

Enriched Biocompost production from rice straw using biotechnology approaches at pilot scale

Reza Sharafi 

PhD student, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail address: rezasharafi86@yahoo.com

Gholamreza Salehi Jouzani 

*Corresponding author. Professor, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail address: gsalehi@abrii.ac.ir

Ebrahim Karimi 

Instructor, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail address: ekarimi@abrii.ac.ir

Hossein Ghanavati 

Assistant professor, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail address: ghanavatih@abrii.ac.ir

Mojegan Kowsari 

Assistant professor, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail address: kowsari@abrii.ac.ir

Abstract

Objective

Various type of agricultural waste is produced annually in the world, which have not found special application in many parts of the world. Using microorganisms with high hydrolysis activity to convert waste into compost is one of the alternative methods of incineration. In the present study, after screening the enzymatic activity of *Thermoascus aurantiacus*, *Trichoderma sp*, *Bacillus licheniformis*, *Nocardioopsis alba* and *B. subtilis bacteria* along with the optimization of other additives, the possibility of compost production from rice straw was investigated.

Materials and methods

One fungal and three bacterial strains were isolated from another compost and their hydrolysis power were evaluated on specific media. Compost production was performed by optimizing the additives along with the superior microorganisms including M1 (*Bacillus licheniformis*, *Nocardiopsis alba*, *B. Subtilis* and *Thermoascus aurantiacus*) and M2 (*Bacillus licheniformis*, *Nocardiopsis alba*, *B. subtilis* and *Trichoderma sp.*) in enzymatic activity in the form of 6 treatments with 3 replications for 8 weeks. Physicochemical properties of temperature, pH, EC, C/N ratio, amount of heavy metals and nutrients, toxicity and impact on wheat growth during eight weeks were investigated.

Results

Studies showed that fungal strain *T. aurantiacus* and three bacterial strains *Bacillus licheniformis*, *Nocardiopsis alba* and *B. subtilis* has the highest enzymatic activity in the breakdown of xylan, cellulose, lignin and starch. Treatment G (containing poultry manure and *T. aurantiacus*) caused a significant increase in temperature of rice straw mass (63 °C) and also a significant decrease in C/N ratio (73.48%) (at the pilot level). Germination index test showed that G treatment did not have phytotoxicity and had the most positive effect on wheat growth indexes compared to the control.

Conclusions

According to the comparison of treatments with and without microorganisms, it was found that the hydrolysis power of *T. aurantiacus* has the most positive effect on physicochemical properties, especially reducing the C/N ratio and can be used as a commercial additive in compost production.

Keywords: Rice straw, Biocompost, Microbial booster, Pilot.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Sharafi R, Salehi Jouzani G, Karimi E, Ghanavati H, Kowsari M (2023) Enriched Biocompost production from rice straw using biotechnology approaches at pilot scale. *Agricultural Biotechnology Journal* 15 (3), 165-196.

Agricultural Biotechnology Journal 15 (3), 165-196. DOI: 10.22103/jab.2023.21086.1460

Received: May 31, 2023.

Received in revised form: July 19, 2023.

Accepted: July 20, 2023.

Published online: September 30, 2023.


Publisher: Faculty of Agriculture and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman-Iranian Biotechnology Society.



© the authors


تولید بیوکمپوست غنی شده از پسماندهای برنج به روش‌های بیوتکنولوژیک در سطح

پایلویت

 رضا شرفی


دانشجوی دکتری، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه:

rezasharafi86@yahoo.com

 غلامرضا صالحی جوزانی


* نویسنده مسئول: استاد پژوهشی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

رایانامه: gsalehi@abrii.ac.ir

 ابراهیم کریمی


مربی پژوهشی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه:

ekarimi@abrii.ac.ir

 حسین قنواتی

استاد یار، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه:

ghanavatih@abrii.ac.ir

 مژگان کوثری

استاد یار، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه:

kowsari@abrii.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۹

چکیده

هدف: سالیانه در جهان میلیون‌ها تن پسماند کشاورزی تولید می‌شود که با وجود پتانسیل استفاده در صنایع مختلف، در بسیاری از نقاط دنیا کاربرد خاصی پیدا نکرده‌اند. برای نمونه از ۱۱۵۰ میلیون تن کاه و کلش برنج تولیدی، ۸۰ درصد آن سوزانده می‌شود که سوزاندن یک تن آن باعث تولید ۲-۲/۲ کیلوگرم انواع گازهای گلخانه‌ای و سایر آسیدهای زیست محیطی می‌شود. استفاده از ریزجانداران دارای فعالیت هیدرولازی بالا در راستای تبدیل پسماندها به کمپوست، یکی از روش‌های جایگزین سوزاندن به شمار

