مجله مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد اول، شماره اول، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

وضعیت نیکل و کروم در خاک و گیاه برنج تحت تیمار با ورمی‌کمپوست

*سیدمجید موسوی[۱]، محمدعلی بهمنیار[۲] و همت‌اله پیردشتی[۳]
[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
[۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
[۳]استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۹

چکیده

به‌منظور مطالعه تأثیر ورمی‌کمپوست بر مقدار نیکل و کروم خاک و گیاه برنج این آزمایش در سال ۱۳۸۷ به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی (کود) در ٦ سطح ۲۰ و ٤۰ تن در هکتار، ۲۰ و ٤۰ تن غنی شده با ۵۰ درصد کود شیمیایی، کود شیمیایی (براساس آزمون خاک شامل ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) و شاهد به خاک اضافه گردید. عامل فرعی دوره‌های کوددهی در نظر گرفته شد که شامل ۳ تیمار ۱، ۲ و ۳ سال کوددهی بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیش‌ترین نیکل قابل جذب (۲/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) به تیمار ۳ سال مصرف ٤۰ تن ورمی‌کمپوست غنی شده اختصاص داشت. در تیمارهای ۳ سال مصرف متوالی ۲۰ و ٤۰ تن غنی شده بالاترین کروم قابل جذب (۰/۱۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین غلظت نیکل در ریشه مربوط به ۳ سال کاربرد متوالی تیمار ٤۰ تن +۵۰ درصد کود شیمیایی بود که حدود ٦۳ درصد بیش‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده در تیمار بدون کود بود. با کاربرد تیمارهای ۲ و ۳ سال مصرف ٤۰ تن ورمی‌کمپوست بیش‌ترین غلظت نیکل در دانه با حدود ۲ برابر افزایش نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد. بالاترین غلظت کروم در ریشه (۸/٤۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و دانه (٤/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) نیز به‌ترتیب به تیمارهای ۳ سال کاربرد ٤۰ تن و ۲۰ تن ورمی‌کمپوست غنی شده اختصاص داشت.

واژه‌های کلیدی: ورمی‌کمپوست، برنج، خاک، نیکل، کروم

* مسئول مکاتبه: majid62mousavi@gmail.com

مقدمه

امروزه برتری استفاده از پس‌مانده‌های آلی در کشاورزی به‌عنوان منبع باارزشی از اصلاح‌کننده‌های آلی و عناصر تغذیه‌ای برای گیاه، بر هیچ‌کس پوشیده نیست به‌طوری‌که با کاربرد مواد آلی هم‌وضعیت مواد آلی خاک (هوموس خاک) و هم‌مقدار عناصر غذایی آن بهبود می‌یابد (کورتنی و مولن، ۲۰۰۷). از سوی دیگر مصرف هم‌زمان کودهای آلی و شیمیایی به خاک باعث افزایش کارایی کودهای شیمیایی، بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و کاهش آلودگی محیط می‌شود (کیلینگ و همکاران، ۲۰۰۳). ورمی‌کمپوست‌ها به مقدار زیادی شبیه پیت تکامل‌یافته با تخلخل، تهویه، زه‌کشی و ظرفیت نگه‌داشت آب و فعالیت میکروبی بالا هستند که به‌وسیله فعل و انفعالات میان کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها در یک فرایند غیرگرمازا تشکیل می‌شوند (ادواردز و باروز، ۱۹۸۸). ورمی‌کمپوست در واقع کمپوست به‌دست آمده به‌دست آمده از عملیات تجزیه کرم‌های خاکی بر روی پس‌مانده‌ها و بقایا می‌باشد که نه تنها شامل لاشه و اجساد کرم‌هاست بلکه مواد بستری و نیز پس‌مانده‌های آلی در مراحل مختلف تجزیه را نیز دربرمی‌گیرد. ورمی‌کمپوست شامل بیش‌تر عناصر تغذیه‌ای قابل استفاده برای گیاه مانند نیترات، فسفات، کلسیم قابل تبادل و پتاسیم محلول است (اروزکو و همکاران، ۱۹۹٦؛ ادواردز، ۱۹۹۸).

ورمی‌کمپوست دارای ذرات با سطح ویژه بالایی می‌باشد که این باعث بهبود وضعیت فضاهای ریز خاک از نظر فعالیت میکروبی و قابلیت نگه‌داشت بالای عناصر تغذیه‌ای می‌شود (شی- وی و فو- زن، ۱۹۹۱). از سوی دیگر، خطرات و مشکلات ناشی از فلزات سنگین موجود در کودها و دیگر موادی که به خاک اضافه می‌شوند، توجه کشاورزان، سازمان‌های مرتبط با محیط زیست، مصرف‌کنندگان و سیاست‌گذاران اجتماعی را روز به روز به‌سمت خود بیش‌تر جلب می‌کنند. منابع اولیه آلودگی خاک به فلزات سنگین شامل استفاده از سوخت‌های فسیلی، معدن‌کاوی و فعالیت‌های کارخانجات ذوب و پالایش، پس‌مانده‌های شهری، کودها، آفت‌کش‌ها و لجن فاضلاب می‌باشد (پنگ و همکاران، ۲۰۰٦؛ زیونگ، ۱۹۹۸). استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست و ورمی‌کمپوست به‌عنوان کود در اراضی زراعی همواره با یک نگرانی عمده همراه بوده و آن هم افزایش تجمع فلزات سنگین در خاک است (راس، ۱۹۹٦؛ مورتوت، ۱۹۹٦؛ مورنا و همکاران، ۲۰۰۲؛ مک‌براید، ۲۰۰۳؛ مادرید و همکاران، ۲۰۰۷). این وضعیت عموماً زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار زیادی از این کودها به خاک اضافه شود (خوش‌گفتارمنش و کلباسی، ۲۰۰۲).

کلایری و همکاران (۱۹۹۱)، زیمنس- ایمبان و همکاران (۲۰۰۱) و جوردائـو و همکـاران (۲۰۰۵) در مطالعات خود نشان دادند که افزودن کمپوست پس‌مانده‌های شهری به خاک سـبب افـزایش شـکل قابل جذب بیش‌تر فلزات سنگین در خاک و در نتیجه افزایش جذب آن‌ها به‌وسیله انـدام‌هـای گیـاهی می‌شود. در همین راستا مطالعه بر روی میزان افزایش غلظت فلزات و تغییرات در وضعیت توزیع آن‌ها در خاک اصلاح شده با کمپوست در طولانی‌مدت نشان داده که به‌طورکلی غلظت این فلزات در خاک و همچنین غلظت آن‌ها در گیاهان تحت تیمار در این خاک‌ها افزایش می‌یابد (گیگلوتیگ و همکـاران، ۱۹۹٦؛ مورتوت، ۱۹۹٦؛ زلجـازکوو و وارمـن، ۲۰۰٤؛ وی و لیـو، ۲۰۰۵؛ افیـونی و همکـاران، ۲۰۰۷). نتایج مطالعه‌های برخی محققان نیز بیانگر تجمع بیش‌تر فلزات سنگین در ریـشه در مقایـسه بـا سـایر اندام‌های گیاهی است که دلیل آن را می‌توان به پویایی کم فلـزات سـنگین نـسبت داد (میـرل، ۲۰۰٤؛ افیونی و همکاران، ۲۰۰۷).

