

تأثیر نوع و درصد اختلاط مواد حجم‌دهنده بر ترکیب شیمیایی ورمی کمپوست لجن فاضلاب

کاظم هاشمی مجد^۱ و شهزاد جماعتی ثمرین^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۳)

چکیده

خصوصیات نامطلوب لجن فاضلاب از قبیل بوی نامطلوب، غلظت بالای عناصر سنگین و وجود عوامل بیماری‌زا استفاده از لجن را در کشاورزی محدود کرده است. کمپوست کردن و استفاده از کرم‌های خاکی در این فرآیند یکی از روش‌های مناسب برای پایدار کردن لجن فاضلاب و حذف خصوصیات نامطلوب آن می‌باشد. به منظور بررسی تأثیر نوع و درصد اختلاط مواد حجم‌دهنده و مرحله تجزیه لجن بر خصوصیات کیفی ورمی کمپوست، آزمایشی در قالب طرح اسپلیت فاکتوریل در سه تکرار انجام شد که در آن زمان تجزیه لجن (لجن خام، لجن هضم شده در هاضم، لجن آبگیری شده در لاگن‌ها و لجن خشک نهایی)، فاکتور اصلی و نوع مواد حجم‌دهنده (تراشه چوب، برگ درختان و کاه گندم) و درصد اختلاط ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد مواد حجم‌دهنده و لجن فاضلاب) فاکتورهای فرعی بودند. بعد از پنج ماه خواباندن گلدان‌ها در شرایط کنترل شده رطوبتی و حرارتی در حضور کرم‌های خاکی، محتویات گلدان‌ها برداشت و غلظت عناصر غذایی و سنگین در ورمی کمپوست‌های تولید شده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که ورمی کمپوست‌های تولید شده دارای pH اسیدی بوده از شوری نسبتاً کمی برخوردار بوده و غلظت عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، آهن و روی در آنها بسیار بالا بود که نشان‌دهنده خصوصیات مناسب این نوع ورمی کمپوست از نظر اصلاح خصوصیات خاک و ارزش بالای کودی آن می‌باشد. غلظت عناصر سنگین نیز به استثنای روی در ورمی کمپوست‌ها کمتر از استاندارد توصیه شده توسط EPA بود. با وجود عدم تفاوت معنی‌دار بین انواع مواد حجم‌دهنده، افزودن این مواد به لجن فاضلاب باعث کاهش pH، نیتروژن و سرب در نمونه‌های ورمی کمپوست گردید. نسبت مناسب اختلاط مواد حجم‌دهنده و لجن فاضلاب ۳۰ درصد حجمی/حجمی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ورمی کمپوست، لجن فاضلاب، مواد حجم‌دهنده، عناصر سنگین، *Eisenia foetida*

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده منابع طبیعی و فناوری کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل، اردبیل
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: jamaati_1361@yahoo.com

مقدمه

لجن فاضلاب محصول فرآیند تصفیه فاضلاب است که حاوی عناصر غذایی، عناصر سنگین و عوامل بیماری‌زا می‌باشد. متخصصان زیست محیطی این ماده را جزو ضایعات مضر تلقی می‌کنند زیرا مقدار ماده آلی آن زیاد بوده و عوامل بیماری‌زای بالقوه خطرناک از نظر سلامتی انسان‌ها در آن حضور دارند. لجن فاضلاب می‌تواند به‌عنوان کود آلی و یا ماده به‌ساز خاک مصرف شود ولی بوی نامطلوب، محتوی بالای عناصر سنگین، حضور ترکیبات آلی سمی و عوامل بیماری‌زا در این ماده لزوم تیمار و پایدارسازی آن را قبل از مصرف در اراضی کشاورزی روشن می‌کند (۲۴). به‌خاطر وجود قوانین سختگیرانه برای ممنوعیت تخلیه لجن فاضلاب به منابع آبی، گرانی سایر روش‌های دفع لجن و قیمت زیاد کودهای شیمیایی، استفاده از لجن فاضلاب برای تولید محصولات کشاورزی روزبروز مورد توجه قرار گرفته است. از اثرات مثبت اضافه شدن لجن فاضلاب به خاک می‌توان به تأمین عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، عناصر ثانویه و کم‌مصرف)، بهبود شرایط فیزیکی و افزایش درصد مواد آلی خاک اشاره نمود (۱۴). با این حال، غلظت عناصر سنگین و برخی آلاینده‌های آلی عامل اصلی محدود ماندن مصرف لجن به‌عنوان کود آلی است (۱۹).

کمپوست‌کردن بیولوژیکی لجن فاضلاب باعث پایدار شدن مواد آلی آن شده و جمعیت عوامل بیماری‌زا نیز به مقدار زیادی کاهش می‌یابد (۶). با وجود افزایش غلظت کل عناصر سنگین در لجن فاضلاب در طول فرآیند تولید کمپوست، مقدار شکل قابل جذب این عناصر کاهش می‌یابد. کاهش قابلیت استفاده عناصر سنگین در طول فرآیند کمپوست به دلیل تولید کمپلکس با مواد هوموسی است (۱۸). براساس یافته‌های استاور و همکاران (۲۳) کمتر از ۱۷ درصد روی، سرب و کادمیوم در لجن و تقریباً ۲۲ درصد نیکل به شکل‌های جذب سطحی شده و تبدلی وجود دارد که به راحتی برای گیاهان قابل استفاده می‌باشد. سایر شکل‌ها باید به شکل‌های محلول، تبدلی و جذب سطحی شده در بیابند تا برای گیاهان قابل استفاده شوند. سومر

(۲۲) نشان داد که شکل‌های غالب فلزات در لجن فاضلاب در مناطق مختلف متفاوت است و در نتیجه رفتار فلزات بعد از اضافه شدن به خاک در منابع مختلف لجن نیز متغیر است.

