Archive of SID

مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱، صفحات ۱ تا ۱۶

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

بررسی شاخص‌های تثبیت و رسیدگی در طی فرایند کمپوست سازی از مخلوط فضولات مرغداری و خاک اره به روش ویندرو

اصغر یاوری[۱]، مهدی مرادی نظر[۱]، سیده مریم شرفی[۲]، امیرحسین نافذ[۱،۳،۲*]، مقداد پیرصاحب[۱]

۱- مرکز تحقیقات عوامل محیطی موثر بر سلامت، پژوهشکده سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۲- مرکز تحقیقات محیط زیست، پژوهشکده پیشگیری اولیه از بیماری‌های غیرواگیر، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

واژگان کلیدی: کمپوست سازی، روش ویندرو، فضولات مرغداری، خاک اره، شاخص‌های تثبیت

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
amirnafez@hlth.mui.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: برای استفاده صحیح از کمپوست، تعیین کیفیت کمپوست اهمیت زیادی دارد. هدف از این مطالعه، تعیین تاثیر نسبت اختلاط عامل حجیم کننده بر روی شاخص‌های تثبیت و رسیدگی در کمپوست حاصل از فضولات مرغداری بود.

روش بررسی: دو توده از مخلوط خاک اره همراه با فضولات با نسبت‌های حجمی ۱:۱ (W1) و ۲:۱ (W2) با روش ویندرو تهیه شد و یک توده حاوی فضولات مرغداری به عنوان شاهد (W0) استفاده شد. به منظور تعیین شاخص‌های تثبیت و رسیدگی در کمپوست، مهمترین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: فاز ترموفیلیک در نسبت ۱:۱ حدود ۷ هفته و در نسبت ۲:۱ حدود ۴ هفته طول کشید. مقدار رطوبت در توده‌ها از ۶۷/۳۹–۵۵/۰۵ درصد به ۴۰/۳۶-۲۸/۱۹ درصد رسید. نسبت اولیه C/N در توده‌های W0، W1 و W2 به ترتیب ۲۷/۱۰، ۳۱/۴۰ و ۵۶/۲۴ بود که در پایان به کمتر از ۲۰ رسید. میزان کاهش مواد آلی در سه توده به ترتیب ۸/۳۰، ۶۲/۵۹ و ۸۵/۵۳ درصد بود. مرحله ترموفیلیک باعث کاهش شدید جمعیت میکروارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن در همه توده‌ها شد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم دهیدروژناز در توده W1 به مقدار ۲/۹۵ mgTPF/g DW.h بود و با کاهش دما تا روز پایانی مقدار آن به ۰/۲۹ mgTPF/g DW.h رسید.

نتیجه‌گیری: بهترین نسبت برای اختلاط خاک اره با فضولات مرغداری، نسبت ۱:۱ (v:v) بود. فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی پارامترهای مفیدی برای پایش کمپوست سازی و تعیین میزان تثبیت کمپوست هستند و استفاده از این کمپوست در کشاورزی، باعث بهبود کیفیت خاک خواهد شد.

Please cite this article as: Yavari A, Moradi Nazar M, Sharafi SM, Nafez AH, Pirsaheb M. Evaluation of stability and maturity indices during composting process from a mixture of poultry waste and sawdust by windrow method. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(1):1-16.

Copyright © 2022 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

www.SID.ir

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

مقدمه

حجم بالای فضولات مرغداری و استفاده نامناسب از این فضولات در زمین‌های کشاورزی منجر به آلودگی هوا، آب و خاک می‌شود و این زائدات که قابلیت تجزیه پذیری بالایی نیز دارند به منبع انتشار گازهای متان، دی اکسید کربن و آمونیاک به اتمسفر تبدیل شده‌اند (۱). در ایران استفاده از این فضولات خام و تصفیه نشده جهت حاصلخیزی خاک مزارع کشاورزی یک روش معمول و متداول است. زائدات مرغداری معمولا دارای مقدار رطوبت بالا و نسبت C/N پایین هستند که رطوبت بالا باعث متراکم شدن بافت این فضولات می‌شود و برای کمپوست سازی از این مواد باید برای جذب رطوبت، ایجاد تخلخل مناسب برای هوادهی بهتر و افزایش نسبت C/N از عوامل حجیم کننده مثل خاک اره و یا زائدات گیاهی استفاده نمود (۲، ۳). براساس آخرین آمار در سال ۱۳۹۳ مقدار فضولات مرغداری تولید شده در ایران سالانه به میزان ۳۵۰۰۰۰۰ تن برآورد شده که استفاده صحیح از آن می‌تواند از نظر اقتصادی برای مرغداران و کشاورزان فواید زیادی داشته باشد (۴).

فضولات مرغداری به کلیه زائدات برجای مانده از مرغ‌های سالنی، قفسی و سنتی گفته می‌شود که شامل: مدفوع مرغ، زائدات غذایی، پر مرغ، پوسته تخم مرغ و مواد پوشش کف سالن مرغداری است که در کشاورزی و تغذیه دام دارای اهمیت فراوانی است (۵). کود مرغی به دلیل اینکه حاوی مقدار بیشتری از مواد مغذی با اهمیت، مخصوصا ازت قابل جذب است بیشتر از کود گاوی، گوسفندی و اسبی مورد توجه است. دلیل کیفیت بالای کود مرغی این است که از مجموع ادرار و مدفوع حیوان تشکیل شده است (۵-۷). به طور کلی امروزه در دنیا بیش از ۹۰ درصد از این کود در مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در کشور ایران نیز کود مرغی در حال حاضر بیشتر در کشاورزی و به ویژه در باغ‌های پسته استفاده می‌شود (۴).

کمپوست سازی یکی از بهترین فرایندهای شناخته شده برای تثبیت بیولوژیکی زائدات آلی جامد در حضور هوا و اکسیژن است که باعث تبدیل آنها به مواد پایدار می‌شود (۸-۱۰). میزان مواد آلی در فضولات مرغداری با توجه به مطالعات قبلی معمولا بالای ۷۰ تا ۷۵ درصد گزارش شده است (۶، ۱۱، ۱۲)، که با توجه به این میزان مواد آلی، کمپوست سازی یکی از گزینه‌های مناسب برای مدیریت فضولات مرغداری است (۱۳، ۱۴). در مطالعه‌ای که توسط Yaghmaeian و همکاران در سال ۲۰۰۵، تحت عنوان مقایسه روش کمپوست سازی ویندرو و گودالی در کمپوست سازی از فضولات مرغداری، برگ درختان و پسماندهای شهری انجام شد، نسبت اختلاط از مواد مورد نظر بر پایه میزان نسبت C/N برابر با ۲۵ به ۱ و میزان رطوبت ۵۵ درصد انجام شد (۱۵). در مطالعه انجام شده توسط Petric و همکاران در سال ۲۰۱۲ در ارتباط با کمپوست مخلوط فضولات مرغداری و پسماندهای شهری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی فضولات مرغداری مانند میزان مواد آلی (درصد با پایه خشک) ۱/۰۲ ± ۷۸/۸۹، میزان رطوبت ۷۱/۰۳ درصد، هدایت الکتریکی (EC) mS/cm ۰/۰۶ ± ۳/۷۷، pH ۸/۳۱±۰/۰۸، مقدار کربن ۱/۰۲±۴۳/۸۳، درصد نیتروژن ۰/۰۲±۵/۰۲ و نسبت C/N ۸/۷۳ به دست آمد (۱۱). در مطالعه‌ای که در ارتباط با بررسی ویژگی‌های فیزیکو-شیمیایی و جمعیت میکروبی در طی کمپوست سازی مشترک از مخلوط فضولات مرغی توسط Nadia و همکاران در سال ۲۰۱۵ انجام شد نسبت خاک اره به فضولات مرغداری ۲ به ۱ و نسبت C/N مخلوط کمپوست ۱۸/۴ در نظر گرفته شد (۱۶). در مطالعه Kong و همکاران (۲۰۱۸)، که به ارزیابی پارامترهای مختلف در طی کمپوست سازی از مخلوط فضولات مرغداری و کاه برنج به روش ویندرو پرداختند، مدت زمان کمپوست سازی ۸۵ روز به طول انجامید و از نسبت ۳:۱ فضولات مرغداری به کاه برنج استفاده شد (۱۷).

