Archive of SID

به‌زراعی کشاورزی
دوره ۱۷ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۴
صفحه‌های ۸۹۲-۸۸۱

اثر کاربرد دوسالهٔ کمپوست زبالهٔ شهری و کودهای شیمیایی بر تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه برنج

آتنا قلی‌پور[۱]* مهدی قاجار سپانلو[۲]، محمدعلی بهمنیار[۳]

۱. کارشناس ارشد، گروه علوم خاک، دانشکدهٔ علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲. دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکدهٔ علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳. استاد، گروه علوم خاک، دانشکدهٔ علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۰۸

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد کمپوست زبالهٔ شهری و کود شیمیایی بر مقدار تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاه برنج، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار و چهارده تیمار کودی، در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال‌های زراعی ۸۸-۱۳۷۸ اجرا شد. تیمارهای کودی شامل تیمار شاهد، تیمار کود شیمیایی، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ تن کمپوست بدون کود شیمیایی و ۱۵، ۳۰ و ۴۵ تن کمپوست به‌همراه مقادیر ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد کود شیمیایی بودند. کاربرد دوسالهٔ کمپوست در خاک بر مقدار قابل جذب هیچ‌یک از عناصر سنگین افزایش معناداری نداشت، اما در ریشهٔ گیاه برنج عنصر سرب، در اندام هوایی سرب، کادمیوم، نیکل و کروم و در دانهٔ تنها کادمیوم افزایش معناداری در اثر کاربرد کمپوست نشان داد. در ضمن در تیمار ۴۵ تن کمپوست زبالهٔ شهری + ۷۵ درصد کود شیمیایی حداکثر مقدار عناصر سنگین تجمع یافت. ازاین‌رو با کاربرد کمپوست زبالهٔ شهری، مقدار فلز سنگین در خاک و گیاه افزایش یافت، اما غلظت آنها تا دو سال کمتر از محدودهٔ سمیت عناصر مورد مطالعه بود.

کلیدواژه‌ها: آلودگی، برنج، خاک، فلز سنگین، کود آلی.

* نویسنده مسئول
Email: Atena.gholipur18@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

کودهای شیمیایی از عوامل اصلی حفظ حاصلخیزی خاک به‌شمار می‌روند، ولی کاربرد زیاد آنها به‌همراه عملیات مدیریتی نامناسب، مقدار مادهٔ آلی خاک را به‌شدت کاهش می‌دهد و این عمل بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیر سوء می‌گذارد؛ برای رهایی از این مشکلات، استفاده از نظام‌های زراعی جایگزین برای تولید محصولات زراعی، ضروری است [۶]. برای مدیریت حاصلخیزی خاک در نظام‌های تولید ارگانیک، تولیدکنندگان به‌طور معمول از انواع مختلف کود آلی (کود دامی، لجن فاضلاب و کمپوست زبالهٔ شهری) استفاده می‌کنند [۶].

استفاده از پسماندها برای تقویت باروری خاک ممکن است موجب تجمع عناصر سنگین در خاک و انتقال این عناصر به گیاه شود [۲]. مقادیر اضافی فلزات در خاک می‌تواند سبب جذب بیشتر فلزات سنگین توسط گیاهان شود [۱]. در این زمینه، عواملی نظیر نوع و مقدار کلوئیدهای خاک، اسیدیته، غلظت یونی محلول، غلظت کاتیونی فلز و حضور کاتیون‌های فلزی رقابت‌کننده بر مقدار تجمع فلزات سنگین در خاک تأثیرگذارند [۱].

با به‌کارگیری کمپوست زباله، کود گاوی و کود شیمیایی، مقدار کبالت و نیکل در گیاه برنج افزایش یافت، اما مقدار این عناصر در خاک در حد مجاز بود [۱۱]. با به‌کارگیری یکسالهٔ کمپوست زباله در خاک افزایش چشمگیری در مقادیر کل عناصر مس، کروم و سرب در خاک به‌وجود آمد [۲۴]. تغییر در مقدار عناصر خاک در اثر استفاده از کمپوست به سطوح مصرف کمپوست و خصوصیات شیمیایی آن بستگی دارد [۱۳]. افزایش چندسالهٔ کمپوست زبالهٔ شهری مقدار کل فلزات سنگین را در لایهٔ سطحی خاک افزایش می‌دهد و این افزایش ارتباط نزدیکی با منبع و کیفیت ترکیبات کمپوست دارد [۲۶، ۲۴ ، ۱۵]. در آزمایشی با استفاده از کمپوست و کود دامی در خاک مشاهده شد کاربرد کمپوست زباله، مقدار فلزات سنگین خاک، به‌ویژه عناصر سرب، کادمیوم و روی را در لایهٔ سطحی خاک به‌طور معناداری افزایش داد [۲۸]. برگ‌های اسفناج در شرایط مصرف کمپوست زباله در مقایسه با تیمار بدون مصرف کمپوست، افزایش جذب سرب را نشان دادند [۱۷]. در تحقیقی با به‌کارگیری سه سطح شیرابهٔ زباله بر گیاه برنج، مشاهده شده است که شیرابهٔ زباله با افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک، سبب افزایش جذب این عناصر در گیاه برنج شد [۱۶]. در مطالعهٔ دیگری، استفادهٔ سه‌ساله از کمپوست زباله، سبب افزایش جذب سرب و کادمیم در خاک و اندام‌های مختلف گیاه برنج شد [۲۰].

هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر کمپوست زبالهٔ شهری و کودهای شیمیایی بر مقدار تجمع عناصر سنگین در خاک و اندام‌های مختلف گیاه برنج بود.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری طی سال‌های زراعی ۸۸-۱۳۸۷ به اجرا درآمد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهارده تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: ۱. عدم مصرف کمپوست و کود شیمیایی (شاهد)، ۲. مصرف کود شیمیایی، به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم اوره، ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار، ۳. کاربرد ۱۵ تن کمپوست در هکتار، ۴. کاربرد ۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۵. کاربرد ۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی، ۶. کاربرد ۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی، ۷. کاربرد ۳۰ تن کمپوست در هکتار، ۸. کاربرد ۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۹.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کمپوست زبالهٔ شهری و خاک محل اجرای آزمایش

خصوصیات	اسیدیته	کربن آلی (٪)	هدایت الکتریکی (ds/m)	سرب کل (mg/kg)	سرب قابل جذب (mg/kg)	کادمیوم کل (mg/kg)	کادمیوم قابل جذب (mg/kg)	نیکل کل (mg/kg)	نیکل قابل جذب (mg/kg)	کروم کل (mg/kg)	کروم قابل جذب (mg/kg)	بافت
کمپوست	۷/۴۱	۲۲/۶۳	۱۰/۰۷	۳۰۶/۰۵	۲۵/۴۶	۲/۶۲	۰/۱۹	۴۸/۰۱	۶/۱۰	۹۲/۱۳	۲/۳	رسی - سیلتی
خاک	۷/۲۳	۲/۰۱	۱/۸۴	۳۴/۹۱	۱/۹۹	۲/۴۸	۰/۰۵۶	۴۹/۱۷	۱/۱۰	۵۷/۳۴	۰/۰۵۷	۱۰٪ شن - ۴۳٪ سیلت - ۴۷٪ رس

www.SID.ir

Archive of SID

کاربرد ۳۰ تن کمپوست در هکتار+ ۵۰ درصد کود شیمیایی، ۱۰. کاربرد ۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی، ۱۱. کاربرد ۴۵ تن کمپوست در هکتار، ۱۲. کاربرد ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۱۳. کاربرد ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۱۴. کاربرد ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی.

پیش از آزمایش، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کمپوست زبالهٔ شهری (ضایعات مواد خانگی) استفاده‌شده در این طرح و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش تعیین شد. pH در کل اشباع و هدایت الکتریکی در عصارهٔ کل اشباع [۲۲]، کربن آلی به‌روش والکی بلاک [۲۱]، مقادیر قابل جذب عناصر سرب، کادمیوم، نیکل و کروم به‌روش DTPA[1] [۱۷] و مقادیر کل آن‌ها به روش هضم مرطوب [۲۳] اندازه‌گیری و در جدول ۱ درج شد.

از برنج رقم 'طارم' برای مطالعه در این طرح استفاده شد. تیمارهای کودی در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ پس از آماده‌سازی زمین و قبل از انتقال نشا (خرداد ماه) در کرت‌هایی به مساحت ۱۸ مترمربع اعمال شد. پس از آن عملیات نشاکاری صورت گرفت. حدود یک ماه بعد در تیر ماه عملیات وجین با دست انجام گرفت. در زمان برداشت از خاک هر تیمار یک نمونهٔ مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر و نمونه‌های گیاهی از هر کرت شامل ریشه، اندام‌های هوایی (برگ و ساقه) و دانهٔ برنج به‌منظور اندازه‌گیری عناصر سرب، کادمیوم، نیکل و کروم برداشت شد.

پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک، مقادیر قابل جذب عناصر به‌روش DTPA [۱۷] انجام گرفت و مقادیر سرب، کادمیوم، نیکل و کروم در ریشه، اندام هوایی و دانهٔ برنج به‌روش هضم مرطوب [۲۳] و با دستگاه جذب اتمیک تعیین شد. مقدار ضرایب انتقال نیز از کسر غلظت عنصر مورد نظر در گیاه از غلظت آن عنصر در خاک به‌دست آمد.

تجزیهٔ آماری

داده‌ها به‌وسیلهٔ نرم‌افزار Statistix (نسخهٔ ۸) تجزیه‌وتحلیل آماری شد. همهٔ مقایسه‌های میانگین براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. خاک

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که کاربرد دوسالهٔ کمپوست زبالهٔ شهری بر مقدار قابل جذب عناصر سنگین خاک زراعی تأثیر معناداری نداشت (جدول ۲).

