف دیگر با توجه به اثرات منفی کادمیوم بر سلامت انسان، یافتن راهکارهای مناسب جهت کاهش میزان جذب کادمیوم روزانه توسط انسان از طریق مصرف سبزیجاتی نظیر گوجه امری ضروری به نظر می‌رسد.

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، مصرف گوجه فرنگی کاشته شده در زمین آلوده به ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم باعث شده تا جذب روزانه کادمیوم بیشتر از حد استاندارد پیشنهاد شده توسط سازمان بهداشت جهانی شود ، این در حالی است که کاربرد ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری به همراه زغال زیستی باگاس نیشکردر خاکی با این میزان آلودگی توانسته است نقش مهمی را در کاهش میزان جذب روزانه کادمیوم در زیر حد استاندارد پیشنهاد شده توسط فائو داشته باشد (۰/۰۰۱ mg/Kg bw/day) که در این جا می‌توان به نقش و اهمیت کاربرد افزودنی های آلی در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم اشاره کرد.

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین میزان کادمیوم میوه گوجه فرنگی در خاک آلوده به ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم و فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری یا زغال زیستی باگاس نیشکر مشاهده شد، این در حالی است که کاربرد این قبیل ترکیبات توانسته نقش مؤثری در کاهش غلظت کادمیوم دسترس خاک داشته باشد. از طرف دیگر، نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت‌های بالای ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک پتانسیل بالایی برای مبتلا شدن به بیمارهای غیر سرطانی (اعداد بزرگتر از یک) در اثر مصرف کادمیوم دارد. با توجه به مطالب ذکر شده استفاده از سبزیجاتی

www.SID.ir

Archive of SID

نظیر گوجه فرنگی که جزء مهمی از زنجیره غذایی انسان به حساب می‌آید در زمین‌های آلوده بایستی با دقت بالایی صورت پذیرد و راهکارهای کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در جنین زمین‌هایی با توجه به نوع آلودگی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مورد بررسی 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. Yu G, Zheng W, Wang W, et al. Health risk assessment of Chinese consumers to Cadmium via dietary intake. J Trace Elem Med Biol 2017;44: 137-45.
2. Türkdoğan MK, Kilicel F, Kara K, et al. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. Environ Toxicol Pharmacol 2003;13(3): 175-9.
3. Abedi-Koupai J, Matin N, Javahery Tehrani M. Uptake of cadmium by cress, lettuce and tomato in Cd-contaminated soil. J Sci Technol Greenhouse Culture 2015;6(1): 41-53 [In Persian].
4. Aghili F, Khoshgoftarmanesh A, Afyuni M, Schulin R. Health risks of heavy metals through consumption of greenhouse vegetables grown in central Iran. Hum Ecolo Risk Assess 2009;15(5): 999-1015.
5. Liang J, Yang Z, Tang L, et al. Changes in heavy metal mobility and availability from contaminated wetland soil remediated with combined biochar-compost. Chemosphere 2017;181: 281-8.
6. Biria M, Moezzi A, AmeriKhah H. Effect of Sugercan bagasse,s biochar on maize plant growth, grown in lead and cadmium contaminated soil,s. J Water Soil 2016;31: 609-26 [In Persian].
7. 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 Sci 2016;26(1): 259-71.
8. Najafi-Ghiri M. Effect of Different Biochars Application on Some Soil Properties and Nutrients Availability in a Calcareous Soil. Iran J Soil Res 2015;29(3): 352-8 [In Persian].
9. Sharifi M, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh AH. Effect of Sewage Sludge, Compost and Cow Manure on Growth and Yield and Fe, Zn, Mn and Ni Uptake in Tagetes Flower. J Sci Technol Greenhouse Cult 2010;1(2): 43-54.
10. Zafarzadeh A, Rahimzadeh H. Concentration of cadmium, lead, zinc and copper in the cucumber and tomatoe in Northern Iran. J Gorgan Univ Med Sci 2015;17(1): 77-83 [In persian].
11. 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). J Soil Manage Sustain Product 2017;6(4): 103-17 [In persian].
12. 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.). J Water Soil Conserv 2013;20: 123-43 [In persian].
13. Tabande L, Taheri M. Evaluation of Exposure to Heavy Metals Cu, Zn, Cd and Pb in Vegetables Grown in the Olericultures of Zanjan Province's Fields. Iran J Health Environ 2016;9(1): 41-56 [In persian].
14. Salehipour Baversad M, Ghorbani H, Afyuni M, KheirAbadi H. The Potential Risk Assessment of Heavy Metals on Human Health in Some Agricultural Products in Isfahan Province. J Water Soil Sci 2014;18(67): 71-81 [In persian].
15. Khoshgoftarmanesh AH, Aghili F, Sanaeiostovar A. Daily intake of heavy metals and nitrate through greenhouse cucumber and bell pepper consumption and potential health risks for human. Int J Food Sci Nutr 2009;60: 199-208.
16. Baghaie A, Khoshgoftarmanesh AH, Afyuni M, Schulin R. The role of organic and inorganic fractions of cow manure and biosolids on lead sorption. Soil Sci Plant Nutr 2011;57(1): 11-8.
17. Molaei S, Shirani H, Hamidpour M, et al. 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. J Water Soil Sci 2016;19(74): 113-24 [In persian].
18. Basta N, Ryan J, Chaney R. Trace element chemistry in residual-treated soil. J Environ Qual 2005;34(1): 49-63.
19. Sharifi M, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh A. Effects of sewage sludge, animal manure, compost and cadmium chloride on cadmium accumulation in corn and alfalfa. J Res Sci Tech 2010;7(4): 219-25.
20. Jafarian-Dehkordi A, Alehashem M. Heavy metal contamination of vegetables in Isfahan, Iran. Res pharm Sci 2013;8(1): 51.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Environmental Health Engineering, February 2018; Vol. 5, No. 2: 147-156

Investigation of Cd Risk Assessment from Tomato Consumption in A Soil Treated with Sugarcane Bagasse Biochar and Municipal Waste Vermi-Compost

Amir Hossein Baghaie[1]

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

**** E-mail: a-baghaie@iau-arak.ac.ir***

Received: 03 Aug. 2017 ; Accepted: 26 Nov. 2017

ABSTRACT

Background and objective: Regards to the importance of using safe vegetables, controlling the concentrations of heavy metals is necessary for consumer's health. Therefore, this study was aimed to evaluate the effect of sugarcane bagasse biochar and municipal waste vermi-compost on the changes in cadmium risk assessment from tomato consumption.

Methods: Treatments were consisting of applying municipal waste vermi- compost (0, 5and 10 t ha^{-1}) enriched with 0 and 5% (W/W) sugarcane bagasse biochar in a polluted soil (0, 10, 20 and 30 mg Cd kg^{-1} soil) and plant in this experiment was Tomato. Cd fruit concentration was measured by AAS. Risk assessment to non-cancer diseases was estimated using USEPA formula.

Results: Applying 10 t ha^{-1} municipal waste vermi-compost in a 30 mg Cd polluted soil caused a significant decreasing in Cd fruit tomato by 25%, While, daily Cd absorption from tomato consumption and Cd dangerous Potential to noncancerous diseases was also decreased by 27 and 22 %, respectively

Conclusions: The results of this study showed that applying Lenjan municipal waste vermi-compost and sugarcane bagasse biochar caused decreasing Cd availability in soil and Cd absorption from tomato consumption that is a positive point in reduction Cd dangerous Potential to noncancerous diseases.

Keywords: Cd, Tomato, Risk assessment, Municipal waste vermi-compost

www.SID.ir