تغییرات زمانی برخی ویژگی‌های مهم کود دامی غنی‌شده با فلوگوپیت طی فرایند کمپوست و ورمی‌کمپوست شدن

فریبا جعفری، حسین خادمی*، حسین شریعتمداری و شمس‌الله ایوبی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۰)

چکیده

پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه تولید کمپوست و ورمی‌کمپوست از کودهای دامی و بقایای آلی متفاوت و همچنین غنی‌سازی آنها با برخی کودهای شیمیایی و مواد اصلاحی گوناگون صورت گرفته است. لیکن تاکنون مطالعه‌ای روی غنی‌سازی کود دامی با کانی‌های رسی انجام نشده است. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات برخی از ویژگی‌های کود دامی غنی‌شده با کانی فلوگوپیت طی فرایند کمپوست شدن با کرم خاکی و بدون آن انجام شد. آزمایش با آرایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در ظروف پلاستیکی درب بسته در شرایط متوسط دمایی ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۲/۵ درصد صورت گرفت. فاکتورهای این آزمایش عبارت بودند از: فاکتور اول سطوح مختلف کانی فلوگوپیت (صفر، ۲۰ و ۴۰ درصد وزنی)، فاکتور دوم حضور یا عدم حضور کرم خاکی ایزینیا فوتیدا و فاکتور سوم طول دوره زمانی (۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ ماه). بعد از نمونه‌گیری از تیمارهای مختلف در زمان‌های مشخص مقدار کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم، آهن و منیزیم کل و پتاسیم، آهن و منیزیم قابل استفاده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در تمامی تیمارها با گذشت زمان میزان کربن آلی کاهش و میزان نیتروژن، پتاسیم، آهن و منیزیم کل و قابل استفاده افزایش یافت. همچنین نتایج حاکی از آن بود که درصد قابل توجهی از غلظت کل عناصر موجود در تیمارهای بدون فلوگوپیت به‌صورت قابل استفاده است اما در تیمارهای حاوی فلوگوپیت غلظت قابل استفاده عناصر با گذشت زمان به‌واسطه رهاسازی توسط کانی‌های رسی فلوگوپیت و تجزیه کود دامی با سرعت کمتری افزایش یافته است. در مجموع به‌نظر می‌رسد غنی‌سازی کود با فلوگوپیت تأمین عناصر غذایی همچون پتاسیم، منیزیم و آهن را برای مدت طولانی‌تری نسبت به کمپوست‌های غنی‌نشده تضمین کند.

واژه‌های کلیدی: فلوگوپیت، کمپوست غنی‌شده، ورمی‌کمپوست غنی‌شده، ایزینیا فوتیدا

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات: hkhademi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

رشد سریع جمعیت کره زمین و نیاز به تأمین غذا، استفاده هرچه بیشتر از نهاده‌های کشاورزی مانند سموم و کودهای شیمیایی را برای دست‌یابی به بالاترین عملکرد گیاهان زراعی در واحد سطح اجتناب‌ناپذیر کرده است. نتیجه این فعالیت‌ها در طی سالیان اخیر بحران آلودگی‌های زیست‌محیطی و به‌ویژه آلودگی منابع خاک و آب بوده است که زنجیره‌وار به منابع غذایی انسان‌ها راه یافته و سلامت جامعه بشری را مورد تهدید قرار داده است. یکی از راهکارهای مهم برای تعدیل این اثرات مخرب، استفاده از کودهای زیستی و آلی است (۸). ورمی‌کمپوست از کودهای زیستی مهم است که حاصل فرایند تجزیه نیمه‌هوازی توسط گروه خاصی از کرم‌های خاکی و به‌کمک برخی از ریزموجودات خاکزی به‌ویژه باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها است (۲۵). کرم های خاکی باعث اختلاط، خرد شدن و تهویه مواد در حال تجزیه می‌شوند، بنابراین پایدار شدن مواد آلی سرعت می‌گیرد (۱۳). از مهم‌ترین مزایای مواد دفعی کرم‌های خاکی در مقایسه با کمپوست معمولی، فراهمی بیشتر عناصر غذایی برای گیاه است که این عمل با افزایش فرایند معدنی شدن مواد آلی در دستگاه گوارش کرم‌های خاکی رخ می‌دهد (۲۸). با وجود محاسن زیاد ورمی‌کمپوست، تنها دلیل عدم رغبت کافی برای کاربرد گسترده ورمی‌کمپوست در مزرعه، نیاز به مقادیر نسبتاً بالای ورمی‌کمپوست برای افزایش محسوس عملکرد است. در این رابطه یکی از راه‌هایی که می تواند اثر بخشی ورمی‌کمپوست را افزایش دهد، غنی‌سازی آن است (۷).

مطالعات متعددی در زمینه غنی‌سازی کودهای آلی با ترکیبات شیمیایی (۱۴ و ۳۳) و باکتری‌ها (۷، ۲۱ و ۳۵) صورت گرفته است. از آن جمله می‌توان به مطالعه همتی و همکاران (۱۶) اشاره کرد. ایشان به بررسی غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با برخی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش طول زمان انکوباسیون، جمعیت باکتری‌ها، مقادیر نیتروژن، فسفر قابل جذب، اسید هیومیک و خاکستر افزایش و مقدار کربن آلی، EC و pH کاهش می‌یابد (۱۶). علیخانی و همتی (۳) به بررسی تأثیر غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با تیمارهای باکتریایی (باکتری سودوموناس و ازتوباکتر) و کودی (نیتروژن، فسفر و گوگرد) بر شاخص‌های هوموسی شدن و آنالیز فیزیکوشیمیایی اسید هیومیک پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که غنی‌سازی ورمی‌کمپوست تأثیر زیادی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اسید هیومیک و شاخص‌های هوموسی شدن دارد و برای تأثیر حداکثری ورمی‌کمپوست می‌توان با تیمارهای مناسب عمل غنی‌سازی را انجام داد (۳). از دیگر مطالعات روی غنی‌سازی کمپوست و ورمی‌کمپوست با استفاده از تیمارهای باکتریایی می‌توان به مطالعه ایرشانتی و همکاران اشاره کرد. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش تثبیت نیتروژن و حلالیت فسفر در ورمی‌کمپوست بود (۱۸).