با توجه به حجم بالای تولید فضولات مرغداری در ایران و افزایش روز افزون آن، برای جلوگیری از تجمع این فضولات در اطراف مرغداری‌ها و دفع نامناسب و غیر بهداشتی آن و در نتیجه ایجاد مشکلات و مسائل زیست محیطی ذکر شده مربوط به آن، یک برنامه ریزی مناسب و مدیریت اصولی لازم است. از سوی دیگر فضولات مرغداری یک منبع ارزشمند برای حاصلخیزی خاک است که می‌تواند میزان بالایی از مواد مغذی را برای رشد محصولات فراهم کند در نتیجه استفاده از یک تکنولوژی موثر و سودمند برای بازیافت این مواد زائد ضروری به

www.SID.ir

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

نظر می‌رسد. با توجه به اینکه بخش اعظمی از فضولات مرغی تولیدی در کشور ایران در کشاورزی و کشت محصولات خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بررسی کیفیت محصول کمپوست نهائی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، این مطالعه با هدف تعیین پارامترهای بلوغ و تثبیت کمپوست در نسبت‌های مختلف عامل حجیم کننده به فضولات مرغداری انجام شد و با توجه به پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی، بهترین نسبت اختلاط برای کمپوست سازی از این زائدات به دست آمد. علاوه بر این با مقایسه کیفیت کمپوست به دست آمده با استانداردهای ملی و بین المللی، امکان استفاده از آن در زمین‌های کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

_ *مشخصات مواد اولیه*

این مطالعه از نوع مطالعات تجربی-مداخله‌ای در مقیاس پایلوت بود. فضولات مرغی از مرغداری‌های واقع در سطح شهرستان صحنه کرمانشاه تهیه شد. خاک اره نیز از نجاری‌های سطح شهر کرمانشاه جمع آوری گردید. مهمترین خصوصیات مواد اولیه مورد استفاده برای تشکیل توده‌های کمپوست در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فضولات مرغداری و عامل حجیم کننده (خاک اره)

پارامتر	فضولات مرغداری	خاک اره
pH	۷/٤۷	۵/۷٦
EC در ۲۵ °C (mS/cm)	٤/٦	۰/۵۹
رطوبت (درصد)	۱۲/٤۳	۵/۳۳
مواد آلی (g/kg وزن خشک)	۷۵۷	۹۷۵
کربن آلی (g/kg وزن خشک)	٤۱۷	۵٤۱
ازت کل (g/kg وزن خشک)	٤۰	۱/٦
نسبت C/N	۱۰/۲۵	۳۳۸/۵

_ *مشخصات توده‌های کمپوست*

برای انجام این مطالعه، فضولات مرغداری خام با نسبت‌های حجمی از پیش تعیین شده یعنی ۱:۱ (W1) و ۲:۱ (W2) با خاک اره به عنوان عامل حجیم کننده مخلوط شد و به صورت توده‌هایی با ابعاد ۱/۲ m (عرض)، ۲ m (طـول) و ۱/۵ m (ارتفاع) بر سطحی از جنس بتن قرار گرفت. علاوه بر مخلوط‌های ذکر شده، توده‌ای حاوی فضولات مرغداری خام (بدون افزودن عامل حجیم کننده) به عنوان توده کنترل یا شاهد (W0) در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که محل اجرای پایلوت و استقرار توده‌ها در محوطه دانشکده بهداشت کرمانشاه بود و جهت جلوگیری از راهیابی آب‌های سطحی به داخل توده‌ها، زهکشی مناسبی در اطراف این بسترها انجام شد. این مطالعه در بهار و تابستان سال ۱۳۹۶ به مدت ۹۴ روز انجام شد.

برای هوادهی توده‌های کمپوست از روش برگرداندن دستی توده‌ها استفاده شد. تناوب بهم‌زدن توده‌ها در ۴۵ روز اول

www.SID.ir
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

کمپوست‌سازی به صورت یک روز در میان و از روز ۴۵ ام تا روز ۶۰ ام دو بار در هفته و بعد از ماه دوم تا پایان کمپوست سازی نیز بصورت هفتگی انجام شد. در طی فرایند کمپوست سازی، در مواقعی که رطوبت توده‌ها به کمتر از حد نرمال رسید برای تنظیم رطوبت توده‌ها به صورت دستی به آنها آب اضافه شد.

ـ نمونه برداری

در این مطالعه از روش نمونه برداری مرکب استفاده شد به این صورت که در مراحل مختلف کمپوست سازی، ابتدا با استفاده از یک بیلچه از ۳ نقطه مختلف از لایه بالایی، مرکزی و پایینی هر توده مقداری (حدود ۳۰۰ g) از مواد را برداشته و مخلوط یکنواختی از این نمونه‌ها تهیه شده و سپس مقدار لازم جهت انجام آزمایشات (حدود ۵۰۰ g) برداشته شد. برای انجام آزمایشات فیزیکوشیمیایی و میکروبی نمونه برداری به صورت هفتگی انجام شد و مجموعا تعداد کل نمونه‌های برداشت شده در طول مطالعه ۱۲ نمونه بود.

ـ روش انجام آزمایشات

دمای توده‌های کمپوست در سه نقطه اندازه گیری شده و میانگین اعداد به دست آمده به عنوان دمای توده کمپوست گزارش شد. اندازه‌گیری دمای توده‌های کمپوست قبل از زیر و رو کردن آنها انجام می‌شد. منظور از وزن خشک یا جامدات کل، باقیمانده نمونه پس از تبخیر در دمای ۷۰±۵°C پس از ۱۸ تا ۲۴ h است (۱۸). بدیهی است که با کم کردن درصد رطوبت از عدد ۱۰۰، درصد جامدات خشک به دست آمد. برای محاسبه جامدات فرار (مواد آلی)، نمونه خشک شده به مدت ۲ h در دمای ۵۵۰°C قرار گرفت. پس از این مدت، کاهش جرم اندازه گیری شده در نمونه برابر درصد جامدات فرار (مواد آلی) است. درصد کربن آلی برابر است با درصد جامدات فرار تقسیم بر عدد ۱/۸ (۱۹). برای اندازه گیری مقادیر pH و EC در مراحل مختلف کمپوست سازی، پس از پردازش اولیه نمونه کمپوست، ۲۰ g از کمپوست خشک در داخل ارلن ریخته و به آن ۲۰۰ mL آب مقطر اضافه شد تا دوغابی با نسبت ۱ به ۱۰ حاصل شود. سپس محتوای دوغاب به مدت ۲۰ min بر روی شیکر با سرعت دورانی ۱۲۰ RPM قرار داده شد. درنهایت دوغاب به دست آمده در دمای آزمایشگاه قرار گرفت و توسط دستگاه pH متر و EC متر میزان pH و EC اندازه گیری شد. فعالیت آنزیم دهیدروژناز با استفاده از روش پیشنهادی توسط Thompson و همکاران (۲۰۰۱) با احیای تری فنیل تترازولیوم کلرید (TTC) به تری فنیل فورمازان (TPF) در دمای ۳۷°C به مدت ۲۴ h در تاریکی تعیین شده و به صورت میلی گرم TPF آزاد شده بر هر گرم ماده خشک (DM) در ساعت بیان می‌شود (TPF/gDW.h). سه گرم نمونه کمپوست کاملا مخلوط شده و ۳ mL محلول ۳ درصد ۲،۳،۵-تری فنیل تترازولیوم کلرید و ۳ mL آب مقطر به مخلوط اضافه شد. پس از انکوباسیون در دمای ۳۷°C به مدت ۲۴ h، ۱۰ mL متانول اضافه شد، سوسپانسیون فیلتر شده و مقدار TPF در مایع فیلتر شده با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ nm اندازه گیری شد. برای هر نمونه یک ظرف شاهد بدون افزودن TTC استفاده شد (۱۸).

آزمایشات مربوط به گروه کلیفرم و کلیفرم‌های مدفوعی، براساس روش تخمیر چند لوله‌ای (برای کلیفرم‌های کل از روش ۹۲۲۱ B و برای کلیفرم‌های مدفوعی از روش ۹۲۲۱ E) ذکر شده در کتاب استاندارد متد (ویرایش ۲۳) انجام شد (۲۰). محیط کشت مورد استفاده برای تعیین مقدار باکتری‌های مزوفیل و ترموفیل محیط Triptic Soy Agar (TSA) بود. برای تعیین قارچ‌های مزوفیل و ترموفیل از محیط کشت Sabouraud Dextrose Agar (SDA) استفاده شد. به منظور بررسی میزان همبستگی پارامترهای اندازه‌گیری شده، از آزمون همبستگی پیرسون (Pearson correlation analysis) با استفاده از نرم افزار STATA ver.14 استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز نرم افزار Excel مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با بررسی داده‌های به دست آمده از توده‌های مختلف در طول فرایند کمپوست‌سازی، شاخص‌های مناسب جهت ارزیابی میزان رسیدگی و تثبیت در کمپوست حاصل از فضولات مرغداری انتخاب شد.

