نشریه زراعت
(پژوهش و سازندگی)
شماره ۱۰۳، تابستان ۱۳۹۳

تاثیر ترکیب ضایعات ذرت با کـــود گاوی و کارتن بر کیفیت ورمی‌کمپوست تولید شده با *Eisenia fetida*

• **سیده مریم خرازی** ، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، گرایش محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
• **حبیب‌الله یونسی**، دانشیار، عضوهیئت علمی گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی پردیس‌نور، دانشگاه تربیت‌مدرس (نویسنده مسئول)
• **جواد عابدینی طرقبه**، سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری مشهد

تاریخ دریافت: تیر ماه ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: آبان ماه ۱۳۹۱
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۱۴۱۶۵۵
پست الکترونیک نویسنده مسئول: hunesi@modares.ac.ir

چکیده

ســـالانه در فصول برداشت ذرت، حجم زیادی ضایعات آلی تولید می‌شـــود و از آنجا که این ضایعات از نسبت C/N بالایی برخوردار می‌باشند، این قابلیت را دارند که به‌عنوان مواد اولیه برای تولید ورمی‌کمپوست، استفاده شوند. تحقیق حاضر به منظور بررسی امکان بازیافت ضایعات مزارع ذرت و تولید کود آلی ورمی کمپوســـت از این پسماندهای آلی توسط کرم خاکی *Eisenia fetida* انجام شد. تیمارهایی با درصدهای۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد ضایعات ذرت و مابقی کود کمپوست، کود گاوی و کارتن آماده شد. تیمارها ابتدا به مدت۳۰ روز پیش کمپوست شده تا شرایط بستر مواد آلی برای کرم های خاکی مساعد گردد. سپس کرم های خاکی به تعداد مناسب به کلیه بسترهای آماده شده تلقیح شد و تیمارها به مدت۴۰ روز ورمی کمپوست شدند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در تمامی تیمارها با گذشت زمان مقدار TVS، TOC و C/N مواد بستر بطور معنی داری کاهش یافت و مقدار TP، TKN، EC، نیترات، غلظت فلزات سنگین و سایر عناصر غذایی افزایش معنی داری را نشان داد. هم چنین با افزایش میزان ضایعات ذرت موجود در بستر از ۴۰ به ٪۸۰، از میزان TKN (از ۱/۹۶ به ۱/۶۰٪) و نیترات (از ۱۷۸۰/۴۰ به ۱۴۵۸/۲۳ mg/kg) کاسته شد و به میزان TOC (۲۸/۱۱ به ۳۳/۸۰٪)، TVS (از ۴۴/۴۱ به ٪۵۱/۹۷)، نســـبت C/N (از ۱۴/۴۲ به ۲۱/۱۸)، TP (از ۳/۲۰ به ۳/۸۰ g/kg) و EC (از ۲/۹۷ به ۳/۴۸ mS/cm) افزوده شـــد. نتایج نشـــان داد که ترکیب ضایعات ذرت، کود گاوی، کمپوست و کارتن قابلیت تولید ورمی کمپوست را دارند و میزان ٪۸۰ ضایعات ذرت در بستر در میان سایر تیمارها دارای اثرات مطلوب‌تری بر کیفیت ورمی‌کمپوست نهایی بود. تکرارپذیری فرایند و کیفیـــت محصول نهایی، این امکان را فراهم می‌کند که از روش این آزمایش برای پژوهش‌هایی که نیاز به کاهش جرم مخلوط زایدات کشاورزی کمپوست شده اولیه دارد، استفاده شود.

کلمات کلیدی: ورمی‌کمپوست، ضایعات ذرت، کرم خاکی، تثبیت مواد آلی، نسبت کربن به نیتروزن.

Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No:103 pp: 179-191

Effect of corn waste blended with cow dung and paper on vermicompost qualities using *Eisenia fetida*

- *By: M. kharrazi, M.Sc. Student of Tarbiat Modares University*
- *H. Unesi, (Corresponding Author; Tel: 09113141655), Associate Professor of Tarbiat Modares University*
- *J. Abedini, Master of Master of Waste Management Organization of Mashhad Municipality*

Received: July 2012 **Accepted: November 2012**

Harvesting corn created annually a large amount of organic waste, which could be a suitable initial substrate for vermicomposting due to its high C/N ratio. The present study was aimed for recycling of corn residues and production of good quality vermicompost, after processing by Eisenia fetida. The setup of experiments was conducted with 40, 60 and 80% of corn residue, compost, cow dung and paper. The mixtures were precomposted for 30 days to improve substrate for earthwprms and then vermicomposted for 40 days. The results showed that TOC, TVS and C/N ratio was decreased in all treatments, while value of EC, TKN, TP, nitrate, heavy metals and other nutrients increased. With increasing corn residue from 40 to 80% in the substrates, the value of TKN and nitrate decreased significantly from 1.96 to 1.60% and from 1780 to 1458 mg/kg, respectively. However, comparable increase of TOC from 28.11 to 33.80%, TVS from 44.41 to 51.97%, C/N ratio from 14.42 to 21.18, TP from 3.20 to 3.80 g/kg and EC from 2.97 to 3.48 mS/cm was obtained. Results of this study revealed that bledding materials (corn residue with compost, cow dung and paper) were more suitable vermicomposting production. The mixtures with a corn residue of 80% had more positive effects on final vermicompost quality. Therefore, the reproducibility of the process and the quality of the final products make it possible to propose the use of this experimental procedure for research requiring a mass reduction of the initial composting of agricultural waste mixtures.

Keywords: Vermicompost, Corn residues, Earthworms, Organic waste biodegradation, C/N ratio

مقدمه

مشکل تولید ضایعات از صنایع مختلف، امروزه از مسائل حاد در دنیا به‌شمار می‌رود (Ndegwa and Thompson 2001). جدا کردن زایدات آلی به‌منظور تولید محصولات مفید، روشی پایدار در مدیریت این ضایعات می‌باشد. کمپوست نمودن، پایدارترین و اقتصادی‌ترین گزینه برای مدیریت مواد زاید آلی می‌باشد (Nair et al. 2006). پروسه تبدیل زباله‌های آلی به کود آلی، تکنیکی در جهت کاهش مشکلات محیط زیستی، افزایش حاصل‌خیزی خاک‌های کشاورزی و کاهش توسعه مکان‌های جدید برای دفن می‌باشد (Ndegwa and Thompson 2001). فرایند تولید ورمی‌کمپوست، شامل استفاده از کرم‌های‌خاکی برای تولید کمپوست از مواد آلی می باشد. کود آلی ورمی‌کمپوست، مواد دفعی کرم‌های‌خاکی، محصول نهایی فرایند تولید ورمی‌کمپوست می‌باشد(Latifah et al. 2009). روده کرم‌های‌خاکی مانند یک بیوراکتور عمل کرده که عمل خرد و تخریب کردن و تبدیل زیستی مواد آلی و معدنی کردن عناصر مختلف موجود در بستر در آن‌جا اتفاق می‌افتد (Latifah et al. 2009). کود آلی ورمی‌کمپوست به‌دلیل دارا بودن هورمون‌های رشد گیاهی و آنزیم‌های خاک و هم‌چنین ساختار فیزیکی مناسب و جمعیت میکروبی غنی، موجب افزایش عملکرد محصولات زراعی می‌گردد (Edwards 1995).

انتخاب بستر مناسب برای کرم‌های‌خاکی، کلید موفقیت در تولید ورمی‌کمپوست می‌باشد. چرا که طبیعت ضایعات آلی بر شایستگی کرم‌های‌خاکی در تجزیه مواد بستر اثرگذار می‌باشد. بستر مطلوب باید ویژگی‌هایی مانند قابلیت جذب آب بالا، حجیم شوندگی مناسب و نسبت کربن به نیتروژن نسبتا بالا را داشته باشد. بدیهی است که کودهای تولیدی از بسترهای متفاوت مواد آلی، از لحاظ ویژگی‌های مختلف، متفاوت خواهند بود (Latifah et al. 2009). ماده غذایی مناسب برای کرم‌ها می‌تواند شامل مواد غنی از نیتروژن مثل کود احشام، کود مرغی و یا سایر مواد آلی مانند ضایعات کشاورزی یا خانگی باشد (Sharma et al. 2005). کرم‌های‌خاکی به محیطی مرطوب برای زندگی نیازمندند. چرا که این کرم ها از طریق پوست تنفس می‌کنند (Latifah et al. 2009). هم چنین یک بستر مناسب برای تولید ورمی‌کمپوست، باید دارای محتوی کم پروتئین و یا نیتروژن و به بیان دیگر داشتن نسبت کربن به نیتروژن نسبتا بالا می‌باشد (Latifah et al. 2009).