استفاده از کرم‌های خاکی در فرآیند تولید کمپوست، فناوری مناسبی برای مدیریت لجن فاضلاب به‌شمار می‌رود. فعالیت کرم‌های خاکی سبب حفظ شرایط هوازی و افزایش سرعت تجزیه میکروبی می‌شود در این فرآیند وزن زنده کرم‌ها افزایش یافته و فضولات کرم‌های خاکی که از نظر عناصر غذایی بسیار غنی است به‌جای گذاشته می‌شود (۴). اضافه کردن مواد حجم‌دهنده به لجن فاضلاب باعث افزایش فعالیت کرم‌ها و بهبود کیفیت محصول تولید شده می‌شود (۷). گوندک و فیلیپک-مازور (۹) از خاکاره سوزنی برگ‌ها، خرده ریز مقوا و کاه گندم به‌عنوان مواد حجم‌دهنده با نسبت ۱۵ درصد اختلاط برای تهیه ورمی‌کمپوست از لجن فاضلاب استفاده نمود. آروموگو و همکاران (۲) در هندوستان از مخلوط لجن فاضلاب، کلش برنج و کود دامی برای تهیه ورمی‌کمپوست استفاده نمودند. ویگروس و رامیرز-کامپروس (۲۵) از سنبل آبی به‌عنوان ماده حجم‌دهنده استفاده کرد. ایستمن و همکاران (۸) نشان دادند که جمعیت باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی، تخم‌های انگل در ورمی‌کمپوست بسیار کمتر از کمپوست بوده و تولید ورمی‌کمپوست یک روش جایگزین بسیار مناسب برای تولید کمپوست کلاس A می‌باشد. مطابق با استاندارد کشور کانادا، کمپوست‌ها از نظر کیفیت و سلامت به سه گروه AA، A و B تقسیم‌بندی می‌شوند، کمپوست‌های AA و A از نظر میزان کل ماده آلی و غلظت عناصر کمیاب در حد مطلوب قرار دارند (۵).

هدف از اجرای این تحقیق عبارت بود از: ۱. تعیین خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست‌های حاصل از اختلاط مواد حجم‌دهنده مختلف با لجن فاضلاب ۲. مقایسه غلظت عناصر سنگین با حدود مجاز پیشنهاد شده برای کمپوست لجن فاضلاب و ۳. ارزیابی کیفیت ورمی‌کمپوست‌های تولید شده به‌عنوان کود آلی.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه شیشه‌ای دانشگاه محقق اردبیلی به مرحله اجرا درآمد. آزمایش در قالب طرح اسپلیت فاکتوریل بود که در آن مراحل تصفیه لجن به‌عنوان فاکتور اصلی و عوامل، نوع ماده حجم‌دهنده و درصد اختلاط به‌صورت فاکتوریل در نظر گرفته شدند. نمونه‌های لجن فاضلاب از مراحل مختلف تصفیه فاضلاب (لجن تازه قبل از هاضم، لجن تصفیه شده بعد از هاضم، لجن مرطوب آب‌گیری شده در لاگن و لجن خشک نهایی) از تصفیه خانه فاضلاب شهر تبریز آورده شد. نمونه‌های لجن تازه و لجن بعد از هاضم به‌دلیل آبکی بودن، به‌وسیله صافی پارچه‌ای صاف شده و به منظور حذف بوهای نامطلوب به‌مدت ۲۰ روز در فضای باز نگهداری شدند. پس از آن نمونه‌های لجن با مواد حجم‌دهنده (کاه خرد شده گندم، تراشه چوب و برگ خرد شده درختان) به نسبت‌های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد (حجمی/حجمی) مخلوط و در گلدان‌های چهار لیتری در سه تکرار ریخته شدند. برای تعیین زمان مناسب برای اضافه کردن کرم‌ها، تعداد ۱۰ کرم در چندین نوبت و به فواصل یک هفته به گلدان‌ها اضافه شده و زنده ماندن آنها بررسی شد. پس از استقرار کرم‌ها، تعداد ۱۰۰ عدد کرم خاکی در حال بلوغ از گونه *Eisenia foetida* به گلدان‌ها اضافه شدند. رطوبت گلدان‌ها براساس وزن، در حد ۷۰ درصد رطوبت اشباع تنظیم و آب‌پاشی گلدان‌ها به منظور جلوگیری از خشک شدن سطح گلدان‌ها و حفظ رطوبت در این حد انجام شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه به‌مدت ۵ ماه نگهداری شدند. سپس محتویات گلدان‌ها مخلوط شده و ۱۰۰ گرم از ورمی‌کمپوست‌های تهیه شده برای تجزیه شیمیایی برداشت شد. نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس آسیاب شدند. یک گرم از مواد در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی خاکستر شده و به‌وسیله اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره‌گیری شد. از عصاره حاصل برای تعیین غلظت کل عناصر استفاده گردید (۱۲).

