اثر افزایش سربارۀ آهن و کمپوست لجن فاضلاب شهری به خاک بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه همیشه بهار

امیرحسین بقائی[1]*

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۰

چکیده

اهداف اثر متقابل فلزات سنگین با برخی عناصر از قبیل آهن بر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک تأثیر دارد، ازاین‌رو پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک غنی‌شده با سربارۀ آهن بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه همیشه بهار بررسی شد.

مواد و روش‌ها تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک غنی‌شده با ۰ و ۵ درصد وزنی آهن خالص سربارۀ فولاد مبارکۀ اصفهان در خاک آلوده‌شده با مقادیر ۰، ۵، ۱۰ و۱۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بوده است. بعد از گذشت ۶۰ روز از شروع آزمایش، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و غلظت کادمیوم ریشه و شاخسارۀ گیاه همیشه بهار اندازه‌گیری شد و مقایسۀ میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

یافته‌ها افزایش کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک از ۰ به ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار در خاک آلوده به ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب باعث کاهش ۱۵و ۳۵ درصدی در مقدار کادمیوم قابل‌دسترس خاک شد، این در حالی است که مقدار آهن قابل‌دسترس خاک به ترتیب ۵/۶ و ۸/۴ برابر افزایش یافت. مشابه این نتیجه، غلظت کادمیوم ریشه و شاخساره نیز به ترتیب ۲۴ و ۱۸ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک غنی‌شده با ۵ درصد آهن خالص احتمالاً توانسته است با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک باعث افزایش قابلیت دسترسی آهن در خاک و گیاه و به دنبال آن کاهش قابلیت جذب کادمیوم شود.

کلیدواژه‌ها:
کادمیوم، سربارۀ آهن، قابلیت دسترسی، لجن فاضلاب شهری، کمپوست

مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی جهان است [۱]. حضور فلزات سنگین در خاک سلامت انسان، دام، گیاه و در مجموع محیط‌زیست را تهدید می‌کند [۲]. بنابراین تلاش‌های زیادی به‌منظور کاهش آلاینده‌های خطرناک و در نتیجه ممانعت از آثار مخرب آن‌ها بر انسان‌ها، جانوران و گیاهان لازم است [۳]. مقادیر فراوان این عناصر در خاک، فرصت کاهش آثار و کنترل آن‌ها را به خاک نمی‌دهد و به آلودگی محصولات کشاورزی و آب‌های زیرزمینی می‌انجامد [۴]. شایان ذکر است که شرایط فیزیکوشیمیایی خاک و نوع فلز آلوده‌کننده نیز نقش مهمی در الویت ارزیابی و رفع آلودگی خاک به فلزات سنگین دارد. در بین فلزات

* **نویسندۀ مسئول: امیرحسین بقائی**
نشانی: گروه خاک‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

تلفن: ۰۹۱۳۱۶۹۶۷۲۱
رایانه: a-baghaie@iau-arak.ac.ir
شناسه ORCID: 0000-0002-8936-1202

مجلۀ علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، دورۀ ۲۵، شمارۀ ۵، آذر و دی ۱۳۹۷، ص
آدرس سایت: http://jsums.medsab.ac.ir رایانامه: journal@medsab.ac.ir
شاپای چاپی: ۷۴۸۷-۱۶۰۶

Archive of SID
www.SID.ir

سنگین، کادمیوم به دلیل تحرک‌پذیری بالا، نقش مهمی را در آلوده‌سازی خاک داشته و بایستی با دقت بیشتری بررسی شود. کادمیوم به راحتی از طریق ریشهٔ گیاه جذب می‌شود و آثار ناشی از سمیت آن تا ۲۰ برابر بیشتر ازدیگر فلزات سنگین است [۵].

روش‌های مختلفی برای حذف یا تثبیت فلزات سنگین، اصلاح خاک‌های آلوده و جلوگیری از ورود فلزات سنگین به چرخهٔ غذایی وجود دارد. مهم‌ترین این روش‌ها عبارت‌اند از: تثبیت شیمیایی با افزایش برخی مواد غیر سمی به خاک، برداشت خاک سطحی آلوده و جایگزین کردن با خاک غیر آلوده، شستشوی درجا با مواد شیمیایی، رقیق کردن خاک سطحی طی مخلوط کردن آن با خاک عمقی و گیاه پالایی [۶]. تکنیک‌های مذکور به‌جز تثبیت و گیاه پالایی در بسیاری مواقع گران و مقرون‌به‌صرفه نیستند و می‌توانند باعث گستردگی آلودگی در خاک شوند. روش تثبیت، امروزه گسترش زیادی پیدا کرده است. در این‌باره افزودنی‌های زیادی نظیر آهک، زئولیت کانی‌های رسی، کمپوست، خاکسترهای آتش‌فشانی، کانی‌های فسفاته، اکسید و هیدروکسیدهای آهن و بقایای گیاهی استفاده می‌شود. همچنین موارد ذکر شده با تغییر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک می‌توانند قابلیت دسترسی عناصر را تغییر دهند [۷].

نتایج بسیاری از پژوهش‌ها حاکی از آن است که استفاده از کودهای آلی با افزایش ویژگی‌های جذبی خاک باعث تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک می‌شوند [۷]، هرچند که در این میان نقش برهمکنش عناصر موجود در ترکیبات آلی بر تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک و گیاه نباید نادیده گرفته شود. نتایج پژوهش شریفی و همکاران حاکی از نقش بخش معدنی و آلی کود گاوی و لجن فاضلاب بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک بوده است[۸]. همچنین مولایی و همکاران در پژوهشی به تأثیر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های رویشی گیاه ذرت و غلظت کادمیوم در گیاه اشاره داشتند. این محققان چنین نتیجه گرفتند که کاربرد لجن فاضلاب و پوست پسته، غلظت کادمیوم و دیگر فلزات سنگین در ریشه و شاخسارهٔ گیاه را به‌طور معناداری کاهش می‌دهد[۹]. همچنین در تمامی موارد ذکر شده، فقط به نقش کاربرد ترکیبات آلی در کاهش قابلیت دسترسی عناصر توجه شده، ولی به نقش برهمکنش عناصر در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک و گیاه اشاره‌ای نشده است. [۱۰, ۱۱].