غنی‌سازی کمپوست با سولفات آمونیوم و اوره نشان داد زمانی که نیتروژن در ابتدای تولید کمپوست به فرم جامد و یا محلول به بستر اضافه شود، باعث افزایش نیتروژن کل و اثربخشی بیشتر کمپوست شده است (۱ و ۲). هاشمی‌مجد و گلچین (۱۴) در مطالعه‌ای به بررسی غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با ضایعات کارخانه ذوب آهن طی چهار ماه پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد اختلاط ضایعات آهن مقدار آهن کل و قابل استفاده ورمی‌کمپوست غنی‌شده با آهن نسبت به کمپوست افزایش می‌یابد (۱۴). رشتباری و علیخانی (۳۳) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست در واکنش به غنی‌سازی با کودهای شیمیایی (N، P و S) پرداختند. نتایج نشان داد که اضافه کردن نیتروژن به شکل اوره به‌دلیل افزایش pH اثرات نامطلوبی بر کیفیت ورمی‌کمپوست دارد و باعث کم شدن فسفر قابل استفاده می‌شود. برخلاف نیتروژن (اوره) گوگرد و فسفر اثرات مفیدی بر کیفیت ورمی‌کمپوست داشتند (۳۳).

مطالعات متعددی با بررسی خاک‌های خشک و نیمه‌خشک ایران، وجود کانی‌های کلریت، ایلیت، اسمکتیت، ورمیکولیت،

کائولینیت و رس‌های مخلوط میکا- ورمیکولیت و میکا- کلریت را گزارش کرده‌اند (۴ و ۲۲). در بین این کانی‌ها حضور انواع میکاها در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک و حتی مناطق نیمه‌مرطوب عمومیت دارد (۳۴). میکاها سیلیکات‌های لایه‌ای ۲:۱ هستند که در صفحه هشت‌وجهی آنها آلومینیوم، منیزیم یا آهن وجود دارد. لایه‌های ۲:۱ به‌وسیله یک سری کاتیون‌ها، به‌ویژه پتاسیم، با نیروی زیادی روی هم نگه داشته می‌شوند (۴۰). این کانی‌ها بسته به کاتیون موجود در لایه هشت‌وجهی به میکای دوجایی (موسکویت و گلوکونیت) و میکای سه‌جایی (بیوتیت و فلوگوپیت) تقسیم‌بندی می‌شوند (۳۶). میکاها از جمله کانی‌های نسبتاً فراوان در معادن ایران و به‌ویژه معادن سنگ آهن هستند که معمولاً به‌صورت باطله در کنار هماتیت یافت می‌شوند. بسته به ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و حرارتی کاربردهای متعددی در حوزه صنایع نیز دارند (۳۰) و همچنین از لحاظ اینکه منبع مهم عناصری مثل پتاسیم، منیزیم، روی و منگنز هستند، نقش ویژه‌ای در تغذیه گیاه دارند (۱۷). تاکنون مطالعات متعددی روی آزادسازی عناصر غذایی از کانی‌های میکایی در اثر فعالیت موجودات زنده (۹، ۲۶ و ۴۲) و همچنین افزایش آن توسط تجزیه مواد آلی (۲۷) صورت گرفته است. چو و همکاران در پژوهشی به بررسی رهاسازی پتاسیم توسط کرم خاکی (*Eisenia foetida*) از کانی‌های پتاسیم‌دار پرداختند. طراحی آزمایش بدین صورت بود که تیمار کود گاوی به‌همراه نسبت‌های مختلف پودر کانی پتاسیم‌دار (۱۰ تا ۶۰ درصد وزنی) منظور شد. نتایج این پژوهش نشان داد که درصدهای ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی پودر کانی پتاسیم‌دار بیشترین میزان آزادسازی پتاسیم داشته است (۴۳).

با این وجود از کانی‌های میکایی همچون فلوگوپیت برای غنی‌سازی کمپوست و ورمی‌کمپوست استفاده نشده است. با توجه به فقر تعدادی از عناصر غذایی در کود دامی و از طرفی فراوانی کانی‌های میکایی در معادن کشور و همچنین غنی بودن این کانی‌ها از عناصری چون پتاسیم، منیزیم و آهن، این مطالعه با هدف بررسی برخی ویژگی‌های شیمیایی کمپوست و ورمی‌کمپوست کود دامی غنی شده با کانی میکایی فلوگوپیت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با آرایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در ظروف پلاستیکی درب بسته انجام شد. فاکتورهای این آزمایش عبارت بودند از: فاکتور اول سطوح مختلف کانی فلوگوپیت (صفر، ۲۰ و ۴۰ درصد وزنی)، فاکتور دوم حضور یا عدم حضور کرم خاکی ایزینیا فوتیدا و فاکتور سوم طول دوره کمپوستی شدن (۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ ماه).

کود گاوی از مزرعه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد تهیه و برای کاهش آمونیاک طی چندین مرحله شسته شده (۱۶) و سپس خشک شد و از الک دو میلی‌متر عبور داده شد. سپس درصد کربن آلی به‌روش سوزاندن تر (والکی- بلاک) (۲۹)، درصد نیتروژن کل به‌روش کلدال (۶)، میزان آهن، منیزیم و پتاسیم کل با هضم نمونه‌ها توسط اسید نیتریک و آب اکسیژنه (۱۹)، پتاسیم و منیزیم قابل استفاده با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیوم (۳۸) و آهن قابل استفاده نمونه‌ها با استفاده از DTPA (۲۴) عصاره‌گیری شدند و درنهایت مقادیر پتاسیم کل و قابل استفاده با دستگاه فلیم‌فتومتر و آهن و منیزیم کل و قابل استفاده با دستگاه جذب اتمی قرائت شد. غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه کود دامی مورد استفاده در جدول (۱) نشان داده شده است.

