

Review of Co-Composting Municipal Sewage Sludge with a Variety of Biological Waste

Zazouli M.A¹, Ala A^{*2}

1. Professor of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

2. MSc Student, Environmental Health Engineering, Student Research Committee, School of Public Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

* *Corresponding author.* Tel: +989111584388, E-mail: ala_alireza@yahoo.com

Received: Aug 19, 2018 Accepted: Nov 10, 2018

ABSTRACT

Background & objective: Direct application of sewage sludge in agriculture has been limited due to the presence of pathogens, inappropriate fermentation of organic waste and the presence of heavy metals. Co-composting of sewage sludge with biological waste is a method to reuse waste that leads safe disposal of sludge and waste. The purpose of this study was to review the advantages of co-compost and the possibility of compost production from a mixture of sewage sludge and biological waste.

Method: In this paper, various methods for the production of co-compost were also reviewed. In this paper several factors including composting process optimization, compost controlling agents, co-composting raw materials and use of sewage sludge and biological wastewater, in the preparation of compost were evaluated as well as the role of co-compost in the challenge of agricultural wastewaters. **Results:** The raw sludge in a compost with organic waste, along with biochemical solids (fat, protein, and cellulose), are pure in terms of process evolution, the destruction of biochemical compounds in composting materials, the potential for pathogen inactivation, nutrient retention and improved biological activity. Proper management of municipal sewage treatment, organic and biological waste produced in the agro-industry play an important role in promoting the community health and the environment. The high cost of biological waste disposal, its environmental impacts, and the many risks associated with the use of chemical fertilizers are the problems due to ignorance compost production. **Conclusion:** Therefore, producing compost and co-composting should be considered to promote environmental health.

Keywords: Co-compost, C / N ratio, organic waste, micronutrient elements, supplemental substrate

مروری بر کمپوست مشترک لجن فاضلاب شهری با انواع زائدات بیولوژیکی

محمد علی ززولی؛ علیرضا علاء*

۱. استاد مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
 ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
 * نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۱۵۸۴۳۸۸ ایمیل: ala_alireza@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: کاربرد مستقیم لجن فاضلاب در کشاورزی به علت حضور پاتوژن ها، تخمیر نامناسب زائدات آلی و وجود فلزات سنگین در لجن، محدود شده است. کمپوست مشترک لجن فاضلاب با زائدات بیولوژیکی روشی برای استفاده مجدد از زائدات است که دفع ایمن و بهداشتی لجن و زائدات را به دنبال دارد. هدف این مطالعه بررسی امکان تولید کمپوست از مخلوط لجن فاضلاب با زائدات بیولوژیکی و مزایای کمپوست مشترک است.

روش کار: در این مطالعه روش های مختلف تولید کمپوست مشترک (کو-کمپوست) مورد بررسی قرار گرفت. پهنه سازی فرایند کمپوست، عوامل کنترل کننده کمپوست، مواد اولیه ای که قابلیت کو-کمپوست شدن را دارند، استفاده از لجن تصفیه خانه های فاضلاب و زائدات بیولوژیکی، در تهیه کمپوست، نقش کو-کمپوست در رفع چالش زباله های صنایع زراعی و کشاورزی و تولید کمپوست با کیفیت بهتر مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: لجن خام در کمپوست مشترک با مواد زائد آلی به همراه مواد جامد بیوشیمیایی (چربی، پروتئین و سلولز) خالص از لحاظ تکامل فرآیند، تخریب ترکیبات بیوشیمیایی در مواد کمپوست، پتانسیل غیرفعال سازی پاتوژن، حفظ مواد مغذی و بهبود فعالیت بیولوژیکی موثر است. مدیریت صحیح لجن تصفیه خانه های فاضلاب شهری، مواد زائد آلی و زائدات بیولوژیکی تولیدشده در صنایع زراعی نقش مهمی در ارتقاء بهداشت و سلامت جامعه و محیط زیست دارد. هزینه های بالای دفع زائدات بیولوژیکی و اثرات زیست محیطی آن و خطرات فراوان ناشی از مصرف کود شیمیایی از مشکلات عدم توجه به تولید کمپوست است.

نتیجه گیری: باید با توجه بیشتر به تولید کمپوست و تهیه کمپوست مشترک از پتانسیل های موجود در این بخش استفاده شود.

واژه های کلیدی: کو-کمپوست، نسبت C/N، زائدات آلی، عناصر ریز مغذی، سوبسترای مکمل

پذیرش: ۹۷/۸/۱۹

دریافت: ۹۷/۵/۲۸

زباله های آلی صنعت کشاورزی و زباله های زراعی
 چالش های جدی برای صنایع کشاورزی است.

مقدمه
 زباله های آلی و زراعی

کمپوست سازی و کمپوست کردن چنین زباله‌هایی باعث تبدیل این زباله‌ها به یک محصول مفید می‌شود که به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک در خدمت صنعت کشاورزی است. کو-کمپوست زباله‌های زراعی صنعتی با هزینه کم، گزینه‌ای مناسب برای مدیریت زباله‌های زیست محیطی برای حل مشکل دفع چنین زباله‌هایی می‌باشد (۱). در بسیاری از مناطق مانند مدیترانه که کشاورزی فعالیت اصلی است، کیفیت خاک، به دلیل اجرای وسیع تکنیک‌های نامناسب کشاورزی، تهدید جدی برای پایداری این بخش حیاتی است (۲). علاوه بر این، خاک در این مناطق به طور کلی از سطح پایین محتوای آلی رنج می‌برد، که اغلب توسط کودهای شیمیایی که تأثیر کوتاه مدت بر عملکرد آن دارند جایگزین می‌شوند، اما این کودها نمی‌توانند به بهبود خواص فیزیکی خاک کمک کنند (۳).

کودهای آلی و شیمیایی

کودهای شیمیایی از جمله منابعی هستند که به سرعت می‌توانند عناصر غذایی را در اختیار گیاه قرار دهند ولی مصرف زیاد و مداوم آنها خطرات زیست محیطی زیادی مثل آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و غنی‌شدن آنها را به دنبال دارد، که بهتر است بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای آلی جایگزین شود. با توجه به کمبود مواد آلی در اغلب خاک‌های ایران، مصرف انواع مواد آلی از قبیل کود دامی، کود مرغی و لجن فاضلاب شهری در خاک ضروری به نظر می‌رسد ولی استفاده از هر یک از این کودها به تنهایی نمی‌تواند تمامی نیاز گیاه را به عناصر غذایی تأمین کنند (۴). با مصرف کودهای آلی میزان مواد آلی خاک افزایش یافته و موجب بهبود فعالیت‌های میکروبی و فراهم شدن عناصر غذایی کم مصرف و پرمصرف مورد نیاز گیاه می‌شود، که می‌توان ضمن دستیابی به عملکرد مطلوب تداوم آن را در خاک حفظ کرد (۵). نگاه یک جانبه به تامین مواد غذایی

بدون توجه به مسائل زیست محیطی و تأثیر کودهای شیمیایی بر خصوصیات خاک، موجب استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی شده و در نتیجه اثرات مخربی از قبیل کاهش نفوذپذیری خاک، افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک، محدود شدن رشد ریشه و در نهایت تخریب خاک و کاهش رشد را در پی دارد (۶).