نمونه‌های مواد اولیه مورد استفاده در آزمایش با روشی

مشابه، آماده شدند. خصوصیات شیمیایی لجن در مراحل مختلف تجزیه، قبل از اضافه شدن به گلدان‌ها شامل pH و EC در عصاره ۱:۵ (مواد و آب مقطر)، کربن آلی با روش والکلی بلک، نیتروژن کل با دستگاه کجلدال اتوماتیک ساخت شرکت گرهارد مدل ۲۰۲۰، فسفر کل با روش رنگ‌سنجی اسید اسکروبیک و سدیم و پتاسیم کل با دستگاه فلیم فوتومتر، کلسیم و منیزیم با روش کمپلکسومتری اندازه‌گیری شد (۲۱). خصوصیات ذکر شده به استثنای pH و EC برای نمونه‌های مواد حجم‌دهنده نیز با روشی مشابه اندازه‌گیری شد.

با توجه به مشکلات موجود در آبگیری، حذف بوهای نامطلوب نمونه‌های لجن تازه و لجن بعد از هاضم و هم‌چنین عدم رشد مناسب کرم‌های خاکی در این دو تیمار و با عنایت به کثرت تعداد نمونه‌ها از تجزیه ورمی‌کمپوست‌های حاصل از آنها خودداری شد و برای نمونه‌های ورمی‌کمپوست تولید شده از لجن مرطوب و لجن خشک نهایی خصوصیات فوق به علاوه غلظت کل عناصر سنگین شامل آهن، روی، مس، منگنز، کبالت، نیکل، کادمیوم و سرب با دستگاه جذب اتمی ساخت شرکت پرکین المر مدل ۶۴۰ تعیین گردید (۱۳).

از آزمون‌های تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین با آزمون دانکن و به‌کارگیری نرم‌افزارهای SPSS، SAS و MSTATC برای تعیین تأثیر تیمارهای مختلف بر خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب شهر تبریز در مراحل مختلف تجزیه در جدول ۱ آمده است. ملاحظه می‌شود این نمونه‌ها دارای pH حدود خنثی و EC نسبتاً کمی است که برای رشد گیاهان مناسب است. درصد کربن آلی لجن بعد از هاضم نسبت به لجن خام بسیار کمتر است که نشان‌دهنده تجزیه سریع مواد آلی در هاضم می‌باشد. نسبت کربن به نیتروژن لجن بسیار کمتر از حد مطلوب برای فرآیند تولید ورمی‌کمپوست است که این موضوع لزوم اضافه شدن مواد حجم‌دهنده حاوی کربن زیاد

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب در مراحل مختلف تجزیه

				مرحله نمونه برداری
لجن خشک داخل لاگن	لجن مرطوب داخل لاگن	لجن بعد از هاضم	لجن خام قبل از هاضم	خصوصیات
۷/۲۴	۶/۸۶	۷/۴۱	۷/۰۵	pH
۱/۴۲	۱/۴۱	۱/۵۰	۱/۷	هدایت الکتریکی (dS/m)
۱۷/۳	۱۶/۵	۱۷/۴۸	۲۰/۵	کربن آلی (%)
۳/۵۵	۴/۰۹۳	۲/۷۱	۳/۲۲	نیترژن کل (%)
۴/۸۷	۳/۳۴	۶/۴۵	۶/۳۶	نسبت C/N
۱/۳۳	۲/۱۲	۲/۵۲	۰/۹۱	فسفر (%)
۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۳۴	پتاسیم (%)
۱۲/۲	۱۳/۴	۱۴/۸	۱۳/۲	کلسیم (%)
۴/۷	۲/۶	۳/۱	۳/۶	منیزیم (%)
۱/۰۵	۰/۹۸	۱/۲۵	۱/۹۴	سدیم (%)

شیمیایی ورمی کمپوست‌های حاصل از آن خودداری شد. نتایج تجزیه واریانس برای خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست‌های تولید شده در تیمارهای مختلف (جدول ۳) وجود تفاوت معنی دار در pH، EC، نیترژن کل، کلسیم، مس، روی، سرب، کبالت و کادمیم را نشان می‌دهد. دلیل آن را می‌توان به تفاوت در خصوصیات شیمیایی مواد حجم‌دهنده نسبت داد.