Grag و همکاران (Garg et al. 2006a) کارایی کرم خاکی *E. fetida* را در تولید ورمی‌کمپوست از انواع مختلفی از مواد آلی (ضایعات آشپزخانه، زایدات کشاورزی، زباله‌های صنعتی و سازمانی شامل فیبر و لجن صنایع نساجی) بر اساس مقدار مواد مغذی (N و P) مورد مطالعه قرار دادند

و نتایج بدست آمده نشان داد که ورمی‌کمپوست‌سازی، یک تکنولوژی مناسب برای تجزیه انواع مختلفی از زباله‌های آلی (خانگی و صنعتی) و تبدیل این زایدات به مواد ارزشمند می‌باشد. Orozco و همکاران (Orozco et al. 1996) در مطالعه ای به ارزیابی توانایی کرم خاکی *E. fetida* برای تبدیل ضایعات قهوه به ورمی‌کمپوست پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای که در مالزی در ۲۰۰۹ در مقایسه روزنامه و خاک اره به‌عنوان ماده آلی مورد استفاده برای تولید ورمی‌کمپوست انجام شده، اشاره شده است که روزنامه در تولید بیوماس کرمی و نرخ رشد کرم‌خاکی *Perionyx excavatus* موثرتر بوده، در حالی‌که خاک اره در تولید کوکون و تعداد کرم‌های خاکی مفیدتر بوده است. Pramanik و همکاران (Pramanik et al. 2007) در مطالعه‌ای در زمینه تولید ورمی‌کمپوست از کود گاوی، علوفه، علف‌های هرز آبزی و ضایعات جامد شهری همراه با اضافه کردن آهک و تلقیح میکروبی بیان داشتند که ورمی‌کمپوست تولیدی از کود گاوی دارای مقدار بیشتر مواد مغذی و هم‌چنین سطح بالاتر فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی می‌باشد. Sharma و Kaviraj (Kaviraj and Sharma 2003) نیز تولید ورمی‌کمپوست از پسماندهای جامد شهری را روشی مناسب در مدیریت این ضایعات ارزیابی کردند.

Gupta و Garg (Gupta and Garg 2008) و Khwairakpam و Bhargava (Khwairakpam and Bhargava 2009) در بررسی بازیافت لجن فعال فاضلاب در فرایند تولید ورمی‌کمپوست، توانستند ورمی کمپوستی با ویژگی های مطلوب بدست آورند.

متاسفانه با وجود اثرات مفید کرم‌های خاکی و افزایش سرعت معدنی شدن و هوموسی شدن بقایای آلی، فرایند تولید ورمی‌کمپوست در کشور ما گسترش چندانی نیافته است. لذا با توجه به حجم عظیم زایدات آلی در شهرهای بزرگ، صنایع و کشاورزی و همچنین مشکل کمبود مواد آلی در خاک‌های کشور، لزوم فرهنگ‌سازی و انجام تحقیقات گسترده در این زمینه بیش از پیش احساس می‌گردد. هدف از این تحقیق استفاده از ضایعات گیاه ذرت برای تولید ورمی کمپوست و افزایش مقدار مواد مغذی آن طی فرایند تثبیت مواد آلی می باشد. چرا که در حین برداشت گیاه ذرت در مزارع، مقادیر بسیاری پسماند و ضایعات با C/N بالا باقی می ماند که می توان از آن ها برای این منظور بهره گرفت و تولید ورمی کمپوست گام بلندی را از یک سو در مدیریت پسماندهای آلی و از سوی دیگر در کشاورزی پایدار ایفا کند.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق اثر پارامتر نوع بستر تولید ورمی‌کمپوست (مقدار ذرت موجود در بستر) بر کیفیت محصول نهایی (ورمی‌کمپوست) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. طرح حاضر در قالب طرح کامل تصادفی با سه نوع ترکیب بستر (شامل ۳ سطح اختلاط مواد بستر: ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد وزن خشک ضایعات ذرت و مابقی کمپوست، کود گاوی و کارتن) در ۳ تکرار برای هر تیمار در طی مدت ۷۰ روز انجام پذیرفت. محل اجرای این طرح، سالن ورمی‌کمپوست کارخانه کود آلی (کمپوست) مشهد می‌باشد.

فراوری و آماده سازی مواد اولیه

مواد اولیه مورد استفاده شامل ضایعات مزارع ذرت، کود گاوی، کارتن و کمپوست زباله شهری بودند. کود گاوی، از محل دپوی کود در سایت کارخانه کمپوست مشهد و کود کمپوست نیز از سالن تولید کمپوست در کارخانه، تهیه گردید که با توجه به گذشت زمانی معادل دو ماه از انجام دپو، نسبتا تثبیت شده و فاقد تخم علف‌های هرز بود. کودگاوی نیز به‌منظور جدا کردن ذرات با سایز درشت توسط الک با سایز سه میلیمتر سرند شد. به‌منظور حذف املاح مضر و کاهش EC نیز با پخش نمودن روی یک صفحه فلزی سوراخ دار و پاشیدن آب در سه مرحله شستشو شد. ضایعات ذرت از مزارع ذرت تهیه و شسته شد و در هوای آزاد به مدت چند روز پهن گردید.کارتن نیز از زباله‌های موجود در کارخانه تهیه گردید. کارتن‌ها نیز شسته و خرد شدند. قبل از ساخت تیمارهای اصلی، از مواد اولیه جداگانه نمونه‌برداری شد و مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها تعیین گردید.

ساخت و آماده سازی تیمارها

برای ساخت واحدهای آزمایشی از سطل‌های پلاستیکی بیضوی شکل با ابعاد ۴۹×۳۷ سانتیمتر، وزن یک کیلوگرم و حجم تقریبی ۱۵ لیتر استفاده شد. پس از فراوری و آماده سازی مواد اولیه، در داخل هر یک از ظروف ۲/۵کیلوگرم مواد بستر (بر اساس وزن خشک) که شامل درصدهای مختلفی از ضایعات گیاه ذرت، کود گاوی، کمپوست و کارتن بودند، ریخته شده و هر ظرف به عنوان یک واحد آزمایشی به شمار آمد. این تحقیق به‌صورت طرح فاکتوریلبا سه نوع ترکیب بستر (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد ضایعات ذرت و مابقی کمپوست، کود گاوی و کارتن) و با سه تکرار برای هر تیمار در طی مدت ۷۰ روز انجام پذیرفت. در این مطالعه در مجموع ۹ واحد آزمایشگاهی (۴×۳) طرح‌ریزی شد. پس از گذشت ۳۰ روز، عمل تلقیح کلیه تیمارها توسط کرم‌های‌خاکی نیز با اضافه کردن ۱۵۰ جفت کرم‌خاکی بالغ با وزن تقریبی ۳۰۰ میلی‌گرم از گونه *Eiseniafetida* به هر ظرف انجام شد. رطوبت بسترها در محدوده ۷۰-۶۰ درصد و دمای آن‌ها نیز که تابعی از درجه حرارت محل پروژه (سالن ورمی‌کمپوست) بود، در محدوده ۲۵-۱۵ درجه سانتیگراد تنظیم شد. به‌منظور ممانعت از هدر رفتن رطوبت مواد بستر و هم‌چنین جلوگیری از تابش مستقیم نور به بستر کرم‌های خاکی، سطوح تیمارها توسط گونی‌های نخی و نایلون پوشانیده شدند. پس از گذشت ۷۰ روز از ساخت تیمارها و آماده شدن ورمی‌کمپوست در تمامی واحدهای آزمایشگاهی، عملیات جداسازی کرم‌های خاکی از بستر به صورت دستی انجام شد. پس از جداسازی کرم‌های خاکی به منظور حذف مواد درشت، ورمی‌کمپوست تولید شده از هر واحد آزمایشگاهی به صورت دستی توسط یک الک با سایز منافذ ۳ میلی‌متر سرند شد و بدین ترتیب محصول نهایی تیمارهای مختلف آماده گردید.

نمونه‌گیری برای انجام آزمایشات

به منظور اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی مدنظر شامل pH، EC، TVS، C/N، NO3-، TKN، TOC و TP نمونه‌های همگنی از هر تیمار در ۳ مرحله شامل ابتدای مرحله پری‌کمپوست، ابتدای مرحله ورمی‌کمپوست و انتهای مرحله ورمی‌کمپوست تهیه شد. نمونه‌های تهیه شده ابتدا به مدت ۲۳ ساعت در داخل آون و در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به‌طور کامل خشک شدند. به منظور کنترل شرایط محیطی برای رشد کرم‌های خاکی، پارامترهای pH و EC هر ۱۰ روز یکبار برای تیمارهای مختلف توسط دستگاه pH متر و EC متر دیجیتال (Campitelli and Ceppi 2008) اندازه‌گیری شدند و رطوبت مواد بستر، پس از اندازه‌گیری و در صورت نیاز

مجددا با اضافه کردن مقادیر مشخص آب در محدوده ۷۰-۶۰ درصد وزنی تنظیم گردید. سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل TOC به روش والکی بلاک[1](Walkley and Black 1934)، TKN به روش کجلدال[2] (Schol-lenberger 1945)،TP،C/N از روش اولسن[3] (Kostecka and Kaniuczak 2008) و نیترات به روش اسپکتروفتومتری (Huffman and Barbarick 1981)، در هر سه مرحله نمونه گیری، اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

طرح حاضر در قالب طرح کامل تصادفی انجام پذیرفت. آماده سازی داده‌ها در برنامه Excel وتجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت و نمودارها نیز با استفاده از برنامه SigmaPlot رسم گردیدند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه مورد استفاده