به گزارش سازمان بهداشت جهانی، افزایش خطرهای ناشی از ورود انواع مواد شیمیایی آلوده به دلیل استفاده بی‌رویه در کشورهای در حال توسعه مخاطرات احتمالی را تشدید کرده است. این گزارش با اشاره به بررسی‌های انجام شده در این زمینه یادآور شد آلودگی‌های شیمیایی از طریق انتقال به منابع آب و خاک، بیشتر از طریق استفاده از انواع کودهای شیمیایی صورت می‌گیرد (۶). بنابراین با توجه به کمبود مواد آلی خاک و شرایط نامطلوب در اکثر مناطق کشور، اگر مطالعات لازم روی پسماندهای آلی تولیدشده در کشور انجام شود، می‌توان از آنها به عنوان یک اصلاح‌کننده مناسب و ارزان در زمین‌های کشاورزی استفاده کرد. قسمت عمده کشور ما دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد و عدم وجود پوشش گیاهی کافی، سبب بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه کمبود مواد آلی آن شده است، به طوری که اغلب خاک‌های کشور دارای کمتر از یک درصد ماده آلی هستند. مطالعه کمپوست و کو-کمپوست می‌تواند در تولید کودهای آلی اصلاح شده و اصلاح زمین‌های کشاورزی به ما کمک کند. هدف از این مطالعه مروری بر کمپوست مشترک لجن فاضلاب شهری با انواع زائدات بیولوژیکی و بررسی تأثیر هر یک از مکمل‌های بیولوژیکی مورد استفاده در پهنه‌سازی فرایند کمپوست و کو-کمپوست و تولید کمپوست با کیفیت بهتر می‌باشد.

فرایند کمپوست

در میان فن‌آوری‌های موجود برای تصفیه زباله‌های آلی، کمپوست یکی از گزینه‌های امیدوارکننده برای

خصوصیات کمپوست مشترک

تولید کمپوست با محتوای بالای نیتروژن

با کو-کمپوست، نسبت C/N، مقدار انرژی کم و تخلخل نامناسب می‌تواند اصلاح و برطرف شود. خصوصیات فیزیکی مخلوط اولیه در فرآیند کمپوست تعیین کننده است. در دسترس بودن O₂ برای میکروارگانیسم‌ها باید با ایجاد تخلخل به اندازه کافی تضمین شود (۱۱). در تهیه کمپوست مشترک موهای زائد صنایع دباغی با لجن حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری هم آلودگی‌های ناشی از لجن فاضلاب شهری تا حد ممکن کاهش پیدا می‌کند و هم معضل دفع زائدات مو را در صنعت دباغی برطرف می‌کند و از طرفی تولید کمپوست با محتوای بالای نیتروژن را به دست می‌دهد (۱۲). کمپوست ترکیبی موی انسان با لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری کمپوست ترکیبی خوبی را حاصل می‌دهد که سرشار از نیتروژن است (۱۳). مقایسه نتایج کو-کمپوست با سوبستراهای مختلف نشان می‌دهد که کو-کمپوست در مخلوط لجن فاضلاب، با سوبستراهای چربی، پروتئین و سلولز، در همه موارد درجه حرارت بالاتری را در مخلوط کمپوست به دست می‌دهد (جدول ۱).

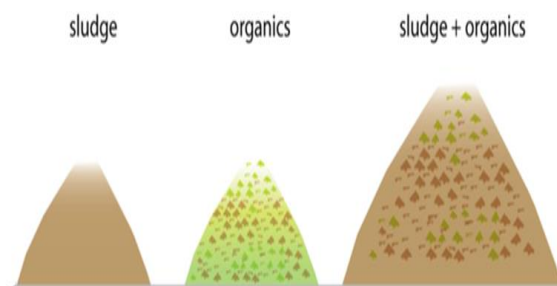
کاهش پاتوژن‌ها

اضافه کردن یک سوبسترای مکمل زیست تخریب‌پذیر تاثیر مثبتی بر تولید کمپوست به ویژه برای اهداف کاهش پاتوژن دارد. مقدار اولیه حاصل برای SRI یک شاخص خوب برای تسریع مواد در تخریب فرآیند تجزیه هوازی مثل کمپوست است. این واقعیت نشان‌دهنده اهمیت تهیه مقادیر و مواد مناسب اولیه در مخلوط کمپوست می‌باشد. در مورد آماده‌سازی اولیه مخلوط باید مقدار مطلوب^۱ AFP رعایت شود، که باعث می‌شود O₂ مناسب برای میکروارگانیسم‌ها فراهم باشد. و این در فرآیند تجزیه ای هوازی مانند

بازیافت مواد آلی و تبدیل به یک کود آلی ارزشمند است. کمپوست کردن یک فرایند بیوتکنولوژی است که توسط گروه‌های مختلف میکروبی مواد آلی را به مواد مغذی ساده تجزیه می‌کند و در مرحله دوم، ماکرومولکول‌های آلی پیچیده مانند اسیدهای هیومیک تشکیل می‌شوند (۷). کمپوست به طور سنتی به عنوان روش تصفیه برای کسر آلی از ضایعات جامد شهری، زباله‌های سبز، بقایای کشاورزی و زراعی و لجن مازاد از تاسیسات تصفیه خانه‌های شهری به کار گرفته شده است (۸).

کمپوست مشترک (کو-کمپوست)

استفاده از کمپوست برای زباله‌های با مواد آلی بالا بسیار گسترده نیست. این به طور عمده به این دلیل است که اغلب از این مواد الزاماتی مانند نسبت C/N یا تخلخل به دست نمی‌آید. با این حال، این واقعیت را می‌توان با افزودن یک سوبسترای مکمل در یک فرآیند به نام کو-کمپوست (کمپوست مشترک) به صورت موفقیت آمیزی امکان پذیر کرد (۹). هنگام ارزیابی مواد اولیه تولید کمپوست، مواد باید مشخصات فیزیکی و شیمیایی بینه ای را داشته باشند و یا به دست آورند. کو-کمپوست با افزودن یک سوبسترای مکمل برای جبران اختلالات در خواص اولیه یک ماده تعریف شده است. مواد کو-کمپوست با نسبت مناسب C/N می‌تواند به کاهش تلفات نیتروژن کمک کند و از روند تغییرات سینتیک جلوگیری کند (۱۰). شکل ۱ کمپوست مشترک لجن فاضلاب را با زائدات بیولوژیکی نشان می‌دهد.



شکل ۱. شماییک کلی کو-کمپوست

¹ Air-Filled Porosity

کمپوست بسیار مهم است. ضعف O₂ باعث تخریب بی هوازی خواهد شد (۱۴).

ایجاد ثبات و افزایش باروری خاک

مواد شیمیایی کمپوست با مواد قلیایی افزایش می‌یابد و باعث ایجاد ثبات می‌شود، بطوریکه با مواد قلیایی لینک می‌شود و از این طریق از تجزیه میکروبی محافظت می‌شود. زباله‌های کمپوست شده نیز باعث افزایش باروری خاک‌های محل دفن زباله شده و به این ترتیب توان بالقوه آن را افزایش می‌دهد. تثبیت زباله‌ها با استفاده از آلکالین مواد معدنی و مواد معدنی کمپوست می‌تواند به منظور بهبود رشد گیاه مورد استفاده قرار گیرد. زباله‌های مخلوط شده نیز به تثبیت خاک در درازمدت و کاهش قابلیت زیستی فلزات سنگین کمک می‌کنند. تثبیت مواد شسته شده از مواد معدنی به وسیله کمپوست، ارزش باروری خود را از لحاظ بهبود کیفیت خاک، کمک به غنای بلند مدت خاک به کربن و همچنین قابلیت زیست پذیری فلزات سنگین کاهش می‌دهد. ترکیب زیست توده کو-کمپوست (هر دو کود مرگی و بیولوژیک) با آهک برای تولید زیست توده و ارزش غذایی آن موثرتر است (۱۵).