نتایج مقایسه میانگین با آزمون دانکن (سطح معنی داری ۰/۵) برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست‌های حاصل در جداول ۷-۵ آمده است. ورمی کمپوست‌های تولید شده دارای pH اسیدی بوده از شوری نسبتاً کمی برخوردار بودند و غلظت عناصر غذایی مانند نیترژن، فسفر و آهن در آنها بسیار بالا بود که نشان‌دهنده خصوصیات مناسب این نوع ورمی کمپوست از نظر اصلاح خصوصیات خاک و ارزش بالای کودی آن برای تأمین عناصر غذایی می‌باشد. پرورش و همکاران (۱) نیز کیفیت شیمیایی مناسب و ارزش بالای کودی ورمی کمپوست لجن فاضلاب را مورد تأکید قرار دادند. غلظت عناصر سنگین نیز به استثنای روی در ورمی کمپوست‌ها کمتر از استاندارد توصیه شده توسط EPA بود (۲۰)، البته غلظت روی نیز نزدیک به حد مجاز

را روشن می‌سازد. نگوا و تامپسون (۱۷) گزارش کردند که نسبت کربن به نیترژن ۲۵:۱ مواد اولیه باعث دستیابی به حداکثر پایداری، بیشترین ارزش کودی و کمترین آلودگی بالقوه زیست محیطی در فرآیند تولید ورمی کمپوست از لجن فاضلاب می‌شود. در فرآیند تجزیه لجن در تصفیه‌خانه درصد فسفر نمونه‌ها افزایش چشمگیری داشته است که دلیل آن را می‌توان خروج کربن و کاهش حجم لجن بیان نمود زیرا فسفر به شکل‌های شستشو و تصعید هدر نمی‌رود. آتیه و همکاران (۳) اظهار داشتند که تجزیه سریع ترکیبات حاوی کربن و خروج سریع CO₂ در فرآیند تولید ورمی کمپوست باعث کاهش وزن مواد و افزایش نسبی عناصر دیگر می‌شود. خصوصیات شیمیایی مواد حجم‌دهنده به کار رفته برای تولید ورمی کمپوست در جدول ۲ نشان داده شده است. نسبت کربن به نیترژن تراشه چوب و کاه گندم در این آزمایش کمتر از ارقام ذکر شده در منابع می‌باشد (به ترتیب ۵۰۰:۱ و ۸۰:۱) که دلیل آن پوسیدگی جزئی نمونه‌های به کار رفته است (۱۰).

به دلیل آبکی بودن لجن فاضلاب خام و لجن بعد از هاضم تولید ورمی کمپوست از آنها غیر عملی بوده و رشد کرم‌ها نیز در گلدان‌های حاوی این مواد نامناسب بود و بنابراین از تجزیه

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی مواد حجم‌دهنده مورد استفاده در آزمایش

کاه گندم	مواد حجم‌دهنده		
	تراشه چوب	برگ درختان	خصوصیات
۲۵/۷	۲۲/۵	۱۸/۸	کربن آلی (%)
۰/۶۸	۰/۰۹۲	۱/۱۲	نیتروژن کل (%)
۳۷/۷	۲۴۴/۶	۱۶/۸	نسبت C/N
۰/۰۴۱	۰/۰۱۸	۰/۱۹۹	فسفر (%)
۰/۸۶	۰/۱۱	۰/۲۱	پتاسیم (%)
۷/۲	۴/۸	۳/۲	کلسیم (%)
۲/۸	۳/۷	۲/۴	منیزیم (%)
۰/۵۷	۰/۴۵	۰/۶۲	سدیم (%)

جدول ۳. جدول آنالیز واریانس برای خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست در تیمارهای مختلف

خطا	تیمار		تکرار		خصوصیات
	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
۰/۱۸۹	۱۹	۱/۰۸۵ **	۱۹	۰/۰۰۱ ^{ns}	pH
۰/۶۹۷	۱۹	۲/۹۶۵ **	۱۹	۰/۲۶۰۸ ^{ns}	EC
۱۰/۶۵	۱۹	۱۴/۰۲ ^{ns}	۱۹	۶۱/۷۵ *	کربن آلی
۰/۰۷۸	۱۹	۰/۲۵۴ **	۱۹	۰/۰۰۴ ^{ns}	نیتروژن
۰/۱۵۳	۱۹	۰/۱۰۴ ^{ns}	۱۹	۰/۱۶۴ ^{ns}	فسفر
۰/۰۰۰۶	۱۹	۰/۰۰۰۷ ^{ns}	۱۹	۰/۰۰۱ ^{ns}	پتاسیم
۱/۷۸	۱۹	۱۱/۷۵ **	۱۹	۰/۰۰۱۴ ^{ns}	کلسیم
۰/۱۳۰	۱۹	۰/۱۷۶ ^{ns}	۱۹	۰/۲۱۱۶ ^{ns}	منیزیم
۲۸۴۴۱۸	۱۹	۵۴۶۵۲۳ ^{ns}	۱۹	۲۹۹۲۹۰ ^{ns}	آهن
۷۱۷/۲	۱۹	۶۳۴/۹ ^{ns}	۱۹	۳۰۹۷/۶ *	مس
۲۶۳۰/۳	۱۹	۵۷۸۸ *	۱۹	۲۰۵۹/۲ ^{ns}	منگنز
۹۱۹/۲	۱۹	۵۰۲۶ **	۱۹	۰/۲۲۵ ^{ns}	روی
۲۳۶۵/۷	۱۹	۱۹۷۶۳ **	۱۹	۳۸/۰۲ ^{ns}	سرب
۲۵/۴۷	۱۹	۴۹/۹۵ ^{ns}	۱۹	۵۹/۰۷ ^{ns}	نیکل
۶/۰۸	۱۹	۱۳/۲۰ *	۱۹	۶/۴۷ ^{ns}	کبالت
۱/۲۰	۱۹	۴/۴۶ *	۱۹	۱/۰۹ ^{ns}	کادمیم