یافته‌ها

شهر کرمانشاه، با مختصات جغرافیایی ۴۷°۰۴′۰۰″ طول شرقی و ۳۴°۱۸′۴۵″ عرض شمالی و ارتفاع ۱۴۲۰ m از سطح دریا با

سلامت و محیط زیست
دوره پانزدهم/ شماره اول/ بهار ۱۴۰۱
فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران
ijhe.tums.ac.ir

www.SID.ir

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

آب و هوایی معتدل تا معتدل مایل به سرد و نیمه خشك و نیمه مرطوب در غرب ایران واقع شده است. میانگین دمای سالانه این شهر ۱۴/۲°C با حداقل ۰°C و حداکثر ۲۸°C است. میانگین رطوبت نسبی ۲۳ تا ۷۵ درصد با میانگین ۴۹ درصد و همچنین متوسط میزان بارندگی سالانه در این منطقه ۴۷۸/۷ mm بوده است.

مشخصات مخلوط‌های اولیه توده‌های کمپوست، به تفکیک در جدول ۲ ارائه شده است. در نمودار ۱ نیز تغییرات دما در طول فرایند کمپوست سازی در توده‌های مختلف نشان داده شده است. همچنین در نمودار ۲ روند تغییرات فعالیت آنزیم دهیدروژناز در طی فرایند کمپوست سازی در توده‌های مختلف قابل مشاهده است.

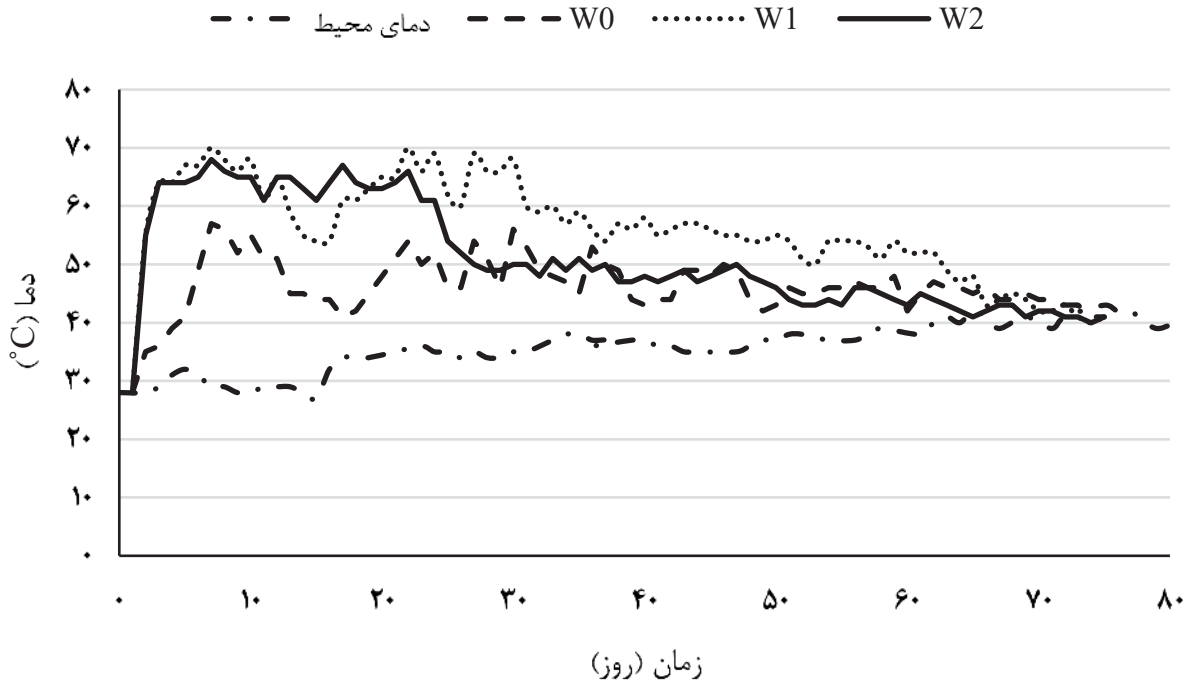
جدول ۲- مشخصات مخلوط‌های اولیه توده‌های کمپوست

پارامتر	توده‌ها		
	W0	W1	W2
مواد آلی (درصد وزن خشک)	۷۵/۰۷	۵۹/۷۹	۸٤/۸۹
رطوبت (درصد)	٦۷/۳۹	۵۹/٤۱	۵۵/۰۵
ازت کل (درصد وزن خشک)	٤/۰٦	۱/۸	۱/۱۷
خاکستر	۲٤/۹۲	۲۰/٤۰	۱۵/۱۰
نسبت C/N	۱۰/۲۷	۲٤/۵٦	٤۰/۳۱
pH	۷/۹۱	۷/٦٤	۷/٤۸
EC در ۲۵ °C (mS/cm)	۵/۸	٤/٦۱	۳/۳
کل کلیفرم‌ها (*MPN/gDW)	$۱/۳ \times ۱۰^{۷}$	$۲/۲٦ \times ۱۰^{٦}$	$۱/٦۹ \times ۱۰^{٦}$
کلیفرم‌های مدفوعی (MPN/gDW)	$۲/۲۷ \times ۱۰^{٦}$	$۱/۰٤ \times ۱۰^{٦}$	$۷/۸۱ \times ۱۰^{۵}$
کل باکتری‌های مزوفیل (CFU/gDW)	$٤/٤٦ \times ۱۰^{۱۰}$	$۲/۳٦ \times ۱۰^{۸}$	$۳/۳۹ \times ۱۰^{۹}$
کل باکتری‌های ترموفیل (CFU/gDW)	$۱/۷۵ \times ۱۰^{۹}$	$۱/۲۳ \times ۱۰^{۷}$	$۲/۹۲ \times ۱۰^{۹}$
کل قارچ‌های مزوفیل (CFU/gDW)	$۳/۷۸ \times ۱۰^{٦}$	$۵/۷۸ \times ۱۰^{۵}$	$٦/۳۲ \times ۱۰^{۵}$
کل قارچ‌های ترموفیل (CFU/gDW)	ND**	$۲/۱۱ \times ۱۰^{٤}$	$۱/۷۱ \times ۱۰^{٤}$

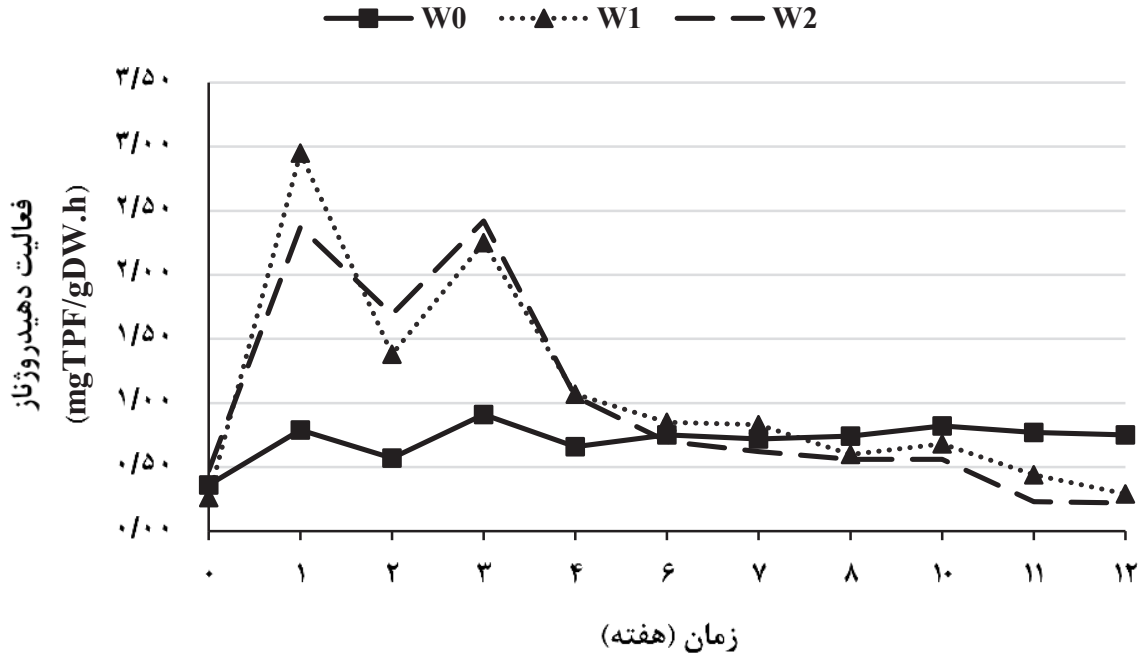
* MPN در گرم وزن خشک، ** حد غیر قابل تشخیص

www.SID.ir
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID



نمودار ۱- روند تغییرات دما در طی فرایند کمپوست سازی در توده‌های مختلف



نمودار ۲- روند تغییرات فعالیت آنزیم دهیدروژناز در طی فرایند کمپوست سازی در توده‌های مختلف

www.SID.ir

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

در جدول ۳ نتایج مربوط به بررسی پارامترهای کیفی کمپوست از نظر بلوغ و رسیدگی و قابلیت کاربرد محصول کمپوست بر روی زمین‌های کشاورزی ارائه شده است. برای مقایسه کیفیت کمپوست تولید شده در این مطالعه با استانداردهای ارائه شده توسط سازمان استاندارد کشور ایران (استاندارد ۱۰۷۱۶) و رهنمودهای بین المللی ارائه شده توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) و سازمان حفاظت محیط زیست کشور آمریکا (USEPA) این رهنمودها نیز در این جدول ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج مربوط به پارامترهای بلوغ و رسیدگی در کمپوست نهایی حاصل از توده‌های مختلف

