

نقش کمپوست در تعدیل اثرات کادمیم بر تنفس و بیوماس میکروبی، و فعالیت فسفاتازهای خاک

لیلا دیانی^۱ - فایز رئیسی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۲

چکیده

کادمیم یکی از فلزات سنگین است که به خاطر اثرات سمی بالقوه آن بر فعالیت و ترکیب موجودات زنده خاک در چند دهه گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته است. گرچه اثرات بازدارندگی این فلز بر فعالیت میکروبی کاملاً محرز و مشخص است، اما شدت این اثرات به شرایط و وضعیت خاک، به ویژه میزان ماده آلی، بستگی دارد. از این رو، هدف مطالعه حاضر بررسی اثر کادمیم بر فعالیت های میکروبی خاک و نقش ماده آلی بر کاهش اثرات آن بود. این آزمایش به صورت فاکتوریل 2×5 شامل دو فاکتور کادمیم در پنج سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) و کمپوست در دوسطح (صفر و ۲/۵ تن در هکتار کمپوست در عمق ۳۰ سانتی متر) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط آزمایشگاهی اجرا گردید. عکس العمل شاخص های میکروبیولوژیک خاک شامل تنفس و کربن بیوماس میکروبی، فعالیت آنزیم های فسفاتاز اسیدی و قلیائی به تیمار های کادمیم و ماده آلی طی ۱۰ هفته انکوباسیون مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش کادمیم بر تمامی شاخص های میکروبیولوژیکی اثر منفی و معنی دار داشت. مقدار کربن تجمعی معدنی شده طی ۷۲ روز با افزایش سطح کادمیم کاهش یافت در حالی که افزودن کمپوست باعث کاهش اثرات کادمیم شد. تقریباً برای تمامی شاخص های مورد بررسی، افزودن مواد آلی به خاک سبب شد تا از اثرات منفی و بازدارندگی کادمیم بر جمعیت میکروبی کاسته شود. نتایج نشان دادند که کل مقدار کادمیم اضافه شده در ابتدای آزمایش در پایان قابل استخراج نبود هر چند ضریب همبستگی بین این دو بسیار بالا بود ($r=0.96$). اندازه گیری کادمیم قابل جذب خاک به وسیله DTPA مبین این حقیقت بود که جزء قابل جذب کادمیم همبستگی منفی و قوی تری با اغلب شاخص های میکروبیولوژیکی اندازه گیری شده داشت ($r < -0.41$). به طور خلاصه، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کادمیم با غلظت حتی ۵۰ میلی گرم نقش سمی و بازدارنده بر رشد و فعالیت های میکروبی خاک دارد و افزودن مواد آلی می تواند کادمیم را برای ریزجانداران خاک به صورت غیر قابل جذب درآورد و از اثرات بازدارندگی آن تا حدی بکاهد.

واژه های کلیدی: کادمیم، فعالیت های میکروبی، پویائی کربن خاک، کمپوست، آنزیم های خاک

مقدمه

آنزیمی خاک غالب ترین پارامترهای مورد مطالعه هنگام بررسی اثرات سمی عناصر سنگین بر رشد و فعالیت های میکروبی هستند (۷). با این حال تنفس خاک رفتار متابولیکی ریزجاندارانی را نشان می دهد که به یک اندازه و به طور مساوی به آلاینده ها حساس نبوده و آزمایش هایی که تنها بر این پارامتر استوار باشند، همواره معتبر نیستند (۳۷). زیرا همیشه رابطه و روند واضح و مشخص بین اثر آلاینده ها و تنفس میکروبی در خاک های کشاورزی وجود ندارد (۱۵) در حالی که اثر منفی آن همواره در خاک های جنگلی گزارش شده است (۷).

کادمیم یکی از عناصر سنگین و سمی برای انواع موجودات زنده، بویژه میکروب های خاک، است (۲۲). این عنصر به روش های گوناگون شامل لجن و پساب های صنعتی و خانگی، کود های

معدنی شدن کربن آلی خاک به CO_2 یا تنفس میکروبی به عنوان یک شاخص مهم از فعالیت کل میکروفلور خاک محسوب می گردد (۴). تنفس میکروبی نه تنها مشخص کننده وضعیت و فعالیت میکروب های خاک می باشد، بلکه مشخص کننده روند، تعادل و چگونگی تجزیه ماده آلی، فعالیت آنزیمی و چرخه برخی عناصر غذایی خاک نیز خواهد بود (۲۶). تنفس و بیوماس میکروبی، و فعالیت

۱ و ۲ - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
* - نویسنده مسئول
(Email: f_raiesi@yahoo.com)

و در نتیجه باعث افزایش تنفس ناشی از تجزیه سلولهای میکروبی کشته شده توسط ریزجانداران باقیمانده می شود (۲۴). گاهی بیوماس میکروبی نیز به عنوان یک شاخص حساس به غلظت زیاد آلاینده ها به شمار می رود (۱۳). بیوماس میکروبی که اغلب به روش تدخین-عصاره گیری و یا تدخین-انکوباسیون در آزمایشگاه اندازه گیری می شود، حتی در غلظت های زیاد کادمیم $1000-500 \text{ mg kg}^{-1}$ هم تحت تأثیر قرار نگرفت (۱۳). با این وجود، عکس العمل این شاخص به افزایش عناصر سمی روند مشخصی را نشان نمی دهد.

مانند سایر فلزات دیگر، کادمیم در خاک تحت تأثیر تجزیه شیمیایی یا میکروبی قرار نمی گیرد و سالهای طولانی پس از ورود به خاک در آن باقی می ماند اما با گذشت زمان از قابلیت دسترسی بیولوژیکی فلزات و در نتیجه سمیت آنها بر بیوتای خاک کاسته می شود (۳۴). تحرک و انتقال فلزات سنگین در خاک را می توان با اضافه کردن مواد اصلاحی معدنی و آلی از جمله آهک، فسفات و کمپوست قلیایی مواد زائد به خاک کاهش داد (۱۲، ۱۸).

اضافه کردن مواد آلی به خاک جهت رفع سمیت کادمیم یکی از روشهای اصولی و مطمئن است زیرا مواد آلی، کربن محلول در خاک (DOC) را افزایش می دهند (۱۸ و ۳۳). این امر به این علت است که خود مواد آلی به عنوان منبع DOC عمل می کنند. کربن آلی محلول با فلزات کمپلکس فلز DOC را تشکیل می دهد که از قابلیت جذب آن توسط ریز جانداران و حتی گیاهان می کاهد (۱۷). عموماً یکی از علل افزایش فعالیت آنزیم ها در خاک آلوده به عناصر سنگین بر اثر افزودن مواد آلی، افزایش کربن آلی کل و کربن آلی محلول است که سبب افزایش فعالیت متابولیکی میکروب ها می شوند (۲۸ و ۳۳). با این وجود، گاهی افزودن مواد آلی جامد مانند کمپوست شهری، لجن فاضلاب و پساب سبب افزایش غلظت برخی عناصر سنگین در خاک می گردد که به طور بالقوه بر فعالیت آنزیم های خاک در دراز مدت اثر منفی دارند (۲۰) که در این حالت افزودن این گونه مواد آلی عملکرد منفی به همراه خواهد داشت. به هر ترتیب، تاکنون در مورد اثر مواد آلی برای کاهش یا افزایش زیست فراهمی کادمیم بین محققان اتفاق نظر حاصل نشده است. عده ای از محققان بر این اعتقادند که افزایش مواد آلی باعث افزایش CEC و تشکیل کمپلکس با کادمیم و در نتیجه کاهش فراهمی آن می شود (۱۶، ۱۸ و ۳۳) و اغلب موثرتر از دیگر مواد اصلاحی خاک مانند آهک و دیگر مواد قلیا زا هستند. از این رو، هدف این تحقیق بررسی اثرات سوء کادمیم بر شاخص های میکروبیولوژیک خاک و استفاده از مواد آلی (مانند کمپوست) به منظور کاهش اثرات این عنصر سمی بر رشد و فعالیت میکروبی خاک و رفع سمیت کادمیم بود.