جدول ۲. جدول تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) مقدار قابل جذب عناصر سنگین در خاک تحت تأثیر تیمار کود و سال

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	سرب	کادمیوم	نیکل	کروم
سال	۱۳	۲۷/۹۳**	۰/۰۱**	۰/۰۱^{ns}	۴/۶۶^{ns}
تیمار	۱	۱/۵۳^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۷/۲۴^{ns}
سال × تیمار	۱۳	۱/۱۲^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۱/۲۱^{ns}
خطا	۵۴	۱/۵۱	۰/۰۰	۰/۰۳	۱/۲۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۳۰/۲۲	۱۲/۲۸	۱۲/۴۹**	۶/۳۱

* و **: به‌ترتیب معنادار در سطح ۵ و ۱ درصد؛ ns : غیرمعنادار.

1. Diethylene triamene penta acetat

www.SID.ir

Archive of SID

فلزات در شرایط غرقاب (احیا) به فرم قابل حل در می‌آیند، اما بیشتر آنها با اسیدهای هومیک مواد آلی به فرم کمپلکس در می‌آیند و حلالیت و تحرک آنها کاهش می‌یابد [۱۱]. در این آزمایش، تأثیر سال بر غلظت عناصر سرب و کادمیوم در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود. اثر متقابل سال و تیمار کودی بر هیچ یک از عناصر مورد مطالعه معنادار نبود که علت احتمالی، مربوط به کمپلکس این عناصر در خاک است. اکثر عناصر سنگین به‌وسیلهٔ کلوئیدهای خاک به‌سرعت جذب و تثبیت می‌شوند [۲] و شاید کاربرد کوتاه‌مدت کمپوست (سال‌های مصرف) علت دیگر آن باشد. بافت خاک (مقدار رس)، اسیدیته، مادهٔ آلی و اکسیدهای آهن و منگنز از مهم‌ترین خصوصیات خاک هستند که بر مقدار قابل جذب عناصر سنگین مؤثرند [۲۸]. با کاربرد کمپوست در خاک شنی و خنثی ثابت شده است که مقدار نیکل، کادمیوم و کروم افزایش می‌یابد [۲۵]. نتایج تجزیهٔ واریانس بیانگر آن است که تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر مقدار عناصر سنگین کل در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (جدول ۳). نتایج مشابهی با به‌کارگیری چندسالهٔ کمپوست توسط دیگر محققان گزارش شد [۲۴].

در ضمن اثر سال نیز برای همهٔ عناصر در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد. در نتیجه با افزایش مصرف در سال دوم بر مقدار عناصر سنگین افزوده شد. اثر متقابل سال و تیمار کودی بر مقدار نیکل و کادمیوم کل معنادار نبود، درحالی که بر مقدار کل سرب و کروم تأثیر معناداری در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد (جدول ۳).

مقدار سرب کل در خاک با افزایش مقدار کمپوست افزایش یافت و در تمام تیمارهای کمپوست توأم با کود شیمیایی بیشتر از تیمار کمپوست ساده بود (جدول ۴). این تغییر در مقدار عناصر سنگین به خصوصیات کمپوست استفاده‌شده بستگی دارد. افزایش عناصر سنگین در اثر استفاده از کمپوست به مقدار مصرف و خصوصیات کمپوست بستگی دارد [۱۳].

در سال اول، بین تیمار ۱۵ تن کمپوست در هکتار و تیمارهای ۴۵ تن کمپوست در هکتار، ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی؛ و در سال‌های اول و دوم بین تیمارهای ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی اختلاف معناداری وجود داشت. کمترین مقدار سرب کل در هر دو سال در تیمار شاهد و بیشترین مقدار آن در سال اول در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۴۵/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در سال دوم، در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی (۵۲/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. مقدار سرب کل در سال اول حدود ۵۰ و در سال دوم حدود ۷۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) مقدار غلظت کل عناصر سنگین در خاک تحت تأثیر تیمار کود و سال

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	سرب	کادمیوم	نیکل	کروم
سال	۱	۷۲۷/۵۴**	۸/۱۳**	۷۴/۶۲**	۲۷/۰۶**
تیمار	۱۳	۵۳/۱۷۲**	۱/۰۵**	۱۹/۰۶**	۱۱/۹۷**
سال × تیمار	۱۳	۵۷/۹۷**	۰/۲۱^{ns}	۴/۰۴^{ns}	۶/۴۳**
خطا	۵۴	۱۸/۰۳	۰/۱۶	۳/۸۹	۲/۰۴
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۹۴	۱۹/۶۸	۳/۹	۴/۳۹

* و ** : به‌ترتیب معنادار در سطح ۵ و ۱ درصد؛ ns : غیرمعنادار.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین غلظت عناصر سرب و کروم در خاک تحت اثر متقابل تیمارهای کودی و سال