می‌رود. در تحقیق حاضر پس از جداسازی، خالص‌سازی و غربال فعالیت آنزیمی قارچ *Thermoascus aurantiacus* و *Trichoderma sp* و باکتری‌های *Bacillus licheniformis*، *Nocardiosis alba* و *B. subtilis* در کنار بهینه‌سازی سایر افزودنی‌ها، امکان تولید کمپوست از کاه و کلش برنج بررسی شد.

مواد و روش‌ها: یک سویه قارچی و سه سویه باکتری به عنوان سویه‌های برتر از توده کمپوست دیگری جداسازی و توان هیدرولازی آنها روی محیط‌های اختصاصی ارزیابی شد. تولید کمپوست با بهینه‌سازی مواد افزودنی به همراه دو پروه میکروارگانسیم شامل M_1 (*Bacillus licheniformis*، *Nocardiosis alba*، *B. Subtilis* و قارچ *Thermoascus aurantiacus*) و M_2 (*Bacillus licheniformis*، *Nocardiosis alba*، *B. subtilis* و قارچ *Trichoderma sp.*) در قالب ۸ تیمار با ۳ تکرار به مدت ۸ هفته انجام شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی تغییرات دما، pH، EC، نسبت C/N، میزان فلزات سنگین و عناصر غذایی، میزان سمیت و تاثیر بر روی رشد گندم در طی هشت هفته بررسی شد.

نتایج: بررسی‌ها نشان داد سویه قارچی *T. aurantiacus* و سه سویه باکتری *Nocardiosis*، *Bacillus licheniformis* و *B. Subtilis alba* بیشترین فعالیت آنزیمی در تجزیه زایلان، سلولز، لیگنین و نشاسته داشتند. تیمار G (واجد کود مرغی و M_1) سبب افزایش معنی‌دار دمای توده کاه و کلش برنج تا ۶۹ درجه سلسیوس و همچنین کاهش معنی‌دار نسبت C/N به میزان ۷۳/۴۸ درصد در فرآیند تولید کمپوست (در سطح پایلوت) شد. آزمون شاخص جوانه‌زنی نشان داد تیمار G هیچ گونه سمیت گیاهی روی بذر مدل نداشته و بیشترین تاثیر مثبت را بر روی شاخص‌های رشد گندم به ویژه شاخص سطح برگ و شاخص سطح ویژه برگ نسبت به شاهد داشت. همچنین آنالیز خصوصیات فیزیکوشیمیایی تیمار G با استاندارد ملی تولید کمپوست همخوانی داشت.

نتیجه‌گیری: با توجه به مقایسه تیمارهای واجد میکروارگانسیم و فاقد آن مشخص شد توان هیدرولیزی *T. aurantiacus* دارای بیشترین تاثیر مثبت بر خواص فیزیکوشیمیایی به ویژه کاهش نسبت کربن به نیتروژن کمپوست داشته و می‌تواند به عنوان افزودنی تجاری در تولید کمپوست در نیل به کاهش زمان تولید و افزایش کیفیت محصول نهایی مطرح شود.

کلیدواژه‌ها: کاه و کلش برنج، بیوکمپوست، بوستر میکروبی، پایلوت.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: شرفی رضا، صالحی جوزانی غلامرضا، کریمی ابراهیم، فنواتی حسین، کوثری مژگان (۱۴۰۲) تولید بیوکمپوست غنی شده از پسماندهای برنج به روش‌های بیوتکنولوژیک در سطح پایلوت. *مجله بیوتکنولوژی کشاورزی*، ۱۵(۳)، ۱۶۵-۱۹۶.

Publisher: Faculty of Agriculture and Technology Institute of Plant
Production, Shahid Bahonar University of Kerman-Iranian
Biotechnology Society.