مواد اولیه	NO_3^-, mg/kg	TP, g/kg	TVS, %	TKN, %	TOC, %	C/N
ضایعات ذرت	n.d	۲/۷۳±۰/۵۶	۶۱±۱۲	۰/۹۶±۰/۱۸	۴۵/۸۱±۵/۶	۴۷/۷۲±۸/۲
کمپوست	n.d	۲/۱۶±۰/۳۴	۳۵±۸	۱/۱۵±۰/۲۷	۲۵/۹۱±۵/۴	۲۲/۵۳±۵/۳
کود گاوی	n.d	۳/۲۹±۰/۲۳	۱۵±۳	۰/۵۳±۰/۱۴	۱۱/۵۸±۳/۲	۲۱/۸۵±۳/۷
کارتن	n.d	۰/۶۱±۰/۱	۶۵±۱۶	۰/۲۳±۰/۰۵	۴۹/۲۱±۷	۲۱۳/۹۶±۱۲

اعداد گزارش شده به‌صورت میانگین ± انحراف معیار می‌باشند (n=۳) n.d: not ditected

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مقدار ذرت موجود در بستر بر میانگین مربعات TOC، TVS، TKN، NO_3^-، TP و نسبت C/N

منبع تغییرات	درجه آزادی	روز ۱	روز ۳۰	روز ۷۰	روز ۱	روز ۳۰	روز ۷۰
		TOC			TVS		
نوع بستر	۲	۸۶/۱۴۰**	۳۶/۷۸۰**	۲۴/۶۴۰**	۶۹/۸۳۶**	۱۴/۲۶۷**	۴۵/۸۸۲**
خطا	۸	۰/۰۷۵	۰/۳۷۵	۰/۱۲۷	۰/۰۵۹	۰/۰۷۷	۰/۱۱۱
		TKN			NO_3^-		
نوع بستر	۲	۰/۰۶*	۰/۰۳۶*	۰/۱۲۵**	n.d	۴۷۶۷/۳۹۲**	۷۸۸۳۷/۳۲۹**
خطا	۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	n.d	۱۹/۱۳۴	۴۰۱/۶۷۴
		نسبت C/N			TP		
نوع بستر	۲	۶۷/۴۲۷**	۴۹/۶۸۵**	۳۵/۸۶۷**	۰/۱۲۷**	۰/۱۶۷**	۰/۲۹۵**
خطا	۸	۰/۲۶۸	۰/۷۲۶	۲/۱۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹

* و ** به‌ترتیب نشان‌گر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد (n.d: not detected).

نتایج و بحث

مشخصات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه مورد استفاده برای تهیه بسترهای تولید ورمی کمپوست در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده های آزمایش (جدول ۲ و ۳) بیانگر این بود که اثر مقدار ذرت موجود در بستر تولید ورمی کمپوست در همه مراحل نمونه برداری شامل ابتدای فرایند، روز ۳۰ (انتهای مرحله پیش کمپوست) و روز ۷۰ (انتهای مرحله ورمی کمپوست) بر مقدار TOC، TVS، NO3-، نسبت C/N و TP در سطح اطمینان 99% و بر مقدار TKN در سطح اطمینان 95% معنی دار بود. هم چنین این فاکتور بر مقدار EC در ۸ مرحله نمونه گیری با فواصل ده روزه، تغییرات معنی داری را در سطح ۹۹٪ نشان داد. اما اثر مقدار ضایعات ذرت موجود در بستر در هیچ یک از مراحل نمونه برداری، بر تغییرات pH معنی دار نبود (p≥۰/۰۱).

بررسی تغییرات هدایت الکتریکی (EC)

EC از پارامترهای مهم در ارزیابی شوری و مقدار یون‌های موجود در محلول اشباع خاک می‌باشد. با توجه به این‌که در اثر فعالیت کرم‌های خاکی و تجزیه مواد آلی و معدنی شدن آن‌ها، حلالیت و تحرک آن‌ها زیاد می‌شود، هدایت الکتریکی مواد بستر به‌مقدار قابل توجهی در طی فرایند تولید ورمی‌کمپوست در تمامی تیمارها به‌صورت پیوسته افزایش یافته است (شکل ۱). افزایش در مقدار EC می‌تواند به‌علت کاهش مواد آلی بستر و هم‌چنین رها شدن نمک‌های معدنی مختلف در فرم‌های قابل دسترس (مانند فسفات، آمونیوم و پتاسیم) در طول فرایند نیز باشد (Kavi-raj and Sharma 2003) دلیل افزایش EC در طی فرایند این است که بر اثر فعالیت میکروارگانیسم‌ها در مرحله پیش‌کمپوست‌سازی و فعالیت مشترک کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها در مرحله ورمی‌کمپوست‌سازی، بیشتر عناصر به فرم‌های معدنی قابل دسترس در آمده و در محیط آزاد می‌شوند و در نتیجه غلظت آن‌ها به‌تدریج افزایش می‌یابد و موجب بالا رفتن EC می‌شود. افزایش EC در کمپوست‌سازی هم‌زمان خاک اره و زئولیت با لجن فاضلاب مشاهده شده است (Garg (Zorpas and Loizidou 2008 و همکاران (Garg et al. 2006a) در مطالعه‌ای در زمینه تولید ورمی‌کمپوست از انواع مختلفی از مواد زاید آلی توسط *E. fetida* افزایش EC را در تمامی تیمارها گزارش کردند و دلیل این امر را رها شدن یون‌های قابل دسترس و کانی‌هایی معرفی کردند که در طول فرایند هضم و دفع مواد آلی توسط کرم‌های خاکی تولید شدند. Wang و همکاران (Wang et al. 2004) نیز در مطالعه‌ای بر تولید ورمی‌کمپوست از فضولات خوک چنین نتیجه گرفتند که مقدار EC در طول فرایند ورمی‌کمپوست‌سازی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. Garg و همکاران (Garg et al. 2006b) نیز در تحقیقات

خود، این نتیجه را تایید نمودند.

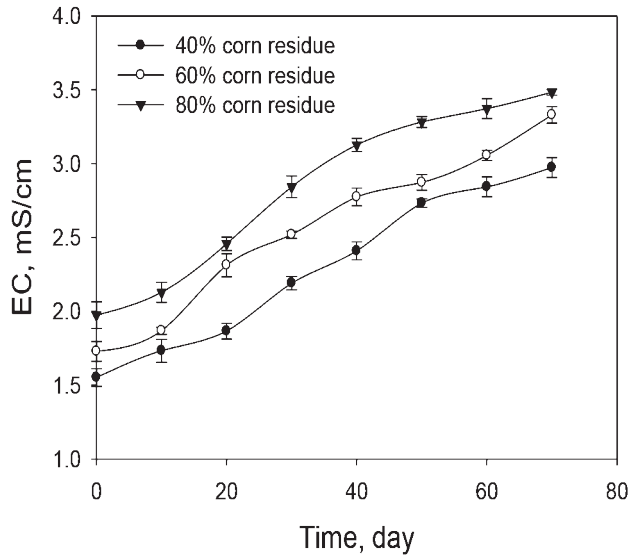
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش بیانگر این بود که اثر مقدار ذرت موجود در بستر تولید ورمی‌کمپوست در همه مراحل نمونه‌برداری که در فواصل زمانی ۱۰ روزه انجام گرفته است، بر مقدار EC معنی‌دار بود. ($p\leq0.01$) بررسی مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد که با افزایش میزان ذرت، میزان مواد آلی موجود در بستر افزایش یافته و در نتیجه فعالیت کرم‌های خاکی موجود در بستر زیاد شده که منجر به آزادسازی یون‌های بیشتر و در نتیجه افزایش EC می‌شود. لذا تیمارهایی که حاوی 80% ضایعات ذرت هستند، دارای بیشترین میزان EC (به‌ترتیب ۱/۹۵ و ۳/۴۸ mS/cm در ابتدا و انتهای فرایند) و تیمارهایی که حاوی 40% ضایعات ذرت هستند، دارای کمترین میزان EC (به‌ترتیب ۱/۵۵ و ۲/۹۷ mS/cm در ابتدا و انتهای فرایند) بودند (شکل ۱).