کانی فلوگوپیت از معدنی در شهرستان ارومیه تهیه و نتیجه تجزیه شیمیایی آن که توسط شرکت آذرطلق انجام شده در جدول (۲) ارائه شده است. در این بررسی اندازه ذرات کمتر از ۶۰ میکرومتر برای انجام آزمایش استفاده شد.

میزان ۲۰ گرم مخلوط (کود گاوی+ کانی) برای هر ظرف پلاستیکی در نظر گرفته شد. سپس هشت عدد کرم خاکی ایزینیا فوتیدا به هر یک از ظروف تیمارهای مربوطه اضافه شد (۱۰) (جدول ۳). تیمارها در سه تکرار انجام شدند. تمامی ظروف در یک محیط تاریک و در شرایط گلخانه‌ای قرار داده

جدول ۱. برخی ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری شده در کود مورد استفاده در آزمایش

کربن آلی	نیتروژن	پتاسیم	منیزیم	آهن	C/N	پتاسیم	منیزیم	آهن
کل (٪)					قابل استفاده (mg/kg)			
۳۰	۱/۳۰	۱/۴۰	۱/۲۱	۰/۱۸	۲۳/۰۷	۱۳۰۰۰	۷۱۰۰	۶۸

جدول ۲. تجزیه شیمیایی کانی فلوگوپیت استفاده شده در آزمایش (%)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	MnO	Na_2O	K_2O	L.O.I*
۳۸/۷۰	۱۸/۴۴	۰/۲	۲/۸	۰/۱۲	۲۵/۴۱	۰/۰۷	۰/۴۱	۱۰/۱۳	۳/۷۲

*: کاهش وزن در دمای بالا

جدول ۳. تیمارها و ترکیبات تشکیل‌دهنده آنها

تیمار	علامت اختصاری	ترکیبات تشکیل‌دهنده
کمپوست بدون فلوگوپیت	(CF ۰)	۲۰ گرم کود گاوی
ورمی‌کمپوست بدون فلوگوپیت	(VF ۰)	۲۰ گرم کود گاوی + کرم خاکی ایزینیا فوتیدا
کمپوست حاوی ۲۰ درصد فلوگوپیت	(CF ۲۰)	۴ گرم کانی+ ۱۶ گرم کود گاوی
ورمی‌کمپوست حاوی ۲۰ درصد فلوگوپیت	(VF ۲۰)	۴ گرم کانی+ ۱۶ گرم کود گاوی + کرم خاکی ایزینیا فوتیدا
کمپوست حاوی ۴۰ درصد فلوگوپیت	(CF ۴۰)	۸ گرم کانی + ۱۲ گرم کود گاوی
ورمی‌کمپوست حاوی ۴۰ درصد فلوگوپیت	(VF ۴۰)	۸ گرم کانی + ۱۲ گرم کود گاوی + کرم خاکی ایزینیا فوتیدا

شدند. در طول آزمایش شرایط دمایی و رطوبتی این محیط شامل حداکثر و حداقل دما به‌ترتیب ۳۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی محیط بین ۴۰ تا ۴۵ درصد حفظ شد. همچنین میزان رطوبت ظروف بین ۷۰ تا ۷۵ درصد وزنی به‌وسیله پاشش آب مقطر تنظیم شد. در هر یک از بازه‌های زمانی ۱/۵، ۳، ۴/۵، و ۶ ماه، ۱۸ ظرف از محیط خارج و سپس درصد کربن آلی، درصد نیتروژن کل، میزان آهن، منیزیم و پتاسیم کل و قابل استفاده نمونه‌ها مشابه نمونه کود گاوی اندازه‌گیری شدند. پس از انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی، به‌منظور توصیف نتایج آن و به‌دست آوردن خلاصه‌ای از اطلاعات آماری از نرم‌افزار SAS ۹ استفاده شد. آزمون مقایسه میانگین‌ها در سطح معنی‌داری پنج درصد با روش دانکن صورت گرفت.

بحث و نتایج

نتایج تجزیه واریانس کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم، آهن و منیزیم کل و همچنین پتاسیم، آهن و منیزیم قابل استفاده حاکی از آن است که اثر کرم خاکی، سطوح مختلف کانی فلوگوپیت و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری از نظر آماری معنی‌دار است. در مورد اثرات متقابل کرم خاکی و سطح کانی فلوگوپیت، کرم خاکی و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری، سطح کانی فلوگوپیت و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری و درنهایت اثر متقابل هر سه فاکتور مورد آزمایش به‌ترتیب روی کربن آلی، منیزیم کل و پتاسیم قابل استفاده؛ آهن کل؛ کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم و آهن کل؛ پتاسیم و آهن قابل استفاده و در نهایت پتاسیم کل و منیزیم قابل استفاده دارای تفاوت معنی‌دار هستند (جدول ۴).

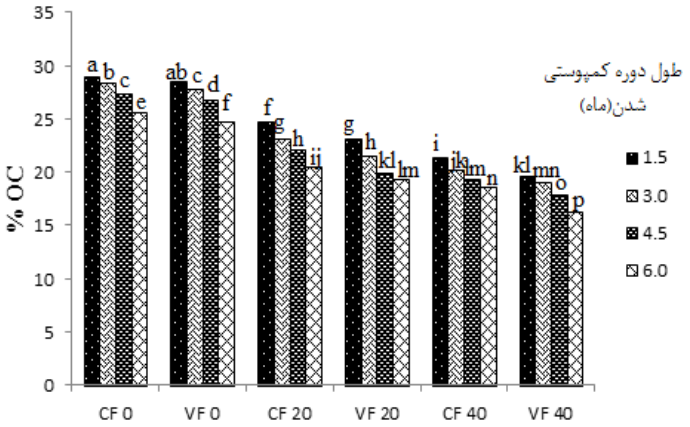
کربن آلی

نتایج مقایسه میانگین درصد کربن آلی در تیمارها و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شکل (۱) ارائه شده است. بیشترین درصد کربن آلی مربوط به تیمار CF ۰ بعد از گذشت ۱/۵ ماه و