تیمار	سرب (mg/kg)		کروم (mg/kg)	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
شاهد	۳۰/۶۱^{h}	۳۰/۴۹^{h}	۲۹/۶۷^{h}	۲۹/۹۵^{gh}
کود شیمیایی	۳۳/۶۳^{fgh}	۳۳/۷۳^{fgh}	۳۰^{gh}	۳۰/۴۸^{fgh}
۱۵ تن کمپوست در هکتار	۳۳/۴۵^{gh}	۳۶/۰۸^{defgh}	۳۰/۶۳^{efgh}	۳۱/۳۵^{defgh}
۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵٪ کود شیمیایی	۳۳/۶۳^{fgh}	۳۴/۶۸^{efgh}	۳۲/۲۳^{cdefgh}	۳۲/۴۰^{cdefgh}
۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۵۰٪ کود شیمیایی	۳۳/۸۹^{fgh}	۳۸/۷۶^{bcdefgh}	۳۱/۵۳^{cdefgh}	۳۲/۰۵^{cdefgh}
۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵٪ کود شیمیایی	۳۴/۶۸^{efgh}	۳۹/۹۳^{bcdefg}	۳۱/۷۰^{cdefgh}	۳۳/۸۰^{bcd}
۳۰ تن کمپوست در هکتار	۳۳/۹۸^{fgh}	۴۲/۰۴^{bcdef}	۳۲/۰۵^{cdefgh}	۳۳/۲۸^{bcdef}
۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۲۵٪ کود شیمیایی	۳۵/۷۳^{defgh}	۴۲/۷۴^{bcde}	۳۲/۴۰^{cdegh}	۳۳/۴۵^{bcde}
۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۵۰٪ کود شیمیایی	۳۶/۰۸^{defgh}	۴۰/۱۸^{bcdefg}	۳۲/۲۳^{cdefgh}	۳۳/۴۵^{bcde}
۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۷۵٪ کود شیمیایی	۳۷/۸۳^{cdefgh}	۴۰/۹۸^{bcdefg}	۳۲/۲۳^{cdefgh}	۳۳/۴۵^{bcde}
۴۵ تن کمپوست در هکتار	۴۲/۹۱^{bcde}	۴۳/۲۶^{bcd}	۳۲/۲۳^{cdefgh}	۳۴/۳۳^{bc}
۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵٪ کود شیمیایی	۴۵/۹۸^{abc}	۴۶/۹۴^{ab}	۳۲/۳۱^{cdefgh}	۳۵/۴۷^{b}
۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۵۰٪ کود شیمیایی	۴۲/۰۴^{bcdef}	۴۶/۵۹^{ab}	۳۲/۵۸^{cdefg}	۳۴/۱۵^{bcd}
۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵٪ کود شیمیایی	۴۲/۱۸^{bcdef}	۵۲/۸۹^{a}	۳۲/۷۵^{bcdefg}	۳۸/۵۷^{a}
LSD	۶/۹۵	۶/۹۵	۲/۳۳	۲/۳۳

* : در هر ردیف و در هر ستون متعلق به هر عنصر، میانگین‌هایی که دارای دست‌کم یک حرف مشترک باشند، با هم اختلاف معناداری ندارند (P = ٪۵).

مقدار عنصر کروم در سال‌های اول و دوم بین تیمارهای ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی و ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی اختلاف معناداری نشان داد. کمترین مقدار کروم کل، در سال‌های اول و دوم در تیمار شاهد مشاهده‌شده و بیشترین مقدار کروم کل در اثر کاربرد یکساله و دوساله در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی به‌ترتیب ۳۲/۷۵ و ۳۸/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد. مقدار کروم در سال اول حدود ۱۰ و در سال دوم حدود ۲۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت، درنتیجه مقدار سرب افزایش بیشتری را نسبت به کروم نشان داد (جدول ۴).

علاوه‌بر عناصر یادشده، مقدار کادمیوم و نیکل نیز در اثر استفاده از کمپوست افزایش نشان داد که این افزایش را می‌توان معلول چندین علت از جمله pH حدود خنثی محیط غرقاب، مقدار مادهٔ آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی

www.SID.ir

Archive of SID

خاک دانست. در اثر کاربرد هرزآب صنعتی در خاک به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، pH خنثی، کربنات کلسیم و مادهٔ آلی خاک، مقدار فلزات سنگین کل در خاک افزایش یافت، ولی مقدار قابل جذب آن افزایش نشان نداد [۹]. همچنین افزایش مقدار کادمیوم به خاک در اثر استفاده از کمپوست مشاهده شد [۲۷].

۲.۳. گیاه

۱.۲.۳. ریشه

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف کودی بر غلظت عناصر کادمیوم، نیکل و کروم در ریشهٔ برنج اثر معناداری نداشت و تنها بر غلظت سرب در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۵).