شیمیایی مانند سفردار، صنایع ذوب فلزات، وارد خاک می گردد (۲۳). مقدار کادمیم در پوسته کره زمین و خاک معمولاً به ترتیب ۰/۱ و ۱ میلی گرم در کیلوگرم است (۳ و ۳۶). غلظت های بالای کادمیم اغلب باعث کاهش رشد و فعالیت میکروبی و کاهش سرعت واکنش های بیوشیمیایی خاک می گردد (۷). نتایج مطالعات قبلی نشان می دهند که عکس العمل رشد و فعالیت های میکروبی به کادمیم به عوامل متعدد از جمله pH، بافت، نوع کانی های رسی، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان و درجه تجزیه مواد آلی، سایر عوامل محیطی بستگی دارد (۱۶ و ۳۳). علاوه بر آن، نوع نمک کادمیمی نیز بسیار حائز اهمیت است. به عنوان مثال، اضافه کردن کادمیم به صورت اشکال نامحلول آن (مانند کربنات و اکسید) اثر سمی کمتری بر تجزیه سلولز نسبت به اشکال محلول آن (کلرید و سولفات) داشت (۱۹ و ۳۶). عناصر سمی با ایجاد کمپلکس با سوبسترای مورد نیاز آنزیم ها و خارج نمودن سوبسترا از دسترس ریزجانداران و یا با کشتن و از بین بردن ریزجانداران تجزیه کننده مواد آلی باعث کاهش تنفس خاک و فعالیت های میکروبی می گردند (۲۴). فعالیت آنزیمی در خاک نیز به عنوان یک شاخص حساس به حضور عناصر سنگین در خاک به شمار می رود (۱۵). عناصر سمی با تغییر شکل و اختلال در ایجاد کمپلکس آنزیم-سوبسترا، تغییر شکل پروتئین آنزیمی و با تأثیر بر ساخت آنزیم در درون موجود زنده باعث کاهش فعالیت آنزیم های خاک می شوند (۲۸). اما الکساندر (۲) کاهش در فعالیت آنزیم های خاک آلوده به کادمیم را به تغییر در ترکیب میکروبی خاک نسبت می دهد. وی همچنین بیان کرد که شاید کاهش فعالیت آنزیم های درگیر در چرخه های N، P و S به علت کاهش در جمعیت اکتینوباکترها باشد. آندرسون و دامچ (۵ و ۶) ضریب متابولیکی (qCO_2) را به عنوان یک پارامتر اکوفیزیولوژیکی برای مطالعه تأثیر استرس ناشی از آلودگی های گوناگون بر نیاز انرژی ریزجانداران خاک ارائه کردند. ضریب متابولیکی عبارت است از میزان تنفس خاک (یا کربن تجزیه شده برای تولید انرژی) به ازای هر واحد بیوماس میکروبی (کربن مصرف شده برای رشد و تشکیل سلول های جدید) در واحد زمان (۵). این شاخص در خاکهای آلوده در مقایسه با خاکهای غیر آلوده بیشتر است که نشان می دهد در خاکهای آلوده به عناصر سمی فعالیت متابولیکی و راندمان مصرف کربن توسط ریزجانداران تغییر می کند (۷). بدین صورت که ریزجانداران در شرایط استرس به ازای هر واحد سوبسترای آلی اضافه شده، کربن کمتری را صرف تشکیل بیوماس جدید (Growth) می کنند (۹) و اغلب برای تأمین انرژی لازم برای ادامه حیات (Maintenance) به کمک تنفس مصرف می کنند. از این رو، چنین می توان گفت که در خاکهای آلوده کارآیی متابولیکی در تبدیل سوبسترای آلی به بیوماس کاهش می یابد و قسمت اعظم کربن برای تولید انرژی مصرف می گردد. اضافه کردن عناصر سمی به خاک سبب از بین رفتن بخش زیادی از میکروبهای خاک می شود

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کمپوست مورد استفاده در آزمایش

ماده آلی	خاک	خصوصیت
-	۱۰	شن (%)
-	۳۷	سیلت (%)
-	۵۳	رس (%)
-	رسی	بافت
-	۵	آهک (%)
۹/۱	۶/۹۵	واکنش خاک
۷/۵	۰/۳۱	شوری (دسی زیمنس / متر)
۷۰/۲	۴۲/۲	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار مثبت / کیلوگرم)
۱/۵۴	۰/۱۰	نیترژن کل (درصد)
۱۴۳۰	۱۲۰/۸	فسفر قابل جذب یا کل (میلی گرم / کیلوگرم)
۱۱۵۱	۳۵۰	پتاسیم قابل جذب یا کل (میلی گرم / کیلوگرم)
۹/۲	۰/۵۰	کربن آلی (درصد)
۵/۹۵	۵	کربن / نیترژن
-	۱/۵	کادمیم کل (میلی گرم / کیلوگرم)
-	۰/۱۲	کادمیم قابل جذب (میلی گرم / کیلوگرم)

مواد و روش ها

یک خاک مرتعی واقع در منطقه دوآب صمصامی بخش چلگرد (استان چهارمحال و بختیاری) با کربنات کلسیم معادل (آهک) حدود ۵ درصد جهت نمونه برداری انتخاب گردید. دلیل اصلی انتخاب این نوع خاک حصول اطمینان از عدم وجود کادمیم و سایر عناصر سمی ناشی از مصرف ترکیبات آلاینده (پساب و لجن فاضلاب، کمپوست شهری و غیره) و کودهای شیمیایی فسفردار بود. در منطقه مورد مطالعه میانگین درجه حرارت سالانه $9/1^{\circ}C$ و متوسط بارندگی سالانه 1434 میلی متر گزارش شده است. خاک مورد مطالعه Pachic Haploxerolls طبقه بندی شده است.

آزمایش ها شامل اندازه گیری pH شوری، کربن آلی (روش اکسایش تر)، نیترژن کل (روش کج‌لدال)، فسفر قابل جذب (روش اولسن)، پتاسیم قابل جذب (روش عصاره گیری با استات آمونیم، مقدار کربنات کلسیم معادل (روش تیتراسیون) و بافت خاک (روش هیدرومتری) بودند (۸). نتایج ویژه گی های شیمیایی و فیزیکی خاک و کمپوست (ماده آلی) مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است.

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، بافت خاک مورد آزمایش رسی (میانگین رس حدود ۵۳ درصد) و میزان کادمیم کل و قابل جذب خاک به ترتیب $1/5$ و $0/12$ میلی گرم بر کیلوگرم است. خاک از شوری اندک ($EC=0/31$ dS m^{-1}) برخوردار است، درصد کربن آلی آن قابل توجه نیست ($OC=0/5$ %) اما ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به علت درصد رس زیاد، نسبتاً بالا ($c\ mol\ (+)\ kg^{-1}$) است. $CEC=42/4$ درصد کربن آلی کمپوست اضافه شده به خاک

حدود $9/2$ درصد، مقدار کادمیم کل و قابل جذب اندازه گیری شده در حدود صفر، CEC و EC آن به ترتیب $70/2\ cmol\ (+)\ kg^{-1}$ و $70/2$ dS m^{-1} است. برای ارزیابی اثر مواد آلی بر کاهش تأثیرات سوء کادمیم بر فعالیت های میکروبی خاک آزمایش به صورت فاکتوریل 5^*2 در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی (ده تیمار) با سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل کادمیم در ۵ سطح (صفر، ۵۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) و ماده آلی در دو سطح (بدون ماده آلی و با ماده آلی) در سه تکرار بودند که در مجموع ۳۰ واحد آزمایشی را شامل می شود.