ملک‌زاده و همکاران در پژوهشی گزارش کردند که با افزایش سطوح کادمیوم به مقدار ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، جذب آهن و روی در گیاه به‌صورت معناداری کاهش می‌یابد [۱۲]. همچنین تبرته فراهانی و همکاران در پژوهشی گزارش کردند که با افزایش غلظت کادمیوم، جذب کل آهن، منگنز و روی به‌وسیلهٔ گیاه و تجمع آن‌ها در شاخسارهٔ گیاه به‌طور معناداری در ذرت کاهش یافت [۱۳]. شایان ذکر است که این آثار برهمکنش به شرایط فیزیکوشیمیایی خاک و نقش آن‌ها در تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک بستگی زیادی دارد، که در این پژوهش‌ها به آن‌ها اشاره‌ای نشده است.

امروزه به دلیل آلوده بودن خاک‌های مناطق صنعتی به فلزات سنگین و افزایش روزافزون این فلزات، پاک‌سازی آن‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین بایستی به دنبال راهکاری بود تا بتوان قابلیت دسترسی آن‌ها را کاهش داد که از جمله می‌توان به برهمکنش آهن و فلزات سنگین اشاره کرد. با توجه به شباهت ژئوشیمیایی کادمیوم با آهن [۱۴]، استفاده از ترکیبات آهن نظیر اکسید آهن می‌تواند نقش مهمی در تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین داشته باشد. غنی‌سازی کودهای آلی با این فلز[۱۵] احتمالاً راهکار مناسبی برای کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم است. تاکنون مطالعاتی دربارهٔ استفاده از ضایعات جانبی صنایع آهن و فولاد برای افزایش قابلیت دسترسی آهن توسط گیاه صورت پذیرفته است [۱۶]، لیکن در این پژوهش‌ها به اثر برهمکنش آهن با فلزات سنگین در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین اشاره‌ای نشده است.

با توجه به اینکه گیاه همیشه بهار یکی از گونه‌های رایج گیاهان دارویی در اراضی کشاورزی شهرستان اراک بوده و آلودگی این گیاه به کادمیوم مضرات زیادی را در پی دارد، ارائهٔ راهکار مناسبی برای کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم امری ضروری است. این پژوهش با هدف بررسی اثر سربارهٔ آهن بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه همیشه بهار در خاک تیمار شده با کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک در شرایط گلخانه صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش گلدانی در گلخانهٔ پژوهشی شهرک مهاجران با هدف بررسی اثر غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک (با ۵ درصد آهن خالص از ترکیب سربارهٔ آهن به‌عنوان محصول جانبی شرکت فولاد مبارکه اصفهان) بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک آلوده به این عنصر انجام شد. طرح آزمایشی مورد نظر به‌صورت آزمایش فاکتوریل

Archive of SID
www.SID.ir

در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک در سه سطح ۰(V_0)، ۱۵ (V_{15}) و ۳۰ (V_{30}) تن در هکتار غنی‌شده با سربارهٔ آهن به میزان ۰ (S_0) و ۵ (S5) درصد آهن خالص از ترکیب سرباره فولاد (۱۵) و آلودگی خاک به فلز سنگین کادمیوم از منبع کلرید کادمیوم در سطوح ۰(Cd_0)، ۵ (Cd_5)، ۱۰ (Cd_{10}) و ۱۵ (Cd_{15}) میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک [۱۷, ۱۸] است. برای بررسی نقش غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک با سربارهٔ آهن‌بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و گیاه همیشه بهار، خاکی با دوازده درصد آهک و کربن آلی نسبتاً پایین از روستای پاکل واقع در ۳۰ کیلومتری اراک برداشت شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کمپوست لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

جدول۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و کمپوست لجن فاضلاب مورد استفاده در این پژوهش

تیمار	pH ----	قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	کربن آلی (%)	بافت -----	آهک (%)	کادمیوم کل ($mg\ kg^{-1}$)	آهن کل ($mg\ kg^{-1}$)	گنجایش تبادل کاتیونی خاک ($Cmol(+)\ kg\ soil^{-1}$)
خاک	۷/۱	۰/۸	۰/۱۲	Loamy	۱۲	۱	۲	۱۲/۴
کمپوست	۷/۸	۱۲/۳	۲۵/۸	------	۲	۰/۴	۵۶۰	۲۸/۷

بیشتر از ۶۰/۲ درصد ترکیب سرباره فولاد مبارکه مورد استفاده در این تحقیق را اکسید آهن از نوع اکسید آهن سه‌ظرفیتی و ۲۷/۴ درصد این ترکیب را اکسید آهن دو ظرفیتی تشکیل داده است و عناصر کلسیم و سیلیسیم در درجهٔ بعدی قرار دارد، هرچند که کیفیت لجن به نوع کوره و فنّاوری استفاده شده بستگی دارد و ترکیب شیمیایی آن در کارخانه‌های مختلف متفاوت است [۱۶]. شایان ذکر است که شرایط فیزیکوشیمیایی خاک از قبیل pH و گنجایش تبادل کاتیونی خاک می‌تواند حلالیت عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار دهد.

کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک با مقادیر فوق‌الذکر با سربارهٔ آهن غنی‌شده و به مدت سه ماه در دمای اتاق به حالت خود رها شد [۱۵]، از سویی دیگر، خاک مورد استفاده با روش اسپری در مقادیر فوق‌الذکر به فلز کادمیوم آلوده شد. برای رسیدن به تعادل نسبی، نمونه خاک‌های آلوده‌شده به کادمیوم نیز مدت یک ماه به حالت خود رها شد [۱۹]. سپس کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک غنی‌شده در مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار به خاک آلوده به کادمیوم اضافه شده و خاک تیمار شده به مدت یک ماه داخل گلدان پلاستیکی ۵ کیلوگرمی به حال خود رها شد و در این مدت برای به تعادل رسیدن، مرتباً خاک تیمار شده تا حد رسیدن به ظرفیت زراعی مزرعه تر و خشک شد [۱۵]. بذور گل همیشه بهار (*Calendula officinalis*) در جعبه‌های کشت نشاء، کشت شد. زمانی که گیاهان به مرحلهٔ چهار برگی رسیدند گیاهانی هم‌اندازه (از لحاظ طول و وزن) انتخاب و به داخل گلدان‌های اصلی انتقال داده شد. در هر گلدان پنج بوته کشت شد که در نهایت به سه بوته تقلیل داده شد. آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر هر سه تا چهار روز یک‌بار (بسته به نیاز آبی گیاه) انجام شد.

برداشت بوته‌های گیاه همیشه بهار ۱۲۰ روز پس از کاشت انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجهٔ سلسیوس در خشک‌کن قرار داده شد، سپس نمونه‌ها توسط آسیاب برقی به پودر تبدیل شده و در ظروف پلاستیکی نگه‌داری شد. نمونه‌ها در دمای ۴۸۰ درجهٔ سلسیوس خاکستر و غلظت فلزات سنگین بعد از عصاره‌گیری نمونه‌های با روش هضم سه اسید با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ اندازه‌گیری شد [۲۰]. همچنین میزان کادمیوم کل موجود در نمونهٔ خاک [۲۱] و عناصر سنگین موجود در کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک [۲۲] با دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

هم‌زمان با برداشت گیاه، از خاک گلدان‌های تحت کشت گیاه همیشه بهار برای تعیین ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک، پس از هواخشک شدن و کوبیدن، از الک دو میلی‌متری گذرانده و برای تجزیهٔ مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری مقدار کربن آلی در نمونهٔ خاک یا کمپوست لجن فاضلاب از روش اکسیداسیون تر [۷] و گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش کلرید باریم اندازه‌گیری شد [۲۳]. بافت خاک به روش هیدرومتری [۸] اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری pH و قابلیت هدایت الکتریکی کمپوست لجن فاضلاب از نسبت ۱:۵ کود به آب و دربارهٔ نمونهٔ خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شده است [۲۱]. مقدار آهک خاک به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون اسید اضافی با سود [۱۳] تعیین شد. مقدار نیتروژن کمپوست لجن فاضلاب به روش کجلدال [۲۱] اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک

Archive of SID
www.SID.ir

نرم‌افزار SAS انجام گرفت و مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

یافته‌ها

اثر تیمارهای آزمایش بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

کاربرد ۱۵ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک به خاک باعث افزایش معنادار ۰/۴ واحدی در pH خاک نسبت به خاک فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شد در حالی که کاربرد ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک اختلاف معناداری را در pH خاک نسبت به ۱۵ تن در هکتار نشان نداد. اثر سادهٔ کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک به‌ترتیب باعث افزایش گنجایش تبادل کاتیونی خاک از ۱۲/۴ در خاک فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب به ۱۳/۸ و ۱۵/۷ سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک شد. همچنین کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک به ترتیب باعث افزایش ۰/۴ و۰/۸ درصد در افزایش کربن آلی خاک شد.

بیشترین میزان کادمیوم قابل‌دسترس خاک در تیمار فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک و آلوده به ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک ($V_0S_0Cd_{15}$) بود (جدول ۲)، این در حالی است که کمترین مقدار آهن قابل‌دسترس خاک در این تیمار مشاهده شد (جدول ۲). صرفه‌نظر از تیمارهایی (Cd_0) که مقدار کادمیوم آن‌ها قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است، کمترین مقدار کادمیوم قابل‌دسترس در خاک حاوی ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک غنی‌شده با سرباره و آلوده به ۵ میلی‌گرم کادمیوم مشاهده شد، این در حالی است که مقدار آهن قابل‌دسترس خاک در این تیمار نیز مقدار بالایی را در مقایسه با دیگر تیمارها به خود اختصاص داده است. نکتهٔ جالب توجه در این پژوهش حاکی از آن است که در تیمار $V_{30}S_5Cd_0$ که مقدار کادمیوم قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است بیشترین مقدار آهن قابل‌دسترس خاک مشاهده شد.

جدول۲. اثر کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک، سربارهٔ آهن و کادمیوم بر مقدار کادمیوم و آهن قابل‌دسترس خاک ($mg\ kg^{-1}$)

تیمار	V_0S_0		V_0S_5		$V_{15}S_0$		$V_{15}S_5$		$V_{30}S_0$		$V_{30}S_5$	
	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن
Cd_0	ND**	۷/۸^{q*}	ND	۸۵/۱^{f}	ND	۲۲/۸^{n}	ND	۱۰۰/۱^{c}	ND	۳۶/۴l	ND	۱۱۷/۳^{a}
Cd_5	۴/۲^{l*}	۳/۲^{r}	۳/۹^{m}	۸۰/۰^{g}	۳/۳^{n}	۱۸/۹^{o}	۲/۶^{o}	۹۲/۳^{d}	۲/۱^{p}	۲۹/۴^{m}	۱/۳^{q}	۱۰۴/۱^{b}
Cd_{10}	۱۰/۶^{f}	۲/۸r	۹/۳^{g}	۶۶/۱^{j}	۹/۱^{h}	۱۵/۴^{p}	۸/۱^{i}	۷۷/۲^{h}	۶/۹^{j}	۲۳/۶^{n}	۵/۲^{k}	۸۹/۲^{e}
Cd_{15}	۱۵/۳^{a}	۱^{r}	۱۴/۹^{b}	۵۷/۸^{k}	۱۳/۵^{c}	۶/۳^{q}	۱۲/۱^{d}	۶۹/۷^{i}	۱۱/۵^{e}	۱۷/۱^{o}	۸/۸^{h}	۷۷/۰^{h}

غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب شهری با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب سربارهٔ آهن فولادسازی توانسته است تأثیر معناداری را در تثبیت کادمیوم و در نهایت کاهش قابلیت دسترسی آن در خاک داشته باشد. غنی‌سازی ۱۵و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک با سربارهٔ آهن در خاک آلوده به ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به ترتیب باعث کاهش۱/۴ و ۲/۷ واحدی در مقدار کادمیوم قابل‌دسترس خاک (جدول ۲) و افزایش ۱۱ و ۴/۵ برابری در مقدار آهن قابل‌دسترس شده است.

کاربرد ۵ درصد آهن خالص از ترکیب سربارهٔ آهن فولادسازی در خاک فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب و آلوده به ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک نیز به ترتیب باعث کاهش ۱/۳ و ۰/۴ واحدی در میزان کادمیوم قابل‌دسترس خاک شد، این در حالی است که به ترتیب افزایش معنادار ۲۳/۶ و۵۷ برابری در میزان آهن قابل‌دسترس خاک شد. کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب در خاک آلوده به ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش ۱۲ و ۲۵ درصدی در مقدار کادمیوم قابل‌دسترس خاک شده است.

غلظت کادمیوم ریشه و شاخساره همیشه بهار

بیشترین میزان کادمیوم ریشهٔ گیاه در خاک فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب و آلوده به ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک ($V_0S_0Cd_{15}$) مشاهده شد (جدول۳)، این در حالی است که بیشترین مقدار کادمیوم قابل‌دسترس خاک نیز در این تیمار مشاهده شد (جدول ۲). شایان ذکر است که مقدار آهن قابل‌دسترس در خاک، در این تیمار قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبود.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. اثر کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک، سرباره آهن و کادمیوم بر غلظت کادمیوم و آهن ریشه همیشه بهار ($mg\ kg^{-1}$)

تیمار	V_0S_0		V_0S_5		$V_{15}S_0$		$V_{15}S_5$		$V_{30}S_0$		$V_{30}S_5$	
	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن
Cd_0	ND**	۵۳/۹^{q*}	ND*	۵۱۵/۳^{h}	ND	۲۱۷/۲^{m}	ND	۹۲۲/۳^{b}	ND	۳۰۹/۲^{k}	ND	۱۰۰۵/۰^{a}
Cd_5	۱۲۳/۲^{g*}	۳۳/۶^{r}	۱۱۱/۳^{h}	۴۵۵/۰^{i}	۸۳/۴^{i}	۱۸۳/۲^{n}	۶۵/۱^{k}	۷۵۰/۰^{e}	۶۳/۴^{k}	۲۷۰/۳^{l}	۴۷/۹^{l}	۹۳۰/۲^{b}
Cd_{10}	۱۴۲/۸^{e}	ND**	۱۳۲/۸^{f}	۴۰۰/۰^{j}	۱۲۱/۲^{g}	۱۷۰/۲^{o}	۱۱۱/۳^{h}	۶۷۰/۰^{f}	۸۶/۲^{i}	۲۱۹/۳^{m}	۶۴/۵^{k}	۸۴۰/۲^{c}
Cd_{15}	۱۸۲/۳^{a}	ND	۱۷۴/۱^{b}	۳۱۸/۰^{k}	۱۶۳/۲^{c}	۱۲۵/۴^{p}	۱۵۴/۶^{d}	۶۱۰/۰^{g}	۱۱۲/۵^{h}	۱۹۰/۲^{n}	۷۹/۳^{j}	۷۹۰/۴^{d}

صرفه‌نظر از تیمارهایی که مقدار کادمیوم آن‌ها قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است (Cd_0)، کمترین مقدار کادمیوم ریشهٔ گیاه در خاک حاوی ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب غنی‌شده با سرباره و آلوده به ۵ میلی‌گرم کادمیوم مشاهده شد. همچنین نتایج مشابهی در مقدار کادمیوم قابل‌دسترس خاک در همین تیمار مشاهده شد. این در حالی است که مقدار آهن قابل‌دسترس خاک (جدول ۲) و ریشهٔ گیاه (جدول ۳) روند افزایشی را نشان داده است. همچنین در تیمار $V_{30}S_5Cd_0$ که مقدار کادمیوم ریشهٔ گیاه به دلیل پایین بودن میزان آن، قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است، بیشترین مقدار آهن ریشهٔ گیاه (جدول ۳) مشاهده شد.

کاربرد کمپوست لجن فاضلاب در خاک آلوده به کادمیوم نقش مؤثری در کاهش میزان کادمیوم ریشهٔ گیاه داشته است، به‌نحوی‌که کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب (بدون غنی‌سازی با سربارهٔ آهن) در خاک آلوده به ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش ۱۱ و ۳۹ درصدی در میزان کادمیوم ریشهٔ گیاه شد.

غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب با سربارهٔ آهن نیز نقش مؤثری در کاهش مقدار کادمیوم ریشهٔ گیاه داشت، به‌نحوی‌که کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب غنی‌شده با ۵ درصد آهن خالص از منبع سربارهٔ آهن در خاک آلوده به ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به ترتیب باعث کاهش ۶ و ۳۰ درصدی در غلظت کادمیوم ریشهٔ گیاه شد، این در حالی است که کاربرد تیمارهای مذکور به ترتیب باعث افزایش ۴ و ۴/۵ برابری در مقدار آهن ریشهٔ گیاه شد.