کاهش قابلیت زیست پذیری فلزات سنگین

اگرچه اضافه کردن محصولات جانبی صنعتی مثل محصولات احتراق زغال سنگ، ارزش کمپوست‌ها را در مقایسه با افزایش توان تولید افزایش می‌بخشد، کاهش قابلیت‌های زیست‌پذیری و دسترسی این مواد باید در برنامه‌های کاربردی در مقیاس‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد. اغلب نشان داده شده است که افزودن ترکیبات حاوی Fe باعث کاهش P در دسترس می‌شود (۱۵). تفاوت میزان تجزیه بین مواد کو-کمپوست با مواد قلیایی مختلف ممکن است به تفاوت در مقدار اجزای معدنی مانند اکسیدهای Ca، Fe و Al نسبت داده شود (۱۶). خاک‌های آلوده به کروم VI با کمپوست کردن زائدات جامد زیست

توده^۱ ترمیم می‌شود. در بررسی، طراحی و تولید کمپوست با قابلیت‌های مختلف از جنس زائدات جامد زیست توده برای تخریب کروم مورد مطالعه قرار گرفت. کروم و ترکیبات آن از مواد مهم در صنعت هستند که به علت مقاومت در برابر خوردگی و خواص زیبایی در صنایع مانند آبکاری، چرم دباغی، تولید رنگدانه، خنک‌کننده آب، مواد نگهدارنده چوب، ساخت فولاد و پالایش نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند. سطح سمیت کروم مربوط به وضعیت اکسیداسیون آن است. کروم (VI) بیشتر برای حیوانات و گیاهان خطرناک است. روش‌های متعددی در اصلاح خاک آلوده به کروم وجود دارد، از جمله، بارش شیمیایی، تصحیح الکتریکی و غیره. این روش‌های اصلاح، یا گران هستند و یا برای استفاده مجدد از خاک نامناسبند. کو-کمپوست به عنوان یک روش اصلاح شده به دلیل آن مورد توجه قرار گرفته است که مواد مغذی را به میکروارگانیسم‌های بومی خاک می‌رساند و همچنین می‌تواند فلزات سنگین فعال را تا حد زیادی کاهش دهد. اگر چه کل غلظت کروم در کمپوست نهایی محصولات بیش از مقادیر قابل قبول برای استفاده کشاورزی است، اما کروم در دسترس گیاه نمی‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که کمپوست سازی یک روش برای بازیابی خاک آلوده به کروم است که با کاهش قابلیت زیستی کروم از طریق اتصال بین ذرات موجود Cr و مواد شبه هیومیک^۲ این امکان را فراهم می‌کند. برای ارزیابی خطرات درازمدت، فعال شدن مجدد و مهاجرت کروم در خاک، مطالعات بیشتر پیشنهاد شده است (۱۷).

کاهش آنتی بیوتیک‌ها

کو-کمپوست در کاهش آنتی بیوتیک‌ها هم موثر است. تمام نتایج فوق نشان داد که کمپوست به عنوان یک روش موثر برای حذف آنتی بیوتیک‌های می‌باشد

¹ Biomass Solid Waste

² Humic-Like Substances

حال، زمانی که مو در ترکیب با لجن خام فاضلاب شهری در تهیه کو-کمپوست مورد استفاده قرار می‌گیرد نتایج خوبی را به دست می‌دهد (۲۱). این روش تهیه کمپوست مشترک هم آلودگی‌های ناشی از لجن فاضلاب شهری را تا حد ممکن کاهش می‌دهد و هم معضل دفع زائدات مو را در صنعت دباغی برطرف می‌کند، و از طرفی تولید کمپوست با محتوای بالای نیتروژن را به دست می‌دهد (۱۲).

موی انسان به عنوان یک خوراک کمپوست می‌تواند در کمپوست کود گاوی، ضایعات جامد شهری، رسوبات کنار جاده ای و لجن دباغی نقش موثری در تامین مواد مغذی در کمپوست داشته باشد. به طور کلی کشاورزان کشورهای در حال توسعه اغلب از مخلوط‌های مختلف مواد آلی بر اساس مواد موجود در مجاورت آنها استفاده می‌کنند که در نتیجه آن یک محصول کمپوست ضعیف با کیفیت پایین می‌باشد. موی انسان به عنوان یک خوراک کمپوست می‌تواند بر وضعیت مواد مغذی در کمپوست تاثیر بگذارد (۱۳).

روغن و چربی و زائدات بیولوژیکی پروتئینی

در تولید کو-کمپوست با چربی (C-F) روغن‌های تجاری حیوانی که به مخلوط لجن خام و تراشه چوب اضافه می‌شود می‌تواند استفاده شود (۲۲). در کو-کمپوست با پروتئین از زائدات بیولوژیکی پروتئینی به‌عنوان سوبسترای مکمل استفاده می‌شود. همچنین از خمیر کاغذ به عنوان منبع سلولزی و سوبسترای مکمل و در ترکیب با سایر سوبستراها و زائدات بیولوژیکی استفاده می‌شود (۲۲). کمپوست کردن زباله‌های حیاط با استفاده از کاغذ و پسماند غذایی باعث ایجاد ارزش افزوده می‌شود (۲۳).

جلبک

جلبک در مقیاس آزمایشگاهی برای تهیه کمپوست موفقیت‌آمیز بوده است، لیکن راهنما و دستورالعمل واضحی برای جداسازی و جمع‌آوری جلبک‌ها از محل رشد آنها در دریاچه‌ها و تولید کود در همه مقیاس

(۱۸). مشاهده شد که حدود ۹۸ درصد کلورتتراسایکلین^۱ در کود گوشتی در طی ۳۰ روز کمپوست در ۵۵ درجه سانتیگراد کاهش یافت (۱۴). هو و همکاران همچنین دریافتند که بیش از ۹۳ درصد تتراسایکلین در طی یک کمپوست ۴۵ روزه کاهش می‌یابد (۱۹). در تحقیق دینگ^۲ و همکاران، غلظت‌های قابل استخراج در کمپوست‌های آلوده به آنتی بیوتیک‌های دیگر سریعاً کاهش یافت و طی یک دوره کمپوست ۴۰ روزه حاصل شد. در تحقیقات مرتبط گزارش شده است که فسفات، آمونیاک و یون هیدروکسیدی در ترکیب می‌تواند در تجزیه آموکسی‌سیلین در طی کمپوست کمک کند. تمام نتایج فوق نشان داد که کمپوست به عنوان یک روش موثر برای حذف آنتی بیوتیک‌های باقی مانده است (۱۸). سرعت تخریب کم پنی سیلین می‌تواند به دلیل مدت زمان نسبتاً کوتاه در مرحله ترموفیلیک و دمای نسبتاً کم در مرحله خنک کننده و بلوغ باشد. میزان تخریب پنی سیلین به طور عمده به دمای حوضچه کمپوست بستگی دارد (۲۰).

مواد قابل کمپوست مشترک

موهای زائد

در مطالعه کمپوست مشترک زباله‌های مو در صنعت دباغی در ترکیب با لجن حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری مشاهده شده، تولید موهای زائد در صنعت تولید چرم هر ساله رو به افزایش است و دباغ‌ها در مواجهه با مشکل ایجاد یک محصول جامد دیگر می‌باشند. استراتژی‌های بالقوه ای برای استفاده از مو پیشنهاد شده است. با این حال، استفاده از زائدات مو به عنوان کود کشاورزی به دلیل محتوای نیتروژن بالای مو و pH بالا یکی از امیدوارکننده‌ترین برنامه‌های آن است. ارزش تغذیه خاک توسط مو می‌تواند توسط کمپوست افزایش یابد. نتایج نشان داد که مو نمی‌تواند به تنهایی یک ماده مکمل باشد. با این