اگرچه برخی محققان نیز نشان داده‌اند که کاربرد کمپوست لجن فاضلاب مانع از افزایش معنـی‌دار غلظت کل و قابل جذب بیش‌تر فلزات سنگین در خاک می‌شود (کاربولوسکی و همکاران، ۲۰۰۲). که البته به اعتقاد برخی محققان خصوصیات کود مورد استفاده و همچنین خصوصیات فیزیکی- شـیمیایی خاک مورد آزمایش در انباشت فلزات سنگین در خاک، قابلیت استفاده آن‌ها و در نهایـت جـذب ایـن فلزات به‌وسیله گیاه خیلی مهم است (کاوالارو و مبریدی، ۱۹۷۸). چن و همکاران (۱۹۹٦) در مطالعـه خود بیان کردند که غلظت کل فلزات در خاک معیار مناسب و درستی از قابلیـت اسـتفاده زیـستی یـا ارزیابی میزان خطرات بالقوه آن‌ها نیست. برخی دیگر نیز معتقدند که براساس نظریه اثـر کهنـه شـدن[1] قابلیت دسترسی فلزات سنگین وارد شده به خاک همراه کودهای آلی مانند کمپوست، ورمی‌کمپوسـت و لجن فاضلاب با گذشت زمان کاهش می‌یابد که علت را جذب شدید آن‌ها توسط خاک و مواد آلـی این کودها دانسته‌اند (راندل و همکاران، ۱۹۸۲؛ چنـگ و همکـاران، ۱۹۸۷). در مـورد تـأثیر کودهـای شیمیایی به‌خصوص کودهای اوره و فسفاته در ورود فلزات سنگین به خاک مطالعه‌هایی انجـام گرفتـه که نشان داده استفاده از این کودها نیز می‌تواند باعث افزایش فلزات سنگین در خاک تحت تیمار گردد (رهامن و همکاران، ۲۰۰۷؛ پراچنو و همکاران، ۲۰۰۱).

1- Aging Effect

پژوهش‌های به‌عمل آمده در خصوص اثرات کود کمپوست از منابع مختلف بر محصولات کشاورزی در دنیا همگی بیانگر مفید بودن آن از نظر حاصل‌خیزی خاک و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد که باعث افزایش محصول و قابل کشت کردن بسیاری از نقاط غیرحاصل‌خیز شده است (موجودی و جهاد اکبر، ۲۰۰۱). اما متأسفانه در ایران به‌دلیل در نظر نگرفتن اهمیت مواد آلی، این امر باعث تأثیرات سوء زیادی (مانند تخریب بافت و ساختمان خاک و از دسترس خارج شدن عناصر تغذیه‌ای در نتیجه آب‌شویی، فرسایش و...) در خاک‌ها گشته و نیاز به اقدامات ضروری در این مورد می‌باشد. با این‌حال کارهای کمی در زمینه استفاده از ورمی‌کمپوست در شرایط مزرعه‌ای و همچنین میزان خطرات کاربرد آن از نظر آلودگی خاک به فلزات سنگین انجام شده است. با توجه به ضرورت موضوع و گستردگی کشت گیاه برنج در استان مازندران، هدف از این پژوهش، مطالعه تأثیر مصرف جداگانه و تلفیقی ورمی‌کمپوست با کود شیمیایی بر وضعیت نیکل و کروم در خاک و میزان تجمع آن‌ها در اندام‌های مختلف برنج می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی سال زراعی ۱۳۸۷ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. این منطقه در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ٤۲ دقیقه شمالی از نصف‌النهار گرینویچ و میانگین ارتفاع ۱٦ متر از سطح دریا واقع شده است. این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا گردید. عامل اصلی (کود) در ٦ تیمار F_1، F_2، F_3، F_4، F_5 و F_6 (به‌ترتیب ۲۰ و ٤۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، ۲۰ و ٤۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار +۵۰ درصد کود شیمیایی، کود شیمیایی (براساس نتیجه آزمون خاک شامل ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) و تیمار شاهد (بدون کود) در نظر گرفته شد. عامل فرعی (سال‌های کوددهی)، نیز در ۳ تیمار زمانی T_1، T_2 و T_3 (۱، ۲ و ۳ سال مصرف) لحاظ گردید.

این مطالعه از سال زراعی ۸۵ در ۱۸ کرت به ابعاد ۱۲×۳ متر اجرا شد. در سال ۸٦ در دو سوم کرت‌های اولیه (۸×۳ متر) و در سال ۸۷ در یک سوم کرت‌های اولیه، (٤×۳ متر)، تیمارهای کودی اضافه گردید. قبل از اجرای طرح از خاک مزرعه به‌منظور تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌برداری انجام گرفت. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ آمده است. علاوه‌بر این با تهیه نمونه‌هایی از

ورمی‌کمپوست برخی خصوصیات شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۲). یک سوم کود اوره، تمام کود فسفر و نصف کود پتاس قبل از کاشت و نصف کود پتاسه و یک سوم کود اوره در مرحله پنجه‌زنی و یک سوم باقی‌مانده کود اوره در مرحله ساقه رفتن به‌صورت کود سرک به خاک اضافه گردید. عملیات زراعی در اواخر فروردین‌ماه با شخم زدن زمین و آماده‌سازی خزانه برنج شروع شده و مراقبت‌های لازم طی دوره رشد گیاه براساس دستورالعمل فنی مؤسسه تحقیقات برنج کشور به‌عمل آمد. پس از آماده‌سازی زمین اصلی و تقسیم آن به کرت‌هایی با ابعاد ۳ متر در ٤ متر، برای جلوگیری از انتقال عناصر و مواد آلی از کرت‌های مجاور به دیگر کرت‌ها، اطراف هر کرت به عمق ٤٠ سانتی‌متر با پلاستیک پوشانده شد. توزیع ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی با مقادیر موردنظر در کرت‌ها و انتقال نشاها به زمین اصلی و نشاءکاری با فاصله ۲۵ سانتی‌متر در اوایل خردادماه انجام گرفت. مقادیر نیکل و کروم کل خاک پس از عصاره‌گیری با اسید کلریدریک و اسید نیتریک با دستگاه جذب اتمی[1] تعیین گردید (بیکر و آماچر، ۱۹۸۲).