۱۰۰ گرم خاک هوا خشک توزین و به داخل ظروف پلاستیکی (جار) یک لیتری منتقل گردید. تیمارهای مختلف کادمیم با استفاده از نمک سولفات کادمیم به صورت محلول به خاک ها اضافه و یک ماه در آزمایشگاه (دمای معمولی محیط) برای رسیدن به حالت تعادل نگهداری شدند. در هفته سوم تیمار ۲۵ تن در هکتار کمپوست اعمال گردید. سپس ظروف جهت انجام آزمایش های میکروبیولوژیکی زیر در انکوباتور در دمای $C\ 25 \pm 1^{\circ}$ درجه سانتیگراد قرار داده شدند.

اندازه گیری معدنی شدن کربن آلی (Cmin)

برای اندازه گیری میزان کربن معدنی شده (تنفس میکروبی)، به هر کدام از جارهای تنفسی حاوی خاک تیمار شده معادل ۱۵ سی سی آب مقطر اضافه شد تا رطوبت خاک به حدود ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه برسد. سپس جارها در انکوباتور در دمای $C\ 25 \pm 1^{\circ}$ قرار داده شدند. میزان تولید CO_2 طی بازه ی زمانی ۷۲ روز اندازه گیری و پایش

$$qCO_2 = \frac{BR}{MBC} \quad (۳)$$

که در آن qCO_2 ضریب متابولیسی ($\mu g CO_2-C mg^{-1} MBC day^{-1}$)^۱ و BR تنفس پایه ($mg CO_2-C kg^{-1} soil day^{-1}$) و MBC کربن بیوماس میکروبی ($mg CO_2-C kg^{-1} soil$) است.

سنجش فعالیت فسفاتازهای اسیدی و قلیایی

چهار میلی لیتر محلول اصلاحی MUB و یک میلی لیتر محلول پی- نیترو فنیل فسفات به یک گرم خاک اضافه شد و مقدار جذب پی- نیترو فنل توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV7500 در طول موج ۴۰۰ نانومتر قرائت گردید (۱۱ و ۳۲). فعالیت فسفاتازها بر حسب $\mu g PNP g^{-1} soil h^{-1}$ مورد سنجش قرار گرفت.

پس از اتمام آزمایش های میکروبیولوژیکی، pH، EC، کادمیم کل و کادمیم قابل جذب در تمام نمونه ها مجدداً اندازه گیری شدند (۲۵). کلیه پارامترها بر اساس وزن آن خشک خاک در دمای $105^\circ C$ بیان شدند. نتایج به صورت میانگین ($n=3$) هر تیمار گزارش شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده

آنالیز داده ها به کمک جدول تجزیه واریانس (ANOVA) برای پی بردن به منابع تغییرات (اثرات ساده کمپوست و کادمیم و نیز اثرات متقابل کمپوست و کادمیم) با استفاده از نرم افزار Statistics انجام گرفت. برای مقایسه میانگین ها از روش LSD فیشر در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. نمودارها با نرم افزار Excel ترسیم شدند و جهت بدست آوردن همبستگی بین پارامترها از نرم افزار آماری SAS استفاده گردید. داده های خام و باقیمانده آنها برای رعایت پیش فرض های تجزیه واریانس (نرمال بودن و همگنی واریانس تیمارها) نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

اثر کادمیم بر شاخص های میکروبی و بیوشیمیایی خاک

شکل ۱ اثر سطوح مختلف کادمیم را بر تنفس (معدنی شدن) تجمعی خاک طی ۷۲ روز انکوباسیون در تیمارهای بدون کمپوست (-C) و با کمپوست (+C) نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود در خاکهای تیمار شده و یا تیمار نشده با کمپوست، در طول دوره انکوباسیون بیشترین تنفس تجمعی در خاک شاهد (سطح صفر کادمیم) و کمترین آن در سطح $200 mg kg^{-1}$ کادمیم مشاهده می شود.

گردید. دی اکسید کربن ناشی از تنفس میکروبی (تجزیه کربن آلی خاک و کمپوست) در سود ۱ نرمال جمع آوری شد. برای این کار مقدار ۱۰ سی سی سود ۱ نرمال در یک وایل پلاستیکی ۲۰ میلی لیتری ریخته شد و روی سطح خاک درون جار قرار داده شد. تیتراسیون در ۲ هفته اول هر ۳ روز یک بار و در هفته های بعد هر ۷ روز یک بار انجام گرفت. قبل از تیتراسیون ۵ سی سی کلرید باریم اشباع (۱۰ درصد) اضافه شد تا CO_3^{2-} به صورت $BaCO_3$ رسوب کند و NaOH باقیمانده با اسید ۰/۵ نرمال تیتراسیون گردید. ظروف بدون خاک ولی حاوی NaOH به عنوان شاهد نیز در این آزمایش لحاظ گردید. سرعت معدنی شدن کربن (CMR) با تقسیم کل کربن معدنی شدن طی ۷۲ روز به مدت زمان انکوباسیون بر حسب میلی گرم کربن در کیلوگرم خاک در روز برای هر تیمار محاسبه گردید.

تنفس ناشی از سوپسترا (SIR)

جهت اندازه گیری این پارامتر در هفته آخر آزمایش معدنی شدن کربن، ۲ سی سی محلول گلوکز ۱ درصد به عنوان سوپسترا به هر کدام از ظروف اضافه شد و بلافاصله یک وایل حاوی ۱۰ سی سی سود ۰/۱ نرمال روی سطح خاک درون هر جار قرار داده شد و پس از ۸ ساعت مقدار CO_2 متصاعد شده به روش تیتراسیون (ارائه شده در قسمت بالا) محاسبه شد.

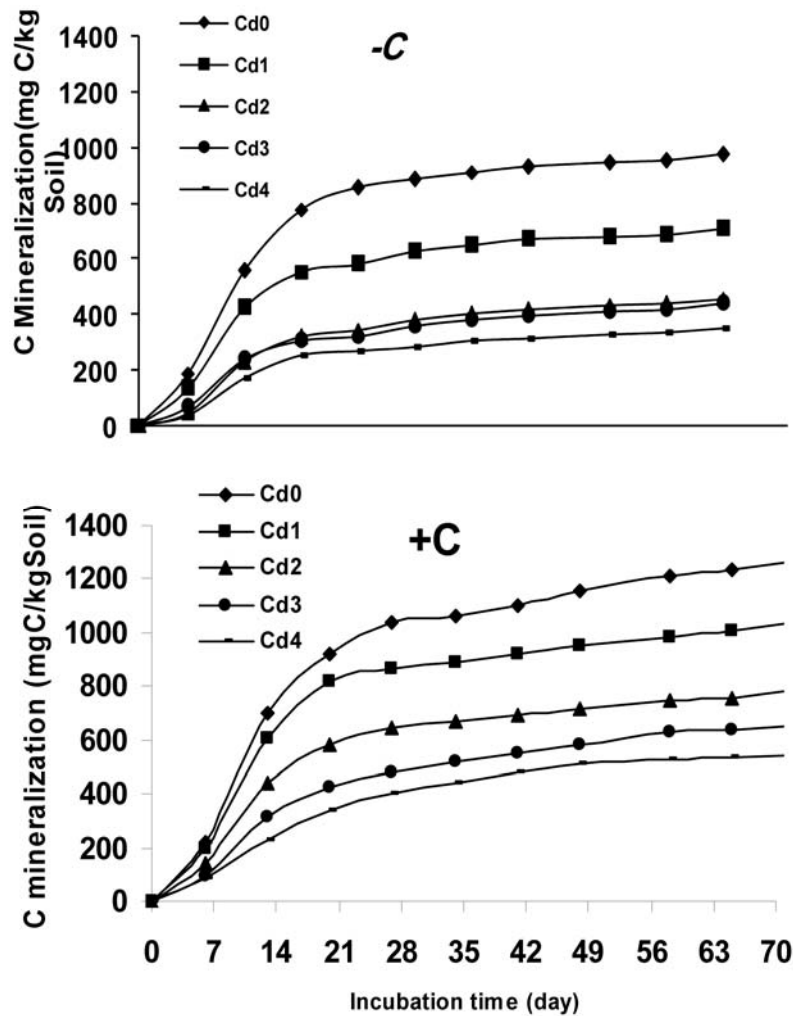
کربن بیوماس میکروبی (MBC)