¹ Chlortetracycline

² Ding

در مطالعه ای که روی کمپوست مشترک زباله‌های مو در صنعت دباغی در ترکیب با لجن حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری انجام پذیرفته مشاهده شده، اگرچه مخلوط مو و لجن در همه نسبت‌های مختلف هم می‌تواند ترکیب شوند لیکن نسبت‌های وزنی ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۴ در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت در تمام موارد، محصول پایدارتری را در پایان روند کار به دست می‌دهد (۲۱). موهای زائد به‌منظور آماده سازی در طی یک دوره ۲۴ ساعته به طور مداوم در معرض ۱- هیدروکسید کلسیم (۱/۳٪) و هیدروکسید سدیم (۰/۳٪)، ۲- سدیم هیدروسولفید (۰/۴٪) در شرایط قلیایی (pH=۱۳)، ۳- سولفید سدیم (۰/۷٪) در شرایط قلیایی (pH=۱۳) قرار می‌گیرند. پس از آن، مو هیدرولیز شده، جدا شده و با فیلتر تصفیه شده و سپس جمع‌آوری می‌گردد. لجن خام خالص، شامل لجن اولیه و فعال، از کارخانه تصفیه فاضلاب شهری تهیه می‌شود، از تراشه‌های چوب در یک نسبت حجمی ۱:۱ به عنوان عامل حجم دهنده و بی اثر استفاده می‌شود. مقادیر نسبت‌های C/N می‌تواند ۵/۵، ۸/۱ و ۱۱/۶ باشد. این کار در طی مطالعاتی در مقیاس‌های آزمایشگاهی و پایلوت انجام شده است. پروفیل‌های دما برای مخلوط‌های مختلف نشان می‌دهند درجه حرارت به سرعت به مرحله ترموفیلیک (بیش از ۴۵ درجه سانتیگراد) می‌رسد. دمای ترموفیلیک به مدت ۹ تا ۲۰ روز حفظ می‌شود و سپس به مقادیر بیش از ۷۰ درجه سانتیگراد در روز دوم می‌رسد. درجه حرارت در حدود این مقدار برای چند روز نگه داشته می‌شود و سپس به آرامی به حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد در طول مدت زمان ۲۰ روز می‌رسد. شاخص SRI که شاخص فعالیت میکروبی است، در طول فرایند ارزیابی شده و نشان می‌دهد که فعالیت‌های بالاتری در مراحل اولیه فرایند ایجاد شده است، زیرا ترکیباتی که به طور قابل ملاحظه ای تجزیه پذیرند در این دوره

جلبک‌ها وجود ندارد. نسبت پایین کربن به نیتروژن باعث از دست رفتن آمونیاک و نیترات می‌شود و رطوبت بالا و تخلخل کم در کمپوست با جلبک‌ها چالش برانگیز است. شوری در جلبک‌ها به طور بالقوه زیاد است که چندان پیامدی ندارد ولی می‌تواند اندک پیامدی برای کمپوست داشته باشد. جلبک‌ها به‌طور بالقوه از فلزات و محتوای سمی بالا برخوردار هستند که می‌تواند کاربرد محصول به عنوان کود را تحت تأثیر قرار دهد. برای غلبه بر چالش‌هایی که این خواص جلبک‌ها سبب می‌شوند، کمپوست مشترک جلبک با سایر مواد بیولوژیکی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. جلبک‌ها با کربن نسبتاً کم نسبت به نیتروژن مشخص می‌شوند (۲۴). جلبک‌ها پس از برداشت ممکن است تا حدود ۹۰ درصد هم رطوبت داشته باشند که به طور کلی در کمپوست به حدود ۵۰ درصد کاهش و تنظیم می‌شود (۲۵). جلبک‌ها توانایی جمع‌آوری فلزات سنگین را دارند، بنابراین وقتی که از آنها برای تهیه کود در کشاورزی استفاده می‌شود، یک خطر بالقوه محسوب می‌گردد، ولی با این حال مطالعات زیادی نشان می‌دهد کمپوست حاصل از جلبک‌ها دارای فلزات سنگین کم می‌باشد (۲۶).

زائدات زراعی و کشاورزی

برای تنظیم نسبت کربن به نیتروژن در تهیه کمپوست می‌توان از کمپوست مشترک با خاک اره، پوست درختان، فضولات حیوانی و کاه استفاده کرد (۲۵). موادی که دارای میزان مواد آلی بالایی هستند مثل لجن فاضلاب، زباله‌های خانگی و زائدات زراعی و کشاورزی مناسب برای کمپوست شدن هستند. از سایر محصولات جانبی و زائدات صنایع زراعی هم جهت تامین مواد مغذی کمپوست می‌توان استفاده کرد (۲۷).

روش‌های تولید کمپوست مشترک

کمپوست مشترک زائدات مو در صنعت دباغی و لجن تصفیه فاضلاب‌های شهری

به طور عمده تجزیه می‌شود و در تمام موارد SRI از درجه حرارت داخل راکتور پیروی می‌کند (۲۱).

کمپوست مشترک موی انسان، کود گاوی، ضایعات جامد شهری، رسوبات کنار جاده ای و لجن دباغی

در تحقیقی تأثیر مقادیر مختلف موی انسان اضافه‌شده به کمپوست کود گاوی، ضایعات جامد شهری، رسوبات کنار جاده‌ای و لجن دباغی در طی دوره ۷۰ روزه کمپوست بررسی شد. با افزودن موی انسان میزان فسفر، نیتروژن و پتاسیم به ترتیب از ۱/۳۶ تا ۲۲/۸۵، ۵۳/۰۶ تا ۱۸۹/۸۰ و ۱۳/۴ تا ۳۹/۲۶ درصد، افزایش یافته است. مخلوط کل فلزات و آرسنیک به طور قابل توجهی نسبتاً بالا بود، اما این میزان کمتر از حد مجاز در کشور مورد بررسی (هند) بوده است. کمپوست مشترک مو با لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری کمپوست ترکیبی خوبی را حاصل می‌دهد که سرشار از نیتروژن است. البته مو به تنهایی در تهیه کمپوست دچار شکست می‌شود چرا که ترکیب اولیه میکروبی که از اهمیت بالایی برخوردار است تامین نمی‌شود. بنابراین، اضافه‌شدن موی انسانی در طی کمپوست می‌تواند در افزایش روی و سایر مواد مغذی برای رشد گیاه پایدار در خاک‌های با مواد مغذی ضعیف مفید باشد اکثر HMها که به عنوان عناصر کمیاب شناخته می‌شوند، در مقدار کمی مورد نیاز است، اما غلظت‌های بالاتر آنها می‌تواند اثرات نامطلوب بر گیاهان، انسان و حیوانات داشته باشد. بنابراین، اندازه‌گیری حد مجاز HMs و آرسنیک (AS) در کمپوست آماده شده توسط تعدادی از دستگاه‌های نظارتی مانند (FCOI 1985) پیشنهاد شده است (۱۳).

در کمپوست مشترک بدون سوبسترا یک نسبت اولیه که کمتر از حد مطلوب است حاصل می‌شود. محتوای نیتروژن مخلوط در طول فرآیند به دلیل افزایش غلظت N-NH₄ کاهش می‌یابد. تلفات نیتروژن تا حدود ۴۰ درصد و به طور عمده در ابتدای دوره ترموفیلیک، رخ می‌دهد. در مطالعات دیگر، نشان

داده شده است که تلفات نیتروژن با دمای بالا و هوا در ارتباط است میزان پروتئین موجود در مخلوط در طی فرایند (۰.۴٪) کاهش می‌یابد، به طوری که انتظار می‌رود پروتئین ترکیبی است که به راحتی قابل تخریب در فرآیند تجزیه بیولوژیکی مانند کمپوست باشد. کاهش میزان محتوای چربی‌ها (۲۸٪) بر اساس تجزیه پذیری نسبی این ترکیبات است. در طی کمپوست لجن خام و تراشه‌های چوب بدون به کارگیری سوبسترا به عنوان مکمل هیچ تغییری در مقدار سلولز + لیگنین مشاهده نمی‌شود، در حالی که همی سلولز تا میزان ۱۱ درصد هم می‌تواند کاهش پیدا کند (۲۲).