کمترین مقدار تجمع سرب در ریشهٔ برنج در تیمار شاهد (۱۷/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیشترین تجمع سرب در تیمار ۴۵ تن کمپوست + ۷۵ درصد کود شیمیایی (۲۷/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد، در واقع تیمار مذکور جذب سرب را نسبت به تیمار شاهد حدود ۶۰ درصد افزایش داد. به‌طور کلی، تیمارهای تلفیقی غلظت سرب را نسبت به تیمارهای ساده افزایش داد (جدول ۶). برای مثال، تیمار ۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۱۵ تن در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی نسبت به تیمار ۱۵ تن کمپوست در هکتار و همچنین تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی، ۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی و تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی نسبت به تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار مقدار سرب بیشتری را نشان دادند. طی تحقیقی با استفاده از کمپوست زبالهٔ شهری و کود شیمیایی بر گیاه برنج نتیجهٔ مشابهی گزارش شد [۴].

نتایج مقایسهٔ میانگین نشان می‌دهد که مقدار عناصر مطالعه‌شده در ریشه بیشتر از اندام هوایی برنج بود (جدول ۶). فلزاتی نظیر آرسنیک، کادمیوم، کروم و سرب در ریشهٔ گیاه بیشتر بود [۱۲]. همچنین، مقدار سرب در برگ و دانهٔ برنج کمتر از ریشه بود [۹]. بیشترین مقدار کادمیوم در ریشهٔ لوبیا قرمز و تربچه در اثر آبیاری با نیترات کادمیوم بود [۸]. ضریب انتقال زیاد (بیشتر از یک) خاک به ریشه نیز نشان‌دهندهٔ انتقال زیاد عناصر از خاک به ریشه است.

۲.۲.۳. اندام هوایی

تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر مقدار سرب، کادمیوم، نیکل و کروم در اندام هوایی برنج در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد (جدول ۵). افزایش مقدار سرب و کادمیوم، کروم و نیکل در اندام هوایی برنج در اثر استفادهٔ سه‌ساله از کمپوست معنادار بود [۵]. ضریب انتقال پایین ریشه به اندام هوایی نشان‌دهندهٔ انتقال کم سرب از ریشه به اندام هوایی است که شاید علت را بتوان به کم‌تحرک بودن این عنصر نسبت داد. کروم و سرب در گیاه متحرک نیستند [۱۲]. کمترین مقدار سرب در تیمار شاهد (۱۴/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و بیشترین مقدار آن در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی (۱۶/۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۶). محدودهٔ سمیت سرب در گیاه بین ۳۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است [۱]، ازاین‌رو، با وجود افزایش این عنصر در گیاه مسمومیتی برای گیاه به‌وجود نیامد.

میزان انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی زیاد بوده است (ضریب انتقال بیشتر از یک) و به نظر می رسد pH حدود خنثی محیط غرقاب سبب افزایش غلظت کادمیوم از خاک به گیاه شده است. مهم‌ترین خصوصیت خاک که جذب کادمیوم را از خاک به گیاه کنترل می‌کند، pH خاک است [۱۰]. تجمع فلزات سنگین در اندام‌های هوایی گیاهان به مقدار قابل جذب آنها در خاک بستگی دارد [۱۹].

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. جدول تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) غلظت عناصر سنگین در اندام‌های مختلف گیاه برنج تحت تأثیر تیمارهای مطالعه‌شده

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	ریشه			اندام هوایی			دانه		
		سرب	کادمیوم	نیکل	سرب	کادمیوم	نیکل	سرب	کادمیوم	نیکل
تیمار	۱۳	۱۷/۴۵*	۰/۰۲ns	۷/۳۲ns	۱۳/۶۹ns	۰/۰۲**	۴۶/۷۱**	۵/۷۷ns	۰/۶۵**	۱/۰۲ns
خطا	۲۶	۷/۶۰	۰/۰۳	۵/۴۷	۱۳/۴۰	۰/۰۰	۴/۱۶	۲/۹۹	۰/۱۵	۰/۷۴
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۲/۸۹	۱۲/۹۷	۱۳/۵۸	۲۵/۷۶	۸/۹۹	۱۶/۲۴	۱۹/۴۹	۲۶/۷۵	۱۶/۲۲

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین غلظت عناصر سنگین در ریشه، اندام هوایی و دانهٔ برنج تحت تأثیر تیمارهای کودی بررسی‌شده