برای اندازه گیری کربن بیوماس میکروبی از روش تدخین با کلروفورم- انکوباسیون استفاده شد. به این صورت که کربن بیوماس میکروبی از اختلاف بین کربن معدنی خاک در نمونه های تدخین نشده و تدخین شده طی ۱۰ روز انکوباسیون بدست آمد (۳۰). اختلاف بین CO_2-C متصاعد شده از نمونه های تدخین شده و تدخین نشده به عنوان بیوماس کربن تعیین گردید:

$$MBC = \frac{(F_c - uF_c)}{k_c} \quad (۱)$$

که در آن:

MBC کربن بیوماس میکروبی (میلی گرم در کیلوگرم)، F_c کربن معدنی شده یا CO_2 متصاعد شده در نمونه های تدخین شده با کلروفورم (میلی گرم در کیلوگرم)، uF_c کربن معدنی شده یا CO_2 متصاعد شده در نمونه های تدخین نشده (میلی گرم در کیلوگرم) و k_c ضریب بازیافت که معادل ۰/۴۵ است (۲۱). برای محاسبه ضریب یا کسر متابولیسی (qCO_2) از میزان تنفس پایه (BR) یا متوسط متصاعد شده از خاک تدخین نشده طی ۱۰ روز و کربن بیوماس میکروبی (MBC) استفاده شد:



شکل ۱- اثر سطوح مختلف کادمیم بر روند معدنی شدن تجمع می کربن در خاک های تیمار شده (+C) و تیمار نشده (-C) با کمپوست

گردید (جدول ۳). سرعت معدنی شدن کربن نیز یکی از شاخص های میکروبیولوژیک حساس به حضور عناصر سنگین است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است و نشان دهنده میزان کربن معدنی شده در یک دوره زمانی مشخص است. این پارامتر به میزان فراهمی سوبسترا بستگی دارد و کادمیم این سوبسترا را از دسترس ریز جانداران تجزیه کننده خارج می سازد. لذا این پارامتر با افزایش سطوح کادمیم کاهش می یابد. این اثرات کادمیم توسط دای و همکاران (۱۰) و بروکس (۹) نیز مشاهده شد. افزایش کادمیم به خاک تنفس ناشی از سوبسترا را کاهش داد (جدول ۳). لندی و همکاران (۲۴) با اضافه کردن L و D- گلوتامیک اسید به خاکهای آلوده به کادمیم و اندازه گیری تنفس خاک پس از ۶ ساعت (SIR) دریافتند که مقدار CO₂-C در خاک آلوده به کادمیم تفاوت معنی دار با خاک شاهد داشت و این روند در سطوح بسیار بالای کادمیم کاملاً مشهودتر بود.

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس تمامی پارامترهای مورد بررسی را نشان می دهد. کادمیم اثر معنی دار بر کل کربن معدنی شده خاک داشت. در هر دو خاک تیمار شده و تیمار نشده با کمپوست، افزایش غلظت این عنصر کاهش تنفس میکروبی را به همراه داشت (جدول ۳). دای و همکاران (۱۰) نشان نیز دادند در خاکهای آلوده به عناصر سنگین مانند کادمیم، میزان کربن معدنی شده با افزایش غلظت فلز کاهش یافت. اگر چه سرعت تولید CO₂ در خلال ۲ روز اول افزایش یافت ولی پس از آن کاهش معنی دار داشت. آنها گزارش کردند که تنفس خاک با کادمیم کل و کادمیم قابل جذب همبستگی منفی و معنی دار دارد. در مطالعه حاضر نیز همین رابطه مشاهده شد (جدول ۴).

کادمیم اثر کاملاً معنی دار ($P < 0.001$) بر سرعت معدنی شدن کربن داشت (جدول ۲) و باعث کاهش سرعت تجزیه کربن خاک

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر کادمیم و ماده آلی و اثرات متقابل آنها بر شاخص های پویائی کربن (اعداد آماره F هستند)

پارامتر	منابع تغییرات		
	کادمیم	کمیوست	کادمیم × کمیوست
درجه آزادی (df)	۴	۱	۴
C_{min} ($mg\ C\ kg^{-1}$)	۲۱۹/۷***	۴۶۶/۲۵***	۴/۹۷**
CMR ($mg\ C\ kg^{-1}\ d^{-1}$)	۱۳۸/۵***	۴۹۷/۷***	۱/۵۶ ^{n.s}
SIR ($mg\ C\ kg^{-1}$)	۸۹۰/۵۷***	۳۱۶/۶۸***	۴/۷۷**
MBC ($mg\ C\ kg^{-1}$)	۱۱۹۷/۶۵***	۲۱۰/۷***	۲۰۳/۱۶***
BR ($mg\ C\ kg^{-1}\ d^{-1}$)	۵۴/۸۴***	۷/۳۷**	۵/۱۸*
qCO_2 ($\mu g\ CO_2-C\ mg^{-1}\ MBC\ d^{-1}$)	۷۵/۹۱***	۰/۱۴۳ ^{n.s}	۰/۶۱۴ ^{n.s}
MBC/OC (%)	۱۳۹/۹***	۲۹۶/۷۴***	۸۵/۶۸***
Cmin/OC (%)	۱۹۴/۴***	۱۱۴۰/۴***	۱۶۳/۲***
ACP ($\mu g\ PNPg^{-1}h^{-1}$)	۱۷۲/۳۷***	۲۱/۴۵***	۱/۰۸ ^{n.s}
ALP ($\mu g\ PNPg^{-1}h^{-1}$)	۳۴۶/۵***	۱/۳ ^{n.s}	۱۴/۲۶**

* $P < 0.05$ ، ** $P < 0.01$ ، *** $P < 0.001$ ، ns - غیر معنی دار

Cmin: گرم کل کربن معدنی شده در کیلوگرم خاک طی ۷۲ روز، CMR: سرعت معدنی شدن کربن، SIR: تنفس ناشی از سوبسترا، MBC: کربن بیوماس میکروبی، BR: تنفس پایه، qCO_2 : ضریب متابولیکی، MBC/OC و Cmin/OC: به ترتیب نسبت کربن بیوماس میکروبی و کربن معدنی شده به کربن آلی خاک، ACP و ALP به ترتیب فعالیت آنزیم های فسفاتاز اسیدی و قلیائی

فعالیت هر دو آنزیم را به طور محسوس کاهش (۸۶ تا ۹۸ درصد) داد که مقدار این کاهش به سطح کادمیم بستگی دارد (جدول ۳). فسفاتازهای اسیدی و قلیایی جزء آنزیم های برون سلولی بوده و هیدرولیز ترکیبات فسفره آلی را به ترکیبات معدنی و محلول و قابل استفاده برای گیاهان بر عهده دارند و تحت تاثیر عناصر سمی، تغییر شکل یافته و قادر به ادامه فعالیت نیستند (۱۱). یکی از منابع مهم تولید فسفاتاز اسیدی ریشه گیاهان است، اما فسفاتاز قلیایی تنها توسط باکتریها و قارچ ها در خاک تولید می شود (۱۱). رنلا و همکاران (۳۱) دریافتند که کادمیم اثر سمی و منفی بر فعالیت هر دو آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی دارد. همچنین ژینگر و همکاران (۱۴) مشاهده کردند که اثر بازدارندگی فلزات بر فعالیت آنزیم ها بستگی به pH خاک دارد به طوری که در خاکهای اسیدی، فسفاتاز قلیایی حساسیت بیشتری به حضور فلزات سمی دارد و در خاکهای قلیایی، فسفاتاز اسیدی حساس تر است. پس چنین می توان استنباط نمود نتایج بررسی حاضر نیز همین مکانیسم را نشان می دهد چرا که فعالیت فسفاتاز قلیائی در خاکهای با pH بالا، چندان تحت تاثیر حضور فلزات سمی قرار نمی گیرد. ضریب ویژه تنفسی یا ضریب متابولیکی (qCO_2) از جمله پارامترهای محاسبه شده در این تحقیق بود که نتایج تجزیه واریانس آن در جدول ۲ نشان داده شده است. اثر کادمیم بر این پارامتر معنی دار ($P < 0.001$) بود، اما این اثر روند مشخص نداشت به طوری که در تیمارهای $150\ mg\ kg^{-1}$ و $50\ mg\ kg^{-1}$ ضریب متابولیکی افزایش و در تیمارهای $200\ mg\ kg^{-1}$ و $100\ mg\ kg^{-1}$ کاهش داشت. در حقیقت هنوز بین محققان در مورد اثر کادمیم بر این پارامتر اتفاق نظر حاصل نشده