کمپوست مشترک لجن خام و سوبسترا (چربی، پروتئین، سلولز)

کو-کمپوست با چربی (C-F)

در کمپوست مشترک با چربی، نمونه ای از پایلوت که مورد بررسی قرار گرفته است، حداکثر درجه حرارت ۶۲ درجه سانتی‌گراد با بیشترین مقدار ثبت شده برای DRI بیش از $1\text{ h}^{-1}\text{ OM kg O}_2\text{ g}^{-1}$ بدست آمد. مقدار بدست آمده برای SRI از نمونه گرفته‌شده در دوره ترموفیلیک $1\text{ h}^{-1}\text{ OM kg O}_2\text{ g}^{-1}$ مشابه مقادیر DRI در آن لحظه است. دو شاخص تنفس به وضوح بالاتر از مقادیر حاصل شده در تولید کمپوست بدون سوبسترا می‌باشد که این به دلیل محتوی زیاد انرژی افزوده شده توسط چربی به مخلوط کو-کمپوست است. کو-کمپوست با چربی مقدار درجه حرارت بالا را در مرحله رسیده شدن کمپوست نشان می‌دهد. چربی به دلیل محتوی بالای انرژی و تجزیه زیستی آهسته باعث ایجاد حرارت برای مدت زمان طولانی و در نتیجه افزایش دمای کمپوست می‌شود. این رفتار در هنگام کمپوست زباله‌های غنی‌شده با چربی یا روغن نیز دیده شده است. ممکن است که چربی‌های موجود در لجن حاوی کربن بازدارنده از مواد لیپیدی غیرقابل تجزیه باشند

و بدین ترتیب درصد کربن پایین‌تری در آن تجزیه و کاهش یابد. استفاده از چربی‌ها که یک منبع کربن می‌باشند به عنوان سوسترای ترکیبی، نسبت C/N را افزایش می‌دهد، که به وضوح باعث حفظ نیتروژن می‌شود.

در مطالعه ای تولید کو-کمپوست که به صورت پایلوت صورت پذیرفته محتوای نیتروژن در مخلوط کو-کمپوست با چربی ۲۸ درصد کاهش یافت، در حالی که در مخلوط بدون چربی این مقدار ۴۰ درصد بود. کاهش ۵ درصد محتوای همی سلولز، نیمی از کاهش همی سلولز برای نمونه کنترل (C) بوده است. از سوی دیگر، محتوای سلولز + لیگنین در کمپوست با چربی ۱۲ درصد کاهش یافته است که احتمالاً به دلیل دمای بالاتر و فعالیت میکروبی در طول دوره بوده است (۲۲). درصدهای مختلف از چربی‌های اضافه‌شده به مخلوط کمپوست و مقایسه آن مدت‌زمان‌های مختلف را برای فاز حرارتی نشان داده است. مطالعات نشان داده اند که تخریب زیاد چربی‌ها (تا ۸۰٪) می‌تواند در فرآیند کمپوست سازی به دست آید (۲۸). اضافه کردن چربی به یک توده کمپوست در صورت کم بودن مقدار انرژی از مواد مورد نیاز برای دستیابی و حفظ دمای حرارتی توصیه می‌شود. همچنین در مورد عدم وجود کربن توصیه می‌شود که نسبت اولیه C/N را متعادل اعمال کرده تا موجب بهبود تخریب برخی از اجزای آهسته تجزیه‌پذیر گردد. با این حال، اگر چربی‌های حیوانی به فرآیند کمپوست اضافه شوند، برای بهبود شرایط تخریب زیستی مواد، باید سایر شرایط برای تولید کمپوست مورد توجه قرار گیرد. در اتحادیه اروپا، مقررات ۲۰۰۲/۱۷۷۴ پارلمان اروپا و شورای اتحادیه اروپا (اتحادیه اروپا ۲۰۰۲) محصولات جانبی حیوانی را به گروه‌های مختلف تقسیم می‌کنند که در معرض خطر بالقوه برای سلامت انسان قرار می‌گیرند و تصفیه مناسب برای هر گروه را ایجاب می‌کند که باید در این موارد انجام شود، حرارت ۷۰ درجه

سانتی‌گراد باید حداقل ۱ ساعت حفظ شود. بنابراین، افزایش درصد اضافه شده چربی می‌تواند به درجه حرارت بالاتر در دوره ترموفیلیک منجر شود (۲۹). علاوه بر این، تجربیات با مواد دیگر در مقیاس صنعتی نشان می‌دهد که درجه حرارت به دست آمده بالاتر از آنهایی است که در مقیاس آزمایشگاهی ثبت شده‌اند (۳۰). سوزوکی و همکاران اشاره کردند که تخریب پروتئین‌های حاضر همیشه منجر به غیرفعال شدن آنها و کاهش میزان اثر آنها نمی‌شود. اگر مواد مشتق شده حاصل از فرآیند کمپوست به خاک اعمال شود، باید با کاهش دما، کاهش پاتوژن را تضمین کند (۳۱). AFP در طول فاز ترموفیلیک کاهش می‌یابد که احتمالاً به علت ذوب شدن چربی و ایجاد چربی‌های مایع ناشی از درجه حرارت بالا در مخزن کمپوست است. چربی‌های مایع شده بخشی از تخلخل هوا در مخلوط را اشغال می‌کنند. همچنین، در مطالعه مورد بررسی کاهش ۱۱ درصد حجم مخلوط کمپوست در مرحله اول در آزمایش کو-کمپوست با چربی ثبت شده است. تخریب چربی‌ها و سایر ترکیبات آلی منجر به افزایش بیشتر AFP می‌شود (۳۲). در رابطه با درصد کاهش مقادیر مختلف ترکیبات بیوشیمیایی، کاهش محتوای چربی در کو-کمپوست با چربی بالاترین رقم را به خود اختصاص داده است. همبستگی که بین مقدار چربی‌های اولیه موجود در مخلوط کمپوست و مقدار چربی‌های تجزیه شده در طی فرآیند یافت شده است $P < 0.01$ نشان می‌دهد که افزایش محتوای چربی سبب افزایش میزان تخریب چربی‌ها خواهد شد. می‌توان به کمپوست نهایی ترکیباتی را اضافه کرد تا الزامات قانونی را فراهم آورد. AFP یک پارامتر لازم برای تنظیم خواص فیزیکی مخلوط اولیه است. اضافه شدن چربی‌ها منجر به کاهش درصد چربی‌ها و کاهش ترکیبات بازدارنده به عنوان لیگنین می‌شود. افزودن مواد چسبنده به لجن به عنوان منابع کربن

بقیه آزمایشات بود. این مقادیر با محتوای N-NH₄ مخلوط همبستگی دارد (۱۵).

کو-کمپوست با سلولز (C-C)

در کو-کمپوست با سلولز (C-C) خمیر کاغذی که به لجن اضافه می‌شود نه تنها به عنوان یک سوبسترا عمل می‌کند بلکه همچنین به عنوان یک عامل بزرگ‌کننده، افزایش سطح موجود و موجب بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌شود. بررسی مطالعاتی که در این زمینه انجام گرفت نشان‌دهنده این است که طی روزهای دوم و چهارم کمپوست حداکثر دما به ۶۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. خمیر کاغذ اضافه شده به عنوان منبع کربن عمل می‌کند، نسبت C/N اولیه کمی (۱۴/۵) نسبت به کنترل افزایش می‌یابد. تلفات نیتروژن ۳۵/۵ درصد است، که کمی کمتر از کنترل (۴۰٪) است. کاهش میزان چربی‌ها (۳۴/۸٪)، پروتئین (۳۵/۵٪) و همی سلولوز (۱۷/۷٪) در مخلوط مشاهده می‌شود، در حالی که مقدار سلولز و لیگنین به طور قابل توجهی تغییر نمی‌کند. افزایش در pH نیز در این مورد مشاهده می‌شود که به دلیل افزایش غلظت N-NH₄ است (۳۲). باتوجه به کاهش وزن بیشتر در کمپوست، کو- کمپوست یک فرآیند کارآمدتر نسبت به فرآیند کمپوست لجن خام است (جدول ۱).

باعث افزایش نیتروژن در مواد اولیه تحت کمپوست می‌شود (۳۲).