جدول ۴. تجزیه واریانس ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری‌شده روی تیمارهای آزمایشی

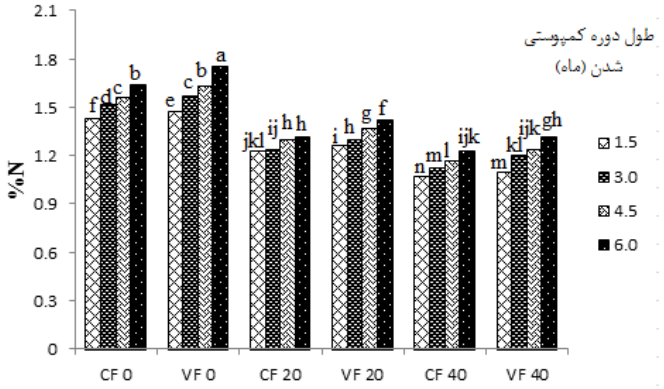
منابع تنوع	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کربن آلی	نیتروژن	پتاسیم	آهن	منیزیم	پتاسیم	آهن	منیزیم
		کل			قابل استفاده				
کرم خاکی (V)	۱	۳۱/۶۰*	۰/۷۴*	۱/۷۳**	۱۴۵/۹۵**	۰/۵۴*	۰/۴۲*	۳۶/۶۴*	۰/۲۸*
سطح کانی فلوگوپیت (F)	۲	۴۱۷/۰۴**	۰/۹۱**	۷/۰۳**	۲۳۴/۶۹**	۷/۲۳**	۲/۳۳**	۹۶۱/۴۳**	۰/۷۶*
زمان‌های مختلف نمونه‌برداری (T)	۳	۳۹/۶۰*	۰/۱۶*	۰/۵۱*	۲/۵۳*	۰/۲۴*	۰/۱۶*	۱۳۴/۴۲**	۰/۳۳*
V × F	۲	۱/۹۴*	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۸۱	۰/۱۷*	۰/۶۱*	۰/۷۱	۰/۱۴
V × T	۳	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۸	۲/۱۰*	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۶۷	۰/۱۲
F × T	۶	۰/۶۹*	۰/۱۳*	۰/۵۱*	۳/۵۱*	۰/۰۸	۰/۱۹*	۲/۶۴*	۰/۰۹
V × F × T	۶	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۸۸	۰/۱۵*	۰/۱۳*	۰/۴۵	۰/۱۳
خطا	۴۸	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۰۸

* و **: به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطوح پنج و یک درصد آماری است.

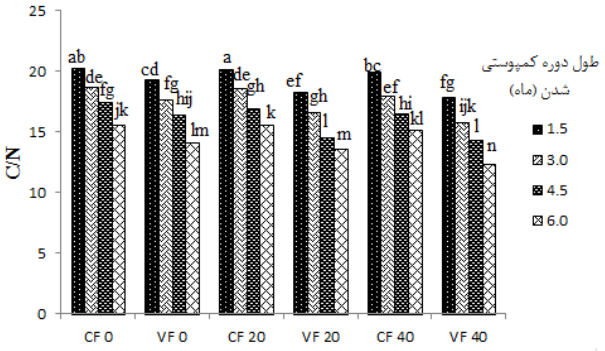


شکل ۱. مقایسه میانگین درصد کربن آلی در تیمارهای مورد آزمایش و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری
(بر اساس آزمون دانکن میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

کمترین میزان مربوط به تیمار VF ۴۰ بعد از گذشت شش ماه، بود. کربن آلی در تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان روند کاهشی داشت که این روند در نمونه‌های حاوی کرم خاکی ایزینیا فوتیدا شدیدتر بود. در حقیقت کرم‌های خاکی از طریق تغییر شرایط زیستی مواد اولیه، باعث افزایش سرعت تجزیه یا به عبارت دیگر تصعید دی‌اکسید کربن از طریق تنفس میکروبی و معدنی شدن مواد آلی و درنهایت تسریع در کاهش میزان مواد آلی می‌شوند (۲۰). در رابطه با تیمارهای حاوی فلوگوپیت نیز به‌دلیل اثر رقت افزایش کانی، کربن اولیه نمونه‌ها نسبت به نمونه کمپوست کمتر بود اگر چه در این تیمارها نیز با گذشت زمان مقدار کربن کاهش یافته است و این کاهش نیز در حضور کرم خاکی شدیدتر بود. پاراکاش و کارمگام طی بررسی میزان کربن آلی در ورمی‌کمپوست بیان داشتند که میزان کربن موجود به تنفس، فعالیت کرم‌های



شکل ۲. مقایسه میانگین درصد نیتروژن کل در تیمارهای مورد آزمایش و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری
(بر اساس آزمون دانکن میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)



شکل ۳. مقایسه میانگین نسبت کربن آلی به نیتروژن کل در تیمارهای مورد آزمایش و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری
(بر اساس آزمون دانکن میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

خاکی، میکروارگانیسم‌های موجود در بستر و همچنین مواد اولیه مورد تغذیه کرم‌های خاکی بستگی دارد، به‌طوری که این میزان در ورمی‌کمپوست تولیدی از کود گاوی خالص بیشتر از ضایعات دیگر است (۳۲).

نیتروژن کل (TN)

نتایج مقایسه میانگین نیتروژن کل، تیمارهای مورد بررسی حاکی از آن است که برخلاف کربن آلی، با گذشت زمان افزایش داشته است (شکل ۲). میزان نیتروژن کل در گستره‌ای بین ۱/۰۷ تا ۱/۷۵ درصد متغیر است که این مقادیر به‌ترتیب متعلق به تیمار CF ۴۰ با گذشت ۱/۵ ماه و VF ۰ با گذشت ۶ ماه هستند. یکی از دلایل مهم افزایش نیتروژن، کاهش میزان کربن کل است که به‌دلیل فعالیت‌های کرم‌های خاکی و تجزیه مواد آلی حاصل می‌شود (۴۱). هارتنستین گزارش کرد میزان نیتروژن نهایی ورمی‌کمپوست بستگی به محتوای نیتروژن موجود در ترکیبات اولیه دارد. (۱۲).