بررسی تغییرات pH

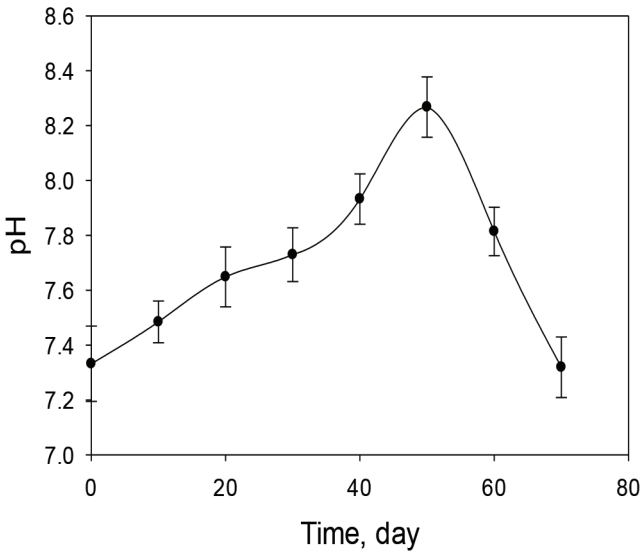
pH یکی از پارامترهای بسیار مهم و تاثیرگذار بر میزان فراهمی عناصر در خاک می‌باشد. موجودات خاک از جمله کرم‌های‌خاکی و میکروارگانیسم‌ها قادر به تغییر pH خاک می‌باشند. تجزیه مواد آلی نیتروژن‌دار، موجب تولید یون‌های آمونیوم (NH_3) و اسید هیومیک می‌شود (Komilis and Ham 2006). این دو ترکیب، رفتاری متفاوت بر pH دارند. وجود گروه‌های فنولی و کربوکسیلی در هیومیک اسید، منجر به کاهش pH شده، در حالی‌که یون‌های آمونیوم، افزایش pH را سبب می‌شوند. اثر متقابل این دو ترکیب منجر به تنظیم pH ورمی‌کمپوست و نیل آن به‌سمت pH خنثی می‌شود (Pramanik et al. 2007). در این مطالعه pH کلیه تیمارها در طی دوره پیش‌کمپوست، افزایش یافت. پس از ۳۰ روز، pH کلیه تیمارها از میانگین ۷/۳۳ به ۷/۷۴ رسید (شکل ۲). این افزایش pH در ابتدای فرایند کمپوست‌سازی توسط پژوهشگران متعددی مشاهده شد.

(Huang et al. 2004; Zhu 2007; Zorpas and Loizidou 2008). فعالیت شدید میکروبی و تجزیه مواد آلی در هفته‌های نخست، سبب تشکیل آمونیوم و افزایش pH در توده کمپوست می‌شود (Saludes et al. 2008; Sánchez-Monedero et al. 2001). از روز ۳۰، ابتدای مرحله تولید ورمی‌کمپوست تا روز ۵۰ نیز افزایش در میزان pH مشاهده شد. افزایش pH مواد بستر در این مرحله نیز نشان دهنده فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کرم های خاکی طی فرایند سوخت و ساز هوازی در حضور رطوبت کافی و در نتیجه تولید ترکیبات بازی (مانند آمونیاک حاصل از تجزیه مواد آلی نیتروژن دار) می‌باشد. از روز ۵۰ تا انتهای فرایند در اثر تثبیت بیشتر ترکیبات آلی و تشکیل اسیدهای ضعیف و هم‌چنین در اثر مصرف ترکیبات بازی مذکور (تبدیل آمونیاک به نیترات)، pH مواد بستر کاهش یافت. هم‌چنین کاهش pH مواد بستر می‌تواند به‌دلیل تولید گاز دی‌اکسیدکربن در اثر فعالیت‌های متابولیسمی کرم‌های‌خاکی و میکروارگانیسم‌ها و کاهش وزن خشک مواد بستر نیز باشد (Garg et al. 2006a; Gunadi et al. 2002; Singh et al. 2005).

Sing و همکاران (Singh et al. 2005). در مطالعه‌ای در زمینه تولید ورمی‌کمپوست از مخلوط کود گاوی و مواد زاید آشپزخانه دریافتند که با وجود تفاوت در مقدار pH اولیه، ابتدا pH مواد بستر افزایش و سپس کاهش یافته به‌طوری‌که پس از ۳۰ روز از شروع تحقیق به حدود pH خنثی رسید. Loh و Lee ۶(Loh et al. 2005) فرایند ورمی‌کمپوست را در مخلوط کودهای حیوانی مورد مطالعه قرار دادند که نتیجه تحقیق آن‌ها دلالت بر این دارد که pH مواد اولیه روندی را از خنثی تا قلیایی و سپس اسیدی نشان داده است که چنین نتیجه‌ای توسط Ndegwa (Ndegwa et al. 2000) نیز گزارش شده است. این پژوهشگران یکی از دلایل کاهش pH را تبدیل زیستی مواد اولیه به مواد حد واسط از جمله اسیدهای آلی دانسته و هم‌چنین دلیل دیگر آن را معدنی شدن نیتروژن و فسفر و تبدیل آن‌ها به نیترات، نیتریت و ارتوفسفات معرفی کردند. Garg و همکاران (Garg et al. 2006a) نیز در مطالعه‌ای که با هدف بررسی پتانسیل بازیافت انواع مختلف مواد زاید آلی انجام دادند، کاهش pH مواد بستر را در تمامی تیمارها در طول دوره ۱۰۰ روزه گزارش کردند و این کاهش را به آزاد شدن گاز دی‌اکسیدکربن و اسیدهای آلی حاصل از تجزیه مواد غذایی موجود در بستر به‌وسیله کرم‌های‌خاکی و میکروارگانیسم‌ها نسبت دادند.



شکل ۱- روند تغییرات EC در طول دوره فرایند تحت تاثیر فاکتور نوع بستر



شکل۲- تغییرات pH در طول دوره فرایند

بررسی تغییرات کل کربن آلی (TOC)

یکـی از مهم‌تریـن خصوصیات شـیمیایی بسـتر کـه در فراینـد تولید ورمی‌کمپوسـت تغییراتی را نشـان می‌دهد، کربن آلی می‌باشد که بر اثر معدنی شدن مواد آلی و فرایندهای زیستی کرم‌های‌خاکی ایجاد می‌شود. با گذشـت زمان، مقدار TOC مواد بستر در کلیه تیمارها، کاهش یافته است (شکل ۳). Elvira و همکاران (Elvira et al. 1998) ۴۲-۲۰٪ کاهش TOC به‌دلیل از دست رفتن ترکیبات کربنی به‌صورت CO2 را در طی فرایند ورمی‌کمپوست گزارش کردند. کاهش مقدار TOC در تیمارهای مختلف در طول دوره ورمی‌کمپوسـت، ناشی از معدنی شدن و تجزیه مواد آلی توسط کرم‌های خاکی و میکروارگانیسـم‌های موجود در مواد بسـتر (مصرف مواد آلی در دسـترس در بسـتر به‌عنوان منبع انرژی) است (Loh et al. 2005; Singh et al. 2005). هم‌چنین به‌علت کاهش نسـبت C/N در طول فرایند، تعداد کرم‌های خاکی موجود در بسـتر به‌تدریـج افزایش یافته (Ndegwa and Thompson 2000) و ایـن امر، موجب کاهـش TOC به‌دلیل افزایش اکسیداسـیون مواد آلی می‌شـود (Pramanik et al. 2007). از آن‌جایی‌که شـرایط موجود در تیمارهـای مختلف، متفاوت اسـت، فعالیت و جمعیت کرم‌ها و میکروارگانیسم‌های موجود در آن‌ها نیز متفاوت می‌باشد. به‌همین دلیل تغییراتی که در مقدار TOC تیمارهای مختلف مشـاهده می‌شـود، یکسان نیست.

نتایج تجزیه واریانس بیانگر این بود که اثر مقدار ذرت موجود در بستر تولید ورمی‌کمپوسـت در ابتدا و انتهای فرایند بر مقدار TOC در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار بود. بررسـی مقایسـه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد کـه با افزایش میزان ذرت در تیمارها میزان مـواد آلی و TOC موجود در بسـتر افزایش یافت. چرا که میزان کربن آلی در ضایعات ذرت نسـبت به سـایر مواد تشکیل دهنده بسـتر به‌طور معنی‌داری بیشتر می‌باشد. شکل ۳ نشـان می‌دهد که کمترین میزان TOC در ابتدای فرایند، روز ۳۰ و ۷۰ در تیمارهای دارای ۴۰٪ ضایعات ذرت به‌ترتیب ۳۹/۹۵، ۳۳/۹۸ و ۲۸/۱۱ درصد بود و بیشـترین میزان آن در تیمارهـای دارای ۸۰٪ ضایعات ذرت به‌ترتیب ۵۰/۵۹، ۴۰/۸۵ و ۳۳/۸۰ درصد بود.