پارامتر	توده‌ها			مقادیر استاندارد		
	W0	W1	W2	USEPA	WHO	ایران
مواد آلی (درصد وزن خشک)	۵۱/۹۶	۳۲/۱٤	۳۹/۱۷	۵۰	۱۰–۳۰	۳۵<
رطوبت (درصد)	٤۰/۳٦	۲۸/۱۹	۳۰/۰۷	۱۵>	۱۵>	۱۵>
ازت کل (درصد وزن خشک)	۳/۱۵	۱/۵۸	۱/۲	۱	۰/٤–۱/۵	۱/۲۵–۱/٦٦
خاکستر	٤۸/۰۳	٦۷/۸۵	٦۰/۸۲	–	–	–
نسبت C/N	۹/۱٦	۱۱/۳	۱۸/۱۳	۱۵	–	۱۵–۲۰
pH	۷/۸۱	۷/۵٦	۷/٤٤	٦–۸/۵	٦–۹	٦–۸
EC در ۲۵ °C (mS/cm)	۲/۸۵	۲/۱۵	۱/۵۵	۸>	–	۸>
کل کلیفرم‌ها (MPN/g DW*)	۱۵۱/٦	۵	**ND	–	–	–
کلیفرم‌های مدفوعی (MPN/g DW)	۲۵	ND	ND	۱۰۰۰>	۱۰۰۰>	۱۰۰۰>
کل باکتری‌های مزوفیل (CFU/g DW)	۱/۱۱ ×۱۰^{۹}	٤/۸۳ ×۱۰^{۷}	۲/۹ ×۱۰^{۷}	–	–	–
کل باکتری‌های ترموفیل (CFU/g DW)	۲/۷۷ ×۱۰^{۸}	۵/۲۲ ×۱۰^{٦}	۱/۳۳ ×۱۰^{٦}	–	–	–
کل قارچ‌های مزوفیل (CFU/g DW)	٦/۲۹ ×۱۰^{٤}	۲/۱۱ ×۱۰^{۳}	۱/۱٦ ×۱۰^{٤}	–	–	–
کل قارچ‌های ترموفیل (CFU/g DW)	ND	ND	ND	–	–	–

* وزن خشک ** حد غیر قابل تشخیص

www.SID.ir
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

در جدول ۴ نتایج مربوط به بررسی همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در طول فرایند کمپوست‌سازی در توده‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در توده‌ها

پارامتر	توده	دهیدروژناز	C/N	EC	دما	pH
رطوبت	W1	۰/۴۶	۰/۹۲ ***	۰/۹۲ ***	۰/۲۹	۰/۴۸ *
	W2	۰/۵۴	۰/۸۹ ***	۰/۸۹ ***	۰/۴۴ *	۰/۵۸ *
pH	W1	۰/۸ **	۰/۴۵	۰/۴۲ *	۰/۶۶ **	-
	W2	۰/۸۳ **	۰/۴۲	۰/۵۰ *	۰/۶۲ **	-
دما	W1	۰/۸۰ **	۰/۱۶	۰/۳۶	-	-
	W2	۰/۸۹ ***	۰/۴۱ *	۰/۶۱ **	-	-
EC	W1	۰/۵۳	۰/۹۶ ***	-	-	-
	W2	۰/۶۶ *	۰/۹۲ ***	-	-	-
C/N	W1	۰/۳۹	-	-	-	-
	W2	۰/۵۸	-	-	-	-

*p< ۰/۰۵ **p< ۰/۰۱ ***p<۰/۰۰۱

بحث

همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود در کلیه توده‌ها، روند تغییرات دما همانند پروفیل دما در کمپوست سازی از سایر زائدات آلی است (۹، ۲۱) ولی تغییر در نسبت اختلاط، باعث ایجاد دماهای مختلف در مرحله ترموفیلیک شده است. دما در هر سه توده، پس از حدود یک هفته به حداکثر خود یعنی حدود ۵۷ تا ۷۰°C می‌رسد. در طی فرایند کمپوست سازی نوسانات دمای محیط بین ۲۷ تا ۴۳°C بوده است.

با توجه به نوع مواد اولیه، نسبت C/N، میزان رطوبت توده‌ها و دمای محیط، مدت زمان هر فاز در توده‌های مختلف متفاوت بود. مقایسه توده‌های مختلف در طی فرایند، نشان می‌دهد که استفاده از عوامل حجیم کننده باعث ایجاد حداکثر دما و زمان بیشتر نگهداری شرایط ترموفیلیک در دو توده W1 و W2 نسبت به توده کنترل شد. با توجه به نمودار ۱ حداکثر دما ۷۰°C بود که در W1 اتفاق افتاد. حداکثر دما در W0، ۵۷°C بود و فقط ۵ روز در فاز ترموفیلیک باقی ماند و به

سلامت و محیط زیست
دوره پانزدهم/ شماره اول/ بهار ۱۴۰۱
فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران
ijhe.tums.ac.ir

www.SID.ir

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

سرعت روند کاهشی به خود گرفت که این موضوع احتمالا به دلیل کمبود مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیک و وجود رطوبت زیاد و اکسیژن کم در این توده است. توده W2 فاز ترموفیلیک کوتاه‌تری نسبت به W1 داشت.

فاز ترموفیلیک (۵۵-۷۰°C) در W1 حدود ۷ هفته و در W2 حدود ۴ هفته به طول انجامید. مقایسه بین منحنی تغییرات دما، در توده‌های مختلف نشان می‌دهد که وجود میکروارگانیسم‌ها به تعداد و تنوع زیاد، نقش مهمی در افزایش دمای توده‌های کمپوست دارد. میزان تخلخل کافی و نسبت C/N مناسب در توده ۱:۱ می‌توانند عواملی برای افزایش سریع دما در این توده باشند. چون در نسبت بهینه C/N حداکثر رشد میکروارگانیسم‌ها اتفاق می‌افتد (۲۲، ۲۳). در مطالعه Awasthi و همکاران (۲۰۱۹) بر روی کمپوست سازی از زائدات مرغداری، دما در تمامی توده‌ها به سرعت افزایش یافته و پس از ۲-۱ روز به فاز ترموفیلیک رسید و به مدت ۲-۱ هفته در این فاز باقی ماند و سپس فاز نهایی (پایداری) با کاهش دما آغاز شد (۲۴). در این مطالعه نیز توده‌های W1 و W2 در دومین روز وارد فاز ترموفیلیک شدند، که با نتایج Awasthi و همکاران مطابقت دارد. ولی از نظر دوام فاز ترموفیلیک در این مطالعه در توده‌های با نسبت ۱:۱ و ۲:۱ به ترتیب ۷ هفته و ۴ هفته طول کشید که با مطالعه مذکور همخوانی ندارد. در مطالعه‌ای که توسط Nadia و همکاران (۲۰۱۵)، بر روی کمپوست سازی از مخلوط فضولات مرغداری و خاک اره با نسبت ۱:۲ به روش راکتوری انجام شد، دما بعد از ۳ روز به سرعت بالا رفت و به ۷۱°C رسید و در حدود ۲ هفته در فاز ترموفیلیک قرار داشت و در روز چهاردهم کمپوست سازی وارد فاز مزوفیلیک ثانویه گردید و به ۴۷°C رسید (۱۶)، که با نتایج مطالعه حاضر در رسیدن به دمای حداکثری همخوانی داشت ولی با مدت زمان ماندگاری در فاز ترموفیلیک مطابقت ندارد که علت این اختلاف می‌تواند به علت تفاوت در روش کمپوست سازی و همچنین تاثیر مستقیم دمای محیط بر فرایند کمپوست سازی باشد.