© the authors

جمعیت جهانی و به دنبال آن، گرایش مصرف انرژی روز به روز در حال افزایش است و این در حالی است که گسترش منابع تولید به هیچ وجه متناسب با این رویه حرکت نمی‌کند. استفاده صحیح از بقایای محصولات کشاورزی به عنوان بخش مهمی از منابع تجدیدپذیر انرژی، سهم بسزایی در اصلاح سیر مصرف انرژی در کشاورزی دارد (Chandel et al. 2012). حجم وسیعی از اراضی جهان به کشت برنج (*Oryza sativa* L.) اختصاص داده می‌شود و سالانه نزدیک به ۱۰۰۰ تا ۱۱۵۰ میلیون تن کاه و کلش (۴/۵-۵ تن در هکتار) و نزدیک به ۱۴۰-۱۳۰ میلیون تن سبوس برنج تولید می‌شود. از این میزان، کمتر از ۲۰ درصد به عنوان علوفه و مصارف دیگر استفاده می‌شود و ۸۰ درصد بقیه سوزانده شده یا در مزرعه باقی می‌ماند (Santos et al. 2017). در ساختار شیمیایی کاه و کلش برنج میزان زیادی از کربوهیدرات، سلولز، همی سلولز و لیگنین یافت می‌شود که کلید واژه اساسی به منظور استفاده از پتانسیل آن در تولید کمپوست به شمار می‌آیند. کلش برنج را می‌توان زیست‌توده لیگنوسلولزی در نظر گرفت که حاوی ۳۸٪ سلولز، ۲۵٪ همی سلولز و ۱۲٪ لیگنین است (Wu et al. 2020). سوزاندن بقایای گیاهی عوارض ناخوشایندی را بر جای گذاشته و سلامت محیط زیست را به خطر می‌اندازد، زیرا میکروارگانیسم‌ها و حشرات مفید را از بین برده و از طرفی ساختار بافت خاک را نیز تخریب می‌کند. باقی ماندن بقایای گیاهی پس از برداشت محصول، معضل بزرگی برای کاشت محصولات بعدی شده است. مشخص شده است که سوزاندن یک تن کاه و کلش برنج منجر به تولید ۲-۲/۲ کیلوگرم انواع گازهای گلخانه‌ای از قبیل متان و اکسید نیتروژن وارد محیط زیست می‌کند (Nguyen et al. 2016). علاوه بر ظرفیت موجود کاه و کلش برنج به منظور تهیه کمپوست، سطح زیر کشت زیتون در کشور حدود ۸۴ هزار هکتار در سال ۹۵ بوده است. میزان تولید سالانه زیتون نیز در کشور حدود ۱۰۲ هزار تن است که بخشی از این میزان برای تولید روغن زیتون استفاده می‌شود. میزان تولید سالانه روغن زیتون در کشور حدود ۵ تا ۱۰ هزار تن است و تقریباً حدود ۷۰۰۰ تن نیز از خارج از کشور وارد می‌شود. به ازای هر تن روغن زیتون تا حدود ۱۲۰۰ کیلوگرم تفاله مرطوب تولید می‌شود بنابراین می‌توان انتظار داشت که میزان تفاله زیتون تولیدی در کشور سالانه حدود ۱۲ هزار تن باشد. از این میزان درصد کمی برای تهیه کمپوزیت و یا خوراک دام استفاده می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که می‌توان از تفاله زیتون برای تولید کمپوست استفاده کرد. تفاله زیتون به دلیل دارا بودن اسیدهای چرب و ترکیبات فنلی و لیگنوسلولز حاوی ترکیبات هیومیکی بالایی است (Suluk et al. 2017).

از سوی دیگر کود مرغی با دارا بودن میزان بالای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به عنوان یک افزودنی در کمپوست محسوب می‌تواند آن را به عنوان منبع نیتروژن در نظر گرفت. در تحقیقی که توسط Chen et al. (2020) صورت پذیرفت نشان داده شد که افزودن کود مرغی به کمپوست نه تنها به عنوان یک منبع نیتروژن دارای اهمیت است بلکه مجموعه میکروارگانیسم‌های موجود در آن به منظور بهبود روند کمپوستینگ و رسیدن به بلوغ دارای کارایی کلیدی هستند. افزودن کود مرغی به فرآیند کمپوست مانع تولید آمونیاک بیش از حد مجاز و همچنین کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای شد (Chen et al. 2020). به طور کلی تبدیل اقتصادی کاه و کلش برنج، تفاله زیتون و کود مرغی به فرآورده‌های زیستی با ارزش می‌تواند به عنوان یکی از مناسب‌ترین