تیمار	سرب (mg/Kg)		کادمیوم (mg/Kg)		نیکل (mg/Kg)	کروم (mg/Kg)
	ریشه	اندام هوایی	اندام هوایی	دانه	اندام هوایی	اندام هوایی
شاهد	۱۷/۱۴^{c}	۱۴/۰۳^{e}	۰/۸۶^{d}	۰/۵^{e}	۶/۸۳^{g}	۹/۴۴^{d}
کود شیمیایی	۱۸/۸۹^{bc}	۱۴/۵۷^{de}	۰/۹۴^{cd}	۰/۸۴^{de}	۸/۹۹^{fg}	۱۰/۶۱^{cd}
۱۵ تن کمپوست در هکتار	۱۹/۶۱^{bc}	۱۴/۵۷^{de}	۱^{bcd}	۰/۹۶^{de}	۹/۰۳^{fg}	۱۱/۱۵^{cd}
۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵٪ کود شیمیایی	۲۰/۲۴^{bc}	۱۵/۱۱^{bcde}	۱/۰۶^{bc}	۱/۲۱^{bcde}	۹/۸۹^{efg}	۱۲/۷۷^{cd}
۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۵۰٪ کود شیمیایی	۲۰/۵۱^{bc}	۱۴/۷۵^{cde}	۱/۰۲^{bcd}	۱/۴۱^{abcd}	۹/۱۷^{fg}	۱۲/۶۸^{cd}
۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵٪ کود شیمیایی	۲۰/۶۹^{bc}	۱۴/۵۷^{de}	۱/۰۴^{bc}	۱/۱۷^{cde}	۱۰/۲۵^{efg}	۱۲/۷۷^{cd}
۳۰ تن کمپوست در هکتار	۲۱/۲۴^{bc}	۱۵/۱۱^{bcde}	۱/۰۶^{bc}	۱/۵۲^{abcd}	۱۰/۷۸^{ef}	۱۳/۱۳^{cd}
۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۲۵٪ کود شیمیایی	۲۱/۴۱^{bc}	۱۵/۱۱^{bcde}	۱/۰۶^{bc}	۱/۷۹^{abc}	۱۲/۲۵^{def}	۱۳/۸۵^{bc}
۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۵۰٪ کود شیمیایی	۲۱/۵۹^{bc}	۱۵/۴۷^{bcde}	۱/۰۷^{bc}	۱/۴۴^{abcd}	۱۴/۶۴^{bcd}	۱۷/۲۷^{ab}
۳۰ تن کمپوست در هکتار + ۷۵٪ کود شیمیایی	۲۱/۵۹^{bc}	۱۵/۴۷^{bcde}	۱/۰۷^{bc}	۱/۷۷^{abc}	۱۳/۲۲^{cde}	۱۴/۶۳^{bc}
۴۵ تن کمپوست در هکتار	۲۲/۶۷^{ab}	۱۵/۶۵^{bcd}	۱/۰۷^{bc}	۱/۸۷^{abc}	۱۶/۵۹^{abc}	۱۹/۸۷^{a}
۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵٪ کود شیمیایی	۲۲/۸۵^{ab}	۱۶/۱۹^{abc}	۱/۰۸^{bc}	۱/۹۶^{ab}	۱۶/۷۳^{abc}	۲۰/۶۴^{a}
۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۵۰٪ کود شیمیایی	۲۳/۴۵^{ab}	۱۷/۴۵^{a}	۱/۳۱^{a}	۱/۹۰^{abc}	۱۷/۴۵^{ab}	۲۰/۰۴^{a}
۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵٪ کود شیمیایی	۲۷/۵۱^{a}	۱۶/۳۷^{ab}	۱/۱۳^{b}	۲^{a}	۱۹/۹۷^{a}	۲۰/۶۲^{a}
LSD	۴/۶۲	۱/۳۱	۰/۱۵	۰/۶۵	۳/۴۲	۳/۵۹

* : در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای دست‌کم یک حرف مشترک باشند، با یکدیگر اختلاف معناداری ندارند (۵٪ = P).

محققی دیگر فاکتورهای زیادی نظیر pH، شرایط کاهشی خاک، قدرت یونی، وجود سایر نمک‌ها در محلول خاک و یون‌های رقیب را از عوامل قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک می‌داند [۱۴]. در مورد کادمیوم روند افزایشی مشابه سرب بوده است؛ به این صورت که در تیمار شاهد کمترین و در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی (۱/۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشترین مقدار آن مشاهده شد که این تیمار مقدار کادمیوم را نسبت به شاهد حدود ۵۲ درصد افزایش داد.

مقدار نیکل و کروم انتقال‌یافته از ریشه به اندام هوایی

www.SID.ir

Archive of SID

نیز زیاد بود (ضریب انتقال بیشتر از یک). کمترین مقدار غلظت نیکل و کروم در تیمار شاهد و بیشترین مقدار نیکل در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی و در مورد کروم در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی دیده شد. مقدار نیکل در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی نسبت به شاهد به سه برابر رسید، مقدار کروم نیز در تیمار مزبور نسبت به شاهد حدود ۱۰۰ درصد افزایش داشت (جدول ۶). در همهٔ تیمارهای تلفیقی غلظت نیکل و کروم نسبت به تیمارهای ساده بیشتر بود. به‌عنوان مثال، در تیمارهای ۱۵ تن کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی و ۱۵ تن کمپوست + ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۱۵ تن کمپوست + ۷۵ درصد کود شیمیایی نسبت به تیمار ۱۵ تن کمپوست در هکتار، مقدار تجمع نیکل و کروم بیشتر بود. در مورد تیمارهای ۳۰ و ۴۵ تن کمپوست در هکتار نیز نتایج به همین ترتیب بود. در اثر کاربرد تیمارهای مختلف کمپوست و کود شیمیایی در گیاه کدو مقدار کروم در تیمارهای تلفیقی نسبت به تیمار ساده بیشتر بود [۲۹]. در مطالعهٔ دیگری، با کاربرد کمپوست زبالهٔ شهری و کود شیمیایی به‌طور مشابه مقدار عنصر کروم در تیمار شاهد کمترین و در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی بیشترین بوده است [۴].