در مطالعه Kong و همکاران (۲۰۱۸)، که به ارزیابی پارامترهای مختلف در طی کمپوست سازی از مخلوط فضولات مرغداری و کاه برنج به روش ویندرو پرداختند، مدت زمان کمپوست سازی ۸۵ روز به طول انجامید و از نسبت ۳:۱ فضولات مرغداری به کاه برنج استفاده شد. دمای توده بعد از روز دهم کمپوست سازی به بالای ۶۰°C رسید و بعد از روز ۲۸ کمپوست سازی دما سریعا به ۴۵°C رسید و سپس به مدت طولانی در دمای ۴۰°C باقی ماند و در نهایت دمای توده به دمای محیط رسید (۱۷) که نتایج مطالعه با نتایج این مطالعه در آیتم‌های مدت زمان کمپوست سازی، طول مدت زمان فاز ترموفیلیک و دمای تولیدی در توده همخوانی داشت ولی با مدت زمان رسیدن به فاز ترموفیلیک که در این مطالعه در دومین روز بود مطابقت ندارد.

میزان رطوبت و در نتیجه، تخلخل موجود در توده‌های کمپوست، یکی از مهمترین پارامترهای مربوط به کمپوست سازی از زائدات آلی مثل فضولات مرغداری است. وجود رطوبت کافی در توده‌های کمپوست، امکان انتقال مواد مغذی محلول مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها را فراهم کرده و بر فعالیت میکروبی مؤثر است (۱۰، ۲۵). همان‌طور که در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است، میزان رطوبت در مخلوط‌های اولیه به علت کمتر بودن از مقادیر نرمال (۴۵-۶۵ درصد)، با اضافه نمودن آب به توده‌ها، بین ۵۵ تا ۶۷/۴ درصد تنظیم شد که برای کمپوست سازی مناسب بود (۲۳، ۲۶). در هفته‌های دوم و چهارم به دلیل تبخیر آب ناشی از حرارت تولیدی توسط میکروارگانیسم‌ها رطوبت در تیمارهای W1 و W2، به کمتر از حد مناسب رسید. با توجه به این که توده‌ها هنوز به مرحله رسیدگی و تثبیت نرسیده بودند جهت حفظ فعالیت مناسب میکروارگانیسم‌ها مجددا به توده‌ها رطوبت اضافه شد و در ادامه فرایند رطوبت به تدریج کاهش یافت و در روز پایانی فرایند (روز نود و چهارم) میزان رطوبت W0، W1 و W2 به ترتیب به ۴۰/۳، ۲۸/۱ و ۳۰ درصد رسید که در چنین رطوبت‌های پایینی، امکان وقوع فرایند بیولوژیکی قابل توجهی در توده‌ها وجود ندارد (جدول ۳). در مطالعاتی که محققین مختلف مثل Gao و همکاران (۲۰۱۰) و Nadia و همکاران (۲۰۱۵) نیز در زمینه کمپوست سازی از فضولات مرغداری انجام دادند، روند تغییرات رطوبت را کاهشی بیان کردند (۱۴، ۱۶). طبق گزارش

www.SID.ir
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

Kristanto و همکار (۲۰۱۹)، نمونه‌های کمپوست حاوی رطوبت کمتر از ۳۵ درصد از نظر بیولوژیکی غیرفعال بوده و در نتیجه، شاخص فعالیت تنفسی آنها ممکن است اشتباها پایین باشد (۲۷).

در مطالعات مربوط به کمپوست سازی، به منظور تعیین میزان تجزیه ترکیبات موجود در مخلوط‌های کمپوست و در نتیجه میزان تثبیت و کیفیت کمپوست تولیدی، گزارش مقادیر اولیه و نهایی مواد آلی موجود در توده‌های کمپوست می‌تواند مفید باشد (۳، ۱۰). مقدار مواد آلی در مراحل اولیه کمپوست سازی در اثر ورود به مرحله ترموفیلیک و فرایند معدنی شدن کاهش می‌یابد. میزان کاهش مواد آلی برای W0، W1 و W2 به ترتیب ۳۰/۸، ۵۹/۶۲ و ۵۳/۸۵ درصد بود (جدول ۲ و ۳). مقدار مواد آلی باقیمانده در پایان فرایند برای توده‌های W0، W1 و W2 به ترتیب ۵۱/۹۶، ۳۲/۱۴ و ۳۹/۱۷ درصد بود (جدول ۳) که نشان دهنده تثبیت بیشتر مواد آلی در W1 و W2 است. این مسئله را می‌توان به دلیل استفاده از عوامل حجیم کننده و در نتیجه تخلخل بیشتر و نسبت C/N مناسب‌تر در این توده‌ها دانست (۱۴، ۲۸، ۲۹). علیرغم اینکه استفاده از خاک اره باعث بهبود هوادهی در توده‌ها می‌شود، تجزیه ناپذیر بودن این زائدات به دلیل وجود ترکیبات لیگنوسلولزی باعث کمتر شدن میزان تجزیه مواد آلی در توده‌ها می‌شود که با توجه به جدول ۳ می‌توان فهمید که در W2 با وجود خاک اره بیشتر، درصد مواد آلی باقیمانده در پایان فرایند بیشتر است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که W1 ترکیب بهتری برای کمپوست سازی است. در مطالعه‌ای که توسط Petric و همکاران در سال ۲۰۱۲ در ارتباط با کمپوست مشترک فضولات مرغداری و پسماند شهری انجام شد، با توجه به اینکه برای انجام این مطالعه از نسبت‌های مختلف پسماند، فضولات مرغداری، خاک اره و کمپوست رسیده استفاده شد، از میان سه نسبت مخلوط تهیه شده، بیشترین کاهش میزان مواد آلی در توده با نسبت ۶۰ درصد پسماند، ۲۰ درصد فضولات مرغداری، ۱۰ درصد کمپوست رسیده و ۱۰ درصد خاک اره مشاهده شد که در حدود ۷۰/۸۱ درصد مواد آلی در طی ۲۲ روز کمپوست سازی کاهش یافت (۱۱). در مطالعه دیگری که توسط Wang و همکاران (۲۰۱۴) در ارتباط با کمپوست سازی از فضولات مرغداری و پامیس به عنوان عامل حجیم کننده انجام شد، بعد از ۶۰ روز مواد آلی کمپوست از ۷۹/۳ درصد به ۴۶ درصد کاهش یافت (۶). که نتایج این مطالعه (حدود ۳۳ درصد کاهش مواد آلی) فقط با نتایج W0 در مطالعه حاضر مطابقت دارد ولی با نتایج توده‌هایی که در آنها از خاک اره استفاده شده است همخوانی وجود ندارد که می‌تواند به دلیل استفاده از عوامل حجیم کننده معدنی (پامیس) در این مطالعه باشد. به طور کلی مقدار مشخصی برای کیفیت کمپوست از نظر مواد آلی وجود ندارد و مقدار مناسب مواد آلی موجود در کمپوست باید با در نظر گرفتن سن کمپوست، محتوای نیتروژن و هدف از تولید کمپوست (محل مصرف کمپوست) مشخص شود (۲۲، ۲۳).

استفاده از خاک اره به عنوان عامل حجیم کننده باعث افزایش نسبت C/N فضولات مرغداری به مقدار بهینه، یعنی در حدود ۲۵ تا ۳۵ به ۱ خواهد شد (۳۰). با توجه به جدول ۲ نسبت C/N اولیه در توده‌های W0، W1 و W2 به ترتیب ۱۰/۲۷، ۲۴/۵۶ و ۴۰/۳۱ است. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، روند تغییرات نسبت C/N به صورت کاهشی بوده و در پایان فرایند، نسبت‌های C/N برای سه توده به ترتیب به ۹/۱۶، ۱۱/۳ و ۱۸/۱۳ کاهش یافت که از این نظر نتایج به دست آمده با مقالات مشابه در این زمینه منطبق بود (۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۶). به نظر می‌رسد، خاک اره به عنوان عامل حجیم کننده، در طول زمان در نظر گرفته شده برای کمپوست سازی، نمی‌تواند به‌طور کامل تجزیه شود و این ماده بیشتر از نظر ایجاد تخلخل کمک می‌کند تا به عنوان منبع کربن. با توجه به جدول ۲، توده‌های W1 و W2 در دامنه C/N بهینه (۲۵-۳۵) قرار دارند (۹، ۱۸) و W0 مقدار C/N کمتری برای کمپوست سازی دارد. محققین مختلف، مقادیر متفاوتی را به عنوان نسبت C/N ایده آل در محصول کمپوست پیشنهاد کرده‌اند که این مقادیر می‌تواند کمتر از ۱۲ تا کمتر از ۲۵ باشد، ولی مقدار بهینه نسبت C/N معمولا بستگی به نوع مواد اولیه مورد استفاده دارد (۲۲، ۲۹). به عنوان مثال Karthick و همکاران (۲۰۲۰) نسبت C/N کمتر از ۲۰ را به عنوان شاخص کمپوست رسیده معرفی نمودند (۳۱). به هر حال در پایان

www.SID.ir

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

فرایند زمانی که ترکیبات کربنه سریع تجزیه پذیر کاهش یافت، نسبت C/N در تمامی توده‌ها به کمتر از ۲۰ می‌رسد که به عنوان کمپوست مناسب می‌توان از آن در زمین‌های کشاورزی استفاده نمود (جدول ۳).