راهکارها برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست بوده، و از طرفی باعث بهره‌برداری اقتصادی و تبدیل آن به یک ماده زیستی باشد. کمپوست کردن عبارت است از تجزیه مواد آلی توسط مجموعه‌ای از میکروارگانیسم‌ها در یک محیط گرم و مرطوب. در حقیقت عمل کمپوست شدن یک شکل طبیعی از چرخه زندگی (زنجیره غذایی) است که به طور پیوسته در طبیعت رخ می‌دهد (Gummert et al. 2020). کمپوست تهیه شده از کاه و کلش برنج با استفاده از قارچ‌ها، اکتینومیسیت‌ها و باکتری‌های واجد آنزیم‌های تجزیه‌کننده مواد سلولزی، ماده‌ای مناسب برای بستر گیاه است. کمپوست‌نهایی، از یک سو مواد غذایی مورد نیاز گیاه را در طول رشد تامین می‌کند و همچنین با توجه به غنی بودن از میکروارگانیسم‌های سودمند، مانع از رشد و تکثیر بسیاری از قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی نیز می‌شود. (Chi et al. 2020). امروزه در جهان و به ویژه در کشورهای صنعتی و تولیدکننده کودهای شیمیایی، تأثیر منفی و زیان‌بار کودهای شیمیایی بر زیست بوم مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. از این رو، در کشورهای مزبور تدابیری برای کاهش مصرف این مواد اتخاذ شده است. کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، چند سالی است که برای رفع این مشکل در جستجوی راه‌حلی برای کاهش مصرف این مواد هستند. کمپوست یکی از مناسب‌ترین راه‌ها برای تبدیل پسماندهای آلی به محصولات با ثبات‌تر که برای رشد گیاه مفید هستند و همچنین به عنوان یک روش جایگزین سازگار با محیط زیست است (Gummert et al. 2020). یکی از مهمترین عوامل در فرآیند تولید کمپوست، میگرورگانیسم‌های موجود در آن است که نقش مهمی در کیفیت کمپوست تولیدی داشته باشد (Xu et al. 2019) لذا تحقیقات گوناگونی در زمینه تعیین میکروارگانیسم‌های مهم در تغییر پسماندها به کمپوست انجام شده است. هرچه میکروارگانیسم‌های موجود از قدرت تجزیه‌کنندگی آنزیمی قوی‌تری برخوردار باشند، مدت زمان فرآیند کوتاه‌تر شده که این موضوع از لحاظ اقتصادی حائز اهمیت است (Ryckeboer et al. 2003; Kaur et al. 2019). با توجه به حجم بالای تولید کاه و کلش برنج در کشور، پتانسیل بکارگیری این زیست‌توده عظیم در تولید کمپوست و مزایای ماهوی آن که به تفصیل اشاره شد و همچنین مشکلات سوزاندن کاه و کلش تولیدی در مزارع کشت برنج ایران و آثار منفی زیست‌محیطی چنین فرآیندی؛ در این تحقیق امکان تولید فرآورده زیستی کمپوست از کاه و کلش برنج با بکارگیری میکروارگانیسم‌های دارای فعالیت آنزیمی مناسب در جهت تخریب ساختار لیگنوسلولزی کلش برنج مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه سویه‌های میکروبی و قارچی: بدین منظور نمونه‌ای از توده در حال تجزیه پسماندهای کشاورزی تهیه و در بسته‌های زیپ کیپ در شرایط خنک به آزمایشگاه منتقل شد. ده گرم از این توده در ارلن ۵۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر سرم فیزیولوژیک سترون ریخته و نیم ساعت در شیکرانکوباتور تیمار شد. از سوسپانسیون به دست آمده، یک میلی‌لیتر به روش سری رقت در محیط کشت باکتریایی (Tryptic Soy Agar) و محیط کشت قارچی (Potato Dextrose Agar) حاوی اسید لاکتیک یک

هزارم درصد تلقیح و در انکوباتور تحت دمای ۶۰ درجه سلسیوس نگهداری شد. کلنی‌های به دست آمده بر پایه شکل و اندازه و رنگ، جداسازی شده و برای غربال فعالیت هیدرولازی سویه‌های به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفتند (Bandounas et al. 2011).