با استفاده از روش دی‌اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید[2] (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) شکل قابل جذب این عناصر نیز اندازه‌گیری شد. در مرحله برداشت، گیاه به دقت از خاک خارج و به ۳ قسمت ریشه، اندام هوایی (ساقه و برگ) و دانه برای تعیین غلظت نیکل و کروم تفکیک شد. غلظت نیکل و کروم به‌وسیله ریشه، اندام هوایی و دانه به روش هضم خشک تعیین گردید. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار MSTATC و SPSS و مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

جدول ۱- برخی خواص شیمیایی و فیزیکی خاک مورد آزمایش (۳۰-۰ سانتی‌متر).

بافت خاک	شن	رس	کربن آلی	اسیدیته	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	نیکل		کروم	
							کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
	درصد						میلی‌گرم بر کیلوگرم			
سیلتی رسی	۷/۳	٤۸	۱/٦	۷/٦۳	۱۰/۲۱	۱/۸٤	۳۹/٤٤	۱/۱۳	۳٤/۲۲	۰/۰۹

1- Varian (SpectrAA-10) Atomic Absorption
2- DTPA

جدول ۲- برخی خواص شیمیایی ورمی‌کمپوست استفاده شده.

کربن آلی (درصد)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	نیکل کل	نیکل قابل جذب	کروم کل	کروم قابل جذب
			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			
۹/٦۳	۸/۰۵	۲/۰٦	٤۳/۷۰	۵/۲۹	۳۸/۳۷	۰/۲۱

*میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی از عصاره (۱:۵) تعیین گردید.

نتایج و بحث

مقدار نیکل و کروم خاک: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که عامل کودی و دوره‌های مختلف مصرف بر مقدار نیکل و کروم در خاک تأثیر معنی‌داری داشته است. همچنین اثر متقابل کود در دوره‌های مختلف مصرف بر نیکل کل و قابل جذب و کروم کل تأثیر معنی‌داری نشان نداد اما در مورد کروم قابل جذب معنی‌دار شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس وضعیت نیکل و کروم در خاک.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نیکل		کروم	
		کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
تکرار	۲	۲/۸۵	۰/۰۰۳	۱۸/٤	۰/۰۰۰۰
کود	۵	۱۸/۵۵**	۰/۲۵۰*	۲۷/۹*	۰/۰۰۲۲**
خطای a	۱۰	۲/۱۲	۰/۰٦۵	٦/۳	۰/۰۰۰۰
سال	۲	٤۲/٦۱**	۰/٦۵٦**	٤/۷*	۰/۰۰٤۵**
کود در سال	۱۰	۲/٤۰^{ns}	۰/۰٤۱^{ns}	٦/۲^{ns}	۰/۰۰۰٤**
خطای آزمایش	۲٤	۱/۱۵	۰/۰۲۲	٤/۹	۰/۰۰۰۰
CV		٤/۳	۱۷	۷	۲۹

*معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد، **معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد و ^{ns}غیرمعنی‌دار.

با توجه به جدول مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ٤)، تحت تیمار کودی ٤۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار حداکثر نیکل کل در خاک اتفاق افتاد ضمن این‌که، با تیمارهای ۲۰ تن ورمی‌کمپوست و ٤۰ تن غنی شده در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین میزان نیکل قابل

جذب نیز به تیمار ٤٠ تن ورمی‌کمپوست اختصاص داشت (هم به‌صورت جداگانه و هم به‌شکل غنی‌شده با کود شیمیایی) که دارای حدود ۲۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ٤). با اعمال تیمار ٤٠ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، کروم کل تجمع‌یافته در خاک حداکثر بود (٤٣/٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) که تنها با تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌داری بود. بیش‌ترین کروم قابل جذب خاک نیز در تیمارهای ٤٠ تن ورمی‌کمپوست و ۲۰ و ٤٠ تن ورمی‌کمپوست غنی شده اتفاق افتاد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ٤). پنگ و همکاران (۲۰۰٦) و زیونگ (۱۹۹۸) نیز یکی از منابع ورود فلزات سنگین در خاک را کودهای آلی و پس‌مانده‌های شهری بیان کردند.

در همین زمینه مادرید و همکاران (۲۰۰۷) با افزایش کمپوست زباله‌های شهری به خاک طی ۳ سال، به این نتیجه رسیدند که مقدار فلزات سنگین در خاک در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. جوردائو و همکاران (۲۰۰۵) نیز با بررسی قابلیت استفاده فلزات سنگین در خاک تیمار شده با کمپوست زباله شهری نشان دادند که کمپوست می‌تواند تجمع بیش‌تر فلزات سنگین را در خاک افزایش دهد که این به منشأ مواد اولیه به‌کار رفته در تولید کمپوست بر می‌گردد. با افزایش تعداد سال‌های کاربرد کود از ۱ سال به ۳ سال، میزان نیکل و کروم کل و قابل جذب در خاک نیز به‌طور منظم و معنی‌داری افزایش یافت (جدول ٤). براساس یافته‌های این پژوهش تنها در کروم کل خاک تفاوت معنی‌داری بین ۱ و ۲ سال و همچنین بین ۲ و ۳ سال کوددهی مشاهده نشد. مقدار نیکل کل تجمع‌یافته در خاک طی ۳ سال متوالی مصرف ورمی‌کمپوست حدود ٦ درصد بیش‌تر از ۱ سال مصرف ورمی‌کمپوست بود. این در حالی است که تجمع نیکل قابل جذب در سال سوم در مقایسه با ۱ سال مصرف به مقدار ۲۰ درصد افزایش نشان داد. کروم کل و قابل جذب خاک نیز طی ۳ سال کوددهی در مقایسه با یک سال کوددهی به‌ترتیب حدود ٥/٤ و ٥٠ درصد افزایش یافتند (جدول ٤). مورتوت (۱۹۹٦) و افیونی و همکاران (۲۰۰۷) نیز در پژوهش‌های خود بر روی تأثیر استفاده چندساله از کودهای آلی مختلف بر میزان تجمع فلزات سنگین در خاک نشان دادند که با افزایش تعداد سال‌های کوددهی، میزان تجمع فلزات سنگین در خاک نیز افزایش می‌یابد.

جدول ٤- تأثیر تیمارهای کودی و دوره‌های مختلف مصرف بر مقدار نیکل و کروم خاک.

تیمار / کود	نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم)		کروم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	
	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
۲۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار	۵۱/۵^{ab}	۱/۵^{cd}	٤۲/۵^{a}	۰/۰۷^{b}
٤۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار	۵۲/۲^{a}	۱/۸^{a}	٤۳/٤^{a}	۰/۰۹^{a}
۲۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار +۵۰ درصد کود شیمیایی	۵۰/۸^{bc}	۱/٦^{bc}	٤۳/۱^{a}	۰/۰۹^{a}
٤۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار +۵۰ درصد کود شیمیایی	۵۱/۲^{abc}	۱/۸^{a}	٤۱/۹^{a}	۰/۰۸^{a}
کود شیمیایی	۵۰/۳^{c}	۱/۷^{ab}	٤۱/۱^{a}	۰/۰٦^{c}
شاهد	٤۸/۰^{d}	۱/٤^{d}	۳۸/٦^{b}	۰/۰۵^{d}
زمان مصرف				
یک سال مصرف	٤۹/۰^{c}	۱/۵^{c}	٤۰/۸^{b}	۰/۰٦^{c}
۲ سال مصرف متوالی	۵۰/۹^{b}	۱/٦^{b}	٤۱/۵^{ab}	۰/۰۷^{b}
۳ سال مصرف متوالی	۵۲/۰^{a}	۱/۸^{a}	٤۳/۰^{a}	۰/۰۹^{a}

* در هر ستون حروف مشابه نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست (براساس آزمون دانکن).