در حقیقت افزایش سطح کادمیم باعث کاهش تنفس ناشی از سوبسترا در این خاک گردید. هاتوری (۱۹) نیز دریافت که تنفس ناشی از سوبسترا به حضور عناصر سنگین بسیار حساس است و این عناصر، سرعت معدنی شدن کربن سوبسترا را تحت تاثیر قرار می دهند. در حقیقت پس از اضافه کردن سوبسترای سهل الوصول برای ریز جانداران، عناصر سمی باعث ایجاد تأخیر در رشد نمائی ریز جانداران فعال می شوند. همان طور که در جدول ۲ آمده است کادمیم اثر معنی دار بر کربن بیوماس خاک داشته است. با این حال در مطالعه لندی (۲۴) بیوماس کربن نسبت به سطوح سمی کادمیم پاسخ معنی دار نداد. کربن بیوماس که ۴-۱ درصد کل کربن خاک را شامل می شود یکی از شاخص های حساس به حضور عناصر سمی است و کاهش آن با افزایش غلظت کادمیم شاید به این علت است که اندازه جمعیت های میکروبی خاک در حضور کادمیم کاهش می یابد (۲۳). کاهش همزمان تنفس ناشی از سوبسترا (SIR) و بیوماس میکروبی (جدول ۳) نشان می دهد که سهم میکروبی های فعال از بیوماس کل بر اثر اضافه شدن کادمیم به خاک کاهش چشمگیر می یابد، زیرا تنفس ناشی از سوبسترا نشان دهنده جمعیت و بیوماس فعال میکروبی از لحاظ متابولیکی می باشد (۲۴). به عبارت ساده تر، میکروبی های جوان خاک به دلیل حساسیت بیشتر در غلظت های بالای کادمیم زودتر از بین می روند.

نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد که کادمیم اثر معنی دار بر فعالیت آنزیم های فسفاتاز قلیایی و اسیدی داشته است (جدول ۱). افزایش غلظت کادمیم به بیش از 50 میلی گرم در کیلوگرم خاک

روندی کم و بیش در مورد سایر شاخص ها نیز صادق است. شاید علت آن یکسان بودن تأثیر سطح کادمیم در مقادیر زیاد باشد. نکته قابل توجه در مورد سرعت تنفس این است که اضافه کردن کمپوست در سطح ۲۰۰ میلی گرم کادمیم توانسته است اثر این سطح را تا حد ۵۰ میلی گرم کاهش دهد و این تیمارها اختلاف معنی دار با هم نداشته اند. دلایل متعددی برای این اثر ارائه گردیده است. مواد آلی با کمپلکس کردن کادمیم آن را از جزء (فرکشن) محلول و قابل جذب توسط ریز جانداران به جزء آلی تغییر داده و این باعث شده تا جمعیت و فعالیت ریز جانداران در تیمارهای حاوی مواد آلی افزایش و تا حدودی بتواند بر اثرات سمی کادمیم غلبه کند (۱۸، ۱۲ و ۳۳). هر چند با افزایش سطح کادمیم، تنفس خاک کاهش یافته است اما این کاهش در تیمار C+ کمتر بوده است. به طور کلی تحقیقات نشان می دهند کادمیم نسبت به سایر فلزات در خاک از قابلیت جذب و تحرک بیشتری برخوردار است (۳۳) و اینکه اضافه کردن موادی (مواد آلی و آهک) که از تحرک و قابلیت جذب آن بکاهد امری لازم و اجتناب ناپذیر است. یکی دیگر از علل کاهش قابلیت جذب کادمیم بر اثر اضافه شدن مواد آلی، افزایش pH است که اجزاء قابل جذب کادمیم (محلول در آب و تبادل) را کاهش و در مقابل، جزء های با قابلیت جذب کمتر را افزایش می دهد (۳۵).

بیشترین مقدار اغلب شاخص ها در سطح صفر کادمیم و جایی که کمپوست اضافه شده و کمترین میزان آنها در سطح ۲۰۰ میلی گرم کادمیم و بدون کمپوست مشاهده شد. نکته مشترک در مورد تمامی شاخص ها اثر مثبت اضافه کردن کمپوست است که باعث افزایش مقدار شاخص در تیمار حاوی کمپوست نسبت به تیمار فاقد آن شده است، اما در تیمار حاوی کمپوست اکثراً بین سطوح مختلف کادمیم اختلاف معنی داری مشاهده نمی شود.

اثر متقابل کادمیم و کمپوست بر فعالیت فسفاتاز قلیائی معنی دار بود و بیانگر اثر مثبت کمپوست در خاک های آلوده به کادمیم است. نتایج مشابهی توسط مادجان (۲۷) گزارش شده است. وی با افزودن مواد آلی به خاک های آلوده به عناصر سنگین مشاهده نمود که فعالیت آنزیم های اوره آز، فسفاتاز و بتا گلوکوزیداز افزایش یافت و علت این افزایش را رشد جمعیت میکروبی مقاوم به عناصر سمی بر اثر افزودن مواد آلی عنوان کرد. از این رو، می توان نتیجه گرفت علاوه بر افزایش در تنوع جمعیت میکروبی که توسط مواد آلی در خاکهای آلوده به کادمیم ایجاد می شود، این مواد میل ترکیبی کادمیم را با گروه سولفیدریل آنزیم به وسیله ایجاد کمپلکس های کم محلول با آن کم کرده و باعث افزایش سنتز آنزیم توسط میکروبهها از طریق افزایش جمعیت آنها می شود.

است (۲۴). هاتوری (۱۹) کاهش مقادیر qCO_2 در خاکهای آلوده را این گونه توضیح داد که ریز جانداران در خاکهای آلوده از سوبستراهای مختلف استفاده می کنند که این باعث افزایش کربن بیوماس میکروبی می شود. لندی و همکاران (۲۴) با اضافه کردن صفر، ۵۰ و ۵۰۰ میکروگرم کادمیم به خاک روند مشخص برای qCO_2 بدست نیاورند به طوری که در دو روز اول انکوباسیون qCO_2 کاهش یافت و پس از آن روندی مشاهده نشد و علت آن را کاهش تنفس در دو روز اول گزارش کردند چرا که MBC در این دو روز تغییر محسوسی نشان نداد.

اثر کمپوست بر شاخص های میکروبی و بیوشیمیایی خاک

اغلب شاخص های اندازه گیری شده و یا محاسبه شده در این پژوهش با افزودن کمپوست به خاکهای غیر آلوده و آلوده به کادمیم افزایش معنی دار نشان دادند (جدول های ۲ و ۳). به عنوان نمونه، معدنی شدن کربن و تنفس و بیوماس میکروبی بر اثر مصرف کمپوست افزایش قابل توجه داشتند (جدول ۳). احتمالاً میزان بالای کربن معدنی شده در تیمار حاوی مواد آلی (کمپوست) به علت تحریک و افزایش فعالیت میکروبی است که آن هم به دلیل افزایش منبع انرژی و کربن سهل الوصول و سهل التجزیه برای میکروبهاست. تحریک و بهبود رشد و فعالیت میکروبی بر اثر مصرف مواد آلی مختلف (از جمله کمپوست) در خاک های مختلف توسط پژوهشگران زیادی مشاهده شد. برای مثال پاسکال (۲۹) علت این افزایش را به مقدار بالای کربن محلول در آب نسبت داد.