نظر سمیت روی متوجه گیاهان در کشور ما باشد و شاید این موضوع نیز یکی دیگر از مزیت‌های استفاده از لجن فاضلاب برای مصارف کشاورزی باشد. در بسیاری از موارد اضافه کردن مواد حجم‌دهنده سبب کاهش pH ورمی کمپوست‌های تولیدی شد (جدول ۴). اغلب میزان کاهش با درصد اختلاط مواد

(۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد. مجاز بودن غلظت عناصر سنگین در ورمی کمپوست‌های تولید شده با انواع مختلف مواد حجم‌دهنده در گزارش‌های متعددی تأیید شده است. (۹ و ۲۵). با توجه به قلیایی بودن اکثر خاک‌های کشور و شیوع کمبود روی در این خاک‌ها به نظر نمی‌رسد که مشکلی از

جدول ۴. تأثیر نوع مواد حجم‌دهنده بر خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست‌های حاصل از لجن فاضلاب

کاه گندم	برگ	تراشه چوب	نوع مواد حجم‌دهنده	
			بدون ماده حجم‌دهنده	خصوصیات
۴/۸۵ B	۵/۱۵ B	۴/۹۱ B	۶/۰۶ A	pH
۳/۶۵ A	۴/۵۵ A	۳/۷۱ A	۴/۰۳ A	EC(dS/m)
۱۷/۸۳ A	۱۷/۷۷ A	۱۶/۸۰ A	۱۶/۸۴ A	کربن آلی (%)
۲/۸۳ AB	۲/۶۷ B	۲/۹۵ AB	۳/۲۱ A	نیترژن کل (%)
۱/۶۷ A	۱/۴۷ A	۱/۵۹ A	۱/۳۹ A	فسفر (%)
۰/۱۶۴ A	۰/۱۵۳ A	۰/۱۵ A	۰/۱۵۳ A	پتاسیم (%)
۶/۲۸ A	۶/۶۷ A	۵/۳۰ A	۵/۱۵ A	کلسیم (%)
۱/۹۰ A	۱/۹۲ A	۱/۷۹ A	۲/۰۳ A	منیزیم (%)
۴۰۹۶ A	۴۶۱۴ A	۴۶۴۰ A	۴۱۷۶ A	آهن (mg/kg)
۵۴ A	۴۸ A	۶۲ A	۴۶ A	مس (mg/kg)
۲۷۵/۳ A	۳۱۳/۵ A	۲۸۶/۳ A	۱۹۵/۳ A	منگنز (mg/kg)
۱۵۵۳ A	۱۵۱۶ A	۱۵۲۶ A	۱۵۳۱ A	روی (mg/kg)
۲۹۶ B	۱۸۹ BC	۲۳۹/۵ BC	۴۰۹ A	سرب (mg/kg)
۳۷/۱ A	۳۲/۹ A	۳۸/۲ A	۳۵/۴ A	نیکل (mg/kg)
۶/۵ A	۷/۹ A	۶/۶ A	۷/۹ A	کبالت (mg/kg)
۵/۶ A	۴/۳ A	۵/۳ A	۴/۵ A	کادمیم (mg/kg)

آلی ورمی کمپوست‌های تولید شده اغلب بیشتر از مقدار آن در لجن فاضلاب اولیه بود. دلیل آن را می‌توان به اختلاط لجن فاضلاب و مواد حجم‌دهنده با درصد کربن بیشتر نسبت داد. آرومگو و همکاران (۲) گزارش کردند در فرآیند تولید ورمی کمپوست از لجن مقدار کربن کاهش و مقدار نیترژن افزایش می‌یابد. تفاوتی بین نوع و مقدار اختلاط مواد حجم‌دهنده از نظر وجود نداشت.

اضافه نمودن مواد حجم‌دهنده هم‌چنین باعث کاهش درصد نیترژن ورمی کمپوست‌های حاصل شد (جدول ۵). دلیل آن درصد کمتر نیترژن مواد حجم‌دهنده در مقایسه با لجن فاضلاب بود. محتوی نیترژن ورمی کمپوست‌ها منعکس‌کننده درصد این عنصر در مواد حجم‌دهنده نبود. علت آن را می‌توان خروج مقدار بیشتر کربن به صورت گاز دی اکسید کربن از مواد حجم‌دهنده با نسبت کربن به نیترژن زیاد (مانند تراشه چوب)

حجم‌دهنده متناسب بود (جدول ۵). pH ورمی کمپوست‌های حاصل از لجن خشک نهایی معمولاً کمتر از لجن مرطوب بود (جدول ۶). علت کاهش pH در فرآیند تولید ورمی کمپوست را می‌توان به تولید اسیدهای آلی یا ورود کلسیم به بدن کرم‌های حاکی دانست. در مورد تغییر pH در فرآیند تولید ورمی کمپوست اطلاعات ضد و نقیضی وجود دارد. هاشمی مجد و همکاران (۱۱) افزایش pH ورمی کمپوست حاصل از مخلوط لجن فاضلاب و تراشه چوب را نسبت به لجن فاضلاب اولیه گزارش کردند. آتیه و همکاران (۳) نشان دادند pH کود دامی در طول فرآیند ورمی کمپوست کاهش می‌یابد.