C/N

شکل (۳)، نتایج مقایسه میانگین نسبت کربن به نیتروژن تیمارهای مورد بررسی در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. در همه تیمارها نسبت کربن به نیتروژن با زمان کاهش یافت. در واقع این نسبت نشان‌دهنده درجه پوسیدگی مواد آلی است. نسبت کربن به نیتروژن نهایی (بعد از گذشت شش ماه) از ۲۳ در کود گاوی تازه به گستره‌ای بین ۱۲/۳۴ تا ۱۵/۵۸ در ورمی‌کمپوست و کمپوست تهیه شده، به‌ترتیب در تیمارهای VF ۴۰ و CF ۰ رسید. نتایج حاکی از آن است که در تیمارهای همراه با کرم خاکی، میزان C/N کاهش بیشتری دارد. زیرا کرم‌های خاکی باعث تسریع معدنی شدن مواد آلی، مواد

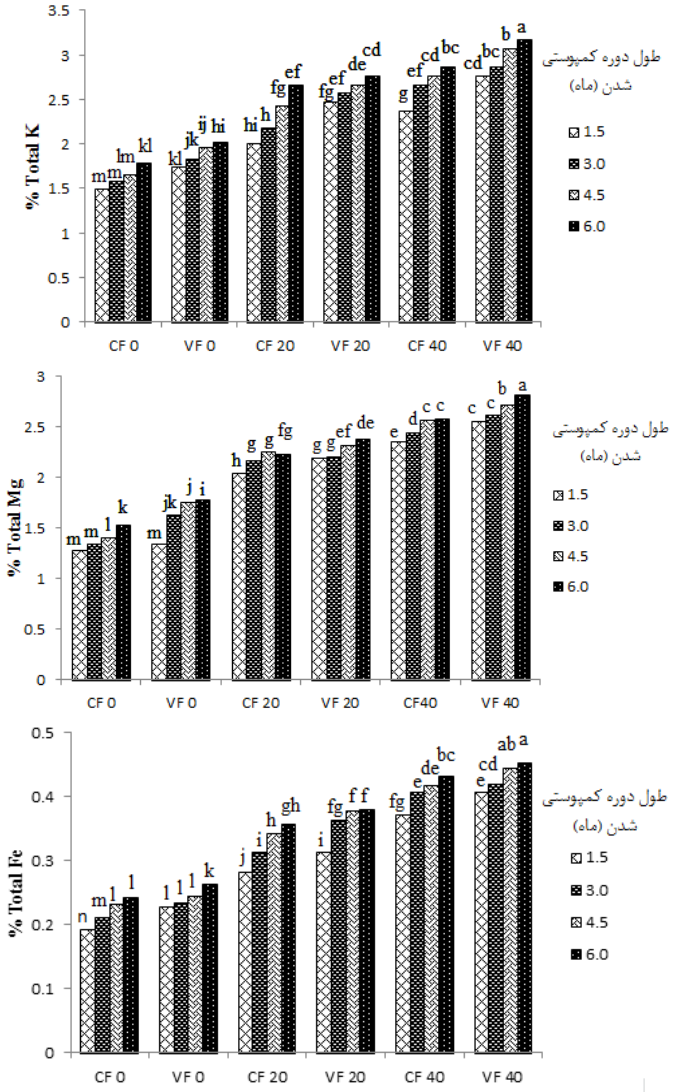
هوموسی و در نتیجه کاهش نسبت کربن به نیتروژن می‌شوند (۱۱). نسبت C/N بسیار مهم است زیرا گیاهان نمی‌توانند نیتروژن ترکیبات آلی را طی فرایند معدنی شدن جذب کنند مگر آنکه این شاخص در آنها کمتر از ۲۰ باشد (۴۱). با در نظر گرفتن این شاخص، نمونه کود گاوی با داشتن نسبت C/N بالا ترکیب مناسبی برای گیاهان نیست (جدول ۱). به‌نظر می‌رسد در تیمارهای حاوی کرم خاکی این نسبت با سرعت بیشتری کاهش‌یافته و بقایای مربوطه در زمان کوتاه‌تری به نسبت C/N به زیر ۲۰ رسیده و تبدیل به ترکیبی مناسب برای گیاهان شده است. نسبت C/N در تیمارهای حاوی فلوگوپیت در مقایسه با تیمارهای بدون فلوگوپیت در ابتدای ورمی‌کمپوست شدن دارای مقادیر کمتری هستند که با توجه به شکل (۱) این میزان قابل قبول است. با گذشت زمان نیز میزان نسبت C/N در این تیمارها کاهش یافته است و در حضور کرم خاکی این کاهش بیشتر است.

میزان کل و قابل جذب برخی عناصر غذایی مهم

غلظت پتاسیم، آهن و منیزیم کل در همه تیمارها با گذشت زمان افزایش یافته است (شکل ۴). در حقیقت با گذشت زمان به‌دلیل کاهش حجم و تجزیه ترکیبات آلی غلظت کل، عناصر افزایش می‌یابد به‌طوری که در مورد تیمارهای حاوی کرم خاکی با توجه به تسریع این عمل، افزایش غلظت بیشتر است. در تیمارهای حاوی کانی فلوگوپیت با افزایش درصد اختلاط فلوگوپیت میزان کل عناصر پتاسیم، آهن و منیزیم افزایش داشته است که می‌تواند با غلظت نسبتاً بالای این عناصر در کانی فلوگوپیت (جدول ۲) توجیه شود. در مورد این تیمارها نیز حضور کرم خاکی ایزینیا فوتیدا باعث افزایش بیشتر پتاسیم، آهن و منیزیم کل نسبت به تیمارهای فاقد کرم خاکی شد. طی تحقیقی سوتار(۳۹) افزایش پتاسیم و همچنین عناصر دیگر را علاوه بر معدنی شدن ترکیبات آلی به فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی در دستگاه گوارش کرم‌های خاکی نسبت داد. هاشمی مجد و جماعتی ثمره (۱۵) طی بررسی غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با دو تیمار کود شیمیایی (سولفات آهن و سولفات روی) و براده آهن، بیان کردند که غنی‌سازی باعث افزایش غلظت کل و قابل استفاده این عناصر شد. همچنین نتایج این پژوهشگران حاکی از آن است که تأثیر اختلاط سولفات آهن در غنی‌سازی ورمی‌کمپوست بهتر از براده آهن بود (۱۵).