با توجه به جدول ۲، در ابتدای فرایند pH در دامنه اسیدی تا خنثی قرار داشته و پس از آن روند صعودی آغاز شده که ممکن است به دلیل رها شدن آمونیاک ناشی از تجزیه مواد آلی توسط فعالیت‌های میکروبی باشد و بعد از آن تا هفته دوم کمپوست سازی مقدار pH روندی کاهشی به خود می‌گیرد که می‌تواند به دلیل تشکیل اسیدهای آلی ناشی از تجزیه مواد آلی باشد (۱۷، ۱۹). پس از آن روند صعودی-نزولی تغییرات pH ادامه پیدا کرد تا درنهایت pH کمپوست در دامنه خنثی تا قلیائی قرار گرفت که از نظر قابلیت استفاده در زمین‌های کشاورزی، مناسب است. بنابراین می‌توان گفت که نسبت اختلاط عامل حجیم کننده با فضولات، تاثیر زیادی بر روی pH نداشته است، که نتایج حاصل از مطالعه Lu و همکاران (۲۰۲۰) نیز این موضوع را تایید می‌کند (۳۲). نتایج به دست آمده از این مطالعه (۷/۴۴ تا ۷/۸۱) با نتایج مطالعات دیگر مثل Yaghmaeian و همکاران (۲۰۰۵) که میزان pH در پایان فرایند در رنج اسیدی تا قلیائی قرار گرفت همخوانی داشت (۱۵). در مطالعه Gao و همکاران (۲۰۱۰) که در زمینه کمپوست سازی از فضولات مرغی و خاک اره انجام شد، میزان pH نهایی در روز پایانی در توده‌های مختلف به ۷/۴ تا ۷/۸ رسید که با نتایج به دست آمده برای pH در این مطالعه مطابقت دارد (۱۴). مقدار pH در توده کنترل بیشتر از دو توده دیگر بود که می‌تواند به علت مقادیر بالاتر ازت در این توده در مقایسه با W1 و W2 باشد.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقدار هدایت الکتریکی (EC) در توده‌های اولیه بین ۳/۳ تا ۵/۸ mS/cm بود که با شروع مرحله ترموفیلیک مقدار آن کمی افزایش یافته و پس از آن مجددا کاهش تدریجی آغاز شده و در محصول نهایی به مقدار ۱/۵۵-۲/۸۵ mS/cm می‌رسد (جدول ۳). با توجه به جدول ۱، عوامل حجیم کننده معمولا دارای هدایت الکتریکی کمتری هستند بنابراین مقادیر زیاد هدایت الکتریکی در مخلوط‌های اولیه، بیشتر مربوط به فضولات مرغی است که باعث شده مقدار EC در توده کنترل بیشتر از بقیه توده‌ها و در W1 نیز بیشتر از W2 باشد. در مطالعه Gao نیزکه بر روی کمپوست سازی از فضولات مرغداری و خاک اره در سه توده و با میزان هوادهی‌های مختلف انجام شد، با شروع فاز ترموفیلیک و افزایش دما مقدار EC افزایش پیدا کرد و در ادامه و تا پایان فرایند روندی کاهشی داشت (۷). همان طور که توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است، کاهش هدایت الکتریکی در مراحل پایانی کمپوست سازی ممکن است به دلیل تبخیر آمونیاک و کمپلکس شدن املاح معدنی در مواد آلی باشد (۲۲). در نهایت، مقایسه توده‌های مختلف نشان داد همبستگی معنی‌داری بین هدایت الکتریکی و دما در کمپوست سازی از فضولات مرغداری و خاک اره وجود دارد (جدول ۴).

با توجه به جدول ۲، تعداد کلیفرم‌های کل در توده‌های W0، W1 و W2 در ابـتـدای فرایند $۱/۳\times۱۰^{۷}$، $۲/۲۶\times۱۰^{۶}$ و $۱/۶۹\times۱۰^{۶}$ MPN/gDW بود، سپس این باکتری‌ها در انتهای فرایند در سه توده به ترتیب به ۱۵۱/۶ MPN/gDW، ۵ و حد غیر قابل تشخیص رسیدند (جدول ۳). با توجه به جدول ۳ و نمودار ۱، در توده W0 به علت کم بودن دمای حداکثری و مدت زمان کم مرحله ترموفیلیک، کاهش کلیفرم‌های کل نسبت به دو توده دیگر کمتر است. تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در هر سه توده در ابتدا نزدیک به تعداد کلیفرم‌های کل بود. کاهش مشخصی در تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در مرحله ترموفیلیک مخصوصا در W1 و W2 مشاهده شد. براساس نتایج Aboutayeb و همکاران (۲۰۲۱) کلیفرم‌های کل در توده‌های زیر و رو شده در مرحله پایانی کمپوست سازی (مرحله پایداری) مقادیر پایین‌تری را دارند به جز یک توده که در آن افزایش کمی (از $۳/۸۱\times۱۰^{۱}$ به $۴/۶۶\times۱۰^{۱}$) مشاهده شد (۳۳). در کل نتایج این مطالعه نشان داد که مرحله ترموفیلیک باعث کاهش شدید جمعیت میکروارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن در هر دو توده کمپوست مخصوصا W1 شده است. Awasthi و همکاران (۲۰۱۹)، گزارش کردند که دماهای زیاد در داخل توده کمپوست باعث از بین رفتن بسیاری از گروه‌های میکروبی مانند کلیفرم‌های کل و مدفوعی می‌گردد ولی نوع مواد زائد

www.SID.ir
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

مورد استفاده جهت کمپوست سازی نیز تاثیر زیادی در میزان پاتوژن‌های کمپوست نهایی دارد (۲۴).

در ابتدای کمپوست سازی از فضولات مرغداری، به دلیل وجود مواد آلی در دسترس و ترکیبات نیتروژنه، تجزیه سریع میکروبی مواد با غالب شدن باکتری‌ها شروع می‌شود، در حالی‌که قارچ‌ها و اکتینومایست‌ها در مراحل پایانی، مواد دیر تجزیه پذیر را به آرامی تجزیه می‌کنند (۱۴). با توجه به نمودار ۲، در کلیه توده‌ها در ابتدا مقدار این پارامتر تا حدودی افزایش می‌یابد، که این افزایش بستگی به نسبت اختلاط فضولات با عامل حجیم کننده داشته و متناسب با دمای ایجاد شده در داخل توده‌ها است. پس از کاهش دما، فعالیت دهیدروژناز نیز کاهش یافته و تا پایان فرایند این روند کاهشی همچنان ادامه می‌یابد. با توجه به اینکه حداکثر دمای ایجاد شده در W1 رخ می‌دهد، حداکثر فعالیت آنزیم دهیدروژناز نیز در این توده مشاهده شد. افزایش سریع فعالیت دهیدروژناز در هفته‌های ابتدایی فرایند کمپوست سازی در اثر اکسیداسیون ترکیبات آلی سریع تجزیه پذیر توسط این آنزیم به وجود آمد (۱۷، ۳۴). با توجه به نمودار ۲، پس از گذشت ۱۰ هفته از فرایند، تغییرات زیادی در فعالیت این آنزیم مشاهده نشد که نشان دهنده مصرف منابع کربن و انرژی سریع تجزیه شونده برای میکروارگانیسم‌ها و تثبیت کمپوست است. نتایج مشابهی توسط Kong و همکاران (۲۰۱۸)، در کمپوست‌سازی از فضولات مرغداری و Vargas-Garcia و همکاران (۲۰۱۰)، مشاهده شده است (۱۷، ۳۴). براساس نتایج به دست آمده توسط Ge و همکاران (۲۰۲۰)، مقدار حدودی ۰/۶ TPF/gDW.h را می‌توان به عنوان میزان رسیدگی مناسب برای کمپوست در نظر گرفت. مقادیر نهایی ۰/۲۲ تا ۰/۷۵ TPF/gDW.h در این مطالعه، نشان دهنده این است که کمپوست به دست آمده از این روش دارای تثبیت کافی است (۱۳).