بررسی تغییرات جامدات کل فرار (TVS)

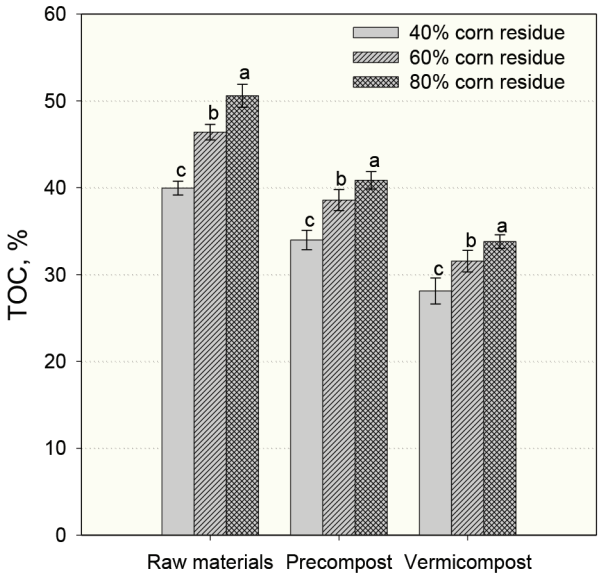
از جمله پارامترهای مهم دیگری که در طول فرایند ورمی‌کمپوسـت تغییر می‌کند، مقدار کل مواد جامد فرار (TVS) اسـت که در واقع شاخص میزان مـواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی در محیط اسـت و به‌همین دلیل همانند TOC تغییرات این پارامتر نیز تابع فعالیت‌های کرم‌ها و میکروارگانیسـم‌ها بر روی مواد آلی و تجزیه این مواد اسـت. در تحقیق حاضر، روند تغییرات این پارامتر در تیمارهای مختلف در روزهای ۰، ۳۰ و ۷۰ فرایند اندازه‌گیری شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

با گذشـت زمان مقدار TVS مواد بسـتر در کلیه تیمارها به‌صورت پیوسته در طـی مدت تحقیـق کاهش یافت (شـکل ۴). کرم‌هـای خاکی هم از طریـق فعالیت خود و هم از طریق بهبود شـرایط اقلیم خرد برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها، تجزیه بیولوژیکی مواد آلی را افزایش داده و از این طریق باعث کاهش TVS مواد بستر می‌شـوند (Garg and Kaushik 2005; Khwairakpam and Bhargava 2009; Loh et al. 2005; Ndegwa et al. 2000). هم‌چنین به‌علت کاهش نسبت C/N در طول فرایند، تعداد کرم‌های خاکی موجود در بسـتر به‌تدریج افزایش یافته (Ndegwa and Thompson 2000) و این امر موجب افزایش اکسیداسـیون مواد آلی و در نتیجه کاهش TVS می‌شود (Khwairakpam and Bhargava 2009). در بررسی بازیافت لجن فعال فاضلاب و تولید ورمی‌کمپوست از آن، افزایش در مقدار خاکستر و در نتیجه کاهش TVS ورمی‌کمپوست گزارش شد. Gupta و همکاران (Gupta et al. 2007) نیز در تولید ورمی‌کمپوسـت از گیاه سنبل آبی و کود گاوی، ۵۶/۵-۱۶/۳٪ درصد افزایش در میزان خاکستر را در ورمی‌کمپوست نسبت به مواد اولیه و در نتیجـه کاهش در TVS را نتیجه گرفتند. Sangwan و همکاران (Sang-wan et al. 2008) نیز افزایش خاکسـتر (کاهش میـزان TVS) را به‌علت معدنی شدن مواد آلی گزارش نمودند.

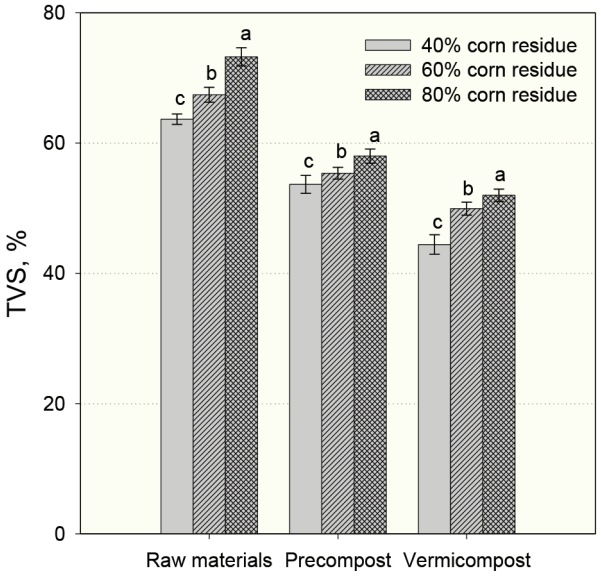
از آن‌جایی‌که شـرایط موجود در تیمارهای مختلـف، متفاوت بود، فعالیت و جمعیت کرم‌ها و میکروارگانیسـم‌های موجـود در آن‌ها نیز متفاوت بود. به‌همین دلیل تغییراتی که در مقدار کل جامدات آلی در تیمارهای مختلف مشـاهده شـد، یکسـان نبود. لذا نتیجه تجزیه واریانس داده‌های آزمایش بیانگر این بود که اثر درصد ذرت موجود در بسـتر تولید ورمی‌کمپوست در همه مراحل نمونه‌برداری شامل ابتدای فرایند، انتهای مرحله پیش‌کمپوست و انتهای مرحله ورمی‌کمپوسـت بر مقدار TVS معنـی‌دار بود ($p\leq0.01$). بر اسـاس شـکل ۴ می‌توان گفت که با افزایش میـزان ذرت در تیمارها، میزان مواد آلی موجود در بسـتر افزایش معنی‌داری را در هر سـه مرحله نمونه‌برداری نشـان داد. چرا که میزان کربن آلی در ضایعات ذرت نسـبت به سایر مواد تشکیل دهنده بسـتر بیشتر بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان TVS در تیمارهـای با ۸۰٪ ذرت (۷۳/۲۲، ۵۷/۹۸ و ۵۱/۹۷٪ به ترتیب در ابتـدای فرایند، روزهای ۳۰ و ۷۰) و کمتریـن TVS در تیمارهای با ۴۰٪ ذرت (۶۳/۶۵، ۵۳/۶۵ و ۴۴/۴۱٪ بـه ترتیب در ابتدای فرایند، روزهای ۳۰ و ۷۰) مشاهده گردید.

بررسی تغییرات نیتروژن کل (TKN) و نیترات (NO3-)

نیتروژن یکی از عناصر غذایی مهم برای رشـد گیاه محسـوب شـده و در نتیجه بررسـی مقدار و تغییرات آن در ورمی‌کمپوست از نظر ارزیابی ارزش کود نهایی بسـیار مهم اسـت. با گذشـت زمان مقدار TKN و نیترات در کلیه تیمارها در هر دو مرحله نمونه‌برداری افزایش معنی‌داری یافته اسـت (شـکل ۵ و ۶). یکی از دلایل اصلی این افزایش، کاهش مواد آلی بستر در اثر فرایند تجزیه توسـط میکروارگانیسم‌ها و کرم‌های‌خاکی و تبدیل شدن کربن مواد آلی به گاز دی‌اکسیدکربن و کاهش وزن خشک بستر می باشد. همچنین می‌توان به لعاب و تراوه‌های نیتروژن‌دار، هورمون‌های محرک رشد و آنزیم‌هایی که توسـط کرم‌های خاکی تولید شـده و به مواد بستر اضافه می‌شوند، اشاره نمود که همه این مواد سرشار از نیتروژن می‌باشند (Wang et al. 2004). کاهش مقدار pH در طول دوره تهیه ورمی‌کمپوست نیز، یک فاکتور مهم در حفظ نیتروژن است (Hartenstein and Hartenstein 1981). زیرا در pH قلیایی، نیتروژن تبدیل به گاز آمونیاک شده و تصعید می‌گردد. هم چنین در بررسـی بازیافت لجن فعال فاضلاب و تولید ورمی‌کمپوسـت از آن، به این نکته اشـاره سشده اسـت که مقدار نیتروژن نهایی به مقدار نیتروژن اولیه ضایعات و هم‌چنین سرعت تجزیه مواد آلی بستگی دارد.

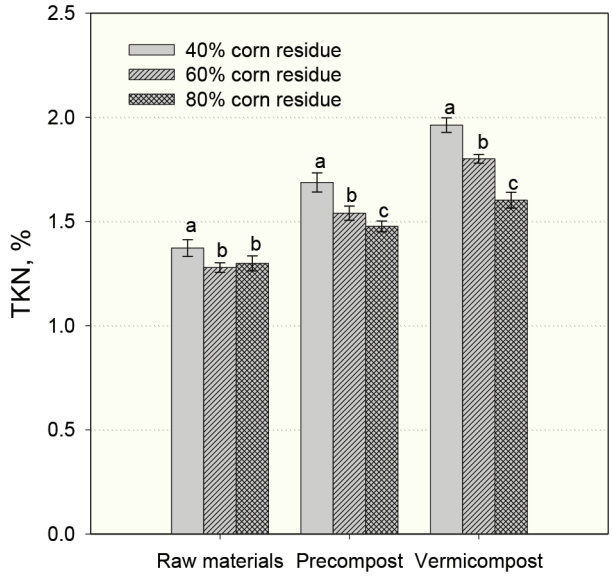


شکل ۳-روند تغییرات **TOC** طی فرایند تحت تاثیر نوع بستر



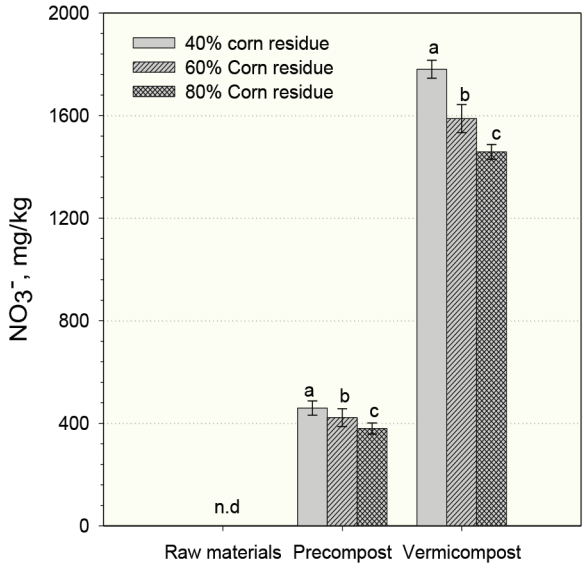
شکل ۴-روند تغییرات **TVS** طی فرایند تحت تاثیر نوع بستر