شکل (۵) نتایج مقایسه میانگین پتاسیم، آهن و منیزیم قابل استفاده در تیمارهای مختلف را با گذشت زمان کمپوست شدن نشان می‌دهد. در تمامی تیمارها با گذشت زمان غلظت عناصر قابل استفاده افزایش یافته است. میزان افزایش عناصر قابل استفاده در تیمارهای ورمی‌کمپوست نسبت به تیمارهای کمپوست بیشتر بود. نتایج تحقیقات اوروزکو و همکاران (۳۱) نشان داد که قابلیت دسترسی نیتروژن، کربن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در ورمی‌کمپوست بیشتر از قابلیت دسترسی آنها در مواد اولیه استفاده شده در بستر تولید ورمی‌کمپوست است. از مزیت‌های عمده ورمی‌کمپوست نسبت به کمپوست معمولی می‌توان به غلظت قابل جذب بالای عناصری چون نیتروژن، فسفر و پتاسیم اشاره کرد. همچنین به‌دلیل اسیدهای آلی تولید شده در حین فراوری ورمی‌کمپوست، بیشتر کلات‌کننده‌های آلی هستند که عناصر غذایی ریزمغذی از جمله آهن و روی را به خود جذب کرده و به‌تدریج در اختیار گیاه قرار می‌دهند (۳۷).

در تیمارهای حاوی فلوگوپیت، غلظت پتاسیم، منیزیم و آهن قابل استفاده در مقایسه با تیمارهای بدون فلوگوپیت کمتر بود (شکل ۵). به‌نظر می‌رسد باوجود تأثیر افزایش کانی فلوگوپیت در غلظت کل عناصر پتاسیم، منیزیم و آهن تیمارهای مربوطه سرعت آزادسازی این عناصر به شکل قابل جذب از این کانی بسیار کمتر از آزاد شدن آنها در اثر تجزیه کود دامی است. نادری‌زاده و خادمی (۲۷) در پژوهشی به بررسی سرعت آزادسازی فلوگوپیت در شرایط تأثیر ماده آلی بر قابلیت جذب پتاسیم توسط یونجه از کانی فلوگوپیت پرداختند. این پژوهشگران بیان کردند که حتی در شرایط تغذیه‌ای با پتاسیم و حضور ماده آلی، افزایش عملکرد یونجه و هوادیدگی در کانی فلوگوپیت ایجاد شده است. علاوه بر

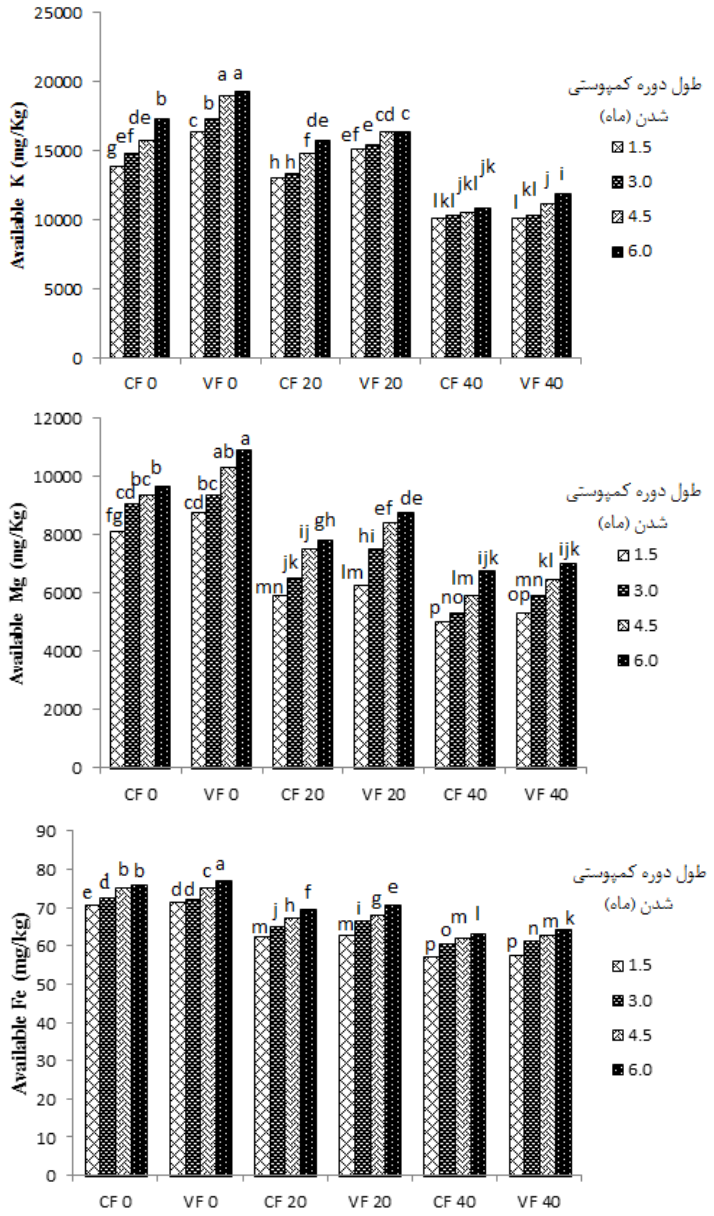


شکل ۴. مقایسه میانگین پتاسیم، آهن و منیزیم کل در تیمارهای مورد آزمایش و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری. بر اساس آزمون دانکن میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

گیاهان، مطالعات متعددی نقش باکتری‌ها و قارچ‌ها را در رهاسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار اثبات کرده‌اند. میکروارگانیسم‌های خاک می‌توانند شکل‌های نامحلول پتاسیم از طریق ترشح اسیدهای آلی و یا کلات کردن یون‌ها به شکل محلول در آورند (۵).