با توجه به جدول ۳، مقدار رطوبت در هر سه توده بالاتر از حد استانداردهای ایران، USEPA و WHO بود که البته می‌توان رطوبت اضافی موجود در کمپوست را با قرار دادن توده در برابر نور خورشید یا با هوادهی بیشتر به حد استاندارد رساند. با توجه به جدول ۳، مقدار مواد آلی در محصول کمپوست توده W0 بالاتر از هر سه استاندارد بود ولی در W1 و W2 در حد استاندارد بود. نسبت C/N در کمپوست حاصل از توده W0 کمتر از حد استانداردهای ذکر شده بود، ولی میزان نسبت C/N در محصول کمپوست W1 در حد استاندارد USEPA و در W2 در حد استاندارد ایران بود (جدول ۳). با توجه به جدول ۳، مقدار ازت آلی در کمپوست W0 بالاتر از حد استاندارد بود ولی در کمپوست W1 و W2 به ترتیب در حد استاندارد ایران و WHO قرار داشت. با توجه به اینکه مقدار pH محصول نهایی در هر سه توده بین ۷/۴۴ تا ۷/۸۱ بود، در نتیجه در حد استانداردهای مورد نظر بود. میزان هدایت الکتریکی در محصول کمپوست سه توده در رنج ۱/۵۵ تا ۲/۸۵ mS/cm بود که با استانداردهای ایران و WHO مطابقت داشت. میزان کلیفرم‌های مدفوعی در محصول توده‌های W0، W1 و W2 به ترتیب ۲۵۰، غیر قابل تشخیص و غیر قابل تشخیص بود که از نظر این پارامتر همه توده‌ها به حد هر سه استاندارد رسیده‌اند. با توجه به مقایسه نتایج مطالعه حاضر با استانداردهای ملی و بین المللی می‌توان پی برد که W1 بهترین ترکیب برای کمپوست سازی است و W2 نیز در اغلب پارامترها با استانداردهای موجود مطابقت داشت. در نتیجه از محصول کمپوست توده‌های W1 و W2 می‌توان جهت حاصلخیزی و اصلاح خاک استفاده کرد.

با توجه به جدول ۴، رابطه pH و رطوبت به صورت مستقیم و معنی‌دار است (r=۰/۴۸-۰/۵۸) و البته در صورتی که میزان رطوبت بالاتر از حد نرمال (۶۵-۵۰ درصد) باشد این ارتباط می‌تواند به صورت معکوس هم اتفاق بیفتد (۹، ۱۹). چون در این مطالعه سعی بر آن شد که رطوبت توده‌ها در حد نرمال باشد در نتیجه این رابطه به صورت مستقیم بود. علاوه بر این، رابطه بین رطوبت و دما در هر دو توده نیز به صورت مستقیم بود (r=۰/۲۹-۰/۴۴) که این رابطه در W2 معنی‌دار است، چون میکروارگانیسم‌ها جهت انجام متابولیسم نیاز به رطوبت دارند و کاهش آن باعث کند شدن فعالیت میکروبی می‌شود (۲۹). ارتباط رطوبت و EC در توده‌های W1 و W2 به صورت مستقیم و معنی دار بوده (r=۰/۸۹-۰/۹۲) که با توجه به مستقیم بودن رابطه میزان فعالیت میکروبی و رطوبت، این امر باعث تجزیه بیشتر مواد آلی و در نتیجه افزایش مقدار EC می‌شود.

www.SID.ir

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

رابطه رطوبت و نسبت C/N به صورت مستقیم و معنی‌دار است (r=۰/۸۹-۰/۹۲) که با گذشت زمان کمپوست سازی این دو پارامتر کاهش پیدا می‌کنند. رابطه رطوبت و فعالیت آنزیم دهیدروژناز نیز به صورت مستقیم بود (r=۰/۴۶-۰/۵۴) که با مطالعه Nafez و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد (۹). ارتباط pH و دما در هر دو توده به صورت مستقیم و معنی‌دار بود (r=۰/۶۲-۰/۶۶) زیرا بیشترین میکروارگانیسم‌های فعال در طی کمپوست سازی را باکتری‌ها تشکیل می‌دهند و pH مناسب برای فعالیت بهتر آنها محیط قلیایی است، در نتیجه افزایش pH باعث فعالیت بیشتر باکتری‌ها و افزایش دمای توده کمپوست می‌شود. رابطه pH و EC در هر دو توده نیز مستقیم و معنی‌دار بود (r=۰/۴۲-۰/۵۰). چون افزایش pH باعث افزایش فعالیت میکروبی و معدنی شدن بیشتر مواد آلی و در نتیجه افزایش EC می‌شود. رابطه pH و میزان فعالیت آنزیم دهیدروژناز در هر دو توده مستقیم و معنی‌دار است (r=۰/۸۰-۰/۸۳) و علت آن هم تاثیر pH بر فعالیت میکروبی بوده است. رابطه دما با نسبت C/N و EC در دو توده به شکل مستقیم بوده (r=۰/۹۲-۰/۹۶) و در W2 معنی‌دار هم بود چون دمای بالا باعث تجزیه بیشتر مواد آلی و در نتیجه افزایش مقدار EC می‌شود. همچنین دما رابطه‌ای مستقیم و معنی‌دار با فعالیت آنزیم دهیدروژناز در هر دو توده دارد (r=۰/۸۰-۰/۸۹). به دلیل محدودیت‌های زمانی و عدم وجود بودجه کافی، امکان اندازه گیری سایر پارامترهای موثر در تثبیت و رسیدگی کمپوست حاصل از زائدات مرغداری وجود نداشت. بنابراین، با توجه به اهمیت اندازه گیری فعالیت‌های تنفسی و آنزیمی در توده‌های کمپوست و نقش آنها در تعیین میزان تثبیت، لازم است مطالعات تکمیلی در مورد اندازه گیری این پارامترها در کمپوست سازی از فضولات مرغداری در ترکیب با عوامل حجیم کننده مختلف مثل زائدات کشاورزی انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود از روش‌های مختلف مثل روش راکتوری و یا توده‌های ثابت هوادهی شده به منظور تولید کمپوست از مخلوط فضولات مرغداری همراه با خاک اره استفاده شود و نتایج به دست آمده برای تعیین بهترین روش کمپوست سازی از این فضولات با یکدیگر مقایسه شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به تغییرات دما و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در توده‌های مختلف، استفاده از نسبت ۱ به ۱ فضولات مرغداری و خاک اره بهترین نسبت است، چون در این توده بیشترین دما و مدت زمان نگهداری دما و بیشترین تجزیه مواد آلی حاصل شد. براساس استانداردهای کمپوست خصوصیات کمپوست تولیدی برای استفاده در زمین‌های کشاورزی مناسب بود. نسبت C/N بسته به نوع مواد اولیه و نسبت‌های اختلاط دارای مقادیر متفاوتی بود که باعث می‌شود نسبت C/N در کمپوست حاصل از توده‌های مختلف نیز مقادیر متفاوتی داشته باشد و استفاده از این شاخص برای بررسی میزان رسیدگی و تثبیت کمپوست مناسب نباشد. در این تحقیق مشخص شد که با استفاده از عوامل حجیم کننده در توده‌ها، روند تغییرات فعالیت آنزیم دهیدروژناز همبستگی بهتری را با تغییرات دما نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان از فعالیت آنزیم دهیدروژناز به عنوان شاخصی برای بررسی میزان تثبیت کمپوست فضولات مرغداری استفاده نمود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. کد اخلاق مقاله KUMS.REC.1395.430 است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "بررسی پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی و شاخص‌های تثبیت و رسیدگی در طی فرایند کمپوست سازی از مخلوط فضولات مرغداری و خاک اره به روش ویندرو" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۵ و کد ۹۵۴۳۰ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی کرمانشاه اجرا شده است.

www.SID.ir
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

References

1. Abdellah YAY, Zang H, Li C. Steroidal estrogens during composting of animal manure: persistence, degradation, and fate, a review. Water, Air, & Soil Pollution. 2020;231(11):1-19.

2. Hilimire K, Gliessman SR, Muramoto J. Soil fertility and crop growth under poultry/crop integration. Renewable Agriculture and Food Systems. 2013;28(2):173-82.

3. Jalili M, Mokhtari M, Ebrahimi A, Boghri F. An investigation on in-vessel composting of pistachio residuals with different additions. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(3):411-20 (in Persian).

4. Manesh MK, Rezazadeh A, Kabiri S. A feasibility study on the potential, economic, and environmental advantages of biogas production from poultry manure in Iran. Renewable Energy. 2020;159:87-106.

5. Fahimi A, Bilo F, Assi A, Dalipi R, Federici S, Guedes A, et al. Poultry litter ash characterisation and recovery. Waste Management. 2020;111:10-21.