مطالعه اثر متقابل کود در دوره‌های مختلف مصرف بر وضعیت توزیع کروم در خاک در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، بیش‌ترین شکل قابل جذب کروم (حدود ۲/۱٤ برابر تیمار شاهد) نیز طی ۳ سال مصرف متوالی ۲۰ و ٤۰ تن ورمی‌کمپوست غنی شده با کود شیمیایی اندازه‌گیری شد که به غیر از تیمار ٤۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست با بقیه تیمارها دارای تفاوت معنی‌داری بودند (جدول ۵). زلجازکوو و وارمن (۲۰۰٤) و افیونی و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که تجمع فلزات سنگین با افزایش تعداد دفعات کاربرد کودهای آلی مانند کمپوست، در خاک افزایش می‌یابد. اما نتایج مطالعه کاربولوسکی و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که غلظت کل و قابل جذب بیش‌تر فلزات سنگین پاسخ معنی‌داری به کاربرد کمپوست لجن فاضلاب نشان نمی‌دهد. که این امر شاید به‌دلیل مقدار عناصر سنگین موجود در کود به‌کار برده شده باشد. ضمن این‌که خصوصیات شیمیایی خاک از جمله کربن آلی، آهک و اسیدیته بالای خاک باعث افزایش ظرفیت نگه‌داشت و تثبیت این فلزات به‌وسیله خاک و در نتیجه کاهش میزان قابل جذب این فلزات سنگین می‌شود (کاوالارو و مبریدی، ۱۹۷۸).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کود در دوره‌های مختلف مصرف بر مقدار کروم قابل جذب خاک.

تیمار	کروم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)		
	یک‌سال مصرف	دو سال مصرف متوالی	سه سال مصرف متوالی
۲۰ تن ورمی کمپوست در هکتار	۰/۰۶۰^{fg}	۰/۰۶۵^{ef}	۰/۰۹۰^{cd}
٤۰ تن ورمی کمپوست در هکتار	۰/۰۶۰^{fg}	۰/۰۹۲^{cd}	۰/۱۰۵^{ab}
۲۰ تن ورمی کمپوست در هکتار+ ۵۰ درصد کود شیمیایی	۰/۰۶۱^{fg}	۰/۰۹۶^{bc}	۰/۱۰۹^{a}
٤۰ تن ورمی کمپوست در هکتار+ ۵۰ درصد کود شیمیایی	۰/۰۶۰^{fg}	۰/۰۸٤^{d}	۰/۱۰۹^{a}
کود شیمیایی	۰/۰۵۹^{fgh}	۰/۰۵۵$^{f-i}$	۰/۰۷٤^{e}
شاهد	۰/۰٤۸^{i}	۰/۰٤۹^{hi}	۰/۰۵۱^{ghi}

* در هر ستون حروف مشابه نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست (براساس آزمون دانکن).

میزان غلظت نیکل و کروم در اندام‌های مختلف برنج: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ٦)، نشان می‌دهد که عامل کودی و دوره‌های مختلف مصرف بر میزان غلظت نیکل و کروم در اندام‌های مختلف برنج تأثیر معنی‌داری داشته است. تیمار کودی تنها بر میزان نیکل تجمع‌یافته در دانه تأثیر معنی‌داری نشان نداد. همچنین اثر متقابل کود در دوره‌های مختلف مصرف بر نیکل دانه تأثیر معنی‌داری نشان نداد اما میزان کروم ریشه، اندام هوایی و دانه و نیکل تجمع‌یافته در ریشه و اندام هوایی معنی‌دار شد (جدول ٦).

جدول ٦- تجزیه واریانس مقدار نیکل و کروم در قسمت‌های مختلف برنج.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		نیکل			کروم		
		ریشه	اندام هوایی	دانه	ریشه	اندام هوایی	دانه
تکرار	۲	۰/۰٦	۰/۰۹	۰/۸۵	۱/٤۰	۰/۲۰	۰/۱۵
کود	۵	۱۳/۹۷**	٦/۲۱**	۱۱/۱۱*	۱۱/٤۹**	۰/٤۵**	۲/۵۱**
خطای a	۱۰	۲/۱۹	۰/۰۳	۱/۹٦	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۱۵
سال	۲	۵۰/۵۹**	۷/۲۹**	۱۲/۳۸**	٤۳/٤٤**	٤/۳٤**	۸/۱٦**
کود در سال	۱۰	۲/۵۲**	۰/٤٤**	۰/٤٤*	۰/۷۸^{ns}	۰/۱۳**	۰/۲٦*
خطای آزمایش	۲٤	۰/۱۲	۰/۰٤	۰/۱۷	۰/۳۸	۰/۰٤	۰/۱۰
CV		۲۷/۷	۲۹/۵	۲٦/۷	۲۵	۲٤	۲۵

* معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار.