ارزیابی فعالیت هیدرولازی سویه‌های میکروبی و قارچی-آزمون تولید سلولاز: به منظور بررسی تولید این

آنزیم ابتدا محیط کشت شامل ۲/۵ گرم کربوکسی متیل سلولز، ۰/۴ گرم کربنات پتاسیم، ۰/۰۲ گرم کلرید کلسیم، ۰/۰۲ گرم سولفات آهن (۲) ۰/۰۲ گرم کلرید سدیم و ۱۵ گرم آگار در یک لیتر آب دیونیزه تهیه شد. پتری دیش‌های حاوی این محیط کشت به صورت لکه‌ای توسط سویه‌های قارچی تلقیح و به مدت یک هفته در دمای ۲۸°C نگهداری شدند. پس از این مدت، پتری دیش‌ها با استفاده از معرف کنگو قرمز (۱۰۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه) آغشته و به مدت ۱ دقیقه رها شده و سپس با کلرید سدیم یک نرمال، کنگو قرمز را شسته و تولید هاله روشن بررسی شد. تشکیل هاله بی‌رنگ پیرامون کلنی، نشانه تولید سلولاز است (Kausar et al. 2011).

آزمون تولید زایلاناز: برای بررسی تولید این آنزیم ابتدا محیط کشت شامل ۱% NH₄NO₃، 0.5% KH₂PO₄،

0.1% MgSO₄.7H₂O، 0.01% CaCl₂.2H₂O، 0.01% NaCl، 0.01% MnSO₄.H₂O، 2.0% agar، 0.5% xylan در یک لیتر آب دیونیزه تهیه شد. پتری دیش‌های حاوی این محیط کشت به صورت لکه‌ای توسط سویه‌های قارچ تلقیح و به مدت یک هفته در دمای ۲۸°C نگهداری شدند. پس از این مدت، پتری دیش‌ها با استفاده از معرف کنگو قرمز (۱۰۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه) آغشته شده و به مدت ۱ دقیقه رها شدند و سپس با کلرید سدیم یک نرمال، کنگو قرمز را شسته و تولید هاله روشن بررسی شد. تشکیل هاله بی‌رنگ پیرامون کلنی، نشانه تولید زایلاناز است (Vasconcelos et al. 2019).

آزمون تولید لیگنیناز: برای بررسی تولید این آنزیم ابتدا محیط کشت شامل 1 (gr) (NH₄)₂HPO₄، 0.02 (gr) گرم

، 0.02 (gr) MgSO₄.7H₂O، 2 (gr) yeast extract، 2 (gr) glucose، 0.1 (gr) azure B (0.01% w/v)، KCl، ۱۵ گرم آگار در یک لیتر آب دیونیزه (pH 7.5 ± 0.2) تهیه شد. پتری دیش‌های حاوی این محیط کشت به صورت لکه‌ای توسط سویه‌های قارچ تلقیح و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۸°C نگهداری شدند. رشد کلنی میکروبی بر روی محیط کشت، نشانه داشتن آنزیم لیگنیناز است (Kausar et al. 2011).

آزمون تولید آنزیم تجزیه‌کننده نشاسته (SDA): محیط کشت حاوی نشاسته ۱۰٪ تهیه و پتری دیش‌های حاوی

آن صورت لکه‌ای توسط سویه‌های قارچ تلقیح و ۷۲ ساعت در دمای ۲۸°C نگهداری شدند. کلنی در حال رشد با محلول ید (۱۰٪) قوطه ور شده و ۳۰ ثانیه در این حالت قرار داده شدند. در صورتی که نشاسته هیدرولیز نشده باشد با ید واکنش داده و محیط به رنگ بنفش تیره در می‌آید در صورتی که هیدرولیز نشاسته توسط میکروارگانیسم رشد کرده بر روی پتری دیش انجام شده باشد هاله‌ای روشن ایجاد می‌شود (Kausar et al. 2011).