6. Wang K, Li X, He C, Chen C-L, Bai J, Ren N, et al. Transformation of dissolved organic matters in swine, cow and chicken manures during composting. Bioresource Technology. 2014;168:222-28.

7. Gao M, Li B, Yu A, Liang F, Yang L, Sun Y. The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust. Bioresource Technology. 2010;101(6):1899-903.

8. Chen H, Awasthi SK, Liu T, Duan Y, Ren X, Zhang Z, et al. Effects of microbial culture and chicken manure biochar on compost maturity and greenhouse gas emissions during chicken manure composting. Journal of Hazardous Materials. 2020;389:121908.

9. Nafez AH, Nikaeen M, Hassanzadeh A, Kadkhodaei S. Changes in microbial populations during co-composting of dewatered sewage sludge with pruning wastes in windrow piles. Biodiversitas. 2020;21(10):4655-62.

10. Jonidi Jafari A, Farzadkia M, Gholami M, Mohagheghi M. The efficiency of composting on the degradation of antibiotic metronidazole as a pharmaceutical waste. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;11(2):271-80 (in Persian).

11. Petric I, Helić A, Avdić EA. Evolution of process parameters and determination of kinetics for co-composting of organic fraction of municipal solid waste with poultry manure. Bioresource Technology. 2012;117:107-16.

12. Zhou Y, Awasthi SK, Liu T, Verma S, Zhang Z, Pandey A, et al. Patterns of heavy metal resistant bacterial community succession influenced by biochar amendment during poultry manure composting. Journal of Hazardous Materials. 2021;420:126562.

13. Ge M, Zhou H, Shen Y, Meng H, Li R, Zhou J, et al. Effect of aeration rates on enzymatic activity and bacterial community succession during cattle manure composting. Bioresource Technology. 2020;304:122928.

14. Gao M, Liang F, Yu A, Li B, Yang L. Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios. Chemosphere. 2010;78(5):614-19.

15. Yaghmaeian K, Malakoutian M, Noori SM. Comparison between windrow and pit composting of poultry wastes, leaves and garbage of municipal solid waste in Damghan, Iran. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2005;2(1):22-27.

16. Nadia OF, Xiang LY, Lie LY, Anuar DC, Afandi MPM, Baharuddin SA. Investigation of physico-chemical properties and microbial community during poultry manure co-composting process. Journal of Environmental Sciences. 2015;28:81-94.

17. Kong Z, Wang X, Liu Q, Li T, Chen X, Chai L, et al. Evolution of various fractions during the windrow composting of chicken manure with rice chaff. Journal of Environmental Management. 2018;207:366-77.

18. Thompson W, Leege P, Millner P, Watson M. Test

www.SID.ir

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

Archive of SID

Methods for the Examination of Composting and Compost. USA: The United States Composting Council Research and Education Foundation; 2001.

19. Nafez A, Nikaeen M, Bina B, Hassanzadeh A, Moghim S. Evaluation of stability and maturity parameters in wastewater sludge composting with different aeration on strategies and a mixture of green plant wastes as bulking agent. Fresenius Environmental Bulletin. 2015;24(7):2406-14.

20. Rodger B, Bridgewater L. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington DC: American Public Health Association; 2017.

21. Obuotor T, Odeyemi O. An evaluation of the phytotoxicity of municipal solid waste during co-composting with different animal manures. Nigerian Journal of Biotechnology. 2017;33(1):89-96.

22. Saghi MH, Ghorbannezhad P, Bay A, Saeidi F. Physico-chemical changes and maturity evaluation of composts from wood residue mixed with sewage sludge and chicken manure. International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture. 2021;10(2):175-84.

23. Mokhtari M, Salehi Vaziri A, Zareyi T, Jalili M. An investigation on feasibility of composting of Yazd WWT dewatered sludge with windrow method using different treatments. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;9(4):493-502 (in Persian).

24. Awasthi MK, Chen H, Duan Y, Liu T, Awasthi SK, Wang Q, et al. An assessment of the persistence of pathogenic bacteria removal in chicken manure compost employing clay as additive via meta-genomic analysis. Journal of Hazardous Materials. 2019;366:184-91.

25. Li M-X, He X-S, Tang J, Li X, Zhao R, Tao Y-Q, et al. Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting. Chemosphere. 2021;264:128549.

26. Bian B, Hu X, Zhang S, Lv C, Yang Z, Yang W, et al. Pilot-scale composting of typical multiple agricultural wastes: Parameter optimization and mechanisms. Bioresource Technology. 2019;287:121482.

27. Kristanto GA, Rahmah SA. Assessment of compost maturity using the static respirometry index. Reaktor. 2019;18:194-201.

28. Zhang W, Yu C, Wang X, Hai L. Increased abundance of nitrogen transforming bacteria by higher C/N ratio reduces the total losses of N and C in chicken manure and corn stover mix composting. Bioresource Technology. 2020;297:122410.

29. Nafez A.H, Nikaeen M, Hatamzadeh M, Nabavi B.F, Hassanzadeh A, Evaluate the change in population of coliform bacteria and Salmonella spp. in composting process of municipal wastes. Journal of Health System Research. 2013;9(8):837-50.

30. Thomas C, Idler C, Ammon C, Amon T. Effects of the C/N ratio and moisture content on the survival of ESBL-producing Escherichia coli during chicken manure composting. Waste Management. 2020;105:110-18.

31. Karthick K, Vasudevan M, Natarajan N. Utilization of feacal sludge waste for co-composting process with partially digested biosolids. In: Ghosh SK, editor. Sustainable waste management: Policies and case studies. New York: Springer; 2020. p. 561-70.

32. Lu W, Ye R, Ming Z, Pan C, Abbas Y, Stegmann R, et al. Performance evaluation in composting of sewage sludge with different bulking agents. Journal of Environmental Engineering. 2020;146(6):05020002.

33. Aboutayeb R, Soufiane E-M, Zouhri A, Idrissi O, Khalid A. Hygienization assessment during heap co-composting of Turkey manure and olive mill pomace. Eurasian Journal of Soil Science. 2021;10(4):332-42.

34. Vargas-García M, Suárez-Estrella F, López M, Moreno J. Microbial population dynamics and enzyme activities in composting processes with different starting materials. Waste management. 2010;30(5):771-78.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]

www.SID.ir

Archive of SID

Iran. J. Health & Environ., 2022, Vol. 15, No.1

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Evaluation of stability and maturity indices during composting process from a mixture of poultry waste and sawdust by windrow method

Asghar Yavari[1], Mehdi Moradi Nazar[1], Seyedeh Maryam Sharafi[2], Amir Hossein Nafez[1,2,3,*], Meghdad Pirsaheb[1]

1- Research Center for Environmental Determinants of Health (RCEDH), Health Institute, School of Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran
2- Environment Research Center, Research Institute for Primordial Prevention of Non-Communicable Diseases, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3-Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 14 February 2022
Revised: 13 March 2022
Accepted: 16 March 2022
Published: 11 June 2022

Keywords: Composting, Windrow method, Poultry waste, Sawdust, Stability indices

***Corresponding Author:**
amirnafez@hlth.mui.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: It is important to determine the quality of the compost to use compost properly. The aim of this study was to determine the effect of mixing ratio of bulking agent on stability and maturity indices in poultry waste compost.

Materials and Methods: Two piles of sawdust mixture with poultry wastes and volume ratios of 1:1 (W1) and 2:1 (W2) were prepared by Windrow method and a pile containing poultry manure was used as control (W0). In order to determine the stability and maturity indices in compost, the most important physicochemical and biological parameters were studied.

Results: The thermophilic phase lasted about 7 weeks for W1 and about 4 weeks for W2. The initial C/N ratios in the W0, W1 and W2 were 27.10, 31.40 and 56.24, respectively, which eventually reached less than 20. The reduction of organic matter in the three piles was 8.30%, 62.59% and 85.53%, respectively. The thermophilic phase caused a sharp decrease in the population of indicator and pathogenic microorganisms in all piles. The highest dehydrogenase activity in W1 pile was 2.95 mgTPF/gDW.h and by decreasing temperature until the last day, its value decreased to 0.29 mgTPF/gDW.h.

Conclusion: The best ratio for mixing sawdust with poultry manure was 1:1 (v:v). Microbial and enzymatic activities are useful parameters for monitoring poultry composting process and determining the rate of compost stability, and the use of this compost in agriculture will improve soil quality.

Please cite this article as: Yavari A, Moradi Nazar M, Sharafi SM, Nafez AH, Pirsaheb M. Evaluation of stability and maturity indices during composting process from a mixture of poultry waste and sawdust by windrow method. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(1):1-16.

Copyright © 2022 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

www.SID.ir

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2022-06-26]