(Khwairakpam and Bhargava 2009). Pramanic و همکاران (Pramanik et al. 2007) نیز بیان نمودند که میزان TKN کود تولیدی، علاوه‌بر وابسته بودن به میزان TKN مواد اولیه بستر، به مقدار نسبت C/N بستر وابسته می‌باشد. هرچه نسبت C/N مواد آلی بستر کمتر باشد، نرخ تجزیه مواد آلی افزایش یافته و در نتیجه میزان نیتروژن موجود در بستر افزایش می‌یابد. بسیاری از محققین، افزایش TKN و نیترات را طی فرایند ورمی‌کمپوست از ضایعات مختلف مشاهده نموده‌اند. Garg و همکاران (Garg et al. 2006a) در تحقیقی بر ورمی‌کمپوست به‌دست آمده از تیمارهای مختلف متشکل از کود گاوی، انواع مختلف ضایعات و خاک بیان نمودند که مقدار نیتروژن مواد بستر در تمام تیمارها به‌طور معنی‌داری با گذشت زمان افزایش یافته است و این افزایش را به حضور کرم‌های‌خاکی و ضایعات نیتروژنی ترشح شده توسط آن‌ها نسبت دادند. Gupta و همکاران (Gupta et al. 2007) نیز



شکل ۵-روند تغییرات **TKN** طی فرایند تحت تاثیر نوع بستر

افزایش TKN مواد بستر را در طی فرایند تولید ورمی‌کمپوست ازسنبل آبی نشان دادند. در مطالعات متعدد دیگری نیز افزایش میزان نیترات و کاهش آمونیوم را در طی فرایند ورمی‌کمپوست اعلام نمودند (Aira et al. 2007; Khwairakpam and Bhargava 2009). آن‌ها علت افزایش نیتروژن کل را کاهش وزن خشک مواد بستر (کاهش مواد آلی در فرم CO_2) در حین استفاده کرم‌ها و میکروارگانیسم‌ها از آن و هم‌چنین کاهش رطوبت بستر در اثر تبخیر در حین فرایند معدنی شدن مواد آلی بیان نمودند. کاهش آمونیوم (NH_4^+) را نیز در نتیجه‌ی افزایش نیترات اعلام کردند. Frederickson و همکاران (Frederickson et al. 2007) نیز در بررسی ویژگی‌های کمپوست و ورمی‌کمپوست، افزایش نیترات را در هر دو روش (کمپوست و ورمی‌کمپوست) مشاهده نمودند، اما این افزایش در ورمی‌کمپوست بسیار مشهودتر بود.



شکل ۶- روند تغییرات NO_3^- طی فرایند تحت تاثیر نوع بستر

نتایـج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر مقدار ذرت موجود در بسـتر تولید ورمی‌کمپوسـت در همه مراحل نمونه‌برداری شـامل ابتدای فرایند، انتهای مرحله پیش‌کمپوسـت و انتهای مرحله ورمی‌کمپوسـت در سطح اطمینـان ٪۹۹ بـر مقدار TKN و NO3 معنی‌دار بود. بررسـی مقایسـه میانگین داده‌های آزمایش نشـان داد که با افزایش میزان ذرت در تیمارها، میـزان TKN و در نتیجه میـزان NO3-کاهش یافـت. میزان TKN در ضایعات ذرت نسبت به سایر مواد تشکیل دهنده بستر کمتر بود به‌طوری‌که کمترین میـزان TKN در ابتدای فرایند و روزهای ۳۰ و ۷۰، در تیمارهای دارای ۸۰٪ ضایعات ذرت مشاهده شـد که به‌ترتیب ۱/۳۰، ۱/۴۸ و ۱/۶۰ درصـد بود و بیشـترین میزان آن در ابتدای فراینـد و روزهای ۳۰ و ۷۰، در تیمارهای دارای ٪۴۰ ضایعات ذرت مشـاهده شـد که به‌ترتیب ۱/۳۷، ۱/۶۹ و ۱/۹۷ درصـد بود (شـکل۵). کمترین میزان NO3- نیز در روز ۳۰ و ۷۰، در تیمارهای دارای ٪۸۰ ضایعات ذرت مشـاهده شـد که به‌ترتیب ۲۱/۶۵±۳۷۹/۵۲ و ۶۴/۷۵±۱۴۵۸/۲۳ درصـد بود و بیشـترین میزان آن در روز ۳۰ و ۷۰، در تیمارهای دارای ٪۴۰ ضایعات ذرت مشـاهده شد که به‌ترتیب ۲۷/۸۳±۴۵۹/۱۸ و ۷۲/۸۷±۱۷۸۰/۴۰ درصد بود (شکل۶).

بررسی تغییرات نسبت کربن به نیتروژن (C/N)

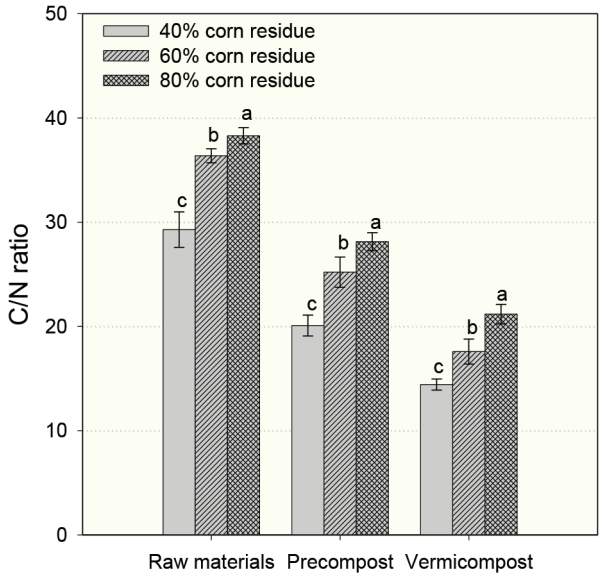
یکی از مهم‌ترین شـاخص‌های ایمنی کمپوسـت برای استفاده در خاک، درجه پایداری یا رسیدگی کمپوسـت است که نشان دهنده میزان تثبیت مواد آلی (مقدار مواد آلی پایدار)، عدم حضور ترکیبات سمی و بیماری‌های گیاهی و جانوری در آن می‌باشـد. در یک کمپوسـت ناپایدار، امکان وجود ترکیبات آلی تجزیه نشـده که مولد بو می‌باشند و نیز ترکیبات سمی تولید شده به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها وجود دارد. یکی از مهم‌ترین پارامترها برای ارزیابی میزان پایداری و رسـیدگی کمپوست، نسبت C/N محصول نهایی می‌باشد. این نسبت، منعکس کننده تجزیه ترکیبات آلی و پایداری به‌دست آمده طی فرایند کمپوست‌سازی می‌باشد (Huang et al. 2006). در تحقیق حاضر، نسـبت C/N مواد بسـتر در تمامی تیمارها با گذشت زمان کاهش یافت (شکل ۷). دلیل کاهش نسـبت C/N، تجزیه مواد آلی در طول دوره کمپوسـت به‌وسیله کرم‌ها و میکروارگانیسـم‌ها و تبدیل کربن آلی به گاز دی‌اکسـیدکربن است که از بسـتر خارج می‌گردد. از طرف دیگر، نیتروژن محیـط نیز به‌دلیل تجزیه مواد آلی و هم‌چنین اضافه شـدن لعاب، مخاط، هورمون‌های محرک رشـد و آنزیم‌های تولید شـده توسط کرم‌های خاکی به مواد بسـتر که سرشـار از نیتروژن می‌باشـند، افزایش می‌یابد. برایند عوامل فوق، منجر به کاهش نسـبت C/N مواد بسـتر در طی فرایند تولید ورمی‌کمپوسـت می‌گردد. Suthar (Suthar 2007) در مطالعات خود، علت کاهش حدود ۶۲ تا ۶۹ درصدی در نسـبت C/N را آزاد شـدن بخشی از کربـن آلی به‌صورت گاز دی‌اکسـیدکربن و نیز معدنی شـدن نیتروژن در اثر پروسـه‌های تجزیه میکروبیولوژی گزارش نموده‌اند. Khwairakpam و Bhargava (Khwairakpam and Bhargava 2009) در بررسـی بازیافـت لجن فعال فاضلاب و تولید ورمی‌کمپوسـت از آن، کاهش در نسـبت C/N را در اثر تجزیه مواد آلی بسـتر از یک سو و افزایش نیتروژن به‌علت تولید موکوز و ترکیبات نیتروژنی از سوی دیگر گزارش نمودند. Tripathi و (Tripathi and Bhardwaj 2004) فرایند تجزیه ضایعات آشـپزخانه را همراه با کود گاوی با اسـتفاده از دو گونه کرم‌خاکی بررسی کردند و گزارش نمودند که نسبت C/N از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا گیاهان نمی‌توانند خود را با نسـبت‌های C/N بالا وفق دهند و حد مجاز نسـبت C/N برای اهداف گیاهی ۲۰:۱ گزارش شده اسـت. Gupta و همکاران (Gupta et al. 2007) نیز در تولید ورمی‌کمپوسـت از عدسک‌های آبی، کاهش ۶۶ تا ۸۹ درصدی را در تیمارهـای خود گزارش نمودند. از طرف دیگر، Pramanic و همکاران (Pramanik et al. 2007) در بررسـی ویژگی‌های ورمی‌کمپوست تولیدی از ضایعات آلی شامل زباله‌های جامد شهری، گیاهان آبزی، علف و کود گاوی بیان نمودند که نسـبت C/N کود تولیدی، به نسبت C/N مواد اولیه موجود در بستر وابسته می‌باشد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر این اسـت که اثر مقدار ذرت موجود در بسـتر در ابتدای فرایند، روز ۳۰ و ۷۰ بر نسـبت C/N در سطح اطمینان ٪۹۹ معنی‌دار بود. با افزایش میزان ذرت، میزان مواد آلی و TOC موجود در بسـتر افزایش و میزان TKN آن کاهش و در نتیجه نسبت C/N افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین نسبت C/N در تیمارهای با ٪۸۰ درصد ذرت (به‌ترتیب در ابتدا، روز ۳۰ و ۷۰ برابر با ۰/۷۸±۳۸/۲۸، ۰/۸۷±۲۸/۱۲ و ۰/۹۴±۲۱/۱۸) و کمترین نسـبت C/N در تیمارهای با ٪۴۰ درصد ذرت (به‌ترتیـب در ابتـدا، روز ۳۰ و ۷۰ برابر بـا ۱/۷۰، ۲۹/۲۸، ۱، ۲۰/۰۹ و ۰/۵۳±۱۴/۴۲) مشاهده گردید (شکل ۷).