شناسایی مولکولی سویه‌های نهایی: برای این منظور، از ناحیه ریپوزومی 16SrDNA جهت سویه‌های باکتریایی

نهایی از جفت پرایمر 27F-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG و 1492R- TACGGYTACCTTGTTACGACTT (Palkova et al. 2021) و برای شناسایی سویه‌های نهایی قارچی نیز از جفت پرایمر ITS1 – TCCGTAGGTGAACCTGCGG و ITS4 – TCCTCCGCTTATTGATATGC استفاده شد. (Raja et al. 2017)

تهیه مایه تلقیح میکروبی (اینوکولوم): سه سویه باکتریایی شامل *Bacillus subtilis*، *B. licheniformis* و

Nocardiosis alba واجد فعالیت هیدرولازی در شرایط بهینه هر یک از سویه‌ها با 10^9 cfu/ml تهیه شد (شکل ۱). برای این منظور محیط کشت باکتریایی مایع Tryptic Soy Broth به میزان ۵۰ میلی‌لیتر در ارلن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری اتوکلاو و سپس به میزان یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون سویه‌های میکروبی در شرایط استریل به آنها تلقیح شد. ارلن‌ها در دمای 28°C به میزان ۳ روز با دور rpm ۱۵۰ تا رسیدن به جمعیت به میزان 10^9 نگهداری شدند. میزان غلظت نهایی کوکتل میکروبی در هر گرم از تیمارهای مورد استفاده 10^6 /gr بود. سویه قارچی *Thermoascus aurantiacus* واجد فعالیت هیدرولازی و یک سویه *Trichoderma* sp. از کلکسیون کشت میکروبی پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی هم ابتدا در محیط کشت جامد Potato Dextrose Agar تکثیر شد (شکل ۲). در ادامه، بلوک‌هایی از کشت PDA برای تولید اینوکولوم قارچی بر روی سبوس گندم سترون شده انداخته و در انکوباتور تحت دمای 50°C تا زمان پر شدن بافت میسلیمی قارچ بر روی سبوس گندم انکوبه شد. در خلال این دوره نیز هر دو روز یکبار هوادهی ارلن‌های محتوی سبوس و بلوک قارچی با دست انجام شد (Parkash & Saikia 2016). ترکیب تیمارهای میکروبی مورد استفاده در فرآیند تولید کمپوست شامل دو گروه M_1 (*Bacillus licheniformis*، *Nocardiosis alba*) و M_2 (*Bacillus licheniformis*، *Nocardiosis alba*)، قارچ *Thermoascus aurantiacus* و قارچ *subtilis* و قارچ *Trichoderma* sp. بودند.



شکل ۱. کشت باکتری و قارچ جهت استفاده در تولید کمپوست از تیمارهای کاه و کلش برنج

Figure 1. Cultivation of fungal and bacterial for use in compost production from rice straw treatments



شکل ۲. تهیه مایه تلقیح قارچی بر روی سبوس گندم در شرایط سترون

Figure 2. Preparation of fungal inoculum on wheat bran under sterile conditions

جمع‌آوری کاه و کلش برنج و آماده‌سازی بستر تولید کمپوست: کاه و کلش برنج باقی‌مانده در مزرعه را قبل

آتش زدن جمع‌آوری نموده سپس به کمک دستگاه خرد کن کلش به قطعاتی در محدوده ۱-۳ سانتی‌متری خرد تا تاثیر میکروارگانیسم‌ها در طول پروسه بر روی کلش بیشتر و همچنین فرآیند با سرعت بالاتری انجام شود. در ادامه، زیر ساخت لازم برای تولید کمپوست در اشل آزمایشگاهی انجام گرفت. بدین منظور از بشکه‌های پلاستیکی که در آنها سوراخ‌های متعددی ایجاد شده بود (به منظور هوادهی مناسب) به عنوان کمپوسترهای آزمایشگاهی بهره‌برداری شد (شکل ۳).