بیشترین میزان کادمیوم شاخسارهٔ گیاه در خاک فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب و آلوده به ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک ($V_0S_0Cd_{15}$) است (جدول ۴). بیشترین مقدار کادمیوم ریشه گیاه نیز در این تیمار مشاهده شد. همچنین مقدار آهن شاخسارهٔ گیاه در این تیمار، قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبود (جدول ۴). صرفه‌نظر از تیمارهایی (Cd_0) که مقدار کادمیوم آن‌ها قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است، کمترین مقدار کادمیوم شاخسارهٔ گیاه در خاک حاوی ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب غنی‌شده با سرباره و آلوده به ۵ میلی‌گرم کادمیوم مشاهده شد. شایان ذکر است که نتایج مشابهی در مقدار کادمیوم قابل‌دسترس خاک و ریشهٔ گیاه در همین تیمار مشاهده شد. این در حالی است که مقدار آهن قابل‌دسترس خاک، ریشه و شاخساره گیاه افزایش معناداری را نشان داده است (جدول ۴). همچنین در تیمار $V_{30}S_5Cd_0$ که مقدار کادمیوم شاخساره گیاه به دلیل پایین بودن میزان آن، قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است بیشترین مقدار آهن شاخساره گیاه مشاهده شد. در تمامی تیمارهای یادشده غلظت کادمیوم شاخساره کمتر از غلظت کادمیوم ریشه گیاه است.

جدول ۴. اثر کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک، سربارهٔ آهن و کادمیوم بر غلظت کادمیوم و آهن شاخسارهٔ همیشه بهار ($mg\ kg^{-1}$)

تیمار	V_0S_0		V_0S_5		$V_{15}S_0$		$V_{15}S_5$		$V_{30}S_0$		$V_{30}S_5$	
	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن
Cd_0	ND**	۹/۳^{m*}	ND	۳۲/۳^{j}	ND	۵۶/۶^{g}	ND	۱۲۳/۲^{d}	ND	۶۹/۲^{f}	ND	۱۶۴/۳^{a}
Cd_5	۱۲/۸^{g*}	۵/۲^{n}	۱۰/۹^{i}	۱۶/۶^{l}	۸/۶^{j}	۴۲/۴^{h}	۷/۲۳^{k}	۹۴/۶^{e}	۷/۳^{k}	۵۴/۴^{g}	۶/۲^{l}	۱۴۶/۲^{b}
Cd_{10}	۱۷/۳^{c}	ND**	۱۱/۶^{h}	۱۰/۲^{m}	۱۳/۶^{f}	۳۴/۱^{j}	۱۰/۱^{i}	۳۸/۴^{i}	۱۱/۴^{h}	۴۳/۶^{h}	۸/۲^{i}	۱۳۴/۵^{c}
Cd_{15}	۲۵/۱^{a}	ND	۲۰/۱^{b}	۳/۸^{n}	۱۶/۱^{d}	۲۸/۳^{k}	۱۴/۸^{e}	۳۴/۶^{j}	۱۲/۴^{g}	۳۳/۳^{j}	۶/۴^{l}	۱۲۵/۶^{d}

Archive of SID
www.SID.ir

غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب با سربارهٔ آهن نیز نقش مؤثری در غلظت کادمیوم شاخسارهٔ گیاه داشت، به‌نحوی‌که غنی‌سازی ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب سربارهٔ آهن در خاک آلوده به ۵ میلی‌گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش ۱/۳ و ۶ واحدی در میزان کادمیوم شاخسارهٔ گیاه و افزایش ۱/۲ و ۳/۷ برابری در میزان آهن شاخسارهٔ گیاه شد.کاربرد کمپوست لجن فاضلاب در خاک آلوده به کادمیوم نقش مؤثری در کاهش میزان کادمیوم شاخسارهٔ گیاه داشته است، به‌نحوی‌که کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب (بدون غنی‌سازی با سربارهٔ آهن) در خاک آلوده به ۱۵ میلی‌گرم کادمیوم به‌ترتیب باعث کاهش ۳۶ و ۵۱ درصدی در میزان کادمیوم شاخسارهٔ گیاه شد، این در حالی است که نتایج مشابهی نیز دربارهٔ میزان کادمیوم قابل‌دسترس خاک و ریشهٔ گیاه مشاهده شد.

بحث

اثر تیمارهای مورد آزمایش بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

افزایش معنادار pH خاک در نتیجهٔ کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک توانسته است قابلیت دسترسی فلزات سنگین از جمله کادمیوم را تحت تأثیر قرار دهد [۲۴]. نقش کاربرد کودهای آلی از جمله کمپوست لجن فاضلاب شهری در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک توسط محققان مختلف بیان‌شده است [۷, ۲۵]. با توجه به اینکه کودهای آلی حاوی بارهای وابسته به pH هستند، اضافه کردن این قبیل ترکیبات با افزودن بار منفی خاک می‌توانند قابلیت دسترسی فلزات سنگین از جمله کادمیوم را در خاک آلوده به این فلز کاهش دهند. افزایش معنادار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک پس از کاربرد لجن فاضلاب شهری اراک، در این تحقیق نیز تأییدکنندهٔ این مطلب است. شایان ذکر است که صرفه نظر از تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، اثر برهمکنش آهن و کادمیوم نیز می‌تواند قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک را تحت تأثیر قرار دهد.