۳. ۲. ۳. دانه

براساس نتایج به‌دست‌آمده اثر تیمارهای کودی بر مقدار تجمع سرب، نیکل و کروم در دانهٔ برنج معنادار نبود، اما بر تجمع کادمیوم در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۵). طی آزمایشی، با کاربرد شیرابهٔ زباله، مقدار نیکل، کروم و کبالت افزایش معناداری در دانه نشان نداد [۱۶]. کاربرد سه‌سالهٔ کمپوست سبب افزایش معنادار کادمیوم در دانهٔ برنج شد [۲۰]. کمترین مقدار کادمیوم در دانه در تیمار شاهد (۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و بیشترین آن در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار + ۷۵ درصد کود شیمیایی (۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) دیده شد و تیمار مزبور کادمیوم دانه را نسبت به تیمار شاهد سه‌برابر افزایش داد. بعد از تیمار شاهد بیشترین غلظت کادمیوم دانه به‌ترتیب در تیمارهای مختلف ۱۵، ۳۰ و ۴۵ تن در هکتار مشاهده شد و با افزایش مصرف کمپوست مقدار کادمیوم در دانهٔ برنج افزایش نشان داد (جدول ۶).

در آزمایش مشابهی، مقدار سرب در دانهٔ برنج متناسب با مقدار شیرابهٔ مصرفی افزایش یافت [۱۶]. غلظت عناصر سرب، کادمیوم، نیکل و کروم بسیار کمتر از حد بحرانی و در حد مجاز بود. در این زمینه، غلظت بحرانی عناصر سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و کروم در گیاه آلوده به‌ترتیب، ۳۰۰، ۳۰، ۱۰۰ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود [۷].

۴. نتیجه‌گیری

کاربرد دوسالهٔ کمپوست زبالهٔ شهری، تغییر معناداری در مقدار عناصر سنگین قابل جذب ایجاد نکرد که ناشی از مصرف کوتاه‌مدت کمپوست است، اما بر مقدار کل عناصر سرب، کادمیوم، نیکل و کروم به‌علت pH خنثی، آهک زیاد خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و مواد آلی به‌نسبت زیاد، تأثیر معناداری داشت.

در ریشهٔ برنج مقدار سرب و در اندام هوایی برنج مقادیر سرب، کادمیوم، نیکل و کروم و در دانهٔ برنج مقدار کادمیوم افزایش معناداری نشان داد. مقدار سرب و بقیهٔ عناصر بررسی‌شده در ریشه بیشتر از اندام هوایی برنج بود. همچنین، در خاک و در همهٔ اندام‌های بررسی‌شدهٔ گیاه برنج، کاربرد کمپوست و کود شیمیایی سبب افزایش مقدار عناصر سنگین در مقایسه با تیمارهای ساده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱. ترابیان ا و مهجوری م (۱۳۸۲). بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین به‌وسیلهٔ سبزی‌های برگی جنوب تهران. علوم خاک و آب. ۱۶(۲): ۱۹۶-۱۸۹.

۲. قلی‌پور ا (۱۳۸۹) تأثیر کاربرد دوسالهٔ کمپوست زبالهٔ شهری بر فراهمی عناصر غذایی و وضعیت عناصر سنگین در خاک و اندام‌های مختلف گیاه برنج. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد رشتهٔ علوم خاک. دانشکدهٔ علوم زراعی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۸۸ ص.

۳. گندمکار ا، کلباسی م و قرآنی ا (۱۳۸۲) اثر شیرابهٔ کمپوست بر عملکرد و ترکیب شیمیایی ذرت و اثر باقیماندهٔ آن بر بعضی خصوصیات خاک. پژوهش و سازندگی. ۶۰: ۸-۲.

۴. محمدی ا و بهمنیار م ع (۱۳۹۳) اثر تجمعی کاربرد سه‌ساله کمپوست زبالهٔ شهری و کمپوست همراه با کود شیمیایی بر میزان غلظت برخی عناصر سنگین در اندام‌های مختلف گیاه تحت کشت برنج. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۸(۶۸): ۱۸۱-۱۷۳.