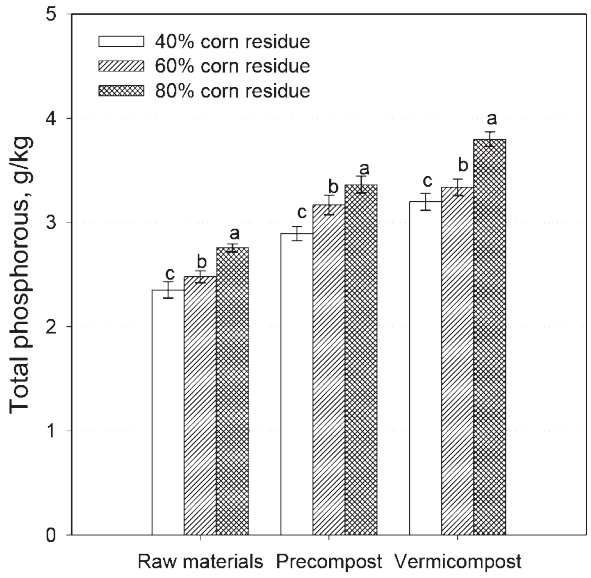
بررسی تغییرات فسفر کل (TP)

با توجه به اهمیت فسـفر در کودهای آلی و نیز بـا توجه به فرایند معدنی شـدن مواد آلی در طول دوره تشکیل ورمی‌کمپوست، در این تحقیق فسفر کل در همه تیمارها در فواصل زمانی ۰، ۳۰ و ۷۰ روزه اندازه‌گیری شـد و روند تغییرات آن در طول دوره فرایند در تیمارهای مختلف مورد بررسـی قرار گرفت. با گذشـت زمان مقدار TP مواد بستر در کلیه تیمارها افزایش یافت (شـکل ۸). افزایش مقدار فسـفر مواد بسـتر در طول فرایند تولید ورمی‌کمپوسـت به‌دلیل فرایندهای تجزیه مواد آلی و تبدیل ترکیبات آلی فسفره به فسفات‌های محلول (معدنی شدن) می‌باشد.

Ghosh و همکاران (Ghosh et al. 1999) در بررسی فرم‌های مختلف فسفر در طول فرایند تهیه ورمی‌کمپوسـت از انواع مختلف ضایعات چنین نتیجه گرفتند که مقدار فسـفر آلی در اثر فرایند معدنی شـدن با گذشـت زمان افزایش می‌یابد ولی میزان و سرعت این افزایش در ضایعات مختلف متفاوت اسـت. زیرا رشـد و تکثیر و فعالیت کرم‌های خاکی و میکروارگانیسـم‌ها در همه بسترها یکسـان نیسـت. Garg و همکاران (Garg et al. 2006b) افزایش ۳۸ تا ۵۵ درصدی مقدار فسـفر قابل دسترس را طی فرایند تولید ورمی‌کمپوست گزارش کردند و به‌طور مستقیم آن را به فعالیت‌های آنزیمی دسـتگاه گوارش کرم خاکی بر روی مواد بلعیده شده و به‌طور غیرمستقیم به فعالیت‌های جامعه میکروبی موجود در روده و بستر رشد کرم‌های خاکی نسبت دادند. Tripathi و Bhardwaj (Tripathi and Bhardwaj 2004) در ورمی‌کمپوست‌سازی از ضایعات صنایع مرغداری و گاوداری، افزایش مقدار فسـفر را در انتهای دوره ۱۵۰ روزه تولید ورمی کمپوست با کرم خاکی *E. fetida* حدود سه گرم بر کیلوگرم و با کرم خاکی *L. mauritii* حدود دو گرم بـر کیلوگرم گزارش کردند و این در حالی بـود که مقدار افزایش در تیمار شاهد (بدون کرم خاکی) کمتر از یک گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد



شکل ۷- روند تغییرات C/N طی فرایند تحت تیمار نوع بستر



شکل ۸- روند تغییرات TP طی فرایند تحت تاثیر نوع بستر

. آن‌ها دلیل افزایش فسفر را معدنی شدن و متحرک شدن فسفر به‌دلیل وجود میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های محلول کننده فسفر در روده کرم‌های خاکی گزارش کردند. هم چنین Ghosh و همکاران (Ghosh et al. 1999) در مطالعه‌ی فرم‌های مختلف فسفر در طول فرایند تهیه ورمی‌کمپوست از انواع مختلف ضایعات اشاره داشتند که تغییرات میزان فسفر در کود نهایی به نوع پسماند موجود در بستر وابسته است. در مطالعه‌ای نیز که در زمینه تولید ورمی‌کمپوست از عدسک آبی انجام شد، به این دلیل که این ماده آلی حاوی مقدار زیادی فسفر می‌باشد، ورمی‌کمپوست تولید شده از آن نیز مقدار زیادی فسفر را نسبت به سایر ورمی‌کمپوست‌ها دارا بود (Kostecka and Kaniuczak 2008).

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر درصد ذرت موجود در بستر تولید ورمی‌کمپوست بر میزان فسفر کل در همه مراحل نمونه‌برداری شامل ابتدای فرایند، انتهای مرحله پیش‌کمپوست و انتهای مرحله ورمی‌کمپوست بر مقدار TP در سطح اطمینان ٪۹۹ معنی‌دار بود. شکل ۸ نشان داد که با افزایش میزان ذرت در تیمارها میزان فسفر کل موجود در بستر افزایش معنی‌داری را در هر سه مرحله نمونه‌برداری نشان داد. چرا که میزان TP در ضایعات ذرت نسبت به سایر مواد تشکیل دهنده بستر به‌طور معنی‌داری بیشتر می‌باشد. لذا بیشترین میزان فسفر در تیمارهای با ۸۰٪ (به‌ترتیب در ابتدای فرایند و روزهای ۳۰ و ۷۰ برابر با ۲/۷۵±۰/۰۴، ۳/۳۶±۰/۰۸ و ۳/۷۹±۰/۰۷) و کمترین میزان آن در تیمارهای با ٪۴۰ (به‌ترتیب در ابتدای فرایند و روزهای ۳۰ و ۷۰، برابر با ۲/۳۵±۰/۰۹، ۲/۸۹±۰/۰۷ و ۳/۱۹±۰/۰۸) مشاهده گردید