کو-کمپوست با پروتئین (C-P)

در مطالعه ای که کو- کمپوست با پروتئین (C-P) مورد بررسی قرار گرفت، مقدار حداکثر OM⁻¹h¹ 3gO₂kg به دست آمده است. مقدار اولیه SRI در C-P کمی بالاتر از نمونه کنترل (C) بود. همچنین مقادیر DRI در C-P بیشتر از کنترل (C) بود که نشان‌دهنده پتانسیل بهتر کمپوست شدن برای مخلوط لجن خام با پروتئین C-P است. حداکثر درجه حرارت به دست آمده در کو-کمپوست با پروتئین ۶۷ درجه و بالاتر از حداکثر مشاهده شده در نمونه کنترل بود و برای مدت طولانی حفظ شده است. مقادیر SRI و DRI نشان‌دهنده شرایط مناسب برای فعالیت میکروبی بود. سطوح سلولز و لیگنین در طول فرایند تجزیه تغییر نکرده است. به رغم اینکه نسبت C/N و محتوای نیتروژن اولیه در آزمایشات C و C-P بسیار مشابه بود، تلفات بالاتر نیتروژن (۵۵/۸٪) از نیتروژن اولیه در مخلوط در کو-کمپوست با پروتئین C-P تشخیص داده شد. بنابراین، باقیمانده‌های پروتئینی می‌توانند برای تعادل نسبت C/N مواد نیتروژن استفاده شود. ضایعات پروتئینی همچنین می‌توانند فعالیت بیولوژیکی را بهبود بخشند. مقادیر pH در طی آزمایش C-P بالاترین میزان نسبت به

جدول ۱. مقایسه روش‌های مختلف تولید کمپوست در کمپوست مشترک لجن فاضلاب با زائدات بیولوژیکی

نوع ترکیب	نسبت وزنی	نسبت‌های C/N	حداکثر دما (°C)	نیتروژن	ویژگی
زائدات مو در صنعت دباغی - لجن تصفیه فاضلاب‌های شهری	۱:۱:۱:۱ و ۲:۱:۴	۵/۵ و ۸/۱۱/۶	< ۷۰	افزایش می‌یابد	تولید محصولات با ثبات و خالص با محتوای نیتروژن بالا
موی انسان - کود گاوی - ضایعات جامد شهری، رسوبات کنار جاده ای و لجن دباغی	۱:۱:۱:۱:۰:۰:۰:۴۰	۲۱/۱۰، ۹۲/۱۷	۷۵	۱۸۹/۸۰ تا ۵۳/۰۶ افزایش	کمپوست ترکیبی خوبی را حاصل می‌دهد که سرشار از نیتروژن است
لجن خام و سویسترا (چربی، پروتئین - سلولز)	چربی ۱۴/۵۶ - ۵۶/۰ پروتئین ۷۱/۱۵ - ۸۸/۰ سلولز ۱۳ - ۱/۰۵	۲۷/۵ و ۱۷/۰۲ و ۲۰/۱۹	۶۷/۶۰ و ۶۲ برای چربی‌ها، پروتئین و سلولز به ترتیب	۵۵/۸ تا ۳۴/۲ درصد	افزایش فعالیت میکروبیولوژیکی - کاهش ترکیبات بازدارنده مثل لیگنین - درصد تخریب بیشتر

لجن فاضلاب و زائدات کشاورزی (پالم و پوسته و غلاف کاکائو)	۲:۱:۱، ۱:۱:۱ ۲:۲:۱	۲۵/۱ - ۴۳/۵ - ۱۱/۱	۵۴/۵-۴۶/۸	>۱۱٪	مناسب برای کشت صیفی‌جات مثل گوجه فرنگی
--	-----------------------	--------------------	-----------	------	---

پارامترهای موثر بر راندمان فرایند کمپوست

دما، رطوبت، تخلخل، چگالی، خواص اولیه مواد مخلوط، اندازه ذرات، میزان مواد مغذی، اکسیژن، نسبت کربن به نیتروژن و قلیائیت از عوامل کنترل‌کننده در طول فرایند کمپوست می‌باشند که تنظیم آنها موجب تعامل بین عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است (جدول ۲) (۳۳).

جدول ۲. پارامترهای موثر بر راندمان فرایند کمپوست

پارامتر	مقدار بهینه
قلیائیت	۶-۷/۵
دما	۴۰-۶۰ °C
رطوبت	۷۰-۵۰ درصد
شوری	>۱-۸ ds m
تخلخل	۳۰ تا ۶۰ درصد
نسبت C/N	۲۵-۳۰
اکسیژن	۱۰-۵ درصد

قلیائیت

مقدار pH نشان‌دهنده اسیدیته و قلیائیت مواد ارگانیک در کمپوست است و بر رشد میکروارگانیسم‌ها تاثیر می‌گذارد. pH در محدوده بین ۶ تا ۷/۵ مناسب رشد میکروارگانیسم‌ها است و توسط باکتری‌ها ترجیح داده می‌شود و pH بین ۵/۵ تا ۸ برای فعالیت قارچ‌ها در کمپوست خوب است. در pH بالای ۷/۵ گازهای آمونیاک خارج می‌شود. برخی از مواد خاص مثل گرد و غبار کوره‌های سیمان و زائدات کاغذی می‌تواند pH را افزایش دهد و برخی دیگر مثل زائدات مواد غذایی می‌تواند آن را کاهش دهد (۳۴).

اکسیژن

کمپوست یک فرآیند هوازی است که به اکسیژن برای تثبیت زباله‌های زیست محیطی، رطوبت مطلوب و فضای آزاد برای هوا (تخلخل) به اندازه کافی نیاز

دارد. افزایش هوادهی ضمن اینکه می‌تواند باعث تقویت فعالیت‌های بیولوژیکی شود می‌تواند سیستم را هم خنک کند (۳۵). هوادهی یک فاکتور کلیدی برای کمپوست شدن هوازی است. حداقل ۵ درصد و به طور بهینه و مطلوب تا ۱۰ درصد در مرحله اکسیداسیون مواد آلی توده کمپوست باید هوادهی شود (۳۶).

دما

دما در فرآیند کمپوست نقش مهمی دارد؛ و به طور معمول به عنوان متغیر تحت کنترل می‌باشد، زیرا دما نشان‌دهنده فعالیت بیولوژیکی مواد است. فرآیند کمپوست معمولاً در محدوده دمایی از درجه حرارتی، ضد عفونی محصول نهایی را موجب می‌شود (۳۷). دما یکی از مهمترین متغیرهای کمپوست است و برای بهبود حذف پاتوژن‌ها مانند *Salmonella* و *E. coli* توصیه می‌شود. در یک فرایند کمپوست دمای بالای ۵۵ درجه سانتیگراد حداقل به مدت یک دوره دو هفته ای باید حفظ شود (۳۶). میزان افزایش دما بستگی به مواد کمپوست، میزان فعالیت متابولیک، میزان اکسیداسیون و میزان انتقال حرارت از مواد کمپوست دارد. پروفیل‌های دمایی جهت نظارت بر فرایند کمپوست استفاده می‌شود (۲۴). جمعیت‌های غالب فعال میکروبی با توجه به دمای فرایند کمپوست، تکامل می‌یابند (۳۸). الزامات بین المللی این الزام را ایجاد می‌کنند که درجه حرارت بیش از ۵۵ درجه سانتیگراد برای یک دوره ۲ هفته ای و چرخاندن، برای اطمینان از غیرفعال شدن پاتوژن مورد نیاز باشد (۳۹). زمانی که مواد کمپوست قادر به دستیابی به دمای مورد نیاز برای غیرفعال سازی پاتوژن نیستند مواد حاوی انرژی بالا مانند زباله‌های غنی از چربی می‌توانند به عنوان یک سوپسترای کمکی استفاده

رطوبت ۲۵ درصد و بیشترین حد رطوبت قابل تحمل ۸۰ درصد است. رطوبت بیشتر از ۶۰ درصد کمپوست را به بی هوازی شدن هدایت می کند (۴۴). دما، اکسیژن و رطوبت، متغیرهای تحت کنترل مشترک در فرایند کمپوست هستند (۴۱).