اثر متقابل کمپوست و کادمیم بر شاخص های میکروبی خاک

جدول شماره ۲ نشان می دهد که اثر متقابل کادمیم و مواد آلی بر تمامی شاخص های پویایی کربن (به استثناء مقدار qCO_2 ، فعالیت فسفاتاز اسیدی و سرعت معدنی شدن کربن) معنی دار ($P < 0.001$) بود. درصد کربن آلی خاک در حدود ۰/۵ درصد است (جدول ۱) و اضافه شدن مواد آلی خاک با کربن آلی حدود ۱۰ درصد، میزان کربن آلی خاک را بالا برده و این باعث افزایش تنفس خاک در این تیمار شده است. در تمام سطوح کادمیم اضافه شده به خاک، مقدار کربن معدنی شده بین تیمارهای با کمپوست و بدون کمپوست اختلاف معنی دار ($P < 0.001$) با یکدیگر دارند. افزودن مواد آلی به خاک معدنی شدن کربن خاک را در سطوح مختلف کادمیم افزایش داده است. با این حال، معدنی شدن کربن بین سطوح بالای کادمیم در تیمار فاقد کمپوست اختلاف معنی دار مشاهده نمی شود که چنین

جدول ۳- اثر سطوح مختلف کادیم و اصلاح خاک با کمپوست بر شاخص های پویایی کربن و فعالیت آنزیم های خاک. اعداد میانگین (n=۳) هستند

ALP ($\mu\text{gPN/Pg}^{-1}\text{h}^{-1}$)	ACP ($\mu\text{gPN/Pg}^{-1}\text{h}^{-1}$)	Cmin/OC (%)	MBC/OC (%)	qCO ₂ ($\mu\text{g C mg}^{-1}\text{MBC d}^{-1}$)	BR ($\text{mg C kg}^{-1}\text{d}^{-1}$)	MBC (mg C kg^{-1})	SIR (mg C kg^{-1})	CMR ($\text{mg C kg}^{-1}\text{d}^{-1}$)	Cmin (mg C kg^{-1})	کادیم (mg kg^{-1})
۶۱۵/۱ B	۲۲/۴ AB	۱۹/۰۸ A	۲/۴ A	۰/۸۹ D	۲/۳۴ B	۱۳۱/۶ B	۲۸۸ B	۱۲/۴۵ BC	۹۵۴ B	۰
۴۸۲/۱ C	۱۶/۵ C	۱۲/۹ B	۰/۴۷ B	۲/۸ A	۲/۰۱ BC	۳۳/۴۶ CD	۱۷/۳ E	۸/۶۷ D	۶۴۸ CD	۵۰
۲۹۰/۹ E	۹/۳ DE	۷/۶ C	۰/۳۸ B	۲/۱۳ AB	۱/۴۴ DE	۱۹/۲ E	۱۲/۷ F	۶/۵ E	۳۸۷ E	۱۰۰
۹۱/۴ FG	۶/۷ EF	۰/۰۲ E	۰/۳۸ B	۲/۷ A	۱/۷ CD	۱۹/۲ E	۳/۸۴ I	۷/۵ DE	۴۰۴/۶ E	۱۵۰
۴/۹ H	۳/۷ F	۵/۹ D	۰/۱۲ CD	۱/۸۷ C	۰/۷۸ G	۶/۴ E	۲/۸ I	۴/۶ F	۳۹۵/۱ E	۲۰۰
۲۹۶/۹۱	۱۱/۶	۹/۱۲	۰/۷۶	۲/۶۵	۱/۵۴	۳۷/۹۷	۱۳/۰۱	۷/۸۵	۵۳۷	میانگین
بدون کمپوست (+C)										
با کمپوست (-C)										
۷۴۸/۱ A	۲۵/۶ A	۱/۴۵ E	۰/۲۷ BC	۰/۵۳ D	۳/۴۶ A	۱۶۸/۸ A	۳۴/۵۶ A	۱۹/۴ A	۱۴۱۴/۸ A	۰
۳۹۰/۶۸ D	۲۰/۶۱ B	۱/۰۷ E	۰/۰۲ CD	۳/۹ A	۲/۴ B	۲۵/۶ C	۳۳/۰۴ C	۱۴/۰۵ B	۱۰۴۲/۷ B	۵۰
۱۴۱/۳ F	۱۰/۶۳ D	۰/۷۷ E	۰/۰۱ D	۲/۱۲ AB	۱/۱۲ EF	۱۴/۹۳ CDE	۲۰/۱۶ D	۱۲/۲۱ C	۷۵۱/۹۵ C	۱۰۰
۱۰۸/۰۶ F	۹/۶۴ DE	۰/۷۵ E	۰/۰۱ D	۳/۷ A	۱/۵۸ CDE	۱۷/۱۳ CDE	۱۰/۵۶ G	۱۳/۳۷ BC	۶۳۹/۵ D	۱۵۰
۳۴/۸۲ GH	۴/۴ DE	۰/۶۶ E	۰/۰۱ D	۲/۲۷ BC	۰/۶۵ B	۱۱/۹۴ DE	۶/۱۴ H	۹/۰۸ D	۳۳۷/۲۵ CD	۲۰۰
۲۸۲/۶۲	۱۴/۱۸	۰/۹۴	۰/۰۶۹	۲/۷	۱/۸۴	۶۷/۸۸	۱۸/۹	۱۳/۵۸	۹۱۵/۳۵	میانگین
۶۰/۵	۲/۶	۱/۳	۰/۸۹	۰/۶۳	۰/۵۲	۹/۶	۱/۵۲	۱/۲	۸۱/۸	LSD _(0.05)

در هر ستون، میانگین های هر تیمار با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD فشرده فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند. (در زیر نویس جدول ۲ علامت پارامترها تریف و مشخص شده اند)

فسفاتاز اسیدی و قلیائی نیز همبستگی مثبت و معنی دار وجود دارد. qCO_2 با شاخص های کربن بیوماس، تنفس ناشی از سوستر، فسفاتاز قلیائی و نسبت بیوماس به کربن آلی همبستگی معنی دار داشته است.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه بر تاثیر منفی و معنی دار عنصر کادمیم اضافه شده بر تمامی شاخص های میکروبیولوژیک خاک دلالت دارد، هر چند محققان زیادی با تحقیق پیرامون این مسئله به نتایج مختلف دست یافته اند، اما اثر منفی آن به ویژه بر پویایی کربن خاک حاکی از آن است که این عنصر می تواند تا حد زیادی رشد و فعالیت ریز جانداران را با اختلال مواجه کند و در نتیجه عملکرد (functions) موجودات خاکزی را کاهش چشمگیر دهد. با عنایت به این موضوع، که فعالیت و عملکرد میکروبی خاک برای باروری آن در دراز مدت لازم و ضروری است، بنابراین آلودگی خاک به کادمیم می تواند حاصل خیزی خاک و در نتیجه رشد گیاه را تحت الشعاع قرار دهد و یا از طریق جذب به وسیله گیاه و ورود به زنجیره غذایی انسان، باعث بروز خطرات جدی برای سلامت انسان و حیوانات گردد.