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

کیفیت کمپوست و ورمی‌کمپوست، مهمترین معیار در بازیافت زایدات آلی، بازاریابی کودهای تولیدی و کاربرد این کودها در کشاورزی می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که ضایعات مزارع ذرت می‌توانند به‌عنوان بسترهای پرورشی برای تولید ورمی‌کمپوست مورد استفاده قرار بگیرند. با افزایش میزان ذرت موجود در بستر، ویژگی‌های محصول نهایی و از جمله نسبت C/N، TKN، TOC، TP مناسب‌تر شده و ورمی کمپوست تولیدی می‌تواند به‌دلیل غنی بودن از عناصر ماکرو و میکرو، pH و EC تعدیل شده، کود آلی مناسبی در افزایش بیوماس محصولات زراعی محسوب شود. در راستای غنی سازی و باروری خاک های ضعیف کشور نیز، کود آلی ورمی کمپوست می تواند جایگزین کودهای شیمیایی گردد. همچنین این تکنولوژی طبیعی و سازگار با محیط زیست، می تواند جهت دفع مواد زاید جامد شهری استفاده گردد. متاسفانه با وجود مناسب بودن تکنولوژی استفاده از کرم‌های خاکی برای بازیافت زایدات آلی، استفاده از آن‌ها در کشور ما گسترش چندانی نیافته است. بدیهی است که با توجه به حجم عظیم ضایعات آلی در شهرهای بزرگ، صنایع کشاورزی و هم‌چنین مشکل کمبود مواد آلی در خاک‌های کشورمان، تحقیقات گسترده‌تری در این زمینه ضروری به‌نظر می‌رسد. شناسایی گونه‌های کرم‌های خاکی کمپوست‌ساز بومی کشور و مقایسه عملکرد آن ها با کرم خاکی *Eisenia fetida* و یا استفاده از مخلوطی از کرم های خاکی و هم چنین مطالعه و بررسی تاثیر عوامل مختلف در زمینه فعالیت کرم‌های خاکی برای بهبود نسبت کربن به نیتروژن مواد بستر، از جمله اضافه کردن افزودنی‌های مختلف به بستر مانند برگ خشک، کاه و علف‌های خشکیده و تراشه چوب می تواند در تکمیل نتایج این مطالعه تاثیرگذار باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی شهرداری مشهد و هم چنین از مساعدت های پرسنل کارخانه کود آلی (کمپوست) مشهد تشکر و قدردانی می گردد.

پاورقی ها

1. Walkey-Black
2. Kjeldahl
3. Olsen

منابع مورد استفاده

1. Aira, M., Monroy, F., and Domínguez, J. (2007). "Eisenia fetida (Oligochaeta: Lumbricidae) Modifies the Structure and Physiological Capabilities of Microbial Communities Improving Carbon Mineralization During Vermicomposting of Pig Manure." *Microbial Ecology*, 54(4), 662-671.
2. Campitelli, P., and Ceppi, S. (2008). "Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: A chemometric study." *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 90(1), 64-71.
3. Edwards, C. (1995). "Historical overview of vermicomposting." *Biocycle*, 36(6), 56-8.
4. Elvira, C., Sampedro, L., Benítez, E., and Nogales, R. (1998). "Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with Eisenia andrei: A pilot-scale study." *Bioresource Technology*, 63(3), 205-211.
5. Frederickson, J., Howell, G., and Hobson, A. M. (2007). "Effect of pre-composting and vermicomposting on compost characteristics." *European Journal of Soil Biology*, 43(Supplement 1), S320-S326.
6. Garg, P., Gupta, A., and Satya, S. (2006a). "Vermicomposting of different types of waste using Eisenia foetida: A comparative study." *Bioresource Technology*, 97(3), 391-395.
7. Garg, V. K., and Kaushik, P. (2005). "Vermistabilization of textile mill sludge spiked with poultry droppings by an epigeic earthworm Eisenia foetida." *Bioresource Technology*, 96(9), 1063-1071.
8. Garg, V. K., Kaushik, P., and Dilbaghi, N. (2006b). "Vermiconversion of wastewater sludge from textile mill mixed with anaerobically digested biogas plant slurry employing Eisenia foetida." *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 65(3), 412-419.
9. Ghosh, M., Chattopadhyay, G. N., and Baral, K. (1999). "Transformation of phosphorus during vermicomposting." *Bioresource Technology*, 69(2), 149-154.
10. Gunadi, B., Edwards, C. A., and Arancon, N. Q. (2002). "Changes in trophic structure of soil arthropods after the application of vermicomposts." *European Journal of Soil Biology*, 38(2), 161-165.
11. Gupta, R., and Garg, V. K. (2008). "Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting." J*ournal of Hazardous Materials*, 153(3), 1023-1030.
12. Gupta, R., Mutiyar, P. K., Rawat, N. K., Saini, M. S., and Garg, V. K. (2007). "Development of a water hyacinth based vermireactor using an epigeic earthworm Eisenia foetida." *Bioresource Technology*, 98(13), 2605-2610.
13. Hartenstein, R., and Hartenstein, F. (1981). "Physicochemical Changes Effected in Activated Sludge by the Earthworm Eisenia foetida." *Journal of Environmental Quality*, 10(3), 377-381.
14. Huang, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T., and Nagar, B. B. (2004). "Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust." *Waste Management*, 24(8), 805-813.
15. Huang, G. F., Wu, Q. T., Wong, J. W. C., and Nagar, B. B. (2006). "Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust." *Bioresource Technology*, 97(15), 1834-1842.
16. Huffman, S. A., and Barbarick, K. A. (1981). "Soil nitrate analysis by cadmium reduction 1." *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 12(1), 79-89.
17. Kaviraj, and Sharma, S. (2003). "Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms." *Bioresource Technology*, 90(2), 169-173.
18. Khwairakpam, M., and Bhargava, R. (2009). "Vermitechnology for sewage sludge recycling." *Journal of Hazardous Materials*, 161(2–3), 948-954.
19. Komilis, D. P., and Ham, R. K. (2006). "Carbon dioxide and ammonia emissions during composting of mixed paper, yard waste and food waste." *Waste Management*, 26, 62–70.
20. Kostecka, J., and Kaniuczak, J. (2008). "Vermicomposting of duckweed (Lemna minor L.) *biomass by Eisenia fetida* (SAV.) earthworm." J. Elementol, 13(4), 571-579.
21. Latifah, A. M., Mohd Lokman, C. J., Mohd Kamil, Y., Tengku Hanidza, T. I., Rosta, H., and Hafizan, J. (2009). "Influences of bedding material in vermicomposting process." *International Journal of Biology*, 1(1), 81-91.
22. Loh, T. C., Lee, Y. C., Liang, J. B., and Tan, D. (2005). "Vermicomposting of cattle and goat manures by Eisenia foetida and their growth and reproduction performance." *Bioresource Technology*, 96(1), 111-114.
23. Nair, J., Sekiozoic, V., and Anda, M. (2006). "Effect of precomposting on vermicomposting of kitchen waste." *Bioresource Technology*, 97(16), 2091-2095.
24. Ndegwa, P. M., and Thompson, S. A. (2000). "Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids." *Bioresource Technology,* 75(1), 7-12.
25. Ndegwa, P. M., and Thompson, S. A. (2001). "Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids." *Bioresource Technology*, 76(2),

107-112.

26. Ndegwa, P. M., Thompson, S. A., and Das, K. C. (2000). "Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids." *Bioresource Technology*, 71(1), 5-12.
27. Orozco, F. H., Cegarra, J., Trujillo, L. M., and Roig, A. (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(1), 162-166.
28. Pramanik, P., Ghosh, G. K., Ghosal, P. K., and Banik, P. (2007). "Changes in organic - C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants." *Bioresource Technology*, 98(13), 2485-2494.
29. Saludes, R. B., Iwabuchi, K., Miyatake, F., Abe, Y., and Honda, Y. (2008). "Characterization daily cattle manure/wallboard paper compost mixture " *bioresour Technology*, 99, 7285-7290.
30. Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C., and Bernal, M. P. (2001). "Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures." *Bioresource Technology,* 78(3), 301-308.
31. Sangwan, P., Kaushik, C. P., and Garg, V. K. (2008). "Vermiconversion of industrial sludge for recycling the nutrients." *Bioresource Technology*, 99(18), 8699-8704.
32. Schollenberger, C. J. (1945). "Determination of soil organic matter." Soil Science, 59(1), 53-56.
33. Sharma, S., Pradhan, K., Satya, S., and Vasudevan, P. (2005). "Potentiality of Earthworms for Waste Management and in Other Uses – A Review." *American Science*, 1(1), 4-16.
34. Singh, N. B., Khare, A. K., Bhargava, D. S., and Bhattachary, S. (2005). "Effect of initial substrate pH on vermicomposting using perionyx excavatus." *Applied Ecology and Environmental Rresearch,* 4(a), 85-97.
35. Suthar, S. (2007). "Nutrient changes and biodynamics of epigeic earthworm Perionyx excavatus (Perrier) during recycling of some agriculture wastes." *Bioresource Technology*, 98(8), 1608-1614.
36. Tripathi, G., and Bhardwaj, P. (2004). "Decomposition of kitchen waste amended with cow manure using an epigeic species (Eisenia fetida) and an anecic species (Lampito mauritii)." *Bioresource Technology*, 92(2), 215-218.
37. Walkley, A., and Black, I. a. (1934). "An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and A Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method." *Soil Science*, 37(1), 29-38.
38. Wang, P., Changa, C. M., Watson, M. E., Dick, W. A., Chen, Y., and Hoitink, H. A. J. (2004). "Maturity indices for composted dairy and pig manures." *Soil Biology and Biochemistry*, 36(5), 767-776.
39. Zhu, N. (2007). "Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw." *Bioresource Technology*, 98(1), 9-13.
40. Zorpas, A. A., and Loizidou, M. (2008). "Sawdust and natural zeolite as a bulking agent for improving quality of a composting product from anaerobically stabilized sewage sludge." *Bioresource Technology*, 99(16), 7545-7552.