نوع و درصد اختلاط مواد حجم‌دهنده تأثیر مشخصی بر هدایت الکتریکی ورمی کمپوست‌های تولید شده نداشت (جدول ۵ و ۶) ولی ورمی کمپوست‌های تولید شده از لجن خشک نهایی دارای EC کمتری بودند (جدول ۶). درصد کربن

جدول ۵. تأثیر درصد اختلاط مواد حجم‌دهنده بر خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست‌های حاصل از لجن فاضلاب.

درصد اختلاط مواد حجم‌دهنده				خصوصیات
۰/۰ %	۱۵/۰ %	۳۰/۰ %	۴۵/۰ %	
۶/۰۶ A	۵/۳۳ B	۴/۹۰ C	۴/۶۶ C	pH
۴/۰۳ A	۴/۴۴ A	۳/۷۷ A	۳/۷۰ A	EC(dS/m)
۱۶/۳۸ A	۱۷/۲۴ A	۱۸/۴۸ A	۱۶/۷۲ A	کربن آلی (%)
۳/۲۱ A	۲/۹۹ A	۲/۸۹ AB	۲/۵۷ B	نیتروژن کل (%)
۱/۳۹ A	۱/۶۸ A	۱/۵۱ A	۱/۵۴ A	فسفر (%)
۰/۱۵۳ A	۰/۱۵۵ A	۰/۱۵۴ A	۰/۱۵۸ A	پتاسیم (%)
۵/۱۵ A	۵/۶۸ A	۶/۴۱ A	۶/۱۷ A	کلسیم (%)
۲/۰۳ A	۱/۸۶ A	۱/۹۸ A	۱/۷۸ A	منیزیم (%)
۴۱۷۶ A	۴۴۵۴ A	۴۳۹۰ A	۴۵۰۸ A	آهن (mg/kg)
۴۶ A	۶۱ A	۵۳ A	۵۱ A	مس (mg/kg)
۱۹۵/۳ B	۲۸۶/۲ A	۳۰۰/۶ A	۲۸۸/۴ A	منگنز (mg/kg)
۱۵۳۱ A	۱۵۲۰ A	۱۵۴۵ A	۱۵۳۱ A	روی (mg/kg)
۴۰۹ A	۲۹۳ B	۲۰۵ B	۲۲۶ B	سرب (mg/kg)
۳۵/۴ A	۳۷/۲ A	۳۶/۷ A	۳۴/۴ A	نیکل (mg/kg)
۷/۹ AB	۶/۳ AB	۹/۱ A	۵/۷ B	کبالت (mg/kg)
۴/۵ A	۵/۹ A	۴/۸ A	۴/۴ A	کادمیم (mg/kg)

معنی دار غلظت آهن، منگنز، روی، سرب، کبالت و کادمیم بین برخی از تیمارها، روند کلی تغییرات قابل تشخیص نبود. با وجود عدم تفاوت معنی دار بین انواع مواد حجم‌دهنده برای خصوصیات اندازه‌گیری شده (EC، کربن آلی، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، مس، منگنز، روی، نیکل، کبالت و کادمیم)، افزودن این مواد به لجن فاضلاب باعث کاهش pH، نیتروژن و سرب در نمونه‌های ورمی کمپوست گردید (جدول ۴). در آزمایشی که توسط گوندک و فیلیپک-مازو (۹) انجام شد عملکرد چغندر بعد از مصرف ورمی کمپوست‌های حاصل از اختلاط ۲۰ درصد کاه گندم و برگ درختان با لجن فاضلاب بررسی شد و تفاوتی بین این دو نوع ورمی کمپوست دیده نگردید و با وجود این که غلظت کروم در لجن فاضلاب بیش از حد استاندارد بود تجمع این عنصر در گیاهان دیده نشد. با افزایش درصد اختلاط مواد حجم‌دهنده حجم‌دهنده pH،

و یا هدر رفت بیشتر نیتروژن در تیمارهای حاوی مواد حجم‌دهنده با نسبت کربن به نیتروژن کمتر (برگ درختان و کاه گندم) نسبت داد. ناکاشی و همکاران (۱۶) گزارش کردند که خاک اره مؤثرترین عامل حجم‌دهنده از نظر جلوگیری از خروج نیتروژن از توده کمپوست به شکل آمونیاک می‌باشد و با افزایش درصد اختلاط آن، میزان خروج آمونیاک کاهش می‌یابد. درصد کلسیم ورمی کمپوست‌های تهیه شده از لجن خشک نهایی کمتر از ورمی کمپوست‌های حاصل از لجن مرطوب بود (جدول ۶). علت آن احتمالاً غلظت بیشتر کلسیم در نمونه لجن مرطوب استفاده شده در آزمایش نسبت به لجن خشک بوده است طوری که ورمی کمپوست حاصل از لجن مرطوب خالص نیز کلسیم بیشتری در مقایسه با ورمی کمپوست تولید شده از لجن خشک داشت. تفاوت بین غلظت فسفر، پتاسیم، منیزیم و مس بین تیمارهای مختلف معنی دار نبود. با وجود تفاوت

جدول ۶. تأثیر زمان تجزیه لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست‌های حاصل از لجن فاضلاب