اثر رقابتی آهن و کادمیوم [۱۰] در این پژوهش نقش مؤثری را در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک آلوده به این عنصر نشان داد، به‌نحوی‌که غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب شهری با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب سربارهٔ آهن فولادسازی توانسته است تأثیر معناداری را در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک داشته باشد. کاربرد آهن، موجب کاهش پیوند فلز سنگین با عوامل کلاته‌کننده شده (عوامل کلاته‌کننده که در انتقال آهن در گیاه نقش دارند در شرایط کمبود آهن با فلز سنگین پیوند برقرار می‌کنند) و فلز سنگین کمتری جذب گیاه می‌شود [۲۶]. در این راستا تفویضی و متشرع‌زاده در پژوهشی گزارش کردند که کاربرد آهن از جذب فلز سنگین توسط گیاه جلوگیری و موجب کاهش آثار آن در گیاه می‌شود [۲۷].

با وجود تمامی مطالب ذکر شده، صرفه‌نظر از نقش اثر رقابتی آهن و کادمیوم [۱۰]، کاربرد کمپوست لجن فاضلاب نیز در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک آلوده به این عنصر می‌تواند تأثیر بسزایی داشته باشد. نکتهٔ قابل‌توجه این موضوع در این است که هرچند در پژوهش حاضر نیز کاربرد کمپوست لجن فاضلاب باعث افزایش میزان آهن قابل‌دسترس خاک و همچنین کاهش میزان کادمیوم قابل‌دسترس خاک شده است (اثر رقابتی آهن و کادمیوم)، ولی نقش بخش معدنی و آلی کمپوست لجن فاضلاب در کاهش میزان کادمیوم قابل‌دسترس خاک نیز نبایستی نادیده گرفته شود. برای مثال شریفی و همکاران در پژوهشی به نقش کاربرد کودهای آلی در کاهش میزان کادمیوم قابل‌دسترس خاک اشاره داشتند [۸]. همچنین باستا و همکاران نیز به نقش گروه‌های عاملی موجود در ترکیبات آلی در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک اشاره داشته و افزایش pH خاک را عامل مؤثری در کاهش قابلیت دسترسی عناصر بیان کرده و دلیل آن را بارهای منفی وابسته به pH موجود در این ترکیبات دانستند [۲۸]. در پژوهشی دیگر توسط مولایی و همکاران تأثیر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های رویشی و غلظت کادمیوم، روی و سرب در ذرت در خاک آلوده به عناصر سنگین بررسی شده و چنین نتیجه‌گیری شده که بخش آلی و معدنی موجود در این ترکیبات نقش مؤثری در کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک داشته است. و مواد هومیک حاصل از مواد آلی، ظرفیت جذب سطحی زیادی برای عناصر سنگین دارند [۹]. مواد آلی به دلیل داشتن گروه‌های عامل دارای بار منفی (کربوکسیلیک، فنلیک، هیدروکسیل)، می‌توانند فلزات سنگین را از محلول خاک جذب سطحی کرده و از دسترس گیاه خارج سازند[۲۹].

کاراسکوراو- دورین و فلوریز با بررسی اسپکتروسکوپی (طیف مادون قرمز) جذب فلزات سنگین توسط ورمی‌کمپوست، گزارش کردند که گروه‌های عامل کربوکسیل و فنلی، نقش مهمی در جذب سطحی فلزات سنگین توسط ترکیبات آلی دارند [۳۰]. نتایج مطالعهٔ ماتوس و آرودا نشان

Archive of SID
www.SID.ir

داد که لجن فاضلاب، تمایل زیادی به جذب سطحی فلزات سنگین دارد. همچنین محققان بیان کردند که علاوه بر کمپلکس شدن عناصر سنگین توسط گروه‌های عامل مواد آلی، رسوب آن‌ها با ترکیبات فسفرهٔ موجود در لجن فاضلاب می‌تواند یکی از عوامل مهم در کاهش قابلیت دسترسی آن‌ها توسط گیاه باشد [۲۹]. کیم و همکاران نیز بخش معدنی موجود در ترکیبات آلی را از مهم‌ترین عوامل کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک‌های آلوده به این عناصر دانستند [۳۱].

غلظت کادمیوم ریشهٔ همیشه بهار

کاربرد کمپوست لجن فاضلاب در خاک آلوده به کادمیوم نقش مؤثری در کاهش میزان کادمیوم ریشهٔ گیاه داشته است نتایج مشابهی نیز دربارهٔ میزان کادمیوم قابل‌دسترس خاک مشاهده شد. فولادی فرد و عظیمی به ارزیابی تمایل جذب فلزات نیکل و کادمیم توسط تودهٔ زیستی حاصل از کمپوست لجن فاضلاب در مقایسه با دیگر جاذب‌ها پرداخته و به این نتیجه رسیدند کاربرد این ترکیبات راندمان جذب فلزات سنگین را افزایش داده و افزایش pH را نیز عامل مؤثری برای بالا بردن ظرفیت جذب فلزات سنگین دانستند [۳۲]، هرچند که این مطالعه در محیط آزمایشگاهی صورت پذیرفته و شرایط خاک می‌تواند تأثیر بسزایی در تغییر ویژگی‌های جذب ترکیبات آلی داشته باشد[۳۲].

غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب با سربارهٔ آهن نیز نقش مؤثری در کاهش مقدار کادمیوم ریشهٔ گیاه داشت که دلیل احتمالی آن را می‌توان برهمکنش آهن و کادمیوم در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم خاک و به دنبال آن کاهش کادمیوم ریشهٔ گیاه دانست. کمپوست لجن فاضلاب، بیشترین تمایل جذب سطحی را در بین فلزات سنگین نسبت به کادمیوم دارد. کمپلکس شدن عناصر سنگین توسط گروه‌های عامل مواد آلی و واکنش فلزات سنگین با ترکیبات معدنی موجود در لجن فاضلاب، در کاهش جذب آن توسط گیاه مؤثر است[۹].