با توجه به جدول مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۷)، تیمار ٤٠ تن ورمی‌کمپوست در هکتار باعث بیش‌ترین تجمع نیکل در ریشه (۱۰/٤۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در مقایسه با سایر تیمارها گردید. بیش‌ترین غلظت نیکل در اندام هوایی در تیمار ٤٠ تن ورمی‌کمپوست + ٥٠ درصد کود شیمیایی به‌دست آمد، که بدون اختلاف معنی‌دار با تیمار ۲۰ تن ورمی‌کمپوست +٥٠ درصد کود شیمیایی بود. بیش‌ترین انباشت نیکل در دانه نیز به تیمار ٤٠ تن ورمی‌کمپوست اختصاص داشت (٦/۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) که ضمن داشتن اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها دارای حدود ۹۰ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۷). مورنا و همکاران (۲۰۰۲) قابلیت استفاده زیستی نیکل را بعد از کاربرد لجن فاضلاب در شرایط گلخانه‌ای در سه نوع خاک مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان کاربرد کود آلی، غلظت فلزات سنگین نیز در گیاهان کشت داده شده افزایش می‌یابد. در تیمار٤٠ تن ورمی‌کمپوست غنی شده با ٥٠ درصد کود شیمیایی بیش‌ترین تجمع کروم در ریشه (۸/٤۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) اتفاق افتاد که حدود ٦۲ درصد بیش‌تر از میزان اندازه‌گیری شده در تیمار شاهد بود. بیش‌ترین غلظت اندازه‌گیری شده کروم در اندام هوایی و دانه مربوط به تیمار ۲۰ تن ورمی‌کمپوست غنی شده با کود شیمیایی بود (جدول ۷). گیگلوتیگ و همکاران (۱۹۹٦) در مطالعات خود بر غلظت فلزات سنگین و وضعیت توزیع آن‌ها در دانه گیاهان کشت داده شده در خاک تیمار شده با کمپوست زباله‌های شهری طی ٦ سال، بیان کردند که میزان کروم جذب شده در ۲ سال آخر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. تجمع فلزات سنگین در بافت‌های گیاهی در نتیجه کاربرد طولانی‌مدت کودهای آلی مانند کمپوست از منابع مختلف، در پژوهش‌های متعددی اثبات شده است (مورتوت، ۱۹۹٦؛ زلجازکوو و وارمن، ۲۰۰٤؛ وی و لیو، ۲۰۰٥). به‌طورکلی گزارش‌ها نشان می‌دهد که میزان فلز سنگین تجمع‌یافته در ریشه گیاهان تحت تیمار با این کودها، بیش‌تر از اندام هوایی و دانه است (کلایری و همکاران، ۱۹۹۱؛ زیمنس- ایمبان و همکاران،۲۰۰۱؛ افیونی و همکاران، ۲۰۰۷). میرل، (۲۰۰٤) دلیل تجمع بیش‌تر فلزات سنگین در ریشه نسبت به اندام هوایی و دانه را به پویایی پایین این فلزات نسبت می‌دهند.

تعداد دوره‌های اعمال تیمار کودی نیز غلظت نیکل و کروم در قسمت‌های مختلف برنج را به‌طور معنی‌داری دست‌خوش تغییر قرار داد. به‌طوری‌که میزان این فلزات با افزایش تعداد سال‌های کاربرد به‌طور منظم افزایش یافت (جدول ۷). غلظت نیکل در ریشه در سال دوم ۲۱/۹ و در سال سوم ۱۸/٦ درصد نسبت به سال قبل افزایش نشان داد. این در حالی است که میزان افزایش غلظت این عنصر در دانه درصد کم‌تری را به خود اختصاص داد به این معنی که در سال دوم ۱۹/۸ و در سال سوم ۱۳/۳

درصد غلظت آن در مقایسه با سال قبل افزایش یافت (جدول ۷). همان‌طورکه نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد، میزان افزایش غلظت در سال سوم (نسبت به سال دوم) کم‌تر از میزان افزایش یافته در سال دوم (نسبت به سال اول) است. راندل و همکاران (۱۹۸۲) نیز معتقد هستند که قابلیت دسترسی فلزات سنگین در ۳ تا ٤ سال اول پس از کاربرد کود آلی لجن بالا می‌باشد این روند در سال‌های بعد با قابلیت دسترسی کم‌تر اما پایدار فلزات در خاک دنبال می‌شود. همچنین، چنگ و همکاران (۱۹۸۷) گزارش کردند که بیش‌ترین تجمع فلز در گیاه در ۲ سال اول پس از کاربرد کود آلی اتفاق می‌افتد، سپس این غلظت کم‌تر شده و به‌صورت ثابت با زمان ادامه پیدا می‌کند. میزان غلظت کروم نیز تحت‌تأثیر تعداد سال‌های کاربرد کود قرار گرفت به‌طوری‌که با افزایش تعداد سال‌های کاربرد کود از ۱ سال به ۳ سال غلظت کروم نیز به‌طور منظم و معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۷). میزان تجمع کروم در ریشه در سال دوم ۲۸/۷ و در سال سوم ۵۵/٦ درصد در مقایسه با سال اول افزایش نشان داد. در دانه نیز تجمع کروم با افزایش سال‌های کوددهی در مقایسه با سال اول به‌ترتیب ۲۰/٤ و در سال سوم ۵۲/۷ درصد نسبت به سال قبل افزایش نشان داد (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین غلظت نیکل و کروم در اندام‌های مختلف برنج.

تیمار / کود	نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم)			کروم (میلی‌گرم در کیلوگرم)		
	ریشه	اندام هوایی	دانه	ریشه	اندام هوایی	دانه
۲۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار	۹/٦۱^{c}	۳/۰۸^{b}	٦/۰۲^{b}	٦/٦۰^{c}	۲/۱۰^{c}	۳/۳۳^{a}
٤۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار	۱۰/٤۹^{a}	۳/۰۰^{b}	٦/۷۰^{a}	۷/٦۷^{b}	۱/۹۹^{cd}	۳/۲۲^{a}
۲۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار +۵۰ درصد کود شیمیایی	۹/۵۷^{c}	۳/٦٦^{a}	۵/۱۱^{d}	۷/۷۵^{b}	۲/٤۹^{a}	۳/۵۷^{a}
٤۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار +۵۰ درصد کود شیمیایی	۱۰/۰۲^{b}	۳/٦۸^{a}	٦/۰۸^{b}	۸/٤۳^{a}	۲/۳٤^{ab}	۳/۳۹^{a}
کود شیمیایی	۸/٤٤^{d}	۲/٦٤^{c}	۵/۵۷^{c}	۷/۱۹^{bc}	۲/۱۵^{bc}	۳/۳٤^{a}
شاهد	۷/۰٦^{e}	۱/٤۳^{d}	۳/۵۱^{e}	۵/۲۰^{d}	۱/۸۸^{d}	۲/۱۱^{b}
زمان مصرف						
یک سال مصرف	۷/۵۳^{c}	۲/۳۱^{c}	٤/٦٤^{c}	۵/۵۷^{c}	۱/٦۵^{c}	۲/۵٤^{c}
۲ سال مصرف متوالی	۹/۱۸^{b}	۲/۸٦^{b}	۵/۵٦^{b}	۷/۱۷^{b}	۲/۱۹^{b}	۳/۰٦^{b}
۳ سال مصرف متوالی	۱۰/۸۹^{a}	۳/۵۸^{a}	٦/۳۰^{a}	۸/٦۷^{a}	۲/٦۳^{a}	۳/۸۸^{a}

* در هر ستون حروف مشابه نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست (براساس آزمون دانکن).

مقایسه میانگین اثرات متقابل کود در سال‌های مختلف مصرف نشان داد که بیش‌ترین تجمع نیکل در ریشه (۱۲/۷٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) طی ۳ سال مصرف متوالی ٤۰ تن ورمی‌کمپوست غنی‌شده با کود شیمیایی اتفاق افتاد که این مقدار تقریباً ٦۳/۷ درصد بیش‌تر از نیکل اندازه‌گیری شده تحت تیمار شاهد بود و با تیمارهای ۲۰ تن و ٤۰ تن بدون اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۸). طی ۳ سال مصرف متوالی تیمار ٤۰ تن ورمی‌کمپوست هم به‌صورت جداگانه و هم به‌شکل تلفیقی با کودهای شیمیایی مختلف بیش‌ترین غلظت نیکل در اندام هوایی (به‌ترتیب ٤/۲۱ و ٤/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) اتفاق افتاد که تنها با تیمارهای کود شیمیایی و شاهد دارای اختلاف معنی‌داری بود. تیمارهای ۲ سال و ۳ سال مصرف متوالی ٤۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار بالاترین نیکل را در دانه تجمع داد (به‌ترتیب، ۷/۲۳ و ۷/۳٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) که به‌طور متوسط حدود ۲ برابر مقدار اندازه‌گیری شده در تیمار شاهد بود (جدول ۸).