زمان تجزیه لجن فاضلاب		خصوصیات
لجن مرطوب	لجن خشک	
۵/۴۸ A	۵/۳۳ B	pH
۴/۶۷ A	۳/۲۶ B	EC(dS/m)
۱۸/۳۲ A	۱۶/۴۳ A	کربن آلی (%)
۲/۹۸ A	۲/۷۳ A	نیترژن کل (%)
۱/۶۴ A	۱/۴۷ A	فسفر (%)
۰/۱۶۲ A	۰/۱۴۹ A	پتاسیم (%)
۷/۰۲ A	۳/۹۷ B	کلسیم (%)
۲/۰۹ A	۱/۸۶ B	منیزیم (%)
۴۴۶۹ A	۴۳۷۷ A	آهن (mg/kg)
۶۳ A	۴۵ B	مس (mg/kg)
۳۱۱/۶ A	۲۵۲/۶ B	منگنز (mg/kg)
۱۵۵۰ A	۱۵۱۴ B	روی (mg/kg)
۲۷۰/۶ A	۲۴۵/۳ A	سرب (mg/kg)
۳۸/۷ A	۳۳/۳ B	نیکل (mg/kg)
۷/۴ A	۶/۸ B	کبالت (mg/kg)
۵/۳ A	۴/۶ A	کادمیم (mg/kg)

درحالی‌که در نسبت ۱:۲ غلظت سرب بیشتر بوده است ولی غلظت نیکل در هر دو تیمار یکسان بود.

pH، EC و غلظت عناصر کلسیم، منیزیم، مس، روی، منگنز، نیکل، و کبالت در نمونه‌های ورمی کمپوست حاصل از لجن خشک نهایی به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه‌های مربوط به لجن مرطوب بود (جدول ۶). این نتیجه نشان‌دهنده تناسب بیشتر ورمی کمپوست تولید شده از لجن خشک نهایی برای مصرف در خاک‌های قلیایی کشور می‌باشد. بنابراین برای دستیابی به کیفیت مناسب ورمی کمپوست تولیدی اختلاط ۳:۰ درصد مواد حجم‌دهنده و لجن فاضلاب توصیه می‌شود.

نیترژن و سرب نمونه‌های ورمی کمپوست کاهش یافت (جدول ۵). بین ۳۰ درصد و ۴۵ درصد اختلاط تفاوت معنی‌داری در مقدار این خصوصیات وجود نداشت. تفاوت غلظت کبالت بین ورمی کمپوست تولید شده از لجن خالص با ورمی کمپوست‌های حاصل از اختلاط مواد حجم‌دهنده معنی‌دار نبود و تغییرات آن نیز با درصد اختلاط متناسب نبود. روند تغییر غلظت عناصر سنگین بسته به نوع عنصر و خصوصیات لجن می‌تواند متفاوت باشد. مانیوس و استنیفورد (۱۵) گزارش کردند که غلظت روی در ورمی کمپوست حاصل از نسبت ۱:۱ اختلاط لجن فاضلاب به برگ زیتون (حجمی/حجمی) بیشتر از نسبت ۱:۲ بوده

منابع مورد استفاده

۱. پرورش، ع.ر.، ح. موحدیان و ل. حمیدیان. ۱۳۸۳. بررسی کیفیت شیمیایی و ارزش کودی ورمی کمپوست تهیه شده از لجن