غلظت کادمیوم شاخسارهٔ گیاه

این پژوهش نشان می‌دهد در خاک تیمار شده با ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک و ۵ درصد وزنی سرباره آهن که مقدار کادمیوم شاخسارهٔ گیاه که به دلیل پایین بودن میزان آن، قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است بیشترین مقدار آهن شاخسارهٔ گیاه مشاهده شد که احتمالاً حاکی از اثر رقابتی آهن و کادمیوم است. نتایج پژوهش‌های ملک‌زاده و همکاران دربارهٔ اثر برهمکنش کادمیوم با عناصر غذایی می‌تواند تأکیدی بر این ادعا باشد [۱۲]. شایان ذکر است که در تمامی تیمارهای یادشده غلظت کادمیوم شاخساره کمتر از غلظت کادمیوم ریشهٔ گیاه است. کمتر بودن مقادیر کادمیوم شاخساره نسبت به ریشه، نشان‌دهندهٔ این است که کادمیوم بیشتر در ریشهٔ گیاه همیشه بهار تجمع می‌یابد و انتقال آن از ریشه به شاخساره محدود است. نتایج پژوهش‌های وانگ و همکاران نیز نشان می‌دهد کادمیوم موجود در محلول خاک، می‌تواند به دیواره‌های سلولی ریشهٔ گیاه پیوند یابند. در حقیقت تجمع کادمیوم در ریشهٔ ذرت، نوعی مکانیسم تحمل غلظت زیاد کادمیوم در ریزوسفر است[۳۳].

غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب با سربارهٔ آهن نیز نقش مؤثری در غلظت کادمیوم شاخسارهٔ گیاه داشت، که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش اثر رقابتی آهن وکادمیوم در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک دانست که نکتهٔ مثبتی در مدیریت تغذیهٔ عناصر غذایی گیاه در خاک‌های آلوده به شمار می‌آید. از سویی دیگر کاربرد کمپوست لجن فاضلاب احتمالاً توانسته است با افزایش ویژگی‌های جذبی خاک باعث کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و به دنبال آن کاهش جذب کادمیوم ریشه و شاخسارهٔ گیاه شود.

در ادامه می‌توان به نتایج کلی این مطالعه اشاره کرد:

۱. کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری نقش مؤثری را در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم و افزایش آهن قابل‌دسترس خاک داشته است، که می‌توان دلیل آن را تأثیر کاربرد کودهای آلی در افزایش گنجایش تبادل کاتیونی خاک، همچنین افزایش ویژگی‌های جذبی خاک و به دنبال آن کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و گیاه دانست.

۲. کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری با افزایش آهن قابل‌دسترسی خاک توانسته است نقش مؤثری در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و به دنبال آن کاهش قابلیت جذب آن در گیاه داشته باشد.

۳. غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب شهری با سربارهٔ آهن نیز نقش مؤثری در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم و افزایش غلظت آهن در خاک و گیاه داشته است که دلیل آن را می‌توان به اثر رقابتی این دو عنصر نسبت داد.

۴. کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری با افزایش pH خاک نقش مؤثری را در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم خاک داشته است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندهٔ مقاله بر خود لازم می‌داند از حمایت‌های دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، برای در اختیار قرار دادن امکانات لازم در انجام این پژوهش، کمال تقدیر و تشکر را بنماید.

Archive of SID
www.SID.ir

References

[1]. Palizban A, Asghari G, Badiee A, Mardani Nafchi H, Kazemi Vardanjani A. Determination of contamination of Lead and Cadmium in Canola and safflower in around of Isfahan Still Company (ESCO) and Compare this pollution with oil extracted from them. Journal of Shahrekord Uuniversity of Medical Sciences. 2016;18(5):94-102.[in Persian]
[2]. Cheraghi M, Kargar A, Lorestani B, Tabiee O. Determination of cadmium, nickel, lead and vanadium concentrations in white Indian prawn sold in Shiraz town. Journal of Shahrekord Uuniversity of Medical Sciences. 2014;16(4):54-61. [in Persian]
[3]. Liu Y, Xiao T, Perkins RB, Zhu J, Zhu Z, Xiong Y, et al. Geogenic cadmium pollution and potential health risks, with emphasis on black shale. Journal of Geochemical Exploration. 2017;176:42-49.
[4]. Swartjes FA, Versluijs KW, Otte PF. A tiered approach for the human health risk assessment for consumption of vegetables from with cadmium-contaminated land in urban areas. Environmental Research. 2013;126:223-231.
[5]. Sanches Filho PJ, Caldas JS, da Rosa NN, Pereira FOP. Toxicity test and Cd, Cr, Pb and Zn bioccumulation in Phalloceros caudimaculatus. Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences. 2017;4(3):206-211.
[6]. Kersten G, Majestic B, Quigley M. Phytoremediation of cadmium and lead-polluted watersheds. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2017;137:225-232.
[7]. 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 and Plant Nutrition. 2011;57(1):11-18.
[8]. Sharifi M, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh AH. Effects of sewage sludge, animal manure, compost and cadmium chloride on cadmium accumulation in corn and alfalfa. Journal of Residuals Science and Technology. 2010;7(4):219-225.
[9]. 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]
[10]. Karami S, Ronaghi A. Interaction Effects of Cadmium and Wheat or Alfalfa Residues on Corn Yield and Nutrients Uptake. Iranian Journal of Soil Research. 2016;30(1):13-23. [in Persian]
[11]. Rezvani M, Zaefarian F, Gholizadeh A. Lead and nutrients uptake by aeluropus littoralis under different levels of lead in soil. Water and Soil Science. 2012;22(3):73-86. [in Persian]
[12]. Malekzadeh E, Alikhani H, Savaghebi-Firoozabadi G, Zarei M. Bioremediation of cadmium-contaminated soil through cultivation of maize inoculated with plant growth–promoting rhizobacteria. Bioremediation Journal. 2012;16(4):204-211.
[13]. Tabarteh Farahani N, Baghaie AH. Effect of enriched cow manure with converter sludge on Fe bio-availability in a lead polluted soil. Journal of Water and Soil Conservation. 2017; 24:205-220. [in Persian]
[14]. Malakootian M, Khazaei A. Comparison of nano zerovalent iron particles and manganese compounds efficiency in cadmium ion removal from aqueous environments. Journal of Ilam University of Medical Sciences. 2014; 22(2):93-103.
[15]. Melali AR, Shariatmadari H. Application of Steel Making Slag and Converter Sludge in Farm Manure Enrichment for Corn Nutrition in Greenhouse Conditions. Journal of Water and Soil Science. 2008;11(42):505-513. [in Persian]
[16]. Abbaspour A, Kalbasi M, Shariatmadari H. Effect of steel converter sludge as iron fertilizer and soil amendment in some calcareous soils. Journal of plant nutrition. 2004;27(2):377-394.
[17]. Mansouri T, Golchin A, Fereidooni J. The Effects of EDTA and H2SO4 on Phyto-extraction of Pb from contaminated Soils by Radish. J Water Soil 2016;30(1):194-209. [in Persian]
[18]. Rezakhani L, Golchin A, Samavat S. Effect of different rates of Cd on growth and chemical composition of spinach. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 2013;7(14):1136-1140.
[19]. Motesharezadeh B, SavaghebI G, R. Study of sunflower plant response to cadmium and lead toxicity by usage of PGPR in a calcareous soil. Journal of Water and Soil. 2011;25:1069-1079. [in Persian]
[20]. 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.
[21]. 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 and Soil Conservation. 2013;20:123-143. [in Persian]
[22]. Westerman RL. (Ed.). Soil testing and plant analysis. SSSA, No. 3, Madison,Wisconsin, USA, 1990.
[23]. 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 and Sustainable Production. 2018;6(4):103-117.