مقایسه میانگین اثرات متقابل کود در دوره‌های مختلف مصرف بر میزان تجمع کروم در قسمت‌های مختلف برنج نشان داد که طی ۳ سال مصرف متوالی ٤۰ تن ورمی‌کمپوست + ۵۰ درصد کود شیمیایی بیش‌ترین تجمع کروم در اندام هوایی اتفاق افتاد (۳/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) که حدود ۵۲ درصد بیش‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده در تیمار شاهد بود (جدول ۹). حداکثر میزان کروم تجمع‌یافته در دانه (٤/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار ۳ سال مصرف متوالی ۲۰ تن ورمی‌کمپوست غنی شده با ۵۰ درصد کود شیمیایی اتفاق افتاد که این میزان تنها با کروم تجمع‌یافته تحت تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌داری بود. در تیمار ۲ سال مصرف ۲۰ تن ورمی‌کمپوست غنی‌شده مقدار قابل‌توجهی کروم در دانه تجمع یافت (۳/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم که حدود ۲/۵ برابر مقدار اندازه‌گیری شده در تیمار شاهد بود (جدول ۹). با توجه به نتایج جدول‌های ۸ و ۹، غلظت نیکل و کروم در قسمت‌های مختلف برنج در تیمارهای ورمی‌کمپوست غنی‌شده با کود شیمیایی حداکثر بود. رهامن و همکاران (۲۰۰۷) و پراچنو و همکاران (۲۰۰۱) نیز در مطالعات خود اهمیت و نقش کودهای شیمیایی در افزایش تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاهان را اثبات کرده‌اند.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل ورمی‌کمپوست در دوره‌های مختلف مصرف بر غلظت نیکل در برنج (میلی‌گرم در کیلوگرم).

تیمار	ریشه			اندام هوایی			دانه		
	۱۳۸۵	۱۳۸۶+۱۳۸۵	۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶	۱۳۸۵	۱۳۸۶+۱۳۸۵	۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶	۱۳۸۵	۱۳۸۶+۱۳۸۵	۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶
F_1	٦/٥٢^{h}	١٠/١٠^{cd}	١٢/٢٠^{a}	٢/٤١$^{d-f}$	٢/٨١^{bc}	٤/٠٣^{a}	٤/٨٠$^{e-g}$	٦/٤٢^{bc}	٦/٨٤^{ab}
F_2	٨/٤٥^{e}	١٠/٧٥^{b}	١٢/٢٦^{a}	٢/٢٠^{ef}	٢/٥٧$^{c-e}$	٤/٢١^{a}	٥/٥٢^{de}	٧/٢٣^{a}	٧/٣٦^{a}
F_3	٨/٦٦^{e}	٩/٥٥^{d}	١٠/٥١^{bc}	٢/٩٥^{bc}	٣/٨٨^{a}	٤/١٦^{a}	٤/٨٨$^{e-g}$	٤/٨٦$^{e-g}$	٥/٥٨^{de}
F_4	٨/٣٦^{ef}	٨/٩٤^{e}	١٢/٧٦^{a}	٢/٧٨$^{b-d}$	٤/٠٦^{a}	٤/٢٠^{a}	٥/٢٤^{ef}	٦/٠٥^{cd}	٦/٩٤^{ab}
F_5	٧/٢١^{g}	٨/٣٣^{ef}	٩/٧٩^{d}	٢/١٧^{f}	٢/٦٧^{cd}	٣/٠٧^{b}	٤/٦٤^{fg}	٥/٣٠$^{d-f}$	٦/٧٧$^{a-c}$
F_6	٥/٩٩^{h}	٧/٤٢^{g}	٧/٧٩^{fg}	١/٣٤^{h}	١/١٧^{h}	١/٨٠^{g}	٢/٧٧^{h}	٣/٤٧^{h}	٣/٤٨^{h}

* در هر ستون حروف مشابه نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست (براساس آزمون دانکن).

F_1= ۲۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، F_2= ٤٠ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، F_3= ۲۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی، F_4= ٤٠ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی، F_5= کود شیمیایی و F_6= شاهد.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل ورمی‌کمپوست در دوره‌های مختلف مصرف بر غلظت کروم در برنج (میلی‌گرم در کیلوگرم).

تیمار	اندام هوایی			دانه		
	۱۳۸۵	۱۳۸۶+۱۳۸۵	۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶	۱۳۸۵	۱۳۸۶+۱۳۸۵	۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶
۲۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار	١/٤٤^{h}	٢/١٨^{de}	٢/٦٧^{bc}	٢/٥٠^{g}	٣/٤٥$^{b-d}$	٤/٠٦^{ab}
٤٠ تن ورمی‌کمپوست در هکتار	١/٥٧^{gh}	٢/٠٨^{de}	٢/٣٢^{cd}	٢/٦٤^{fg}	٣/٣٢$^{c-e}$	٣/٧٠$^{a-c}$
۲۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی	١/٨٤$^{e-g}$	٢/٦٧^{bc}	٢/٩٧^{ab}	٢/٧٣$^{e-g}$	٣/٧٢$^{a-c}$	٤/٢٥^{a}
٤٠ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی	١/٨٤$^{e-g}$	٢/٠٧^{de}	٣/١١^{a}	٢/٩٤$^{d-g}$	٣/٢١$^{c-f}$	٤/٠٣^{ab}
کود شیمیایی	١/٦٦$^{f-h}$	٢/٠٩^{de}	٢/٦٩^{bc}	٢/٨٢$^{e-g}$	٣/٢٤$^{c-f}$	٣/٩٦^{ab}
شاهد	١/٥٧^{gh}	٢/٠٤$^{d-f}$	٢/٠٤$^{d-f}$	١/٦٢^{h}	١/٤٤^{h}	١/٦٥^{h}

* در هر ستون حروف مشابه نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست (براساس آزمون دانکن).

مطالعه همبستگی میان مقدار نیکل و کروم در خاک و گیاه: نتایج به‌دست آمده از جدول همبستگی نشان داد که تیمارهای کودی و دوره‌های مصرف علاوه‌بر افزایش مقدار نیکل و کروم خاک میزان غلظت این فلزات در گیاه را نیز افزایش می‌دهد. هر چند که چن و همکاران (۱۹۹۶) نشان دادند که غلظت کل فلزات در خاک معیار مناسب و درستی از قابلیت استفاده زیستی یا ارزیابی میزان خطرات بالقوه آن‌ها نیست با این‌حال همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شکل کل و قابل جذب نیکل و کروم در خاک با میزان تجمع‌یافته در ریشه گیاه به‌دست آمد.