شوری

از دیگر فاکتورهای دخیل در فرایند کمپوست شوری است. صعود شوری در طول تجزیه زیستی در کمپوست مشترک با جلیک رایج است اما گاهی این پدیده می تواند مشکل ساز باشد. شوری بالاتر از ۱ds m-۸ تاثیر منفی در فرایند کمپوست دارد (۴۵).

تخلخل

نسبت بین فضاهای خالی که توسط آب پر نمی شود و حجم کل مخلوط، که بخش متخلخل مخلوط AFP می باشد و از هوا پر شده است، یک پارامتر مهم برای بهینه سازی خواص مخلوط در فرایندهای کمپوست است (۳۹، ۴۶). مقادیر AFP بین ۳۰ تا ۶۰ درصد توصیه می شود (۴۷). خاک رس با اندازه ذرات کوچک دارای ظرفیت جذب آب بالا است که به حفظ فعالیت میکروبی کمک می کند عوامل حجم دهنده با ذرات کوچک یک ساختار متخلخل واقعی و توزیع اندازه متخلخل همگنی را ایجاد می کنند که باعث رشد و بازتولید میکروبه ها می شود. اندازه ذرات ماده اولیه بر فعالیت های میکروبی اثر می گذارد. ذرات کوچکتر سطح بیشتر در واحد حجم دارند و بنابراین میکروبه ها سطوح بیشتری برای کار دارند. با این حال، اگر ذرات نیز خیلی ریز باشند، تخلخل را کاهش می دهند و جریان هوا در داخل کمپوست محدود و کاهش می یابد (۴۸).

نسبت C/N

زمانی که فرایند کمپوست برای مواد زائد ارگانیک ارزیابی می شود، نسبت C/N و تجزیه زیستی مواد

شوند، SRI^۱ نشان دهنده فعالیت پتانسیل بیولوژیکی مواد مورد مطالعه است. DRI^۲ همچنین به عنوان OUR^۳ شناخته می شود که فعالیت بیولوژیکی ماده کمپوست را در شرایط عملیاتی، نشان می دهد و فعالیت بیولوژیکی واقعی در فرآیند کمپوست را اندازه گیری می کند. مقادیر DRI نزدیک به مقادیر SRI نشان می دهد که روند کمپوست در شرایط مناسب برای فعالیت میکروبی در حال انجام است (۳۰). استفاده از کو-کمپوست به منظور کاهش آلاینده های آلی پایدار و آنتی بیوتیک ها اثبات شده است. کمپوست می تواند به عنوان یک فن آوری پایدار و سازگار با محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد. دمای کمپوست نه تنها در تعیین میزان فرآیندهای بیولوژیکی، بلکه نقش انتخابی در تکامل و جانشینی جامعه میکروبی هم دارد (۴۰). برنال^۴ و همکاران پیشنهاد کرده اند که درجه حرارت بیش از ۵۵ درجه سانتی گراد برای حذف میکروارگانسیم های بیماریزا ضروری است (۴۱، ۴۲).

رطوبت

رطوبت هم از فاکتورهای مهم در فرایند کمپوست است. زمانی که رطوبت بالا باشد AFP پایین خواهد شد. بنابراین باید از مواد قابل کمپوست خشکتر به عنوان مواد ترکیبی در کو-کمپوست استفاده شود که باعث تهویه بهتر و بهبود نفوذپذیری هوا خواهد شد (۲۵). رطوبت در کمپوست جلبک به حدود ۵۰ درصد تنظیم می شود. میزان رطوبت در مواد کمپوست حیاتی است، این پارامتر بر فعالیت میکروبی و همچنین خواص فیزیکی تاثیر می گذارد. بنابراین دارای تاثیر مهم در تجزیه زیستی مواد آلی است (۴۳). بیشتر مواد آلی در رطوبت ۵۰ تا ۷۰ درصد به بهترین نحو کمپوست می شوند. در صورتی که برای برخی دیگر از مواد کمتر از این محدوده می باشد، اما کمترین حد

¹ Static SRI Respiration Index

² Dynamic Respiration Index

³ Oxygen Uptake Rate

⁴ Bernal

خاک و بهبود باروری آن حاصل می‌گردد. مدیریت صحیح لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، مواد زائد آلی و محصولات جانبی و زائدات بیولوژیکی تولیدشده در صنایع زراعی نقش مهمی در ارتقاء بهداشت و سلامت جامعه و محیط زیست دارد. با توجه به وجود پتانسیل بالایی از زائدات آلی که قابلیت کمپوست شدن را دارند و مزایای کمپوست و کو-کمپوست در تامین مواد مغذی خاک و اصلاح باروری آن و تامین کود آلی مناسب در جهت برآورده کردن نیاز در کشاورزی و از طرفی خطر دفع نامناسب زائدات بیولوژیکی، لجن فاضلاب و افزایش خطر تهدیدات استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، می‌طلبند تا با توجه بیشتر به کمپوست و تهیه کمپوست مشترک از مواد آلی از پتانسیل‌های موجود در این بخش استفاده شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از همکاری کمیته تحقیقات دانشجویی دانشکده بهداشت در دانشگاه علوم پزشکی مازندران به دلیل حمایت‌هایی که در پیشبرد اهداف این مطالعه داشتند، تقدیر و تشکر می‌کنند. این مقاله با کد اخلاقی IR.MAZums.REC.97-2-4 در دانشگاه علوم پزشکی مازندران تصویب شده است.

آلی نیز باید در نظر گرفته شود. نسبت C/N مهم و اغلب به عنوان معیار طراحی استفاده می‌شود. نسبت C/N مطلوب باید در محدوده ۲۵ الی ۳۰ باشد. مقادیر نسبت C/N تا ۳۰-۳۰ هم توصیه می‌شود. مقادیر کمتر باعث کاهش N به شکل NH_3 می‌شود، درحالی که مقادیر بالاتر می‌توانند روند کمپوست را به دلیل کمبود نیتروژن برای حمایت از فعالیت میکروبیولوژیک کاهش دهند. با این حال، قابلیت زیست پذیری نیتروژن و کربن در محاسبه نسبت C/N باید در نظر گرفته شود و این امری مهم تلقی می‌گردد. در حالی که نیتروژن موجود در اکثریت زباله‌ها عمدتاً در فرم‌های زیست تخریب پذیر یافت می‌شود، کربن می‌تواند در فرم بازدارنده هم باشد (۴۹). حضور کربن بیش از حد باعث کاهش فعالیت‌های میکروبی می‌شود (۸).

نتیجه گیری

با تولید کو-کمپوست، تهیه کمپوست با کیفیت بالاتر حل معضل دفع لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (دفع ایمن و بهداشتی لجن) حل چالش زباله‌های صنعت زراعی، فراهم آوردن تنوع و فراوانی میکروفلور، افزایش ثابت سرعت واکنش و درجه حرارت در حین کودسازی، تامین مواد مغذی بیشتر و افزایش تنوع آن، افزایش قابلیت‌های کمپوست در اصلاح خواص

References

- 1- Qdais HA, Al-Widyan M. Evaluating composting and co-composting kinetics of various agro-industrial wastes. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2016;5(3):273-80.
- 2- Zalidis G, Stamatiadis S, Takavakoglou V, Eskridge K, Misopolinos N. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2002;88(2):137-46.
- 3- Shiralipour A, McConnell DB, Smith WH. Physical and chemical properties of soils as affected by municipal solid waste compost application. *Biomass and Bioenergy*. 1992;3(3-4):261-6.
- 4- Mahajan A, Gupta RD. *Integrated nutrient management (INM) in a sustainable rice-wheat cropping system*: Springer Science & Business Media; 2009:46-52.
- 5- Eghball B. Soil properties as influenced by phosphorus-and nitrogen-based manure and compost applications. *Agronomy Journal*. 2002;94(1):128-35.
- 6- Water S, Organization WH. *Expert Consultation for 2nd Addendum to the 3rd Edition of the Guidelines for Drinking-water Quality*: Geneva, 15-19, May 2006.