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین تیمارهای مختلف و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت عناصر غذایی اندازه‌گیری شده، وجود دارد. در تمامی تیمارها با گذشت زمان میزان کربن آلی کاهش و میزان نیتروژن، پتاسیم، آهن و منیزیم کل و قابل استفاده افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که بخش قابل توجهی از غلظت کل عناصر موجود در تیمارهای بدون فلوگوپیت به‌صورت قابل استفاده است. اما درباره تیمارهای حاوی فلوگوپیت غلظت قابل جذب عناصر مورد بررسی با گذشت زمان احتمالاً به‌واسطه هوادیدگی فلوگوپیت و همچنین تجزیه کود گاوی، با سرعت به‌مراتب کمتری افزایش یافته است.



شکل ۵. مقایسه میانگین پتاسیم، آهن و منیزیم قابل استفاده در تیمارهای مورد آزمایش و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری. بر اساس آزمون دانکن میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که غنی‌سازی کمپوست و ورمی‌کمپوست با کانی فلوگوپیت علاوه بر افزایش محتوای عناصر غذایی پتاسیم، منیزیم و آهن می‌تواند از طریق کاهش سرعت آزادسازی این عناصر تأمین تدریجی آنها برای گیاه را باعث شود و از این طریق کارایی مصرف کمپوست را افزایش دهد. البته برای حصول نتایج دقیق‌تر و توصیه‌های کاربردی پژوهش‌های مزرعه‌ای و تکمیلی نیاز است.

سپاسگزاری

نتایج ارائه شده در این مقاله بخشی از طرح پژوهشی مصوب شماره ۹۶۰۰۲۳۷۸ صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور است. نویسندگان لازم می‌دانند از حمایت مالی صندوق صمیمانه قدردانی کنند.

منابع مورد استفاده

1. Adamtey, N., O. Cofie, G. K. Ofosu-Budu, S. K. A. Danso and D. Forster. 2009. Production and storage of N-enriched co-compost. *Waste Management* 29: 2429-2436.
2. Ahmad, R., A. Khalid, M. Arshad, Z. A. Zahir and T. Mahmood. 2008. Effect of compost enriched with N and L-tryptophan on soil and maize. *Agronomy for Sustainable Development* 28: 299-305.
3. Alikhani, H. A. and A. Hemmati. 2014. Effect of vermicompost enrichment with chemical fertilizer and bacterial treatments on humification and acid humic properties. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 24: 114-125. (In Farsi).
4. Baghernejad, M. 2000. Variation in soil clay minerals of semi-arid regions of Fars Province, Iran. *Iran Agricultural Research* 19: 165-180.
5. Bennett, P. C., W. J. Chio and J. R. Rogera. 1998. Microbial destruction of feldspars. *Miner Management* 8: 149-150.
6. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-total. pp. 1085-1122. *In:* Sparks, D. L., et al. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods, SSSA Book Series 5. ASA, SSSA, Madison, WI.
7. Busato, J. G., L. S. Lima, N. O. Aguiar, L. P. Canellas and F. L. Olivares. 2012. Changes in labile phosphorus forms during maturation of vermicompost enriched with phosphorus-solubilizing and diazotrophic bacteria. *Bioresource Technology* 110: 390-395.
8. Cakmakci, R., M. F. Donmez and U. Erdogan. 2007. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 31: 189-199.
9. Carey, P. L. and A. K. Metherell. 2003. Rates of release of non-exchangeable potassium in New Zealand soils measured by a modified sodium tetraphenyl-boron method. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 46: 185-197
10. Carpenter, D., M. E. Hodson, P. Eggleton and C. Kirk. 2007. Earthworm induced mineral weathering: preliminary results. *European Journal of Soil Biology* 43: 176– 183.
11. Dominguez, J., C. A. Edwards and M. Webster. 2002. Vermicomposting of sewage sludge: Effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm Eisenia andrei. *Pedobiologia* 44: 24-32.
12. Hartenstein, R. 1981. Production of earthworms as a potentially economic source of protein. *Biotechnology and Bioengineering* 23: 1797-1811
13. Hashemimajd, K. and Sh. Jamaati-e-Somarin. 2013. Study of structural changes in organic matter during the composting and vermicomposting production. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 63:23-35. (In Farsi).
14. Hashemimajd, K. and A. Golchin. 2009. The effece of iron- enriched vermicompost on growth and nutrition of tomato. *Journal of Agricultural Science and Technology* 11: 613- 621
15. Hashemimajd, K. and S. Jamaati-e-Somarin. 2011. Investigating the effect of iron and zinc enriched vermicompost on growth and nutritional status of peach trees. *Scientific Research and Essays* 23: 5004-5007
16. Hemmati, A., H. A. Alikhani, A. A. Pourbabaee and G. Bagheri Marandi. 2013. Enriching vermicompost by nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 23: 117-128. (In Farsi).
17. Huang, P. M. 1989. Feldspars, olivines, pyroxines, and amphiboles. pp. 975-1050. *In:* Dixon, J. B. and Weed, S. B. (Eds.) Minerals in Soil Environment. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
18. Iyer Shanti, R., S. Rekha and A. A. Anitha .2012. Analysis of nitrogen and phosphate in enriched and nonenriched vermicompost. *Journal of Environmental Research and Development* 7: 899-904
19. Jones, J. B., B. Wolf and H. A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Macro- Micro Pub. Inc., Athens, GA
20. Kaur, A., J. Singh, A. P. Vig, S. S. Dhaliwal and P. J. Rup. 2010. Composting with and without Eisenia fetida for conversion of toxic paper mill sludge to a soil conditioner. *Bioresource Technology* 101: 8192-8198
21. Kaushik, P., Y. K. Yadav, N. Dilbaghi and V. K. Garg. 2008. Enrichment of vermicomposts prepared from cow dung spiked solid textile mill sludge using nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Environmentalist* 28: 283-287
22. Khormali F. and A. Abtahi .2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals* 38:511–527.
23. Latifah, A. M., C. J. Mohd Lokman, Y. Mohd Kamil, T. I. Tengku Hanidza, H. Rosta and J. Hafizan. 2009. Influences of bedding material in vermicomposting process. *International Journal of Biology* 1: 81-91.
24. Lindsay, W. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421-428