۵. موسوی م (۱۳۸۹) تأثیر کودهای آلی مختلف (کمپوست، ورمی‌کمپوست و لجن فاضلاب) بر توزیع عناصر سنگین (کادمیوم، کروم، نیکل و سرب) در خاک و گیاه برنج و برخی خصوصیات شیمیایی خاک. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد رشته علوم خاک. دانشکدهٔ علوم زراعی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۱۱۵ ص.

۶. میرزایی تالارپشتی ر، کامبوزیا ج، صباحی ح و دامغانی ع م (۱۳۸۸) اثر کاربرد کودهای آلی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و تولید محصول و مادهٔ خشک گوجه‌فرنگی. پژوهش‌های زراعی ایران. ۷(۱): ۲۶۸-۲۵۷.

7. Alloway BJ (1990) Heavy metals in soils. John Wiley and Sons Inc. New York. PP: 20-27.

8. Azimi AA, Navab Daneshmand T and Pardakhti A (2006) Cadmium absorption in different parts of kidney beans, radishes and pumpkins. Environmental Science and Technology. 3: 177-184.

9. Bahmanyar MA (2008) Cadmium, nickle, chromium, and lead levels in soils and vegetables under long-term irrigation with industrial wastewater. Soil Science and Plant Analysis. 39: 2068-2079.

10. Baldwin KR and Shelton JE (1999) Availability of heavy metals in compost-amended soil. Bioresource Technology. 69: 1-14.

11. Bhattacharyya P, Chakrabarti K, Chakraborty A, Tripathy S, Kim K and Powell MA (2008) Coblt and nickel uptake by rice and accumulation. Ecotoxicology and Environmental Safety. 69: 506-512.

12. Bennett JP, Chiriboga E, Coleman J and Waller DM (1999) Heavy metals in wild rice from northern Wisconsin. The Science of the Total Environment. 246: 261-269.

13. Courtney RG and Mullen GJ (2008) Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. Bioresource Technology. 99: 1913-2918.

14. Hooda RS (2010) Fertilizer –Borne Trace Element Contaminants in Soils. John Wiley and Sons Pub., USA.

15. Jordao CP, Nascentes CC, Cecon PR, Fontes RL and Pereira JL (2006) Heavy metals availability

www.SID.ir

Archive of SID

in soil amended with composted urban solid wastes. Environmental Monitoring and Assessmant. 112: 309-326.

16. Khoshgoftarmanesh A and Kalbasi M (2002) Effect of municipal waste leachate on soil properties and growth and yield of rice. Soil and Water Sciences. 15(1): 12-24.

17. Lindsay WL and Norvell WA (1978) Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America. 42: 421-428.

18. Maftoun M, Moshiri F, Karimian N and Ronaghi A (2004) Effects of two organic wastes in combination with phosphorus on growth and chemical composition of spinach and soil properties. Plant Nutrition. 27(9): 1635-1651.

19. Mirales A (2004) Heavy metal accumulation in plants and soils irrigated with wastewater from Mexico City. Nucl. Instruments and Methods in Phys. Res. 219-220: 187-190.

20. Mousavi SM, Bahmanyar MA and Pirdashti H (2010) Lead and cadmium availability and uptake by rice plant in response to different biosolids and inorganic fertilizers. Agricultural and Biological Sciences. 5: 25-31.

21. Nelson DW and LP Sommers (1982) Total carbon, organic carbon and organic matter. American Society Agronomy, Madison, WI, 539-579.

22. Nelson RE (1986) Carbonate and gypsum. In Methods of Soil Analysis, eds. Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R., American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin. Pp. 181-198.

23. Page AL, Miller RH and Keeney DR (1982) Methods of Soil Analysis. Part 2, second Ed. F.N 1972 The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy. 24: 26-92.

24. Perz DV, Alcantra S, Ribeiro Fontes GC, Waserman MA, Venezuela TC, Meneguelli NA and Parradas CAA (2007) Composted municipal waste effects on chemical properties of Brazilian soil. Bioresources Technology. 98: 525-533.

25. Pinamonti F, Nicolini G, Dalpiaz A, Stringari G and Zorzi G (1999) Compost use in viticulture: effects on heavy metal levels in soil and plants. Commun. Soil Science and Plant Analysis. 30: 1531-1549.

26. Smith SR (1992) Sewage sludge and refuse composts as peat alternatives for conditioning impoverished soils. Effects on the growth response and mineral status of petunia grandiflora. Horticultural Science. 67: 703-716.

27. Tejada N and Gurdner AL (2011) Influence of land application of municipal solid waste compost on heavy metal distribution and soil biological properties and rice yield. European Journal of Agronomy. 45: 53-69.

28. Walid BA, Gabteni N, Lakhdar A, Laing G, Verloo M, Jedidi N and Gallali T (2009) Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. Agriculture, Ecosystems and Environment. 130: 156-163.

29. Warman PR, Rodd AV and Hicklenton P (2009) The effect of MSW compost and fertilizer on extractable soil elements and the growth of winter squash in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystems and Environment. 133: 98-102.

www.SID.ir