- 7- Hsu J-H, Lo S-L. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. *Environmental Pollution*. 1999;104(2):189-96.
- 8- Sharma V, Canditelli M, Fortuna F, Cornacchia G. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting. *Energy Conversion and Management*. 1997;38(5):453-78.
- 9- Jokela J, Rintala J, Oikari A, Reinikainen O, Mutka K, Nyrönen T. Aerobic composting and anaerobic digestion of pulp and paper mill sludges. *Water science and technology*. 1997;36(11):181-8.
- 10- Diaz M, Madejon E, Ariza J, Lopez R, Cabrera F. Cocomposting of beet vinasse and grape marc in windrows and static pile systems. *Compost science & utilization*. 2002;10(3):258-69.
- 11- Malinska K, Richard T, editors. The impact of physical properties and compaction on biodegradation kinetics during composting. *Proceedings of 5th international conference ORBIT*; 2006:75-80.
- 12- Vidal G, Nieto J, Cooman K, Gajardo M, Bornhardt C. Unhairing effluents treated by an activated sludge system. *Journal of hazardous materials*. 2004;112(1-2):143-9.
- 13- Karak T, Kutu F, Paul R, Bora K, Das D, Khare P, et al. Co-composting of cow dung, municipal solid waste, roadside pond sediment and tannery sludge: role of human hair. *International journal of environmental science and technology*. 2017;14(3):577-94.
- 14- Gea T, Barrena R, Artola A, Sánchez A. Optimal bulking agent particle size and usage for heat retention and disinfection in domestic wastewater sludge composting. *Waste Management*. 2007;27(9):1108-16.
- 15- Wong J, Selvam A. Speciation of heavy metals during co-composting of sewage sludge with lime. *Chemosphere*. 2006;63(6):980-6.
- 16- Chowdhury S, Bolan NS, Seshadri B, Kunhikrishnan A, Wijesekara H, Xu Y, et al. Co-composting solid biowastes with alkaline materials to enhance carbon stabilization and revegetation potential. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23(8):7099-110.
- 17- Chen H, Dou J, Xu H. Remediation of Cr (VI)-contaminated soil with co-composting of three different biomass solid wastes. *Journal of Soils and Sediments*. 2018;18(3):897-905.
- 18- Ding N, Li W, Liu C, Fu Q, Guo B, Li H, et al. Decline in extractable kitasamycin during the composting of kitasamycin manufacturing waste with dairy manure and sawdust. *Journal of environmental management*. 2014;134:39-46.
- 19- Hu Z, Liu Y, Chen G, Gui X, Chen T, Zhan X. Characterization of organic matter degradation during composting of manure–straw mixtures spiked with tetracyclines. *Bioresource technology*. 2011;102(15):7329-34.
- 20- Zhang S, Chen Z, Wen Q, Yang L, Wang W, Zheng J. Effectiveness of bulking agents for co-composting penicillin mycelial dreg (PMD) and sewage sludge in pilot-scale system. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23(2):1362-70.
- 21- Barrena R, la Pagans E, Artola A, Vázquez F, Sánchez A. Co-composting of hair waste from the tanning industry with de-inking and municipal wastewater sludges. *Biodegradation*. 2007;18(3):257-68.
- 22- Réveillé V, Mansuy L, Jardé É, Garnier-Sillam É. Characterisation of sewage sludge-derived organic matter: lipids and humic acids. *Organic Geochemistry*. 2003;34(4):615-27.
- 23- Sangamithirai K, Jayapriya J, Hema J, Manoj R. Evaluation of in-vessel co-composting of yard waste and development of kinetic models for co-composting. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2015;4(3):157-65.
- 24- Han W, Clarke W, Pratt S. Composting of waste algae: a review. *Waste management*. 2014;34(7):1148-55.
- 25- Cuomo V, Perretti A, Palomba I, Verde A, Cuomo A. Utilisation of *Ulva rigida* biomass in the Venice Lagoon (Italy): biotransformation in compost. *Journal of applied phycology*. 1995;7(5):479.
- 26- Castaldi P, Melis P. Composting of *Posidonia oceanica* and its use in agriculture. *Microbiology of Composting*; Springer; 2002. p. 425-34.
- 27- Shemekite F, Gómez-Brandón M, Franke-Whittle IH, Praehauser B, Insam H, Assefa F. Coffee husk composting: an investigation of the process using molecular and non-molecular tools. *Waste management*. 2014;34(3):642-52.

- 28- Albuquerque JA, González J, Tortosa G, Baddi GA, Cegarra J. Evaluation of “alperujo” composting based on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation*. 2009;20(2):257-70.
- 29- Nakasaki K, Nagasaki K, Ariga O. Degradation of fats during thermophilic composting of organic waste. *Waste Management & Research*. 2004;22(4):276-82.
- 30- Gea T, Ferrer P, Alvaro G, Valero F, Artola A, Sánchez A. Co-composting of sewage sludge: fats mixtures and characteristics of the lipases involved. *Biochemical Engineering Journal*. 2007;33(3):275-83.
- 31- Suzuki Y, Tsujimoto Y, Matsui H, Watanabe K. Decomposition of extremely hard-to-degrade animal proteins by thermophilic bacteria. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2006;102(2):73-81.
- 32- Ruggieri L, Gea T, Artola A, Sánchez A. Influence of different co-substrates biochemical composition on raw sludge co-composting. *Biodegradation*. 2008;19(3):403-15.
- 33- O’riordan T. *Environmental science for environmental management*: Routledge; 2014.
- 34- Verdonck O. Composts from organic waste materials as substitutes for the usual horticultural substrates. *Biological Wastes*. 1988;26(4):325-30.
- 35- Eyra MC, Rostagno CM, Defossé GE. Biological evaluation of seaweed composting. *Compost Science & Utilization*. 1998;6(4):74-81.
- 36- Puyuelo B, Ponsá S, Gea T, Sánchez A. Determining C/N ratios for typical organic wastes using biodegradable fractions. *Chemosphere*. 2011;85(4):653-9.
- 37- Salter C, Cuyler A. Pathogen reduction in food residuals composting. *Biocycle*. 2003;44(9):42-51.
- 38- Gomez RB, Lima FV, Bolasell MAG, Gea T, Ferrer AS. Respirometric assays at fixed and process temperatures to monitor composting process. *Bioresource technology*. 2005;96(10):1153-9.
- 39- Management USEPAOoW. A guide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 rule: US Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management; Washington DC, 1995.
- 40- Hassen A, Belguith K, Jedidi N, Cherif A, Cherif M, Boudabous A. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource technology*. 2001;80(3):217-25.
- 41- Iannotti D, Pang T, Toth B, Elwell D, Keener H, Hoitink H. A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Science & Utilization*. 1993;1(3):52-65.
- 42- Bernal MP, Albuquerque J, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource technology*. 2009;100(22):5444-53.
- 43- Ahn H, Richard TL, Glanville T. Optimum moisture levels for biodegradation of mortality composting envelope materials. *Waste Management*. 2008;28(8):1411-6.
- 44- Cronjé AL, Turner C, Williams AG, Barker AJ, Guy S. The respiration rate of composting pig manure. *Compost science & utilization*. 2004;12(2):119-29.
- 45- Santamaría-Romero S, Ferrera R. Dynamics and relationships among microorganisms, organic-C and total-N during composting and vermicomposting. *Agrociencia*. 2001;35(4):377-83.
- 46- Su D, McCartney D, Wang Q. Comparison of free air space test methods. *Compost science & utilization*. 2006;14(2):103-13.
- 47- Annan JS, White RK, editors. Evaluation of techniques for measuring air filled porosity in composts of municipal biosolids and wood chips. *Proceedings of the 1998 Conference on Composting in the Southeast*; 1998: 88-96.
- 48- Kalamdhad AS, Khwairakpam M, Kazmi A. Drum composting of municipal solid waste. *Environmental technology*. 2012;33(3):299-306.
- 49- Komilis DP. A kinetic analysis of solid waste composting at optimal conditions. *Waste management*. 2006;26(1):82-91.