نیکل تجمع‌یافته در ریشه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با نیکل دانه شد ($r= +۰/۸۶^{**}$)، همچنین با نیکل تجمع‌یافته در اندام هوایی نیز همبستگی بالا و معنی‌داری نشان داد ($r= +۰/۸۶^{**}$). با افزایش کروم در ریشه کروم تجمع‌یافته در اندام هوایی و دانه نیز افزایش یافت (جدول ۱۰). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که تیمارهای کودی ورمی‌کمپوست و همچنین سال‌های کوددهی به‌طور معنی‌داری غلظت کل و قابل جذب نیکل و کروم را در خاک تحت‌تأثیر قرار دادند که این افزایش غلظت در خاک باعث افزایش غلظت نیکل و کروم در اندام‌های مورد مطالعه برنج گردید. همچنین ضریب همبستگی میان کروم قابل جذب خاک با میزان تجمع‌یافته در دانه ($r= ۰/۸۰^{**}$) بیش‌تر از ضریب همبستگی میان نیکل قابل جذب با غلظت نیکل در دانه بود ($r= ۰/۷۶^{**}$) (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- همبستگی ساده میان صفات مورد مطالعه (n=۱۸).

	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
۱= نیکل کل خاک	۱									
۲= نیکل قابل جذب خاک	+۰/٦۹**	۱								
۳= کروم کل خاک	+۰/۸٥**	+۰/٦٦**	۱							
٤= کروم قابل جذب خاک	+۰/۷۹**	+۰/۷۷**	+۰/۷۸**	۱						
٥= نیکل ریشه	+۰/۸۸**	+۰/۷۹**	+۰/۷۷**	+۰/۸۷**	۱					
٦= نیکل اندام هوایی	+۰/۸۱**	+۰/٦۷**	+۰/۸۰**	+۰/۸۸**	+۰/۸۰**	۱				
۷= نیکل دانه	+۰/۹۲**	+۰/۷٦**	+۰/٦۹**	+۰/۷۷**	+۰/۸٦**	+۰/۷۲**	۱			
۸= کروم ریشه	+۰/٤۱ns	+۰/٦۸**	+۰/۳۷ns	+۰/٥٤**	+۰/٥۷*	+۰/٤۷*	+۰/٤۳ns	۱		
۹= کروم اندام هوایی	+۰/٥۸*	+۰/٦۷**	+۰/٥٥*	+۰/۷٦**	+۰/۷۹**	+۰/۷۲**	+۰/٥٤*	+۰/۷٥**	۱	
۱۰= کروم دانه	+۰/۸۱*	+۰/٦٥**	+۰/۷۰**	+۰/۸۰**	+۰/۸۰**	+۰/۸۳**	+۰/۷۷**	+۰/٦٦**	+۰/۷۹**	۱

*معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد، **معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار.

نتیجه‌گیری

ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی مصرفی و همچنین دوره‌های کوددهی میزان تجمع نیکل و کروم در خاک و اندام‌های مختلف برنج را به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر قرار دادند. در بیش‌تر موارد (۹ صفت از ۱۰ صفت مورد مطالعه) تیمار ٤٠ تن ورمی‌کمپوست غنی‌شده با کود شیمیایی از بین تیمارهای کودی و تیمار ۳ سال مصرف متوالی (در مورد همه صفات) از بین دوره‌های مصرف، باعث بیش‌ترین تجمع نیکل و کروم در خاک و گیاه شدند. بیش‌ترین نیکل قابل جذب خاک با ۲۸/٦ درصد افزایش نسبت به شاهد، در تیمارهای ٤٠ تن ورمی‌کمپوست بدون کود شیمیایی و ٤٠ تن ورمی‌کمپوست غنی‌شده با کود شیمیایی اتفاق افتاد و بیش‌ترین کروم قابل جذب خاک نیز با حدود ۸۰ درصد افزایش در مقایسه با تیمار شاهد به تیمارهای ٤٠ تن در هکتار ساده و ۲۰ و ٤٠ تن در هکتار غنی شده با کود شیمیایی اختصاص داشت. به‌طورکلی، نیکل و کروم تجمع‌یافته در ریشه بیش‌تر از مقدار تجمع‌یافته در اندام هوایی و دانه بود. در بیش‌تر تیمارهای تلفیقی ورمی‌کمپوست با کود شیمیایی مقادیر اندازه‌گیری شده صفات مورد مطالعه حداکثر بود هم‌چنان‌که بیش‌ترین جذب نیکل به‌وسیله دانه با ٢٤/٨ درصد افزایش نسبت به شاهد، در تیمار کود شیمیایی به‌دست آمد ضمن این‌که بیش‌ترین جذب کروم به‌وسیله دانه به تیمار ۲۰ تن ورمی‌کمپوست غنی شده با کود شیمیایی اختصاص داشت که دارای ۵۵ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بود. در مجموع با توجه به این‌که در حال حاضر بیش‌تر پژوهش‌ها به اثرات مثبت کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست به‌عنوان منبع انکارناپذیر عناصر تغذیه‌ای و کربن آلی معطوف شده است، نیاز به انجام پژوهش‌هایی راجع به جنبه‌های منفی این اصلاح‌کننده‌ها به‌خصوص ورود عناصر بالقوه سمی مانند نیکل و کروم در محیط در کنار اثرات مثبت آن، بیش از پیش احساس می‌شود.

منابع

1.Afyuni, M., Karami, M., and Schulin, R. 2007. Effects of sewage sludge application on heavy metals status in soil and wheat, In: Biogeochemistry of trace elements: Environmental, Protection, Remediation and Human Health, China, 576p.

2.Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists, (AOAC) 15th edition, Washington, DC. Arlington, VA.