2. Arumuga, G.K., S. Ganesan, R. Kandasamy, R. Balasubramani D.R. Burusa. 2004. Municipal Solid Waste Management through Anaerobic Earthworm, *Lampito mauritii* and their Role in Microbial Modification. Eco Service International, Available at: <http://www.eco-web.com/editorial/040831.html>
3. Atiyeh, R.M., J. Dominguez, S. Subler and C.A. Edwards. 2000. Change in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia anderi*, *Bouche*) and effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44: 709-724.
4. Benitez, E., R. Nogales, C. Elvira, G. Masciandaro and B. Ceccanti. 1999. Enzyme Activities as Indicators of the Stabilization of Sewage Sludges Composting with *Eisenia foetida*. *Bioresour. Technol.* 67: 297-303.
5. Bureau de normalisation du Quebec. 1995. "Amendments organiques - Compost". P 0413-200. 15 mai, P.7.
6. Burge, W.D. and N.K. Enkiri. 1978. Virus adsorption by five soils. *J. Environ. Quality* 7: 73-76.
7. Dominguez, J., C.A. Edwards, M. Webster. 1999. Vermicomposting of Sewage Sludge Solids: Effects of Bulking Materials on the Growth and Reproduction of the Earthworm *Eisenia andrei* (Bouché). *Pedobiologia* 43(4): 372-379.
8. Eastman, B. R., P.N. Kane, C.A. Edwards, L. Trytek, B. Gunadi, A.L. Stermer and J.R. Mobley. 2001. The effectiveness of vermiculture in human pathogen reduction for USEPA biosolids. *Stabiliz. Compost Sci. & Utiliz.* 9(1): 38-49.
9. Gondek, K. and B. Filipek-Mazur. 2001. Agricultural usability of sewage sludge and vermicompost of tannery origin. *Elect. J. Polish Agric. Univ., Environ. Develop.* 4(2): Available Online: <http://www.ejpau.media.pl/series/volume4/issue2/environment/art-01.html>
10. Gupta, S.C., R.H. Dowdy and W.E. Larson. 1977. Hydraulic and Thermal Properties of a Sandy Soil as Influenced by Incorporation of Sewage Sludge. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41: 601-605.
11. Hashemimajd, K., M. Kalbasi, A. Golchin, H. Knicker, H. Shariatmadari Y. Rezaei-Nejad. 2006. Use of vermicomposts produced from various solid wastes as potting media. *Eur. J. Hort. Sci.* 71(1): 21-29.
12. Jones, J.B. 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press., Boca Raton, FL.
13. 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.
14. Kelley, W.D., D.C. Martens, R.B. Reneaur, T.W. Simpson. 1984. *Agricultural Use of Sewage Sludge: A Literature Review*. Department of Agronomy Virginia Polytechnic Institute and State University. Bull. PP. 143: 46.
15. Manios, T. and E.I. Stenifored. 2006. Heavy Metals Fractionation during the Thermophilic Phase of Sewage Sludge Composting in Aerated Static Piles. *J. Environ. Sci. and Health* 41(7): 1235-1244.
16. Nakashi, K., A. Ohtaki and H. Takano. 2001. Effect of Bulking Agent on the Reduction of NH₃ Emission during Thermophilic Composting of Night-Soil Sludge. *Waste Manage. and Res.* 19(4): 301-307.
17. Ndegwa, P. M. and S.A. Thomson. 2000. Effect of C to N ratio on vermicomposting of biosolids. *Bioresour. Technol.* 75(1): 7-12.
18. Paré T., H. Dinel and M. Schnitzer. 1999. Extractibility of Trace Metals during Co-composting of Biosolids and Municipal Solid Wastes. *Biol. and Fertil. Soils* 29: 31-37.
19. Quatman A., M.R. Provenzano, M. Hafidi and N. Senesi. 2000. Compost Maturity Assessment Using Calorimetry, Spectroscopy and Chemical Analysis. *Compost Sci. & Utiliz.* 8: 124-134.
20. Renner, R. 2000. Sewage Sludge, Pros & Cons. *Environmental Science & Technology* vol. 34, p19. Available at: <http://www.mindfully.org/Pesticide/Sewage-Sludge-Pros-Cons.htm>
21. Sommers, L.E. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. *J. Environ. Quality* 6: 225-32.
22. Sparks, D.L. 1996. *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*. SSSA Book Series Number 5, Soil Science Society of America, Madison, WI.
23. Stover, R.C., L.E. Sommers and D. J. Silivan. 1976. Evaluation of metals in wastewater sludge. *J. the Water Pollut. Control Federation* 9: 2165-75.
24. Tiquia, S.M., J.H.C. Wan and N.F.Y. Tam. 2002. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. *Compost Sci. and Utiliz.* 10: 150-161.
25. Vigueros, C. and E. Ramirez-Camperos. 2002. Vermicomposting of sewage sludge: A new technology for Mexico. *Water Sci. and Technol.* 46(10): 153-158.

Effect of Kind and Mixing Proportion of Bulking Materials on Chemical Properties of Sewage Sludge Vermicompost

K. Hashemimajd¹ and SH. Jamaati-e-Somarin^{2*}

(Received : May 20-2011 ; Accepted : Oct. 24 -2012)

Abstract

Improper properties of sewage sludge include odors, trace elements concentration, and presence of pathogens limit its use in agriculture. Composting and using of earthworms in this process is one of the most suitable methods for stabilization and removal of unsuitable properties of sewage sludge. To investigate the effects of kind and mixing proportion of bulking material and sewage sludge decomposition stage on vermicompost quality, an experiment was carried out in a split plot design with three replications. In this experiment, the stage of sewage decomposition (raw sewage, digested sludge in digester, dewatered sludge in lagoons, and final dried sludge in lagoons) was main factor and kind of bulking materials (woodchips, three leaves, and wheat straw) and mixing proportion of bulking materials to sewage sludge (0, 15, 30, and 45 %, V/V) were as subordinate factors. Chemical properties of sewage in different decomposition stages and bulking materials were determined. After 5 months of incubation in the controlled moisture and temperature condition, and in the presence of earthworms, the pot's contents were harvested, and nutrients and heavy metal concentration of vermicomposts were measured. Vermicomposts had relatively low pH and EC. Their nutrients content especially N, P, Fe, and Zn were high. These properties showed vermicompost suitability for use as a soil amendment and organic fertilizer. Heavy metals concentrations of vermicomposts, except for Zn, were lower than recommended values by EPA. Despite no significant difference between the kinds of bulking materials, mixing of these materials with sewage sludge decreased pH, N, and Pb content of produced vermicompost. According to the results, 30% (v/v) mixing of bulking material and sewage sludge is recommended.

Keywords: Vermicompost, Sewage sludge, Bulking materials, Heavy metals, *Eisenia foetids*.

1. Dept. of Soi. Sci., College of Agric. Technol. and Natur. Resour., Univ. of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Dept. of Agron. and Plant Breed. College of Agric., Ardabil Branch, Islamic Azad Univ., Ardabil, Iran.

*: Corresponding Author, Email: jamaati_1361@yahoo.com