رابطه بین انواع اجزاء کادمیم و شاخص های مورد بررسی جدول ۴ ضرایب همبستگی بین اجزاء مختلف کادمیم و شاخص های مورد بررسی را نشان می دهد. به طوری که مشاهده می شود به استثناء qCO_2 سایر پارامترها همبستگی قوی و معنی دار با انواع اجزاء کادمیم نشان می دهند. همبستگی شاخص ها با pH بیشتر از همبستگی آنها با EC بوده است. فعالیت آنزیم های مورد بررسی با هر سه شکل کادمیم، pH و EC ارتباط منفی و کاملاً معنی دار داشت. به استثناء فسفاتاز قلیائی که با pH همبستگی مثبت و معنی دار نشان داد. ضریب همبستگی بین کادمیم کل در پایان آزمایش و کادمیم اضافه شده در ابتدای آزمایش $^{**} 0/96$ به دست آمده است. به طوری که مشاهده می شود تمامی کادمیم اضافه شده (به طور کامل) در ابتدای آزمایش در پایان آن قابل عصاره گیری نبوده است. به نظر می رسد اضافه کردن مواد آلی به خاک باعث شده است که کادمیم در جزء هایی قرار بگیرد که در پایان آزمایش تمامی آن قابل استخراج با روش دو اسیدی نبوده است.

همبستگی بین شاخص های میکروبی و بیوشیمیایی مورد بررسی

جدول ۵ نشان می دهد که همبستگی بین تنفس خاک، سرعت تنفس، تنفس ناشی از سوستر و تنفس پایه مثبت و کاملاً معنی دار بوده است. همچنین بین شاخص های فوق و فعالیت آنزیم های

جدول ۴- ضرایب همبستگی (r) بین انواع جزء های کادمیم و شاخص های مورد بررسی (n= ۳۰)

EC	pH	DTPA Cd	Cd tot.	Cd add.	پارامتر مورد بررسی
				۱/۰۰	(mg kg ⁻¹) Cd add.
			۱/۰۰	۰/۹۶***	(mg kg ⁻¹) Cd tot.
		۱/۰۰	۰/۶۵***	۰/۷***	(mg kg ⁻¹) DTPA Cd
	۱/۰۰	۰/۴۱*	۰/۵۲***	۰/۴۵***	pH
۱/۰۰	-۰/۱۳ ^{n.s}	-۰/۴۶*	۰/۰۸ ^{n.s}	۰/۰۶ ^{n.s}	(dS m ⁻¹) EC
۰/۵۳***	-۰/۴۸***	-۰/۸۴***	-۰/۷۰***	-۰/۷۲***	(mg C kg ⁻¹) Cmin
۰/۵۷***	-۰/۲۳ ^{n.s}	-۰/۸۴***	-۰/۵۸***	-۰/۶۵***	(mg C kg ⁻¹ d ⁻¹) CMR
۰/۲۴ ^{n.s}	-۰/۴۸***	-۰/۸۳***	۰/۹۰***	-۰/۹۳***	(mg C kg ⁻¹) SIR
۰/۳۸ ^{n.s}	-۰/۴۷***	-۰/۵۰***	-۰/۶۷***	-۰/۶۸***	(mg C kg ⁻¹) MBC
۰/۱ ^{n.s}	-۰/۲۶ ^{n.s}	-۰/۶۱***	-۰/۸۰***	-۰/۸۵***	(mg C kg ⁻¹ d ⁻¹) BR
-۰/۳۵ ^{n.s}	۰/۶۶***	۰/۲۲ ^{n.s}	۰/۳۵ ^{n.s}	۰/۳۰ ^{n.s}	(μg C mg ⁻¹ MBC d ⁻¹) qCO ₂
-۰/۲۹ ^{n.s}	-۰/۶۳***	-۰/۲۶ ^{n.s}	-۰/۵۸***	-۰/۵۳**	(%) MBC/OC
-۰/۴۲*	-۰/۵۲***	-۰/۱۴ ^{n.s}	-۰/۴۸***	-۰/۴۷***	(%) Cmin/OC
۰/۱۳ ^{n.s}	-۰/۴۷***	-۰/۷۵***	-۰/۹۰***	-۰/۹۵***	(μgPnPg ⁻¹ h ⁻¹) ACP
۰/۰۳ ^{n.s}	۰/۵۲***	-۰/۶۴***	-۰/۹۲***	-۰/۹۵***	(μgPnPg ⁻¹ h ⁻¹) ALP

ns - غیر معنی دار (در زیرنویس جدول ۲ علامت پارامترها تعریف و مشخص شده اند) * - $P < 0/05$ ، ** - $P < 0/01$ ، *** - $P < 0/001$ ، ns - غیر معنی دار

جدول ۵ - ضریب همبستگی (r) بین شاخص های مورد بررسی در این آزمایش (n=۳۰)

ALP	ACP	Cmin/O.C	MBC/OC	qCO ₂	BR	MBC	SIR	CMR	Cmin	پارامتر مورد بررسی
									۱/۰۰	(mg C kg ⁻¹) Cmin
								۱/۰۰	۰/۹۳***	(mg C kg ⁻¹ d ⁻¹) CMR
							۱/۰۰	۰/۸۸***	۰/۸۷***	(mg C kg ⁻¹) SIR
					۱/۰۰	۰/۷۷***	۰/۷۳***	۰/۷۹***	۰/۷۷***	(mg C kg ⁻¹) MBC
					۱/۰۰	۰/۷۷***	۰/۸۰***	۰/۷۷***	۰/۷۷***	(mg C kg ⁻¹ d ⁻¹) BR
				۱/۰۰	۰/۳۴ ^{n.s}	۰/۳۳ ^{n.s}	۰/۴۵*	۰/۳۳ ^{n.s}	۰/۳۳ ^{n.s}	(μg C mg ⁻¹ MBC d ⁻¹) qCO ₂
		۱/۰۰	۰/۸۳***	۰/۳۱ ^{n.s}	۰/۳۱ ^{n.s}	۰/۳۳ ^{n.s}	۰/۴۱*	۰/۳۳ ^{n.s}	۰/۱۸ ^{n.s}	(%) MBC/OC
		۱/۰۰	۰/۳۴ ^{n.s}	۰/۳۱ ^{n.s}	۰/۱۴ ^{n.s}	۰/۱۲ ^{n.s}	۰/۳۹ ^{n.s}	۰/۱۷ ^{n.s}	۰/۰۳ ^{n.s}	(%) Cmin/OC
	۱/۰۰	۰/۳۴ ^{n.s}	۰/۴۴*	۰/۳۵ ^{n.s}	۰/۸۸***	۰/۷۴***	۰/۹۴***	۰/۷۷***	۰/۸۴***	(μgP/μg ⁻¹ h ⁻¹) ACP
۱/۰۰	۰/۹۲***	۰/۴۸*	۰/۵۲***	۰/۴۷*	۰/۸۷***	۰/۸۰***	۰/۹۹***	۰/۶۴***	۰/۷۵***	(μgP/μg ⁻¹ h ⁻¹) ALP

(علامت پارامترها تعریف و مشخص شده اند) -ns غیر معنی دار (در زیر نویس جدول ۲ علامت پارامترها تعریف و مشخص شده اند) *P<۰/۰۱ -**P<۰/۰۰۱ -***P<۰/۰۰۰۱ -#P<۰/۰۰۵ -##P<۰/۰۰۱ -###P<۰/۰۰۰۰۱

سیاسگزاری

از دانشگاه شهرکرد به خاطر حمایت های مالی این تحقیق
قدردانی و تشکر می شود.

به نظر می رسد افزودن ترکیبات آلی غنی از کربن به خاک تا حد زیادی به کاهش اثرات سو این عنصر کمک کند. افزودن مواد آلی به خاک احتمالاً با تغییر pH و رسوب کادمیم، تشکیل کلات پایدار و در نتیجه کاهش تحرک آن، بهبود جذب سطحی کادمیم ناشی از افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک باعث تقلیل زیست فراهمی این عنصر و در نتیجه جذب آن توسط ریزجانداران خاکزی می گردد.