3.Baker, D.E., and Amacher, M.C. 1982. Nickel, copper, zinc and cadmium, P 323-336. In: Methods of Soil Analysis, A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds). American Society of Agronomy: Madison, WI.
4.Cavallaro, N., and Mebride, M.B. 1978. Copper and cadmium adsorption characteristics of selected acid and calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 550-555.
5.Chang, A.C., Page, A.L., and Warneke, J.E. 1987. Long-term sludge application on cadmium and zinc accumulation in Swiss chard and radish. J. Environ. Qualit. 16: 217-221.
6.Chen, B., Shan, X.Q., and Qian, J. 1996. Bioavailability index for quantitative evaluation of plant availability of extractable soil trace elements, Plant Soil, 186: 275-283.
7.Claire, L.C., Adriano, D.C., Sajwan, K.S., Abel, S.L., Thoma, D.P., and Driver, J.T. 1991. Effects of selected trace metals on germinating seeds of six plant species. J. Water, Air, and Soil Pollut. 59: 231-240.
8.Courtney, R.G., and Mullen, G.J. 2007. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. J. Bioresour. Technol. 99: 2913-2918.
9.Edwards, C.A. 1998. The use of earthworm in the breakdown and management of organic waste, P 327-354. In: Earthworm Ecology. ACA Press LLC, Boca Raton, FL.
10.Edwards, C.A., and Burrows, I. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media, P 21-32. In: Edwards, C.A., E. Neuhauser (eds.), Earthworms in Waste and Environmental Management SPB. Academic Press, The Hague, The Netherlands.
11.Giglotting, G., Businellid, D., and Giusquiani, P.L. 1996. Trace metals uptake and distribution in corn plants grown on a 6-year urban waste compost amended soil. J. Agric. Ecosystems and Environ. 58: 199-206.
12.Jordao, C.P., Nascentes, C.C., Cecon, P.R., Fontes, R.L.F., and Pereira, J.L. 2005. Heavy metal availability in soil amended with composted urban solid wastes. Environ. Monitoring and Assess. 112: 1-3. 309-326.
13.Keeling, A.A., Mccalum, K.R., and Beckwith, C.P. 2003. Mature green waste compost enhances growth and nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) through the action of water extractable factors. J. Bioresour. Technol. 90: 127-132.
14.Khoshgoftarmanesh, A.H., and Kalbasi, M. 2002. Effect of municipal waste leachate on soil properties and growth and yield of rice. Commun. Soil Sci. Plant Analls. 33: 13-14. 2011-2020.
15.Korboulowsky, N., Dupouyet, S., and Bonin, G. 2002. Environmental risks of applying sewage sludge compost to vineyards. J. Environ. Quality, 31: 1522-1527.
16.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.

17.Madrid, F., Lopez, R., and Cabrera, F. 2007. Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming conditions. J. Agric. Ecosys. Environ. 119: 3-4. 249-256.
18.McBride, M.B. 2003. Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risk? Adv. Environ. Res. 8: 5-19.
19.Mireles, A. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with waste water from Mexico city. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B., 219-220: 187-190.
20.Mojudi, A.R., and Jahad Akbar, M.R. 2001. Investigation effects of municipal solid waste on chemical properties of soil and quantity and quality traits of sugar beet. J. Sugar beet, 18: 1. 1-14. (In Persian)
21.Morena, M.T., Echeveria, J., and Garrido, J. 2002. Bioavailability of heavy metals in soils amended with sewage sludge. Can. J. Soil Sci. 82: 4. 433-438.
22.Mortvedt, J.J. 1996. Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizer. J. Fertiliz. Research, 43: 55-61.
23.Orozco, F.H., Cegarra, J., Trujillo, L.M., and Roig, A. 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia ftida*: Effect on C and N contents and the availability of nutrients. J. Bio. Fertil. of Soils, 22: 162-166.
24.Peng, K., Li, X., Luo, C., and Shen, Z. 2006. Vegetation composition and heavy metal uptake by wild plants at three contaminated sites in Xiangxi area, China, J. Environ. Sci. and Health Part A, 40: 65-76.
25.Prochnow, L.I., Plese, L.M., and Abreu, M.F. 2001. Bioavailability of cadmium contained in single superphosphates produced from different Brazilian raw materials. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32: 283-294.
26.Rahaman A.K.M.M., Alam, M.S., Mian, M.J.A., and Haque, M.E. 2007. Effect of different fertilizers on concentration and uptake of cadmium by rice plant. J. Agric. 45: 2. 129-134.
27.Ross, S.M. 1996. Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils, P 63-152. In: Ross, S.M. (Ed), Toxic Metals In: Soil-Plant Systems. Wiley, UK.
28.Rundle, H., Calcroff, M., and Hoh, C. 1982. Agricultural disposal of sludges on a historic sludge disposal site. J. Water Pollut. Control, 81: 619-632.
29.Shi-Wei, Z., and Fu-zhen, H. 1991. The nitrogen uptake efficiency from N labeled chemical fertilizer in the presence of earthworm manure, P 539-542. In: Veersh, G.K., D., Rajgopal, C.A. Viraktamath, (eds.), Advances in Management and Conservation of Soil Fauna. Oxford and IBH publishing Co., New Delhi, Bombay.
30.Wei, Y., and Liu, Y. 2005. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. J. Chemosphere, 59: 1257-65.

31.Ximenez-Embun, P., Madrid-Albarran, Y., Camara, C., Cuadrado, C., Burbano, C., and Muzquiz, M. 2001. Evaluation of Lupinus species to accumulate heavy metals from waste waters. International J. Phytorem. 3: 369-379.
32.Xiong, Z.T. 1998. Lead uptake and effects on seed germination and plant growth in a Pb hyperaccumulator *Brassica pekinensis* Rupr, Bull. J. Environ. Contam. Toxicol. 6: 258-291.
33.Zheljazkov, V.D., and Warman, P.R. 2004. Phytoavailability and fractionation of copper, manganese, and zinc in soil following application of two composts to four crops. J. Environ. Poll.131: 187-95.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 1(1), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Nickel and chromium status in soil and rice under vermicompost treatment

***S.M. Mousavi[1], M.A. Bahmanyar[2] and H. Pirdashti[3]**

[1]M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2011/02/26; Accepted: 2011/10/31

Abstract

In order to investigate the influence of vermicompost (VC) on the concentration of nickel (Ni) and chromium (Cr) in soil and rice this research was conducted as a split plot based on randomized complete block design with three replications in 2008. Main factor (fertilizer) was added to soil in 6 levels, 20 and 40 ton ha^{-1} VC, 20 and 40 ton ha^{-1} VC enriched with 50% chemical fertilizer (CF), CF (based on soil testing comprise 100 kg. ha^{-1} urea, 150 kg. ha^{-1} triple super phosphate and 100 kg. ha^{-1} potassium sulphate) and control. Sub plot, were considered application periods that comprise 1, 2 and 3 years application. Results showed that the maximum available Ni (2.20 mg kg^{-1}) belonged to 3 years application of 40 ton enriched VC. In 3 continuous years application of enriched 20 and 40 ton ha^{-1} measured the highest available Cr (0.109 mg kg^{-1}). The highest concentration of Ni in root belong to 3 continuous years application of 40 ton VC +50% chemical fertilizer that was about 63% more than control treatment. With application of 40 ton VC per hectare during 2 and 3 years, measured the maximum Ni concentration in grain with about 2 times of control treatment. Also, the most content of Cr in root (8.43 mg kg^{-1}) and grain (4.25 mg kg^{-1}) belonged to 3 years application of enriched 40 and 20 ton ha^{-1}, respectively.

Keywords: Vermicompost, Rice, Soil, Nickel and chromium

* Corresponding Author; Email: majid62mousavi@gmail.com