Archive of SID
www.SID.ir

[24]. Cui H ,Yi Q, Yang X, Wang X, Wu H, Zhou J. Effects of hydroxyapatite on leaching of cadmium and phosphorus and their availability under simulated acid rain. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2017;5(4):3773-3779.
[25]. Baghaie A, Khoshgoftarmanesh A, Afyuni M. Crop effects on lead fractionation in a soil treated with lead organic and inorganic sources. Journal of Residuals Science and Technology. 2010;7(3):131-138.
[26]. Sharma A, Johri B, Sharma A, Glick B. Plant growth-promoting bacterium Pseudomonas sp .strain GRP 3 influences iron acquisition in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilzeck). Soil Biology and Biochemistry. 2003;35(7):887-894.
[27]. Tafvizi M, Motesharezadeh B. Effects of Lead on Iron, Manganese, and Zinc Concentrations in Different Varieties of Maize (Zea mays). Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2014;45(14):1853-1365.
[28]. Basta NT, Ryan JA, Chaney RL. Trace element chemistry in residual treated soil: Key concepts and metal bioavailability. Journal of Environmental Quality. 2005;34:49-63.
[29]. Matos G, Arruda M. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents. Process Biochemistry. 2003;39(1):81-88.
[30]. Carrasquero-Durán A, Flores I. Evaluation of lead (II) immobilization by a vermicompost using adsorption isotherms and IR spectroscopy. Bioresource technology. 2009;100(4):1691-1694.
[31]. Kim SU, Owens VN, Kim YG, Lee SM, Park HC, Kim KK, et al. Effect of Phosphate Addition on Cadmium Precipitation and Adsorption in Contaminated Arable Soil with a Low Concentration of Cadmium. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2015;95(5):675-679.
[32]. Fouladi fard R, Azimi A. Comparing the bio-sorption affinity of ni and cd by bio-solid with other bio-sorbent. Journal of Environmental Science and Technology. 2014;16(3):35-49.
[33]. Wang G, Su M-Y, Chen Y-H, Lin F-F, Luo D, Gao S-F. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. Environmental Pollution. 2006;144(1):127-135.

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of Addition Iron Slag and Municipal Sewage Sludge Compost to Soil on Decreasing Cadmium Availability in Pot Marigold

Amir Hossein Baghaie *

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

Abstract

Background and Objectives Interaction effect of heavy metal and some metals such as Fe can affect soil heavy metal availability. Thus, this research was conducted to investigate the effect of Arak municipal sewage sludge compost with iron slag on decreasing cadmium uptake by pot marigold.

Materials & Methods Treatments were consist of applying enriched Arak municipal sewage sludge compost (0, 15 and 30 t ha^{-1}) with 0 and 5% pure Fe from iron slag of Mobarakeh Steel Complex in a polluted soil (0, 5, 10 and 15 mg Cd kg^{-1} soil). After 60 days, soil physic-chemical properties and root and shoot Cd concentration of pot marigold was measured and the least significant difference (LSD) statistical analysis was used to determine the differences between the means (p=0.05).

Results Increasing the loading rate of Arak municipal sewage sludge compost from 0 to 15 and 30 t ha^{-1} in a Cd polluted soil (10 mg Cd $soil^{-1}$) caused a decreasing in Cd availability by 15% and 35%, respectively, while the Fe availability increased by 5.6 and 8.4 times, respectively. Similar to this result, root and shoot Cd concentration was decreased by 24% and 18%, respectively.

Conclusion The result of this study showed that applying sewage sludge compost enriched with 5% Fe pure can probably affect soil physico-chemical properties that increasing soil and plant Fe availability and thereby, decreasing Cd availability.

Received: 2017/07/23
Accepted: 2017/12/11

Keywords: Cadmium, Iron slag, Availability, Municipal sewage sludge, Compost

Archive of SID

www.SID.ir