شکل ۳. بشکه‌های تهیه شده به منظور ایجاد بستر تولید کمپوست

Figure 3. Barrels prepared for the production of compost

تنظیم نسبت کربن به نیتروژن مواد اولیه: با توجه به بالا بودن میزان کربن در کاه و کلش و همچنین اهمیت تنظیم

نسبت کربن به نیتروژن اولیه در فرآیند تولید کمپوست، این نسبت بر اساس فرمول زیر (Azim et al. 2014) در تیمارهای مد نظر تنظیم شد. در این فرمول با جایگزینی مقادیر اولیه اندازه‌گیری شده کربن، نیتروژن و میزان رطوبت، میزان حدودی نسبت C/N در آغاز فرآیند محاسبه شد. میزان هر یک از افزودنی‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شود که نسبت C/N در تیمارها ۶۰ به دست آید. از کاه و کلش برنج بدون هیچ افزودنی به عنوان شاهد استفاده شد.

$$\frac{C}{N} = \frac{Q1[C1 \times (100-M)] + Q2[C2 \times (100-M)] + \dots}{Q1[N1 \times (100-M)] + Q2[N2 \times (100-M)] + \dots} \quad \text{رابطه ۱}$$

Qn: وزن ماده nم مقدار کربن ماده nم Nn: مقدار نیتروژن ماده nم Mn: درصد رطوبت ماده nم

تیماربندی واحدهای آزمایشی و پایلوت به منظور تولید بیوکمپوست: آزمایشات در قالب طرح کامل تصادفی و با

۳ تکرار انجام گرفت. پیش از شروع فرآیند، کاه و کلش گردآوری شده از مزارع برنج به مدت ۳ روز در آب خیسانده و پس از اضافه کردن افزودنی‌های مد نظر همانند فرمول C/N سطح آزمایشگاهی، تولید بیوکمپوست به صورت ویندرو (ریسه‌ای) پیاده شد. در ادامه فرآیند، رطوبت در حد ۶۰ درصد و هوادهی بصورت ۳ تا ۵ روز یک بار انجام شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی بیوکمپوست تولیدی هر سه تیمار صورت هفتگی همانند آزمون‌های در سطح آزمایشگاهی بررسی شدند. پس از انتخاب بهترین تیمارهای تولید بیوکمپوست در سطح آزمایشگاهی (جدول ۱)، ۲ تیمار برتر در سطح آزمایشگاه (H و G) به همراه شاهد (A) برای تولید بیوکمپوست در سطح پایلوت (۲۰۰۰ کیلوگرم) مورد استفاده و مقایسه قرار گرفت.

جدول ۱. تیمارهای طراحی شده جهت استفاده در فرآیند تولید کمپوست

Table 1. Treatments designed for use in compost production process

تیمار میکروبی	تفاله زیتون	اوره (گرم)	کود مرغی	کاه و کلش	تیمارها
Microbial Treatments	(کیلوگرم)	Urea (gr)	(کیلوگرم)	(کیلوگرم)	Treatments
	Olive mill waste (Kg)		chichen manure (Kg)	Rice straw (Kg)	
-	0	0	2.2	6	A
-	0	100	0	8.2	B
-	1.5	0	1.7	5	C
-	1.5	100	0	6.7	D
M ₁	0	0	2.2	6	G
M ₂	0	0	2.2	6	H
M ₁	0	100	0	8.2	I
M ₂	0	100	0	8.2	J

اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکوشیمیایی فرآیند تولید کمپوست

اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکوشیمیایی طی فرآیند تولید کمپوست - اندازه‌گیری دما: این پارامتر به صورت

روزانه از میانگین سه ناحیه توده در حال کمپوست شدن، با استفاده از ترمومتر دیجیتالی و در ساعت مشخص از روز انجام گرفت.

اندازه‌گیری pH: مقداری از کمپوست را با نسبت ۱ به ۱۰ با آب مخلوط کرده، سپس به مدت یک ساعت در انکوباتور

شیکردار نگهداری و با استفاده از دستگاه pH متر اندازه‌گیری صورت گرفت (Liu et al. 2018).

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC): مقداری از کمپوست را با نسبت ۱ به ۱۰ با آب مخلوط کرده و سپس با استفاده

از دستگاه EC متر، مقدار EC بر حسب dS/m تعیین شد (Liu et al. 2018).