25. Manna, M. C., J. S. Ghosh and C. L. Anharya. 2003. Comparative efficacy of three epigeic earthworms under different deciduous forest litters decomposition. *Bioresource Technology* 88: 197-206.
26. Moritsuka, N., J. Yanai and T. Kosaki. 2004. Possible processes releasing non-exchangeable potassium from the rhizosphere of maize. *Plant and Soil* 258: 261-268.
27. Naderizadeh Z., H. Khademi and J. M. Arocena. 2010. Organic matter induced mineralogical changes in clay-sized phlogopite and muscovite in alfalfa rhizosphere. *Geoderma* 159: 96–303
28. Ndeywa. P. M. and S. A. Thompson. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion ofbiosolids. *Bioresource Technology* 76: 107-112.
29. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 961-1010. *In:* Sparks, D. L., et al. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods, SSSA Book Series 5. ASA, SSSA, Madison, WI
30. Nouranian, H, A. Keshavarz and M. A. Kabiri. 2016. New applications of mica clay minerals and characterizationdetermination of GolGohar Iron Ore Mine tailings phlogopite. *Journal of Advanced Materials and Technologies* 5: 65-72. (In Farsi).
31. Orozco, F. H., J. Cegarra, L. M. Trujillo and A. Roig. 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm Eisenia fetida: Effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils* 22: 162-166.
32. Prakash, M. and N. Karmegam. 2010. Vermi stabilization of press mud using Per-onyx ceylanensis Mich. *Bioresource Technology* 101: 8464–8468.
33. Rashtbari, M. and H. A. Alikhani. 2014. Effect of different enrichment treatments on chemical properties of vermicompost during maturation. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 3: 119-124.
34. Saberi Moghaddam, A., A. Heydari and K. Zaman. 2009. The dominant clay minerals in Iranian soils and the factors affecting their relative abundance. *In:* Proceedings of the 11th Iranian Soil Science Congress. Gorgan University of Agriculture and Natural Resources. Page 138.(In Farsi).
35. Saravanan S. and D. Aruna. 2013. Nutrient enrichment of vermicompost by probiotics supplementation. *European Journal of Experimental Biology* 3:84-88.
36. Sparks, D. L. and P. M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. pp. 201-276. *In:* Munson, R. D. (Ed.) Potassium in Agriculture. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
37. Subler, S., C. Edwards and J. D. Metzger. 1998. Comparing vermicompost and compost. *Biocycle* 12: 63-66.
38. Sumner, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity, and exchange coefficients. pp. 1201-1229. *In:* Sparks, D. L., (Ed.) Methods of soil analysis. Part 2: Chemical properties (3rd ed.). ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI.
39. Suthar, S. 2010. Pilot-scale vermireactors for sewage sludge stabilization and metal remediation process: Comparison with small-scale vermireactors. *Ecological Engineering* 36: 703-712.
40. Thompson, M. L. and L. Ukrainczyk. 2002. Micas. pp. 431-466. *In:* Dixon, J. B. and D. G. Schulze. (Eds.) Soil Mineralogy with Environmental Applications. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
41. Tripathi, G. and P. Bhardwaj. 2004. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg). *Bioresource Technol*ogy 92: 275-283.
42. Velde, B. and T. Peck. 2002. Clay mineral changes in the Morrow experimental plots, University of Illinois. *Clays and Clay Minerals* 50: 364-370.
43. Zhu, X., B. Lian, X. Yang, C. Liu and L. Zhu. 2013. Biotransformation of earthworm activity on potassium-bearing mineral powder. *Journal of Earth Science* 24: 65-74

Journal of Water and Soil Science
Vol. 23, Winter 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Temporal Variations of Important Features of Phlogopite Enriched Manure During Composting and Vermicomposting

F. Jafari, H. Khademi*, H. Shariatmadari and S. Ayoubi[1]

(Received: February 8-2018 ; Accepted: August 11-2018)

Abstract

The production of compost and vermicompost from manure and different organic residues and also, their enrichment with some fertilizers and other treatments have been extensively investigated. However, no study has yet been conducted on the enrichment of composted and vermicomposted manure with clay minerals. This research was, therefore, carried out to investigate the selected properties of phlogopite enriched manure during the composting process with and without earthworm activity. The experiment was conducted in plastic containers with the lid under an average temperature of 27.5°C and the humidity of 42.5% using a factorial arrangement in a completely randomized design with 3 replications. Factors included levels of phlogopite addition (0%, 20% and 40% by weight), with or without the earthworm *Eisenia fetida* for different time periods of 1.5, 3, 4.5 and 6 months. At the end of the experiment, the total of organic carbon, nitrogen, potassium, magnesium, and iron, as well as the contraction the available magnesium, potassium and iron, was determined. The results showed that the percent of organic carbon was decreased while the total nitrogen, the total and available potassium, iron and magnesium were increased with time. The results also indicated that a significant percentage of the total content of the elements in all treatments without phlogopite was available. However, in treatments containing phlogopite, the amount of the available elements was increased slowly with time. This was Due to the weathering of phlogopite mineral and the decomposition of manure. In general, it seems that the enrichment of composted and vermicomposed manure with phlogopite can guarantee the supply of nutrients such as potassium, iron and magnesium in a longer period, as compared with the ordinary composts.

Keywords: Phologopaite, Enriched compost, Enriched vermicompost, *Eisenia fetida*

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding author: hkhademi@cc.iut.ac.ir