منابع

- 1- Adriano D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. 2nd ed. Springer-Verlag, New York, NY. 866 p.
- 2- Alexander M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. John Wiley & Sons, New York, NY. 467 p.
- 3- Anderson M.K., Refsgaard A., Raulund-Rasmussen K., Strobel B.W. and Hansen H.C.B. 2002. Content, distribution and solubility of cadmium in arable and forest soils. Soil Science Society of America Journal, 66:1824-1835.
- 4- Anderson J.P.E. 1982. Soil respiration. In: Page. A. L., Miller, R. H. (Eds.). Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. Madison. WI. pp. 831-871.
- 5- Anderson T.H. and Domsch K.H. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. Soil Biology and Biochemistry, 22:251-255.
- 6- Anderson T.H. and Domsch K.H. 1993. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biology and Biochemistry, 25:393-395.
- 7- Baath E. 1989. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). Water, Air and Soil Pollution, 47:335-379.
- 8- Black C.A., Evans D.D., White J.L., Ensminger L.E. and Clark, F.E. 1965. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, 1st Edition, Agronomy, 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- 9- Brookes P.C. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biology and Fertility of Soils, 19:269-275.
- 10- Dai J., Becquer T., Rouiller J.H., Reversat G., Bernhard-Reversat F. and Lavelle P. 2004. Influence of heavy metals on C and N mineralization and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu-, and Cd-contaminated soils. Applied Soil Ecology, 25:99-109.
- 11- Eivazi F. and Tabatabai M.A. 1977. Phosphatases in soils. Soil Biology and Biochemistry, 9:167-172.
- 12- Farrell M. and Jones D.L. 2010. Use of composts in the remediation of heavy metal contaminated soil. Journal of Hazardous Materials, 175:575-582.
- 13- Fritze H., Perkiomaki J. and Saarela U. 2000. Effects of Cd-containing wood ash on the microflora of coniferous forest humus. FEMS Microbiology Ecology, 32:43-51.
- 14- Geiger G., Brandl H., Furrer G. and Schulin R. 1998. The effect of copper on the activity of cellulase and β -glucosidase in the presence of montmorillonite or Al-montmorillonite. Soil Biology and Biochemistry, 30:1537-1544.
- 15- Giller K.E., Witter F. and McGrath S.P. 1998. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils, a review. Soil Biology and Biochemistry, 30:1389-1414.
- 16- Haghiri F. 1974. Plant uptake of Cd as influenced by CEC, organic matter, Zn and soil temperature. Journal of Environmental Quality, 3:180-182.
- 17- Han D.H. and Lee J.H. 1996. Effects of liming on uptake of lead and cadmium by *Raphanus sativa*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 31:488-493.
- 18- Hanc A.P., Tlustos J. and Szakova J. 2009. Changes in cadmium mobility during composting and after soil application. Waste Management, 29:2282-2288.
- 19- Hattori H. 1992. Influence of heavy metals on soil microbial activities. Soil Science and Plant Nutrition, 38:93-100.
- 20- Illera V., Walter I., Souza P. and Cala V. 2000. Short-Term effects of biosolid and municipal solid waste applications on heavy metals distribution in a degraded soil under a semi-arid environment. The Science of the Total Environment, 255:29-44.
- 21- Jenkinson D.S. and Ladd J.N. 1981. Microbial biomass in soil measurement and turnover, In: Paul E.A., Ladd, J.N. (Eds). Soil Biochemistry, Marcel Dekker, Inc., NY. pp.415-471.
- 22- Kanderler E., Kämpfchler C., and Horak O. 1996. Influence of heavy metals on the functional diversity of soil microbial communities. Biology and Fertility of Soils, 23:299-30.
- 23- Kizilkaya R. and Askin T. 2002. Influence of cadmium fractions of microbiological properties in bafra plain soils.

- Arch Acker Boden, 48:263-272.
- 24- Landi L., Renella G., Moreno J.L., Falchini L. and Nannipieri P. 2000. Influence of cadmium on the metabolic quotient, 1-D-glutamic acid respiration ratio and enzyme activity: microbial biomass ratio under laboratory conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 32:8-16.
 - 25- Lindsay W.L. and Norwell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42:421-428.
 - 26- Luo Y.Q. and Zhou X. 2006. *Soil Respiration and the Environment*. Academic Press, Elsevier, 334 p.
 - 27- Madejon E., Burgos P., Lopez R. and Cabrera F. 2001. Soil enzymatic response to addition of heavy metals with organic residues. *Biology and Fertility of Soils*, 34:144-150.
 - 28- Nannipieri P. 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R., Grace, P.R. (Eds). *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*. CSIRO Publications, Melbourne, Australia. pp. 238-244.
 - 29- Pascual J.A., Garcia C. and Hernandez T. 1999. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. *Biology and Fertility of Soils*, 30:1-6.
 - 30- Raiesi F. 2004. Soil properties and N application effects on microbial activities in two winter wheat cropping system. *Biology and Fertility of Soils*, 40: 88-92.
 - 31- Renella G., Ortigoza A.L.R., Landi L. and Nannipieri P. 2003. Additive effects of copper and zinc on cadmium toxicity on phosphates activities and ATP content of soil as estimated by the ecological does (ED₅₀). *Soil Biology and Biochemistry*, 35:1203-1210.
 - 32- Tabatabai M.A. and Bremner J.M. 1969. Use of P-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1:301-307.
 - 33- Tejada M. 2009. Application of different organic wastes in a soil polluted by cadmium: Effects on soil biological properties. *Geoderma*, 153:254-268.
 - 34- Vig K., Megharaj M., Sethunathan N. and Naidu R. 2003. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review. *Advances in Environmental Research*, 8:121-135.
 - 35- Walter I. and Cuevas G. 1999. Chemical fractionation of heavy metals in a soil amended with repeated sewage sludge application. *The Science of the Total Environment*, 226:113-119.
 - 36- WHO. 2000. Regional Office for Europe, Cadmium, Copenhagen, Denmark.
 - 37- Vallaeyts T., Courde, L. and Chaussod, R. 1997. Assessing side effects of micropollutants on soil microflora. *Analisis Magazine*, 25:60-66.

The Role of Compost in Alleviating Cadmium Effects on Microbial Respiration and Biomass, and Phosphatase Activity in Soil

L. Dayani¹- F. Raiesi^{2*}

Received:8-5-2010

Accepted:24-10-2010

Abstract

Cadmium is one of the heavy metals with a considerable importance for its potential toxic effects on soil microbial activities and composition. Although, the toxic effect of cadmium on soil microbial activities is somewhat well-known, but the extent to which Cd affects soil biota depends largely on soil properties and conditions, particularly soil organic matter contents. Thus, the aim of this research was to study the effect of increasing cadmium levels on soil microbial biomass and activities, and to examine the role of compost materials in the alleviation of Cd effects. A 2×5 factorial experiment consisting of two levels of compost (0 and 2.5 t ha⁻¹) and five levels of cadmium (0, 50, 100, 150 and 200 mg Cd kg⁻¹) arranged in a completely randomized design with three replicates was carried out under laboratory conditions. The responses of soil microbiological properties consisting of C mineralization, microbial biomass C; and acid and alkaline phosphatase activities to cadmium and compost additions were evaluated during 10 weeks of laboratory soil incubation. Results show that cadmium additions had a significant, negative effect on all the measured microbiological properties. The accumulated C mineralization reduced with increasing cadmium concentrations. Nonetheless, compost addition lowered the detrimental and inhibiting effect of cadmium on soil microbial activities. Results demonstrate that in spite of a significant correlation ($r=0.96$) between the two Cd fractions, the added Cd at the beginning of soil incubation was not reflected totally in the total Cd concentrations determined at the end of soil incubation. Data also indicated that the fraction of available Cd had a stronger negative (cor)relation with soil microbial activities than the other fractions had. In summary, the results of the current study illustrate that even a lower concentration of Cd (50 mg kg⁻¹) may inhibit soil microbial activities due to its toxicity in the studied soil, and that the addition of organic materials could be effective in reducing the toxicity of cadmium via lessening its bioavailability to soil biota.

Keywords: Cadmium, Soil microbial activity, Soil C dynamics, Compost, Soil enzymes

1,2- Former MSc Student and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University

(*-Corresponding Author Email: f_raiesi@yahoo.com)