اندازه‌گیری درصد کربن، درصد خاکستر و مواد جامد فرار: برای اندازه‌گیری درصد کربن لازم است در ابتدا،

درصد خاکستر مشخص شود برای این منظور ۱۰ گرم از کمپوست در بوته چینی که از قبل وزن شده قرار می‌دهیم. پس از نگهداری

نمونه‌ها به مدت ۴ ساعت در کوره تحت دمای 550°C ، درصد خاکستر و مواد جامد فرار با توجه به فرمول مربوطه (Tiquia &

2019; Hubner et al. 1998) محاسبه می‌شود.

اندازه‌گیری نیتروژن کل: برای اندازه‌گیری نیتروژن کل از روش کج‌لال استفاده شد (Tiquia & Tam 1998).

اندازه‌گیری میکرو و ماکروالمنت‌ها: به منظور ارزیابی غلظت یون‌های کاتیونی و آنیونی از دستگاه کروماتوگرافی یونی

(Metrohm سوئیس مدل ۸۵۰۰) برابر با شیوه نامه شرکت به شرح زیر استفاده شد. بدین منظور ابتدا ۰/۱ گرم وزن خشک نمونه

در تیوب ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال به آن افزوده شد (برای تهیه اسید کلریدریک ۰/۱

نرمال، ۸۳۳ میکرولیتر از اسید کلریدریک با درجه خلوص ۳۵٪ و دانسیته ۱/۱۸ و وزن ملکولی ۳۶/۴۶ را در استوانه مدرج به حجم

یک لیتر رسانده شد). تیوب‌ها به مدت چهار ساعت در بن‌ماری (80°C) همراه با شیک قرار داده شدند. پس از آن نمونه‌ها به مدت

۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری و سپس به مدت پنج دقیقه در 7000°C دور با دمای محیط سانتیفریوژ شدند. محتوای داخل تیوب‌ها

توسط کاغذ صافی واتمن درون فالكون مخصوص دستگاه فیلتر شده و pH محلول اندازه‌گیری شد. چنانچه pH محلول ۲ و یا بالای

۲ باشد بدون رقیق کردن آماده قرار دادن درون دستگاه است؛ در غیر این صورت باید توسط آب مقطر دوبار تقطیر، رقیق شود.

استانداردهای کاتیون توسط دستگاه خوانده شده و سپس نمونه‌ها درون دستگاه قرار می‌گیرند. روش اندازه‌گیری آنیون‌ها مشابه

کاتیون‌ها بوده با این تفاوت که در مرحله دوم به جای اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال، از آب دوبار تقطیر استفاده شد و در مرحله آخر

استانداردهای آنیون درون دستگاه قرار گرفت (Liu et al. 2018).

آزمون ارزیابی سمیت گیاهی (فیتوتوکسیسیته): شاخص درصد جوانه‌زنی (SG) حساس‌ترین پارامتر برای ارزیابی

سمیت کمپوست به شمار می‌رود این آزمون در ارزیابی عدم سمیت کمپوست نهایی برای کشت گیاهان بسیار ضروری است. از جمله

بذرهای مورد استفاده بذرهای شاهی (ترتیزک)، تربچه و جو است که در این پروژه از بذر ترتیزک (*Lepidium sativum*) استفاده

شد. برابر با ارزیابی‌های انجام شده، اگر شاخص جوانه‌زنی بیش از ۸۰ درصد باشد کمپوست عملاً عاری از هر گونه مواد فیتوتوکسیک

است (Pourmazaheri et al. 2015; Abdel-rahman et al. 2016).

ارزیابی تاثیر کمپوست نهایی بر شاخص های رشد: به منظور ارزیابی تاثیر کمپوست نهایی به دست آمده بر صفات رویشی در اندام های هوایی گیاه گندم، آزمایشی در شرایط گلخانه در بازه ۴۵ روزه و همچنین با درصدهای وزنی صفر (به عنوان شاهد)، ۱۰ و ۲۰ پیاده شد. شاخص های مورد اندازه گیری عبارت بودند از: ارتفاع بوته، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، سطح ویژه برگ (Ribeiro et al. 2017).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها: آزمایش ها به صورت طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. برای تجزیه و تحلیل آماری داده ها از نرم افزار SPSS استفاده شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی فعالیت هیدرولازی سویه های میکروبی: از نمونه های مورد آزمایش، ۱۱ باکتری و ۴ قارچ بر پایه رنگ، شکل و اندازه جداسازی و خالص سازی شدند. ارزیابی های هیدرولازی آن ها نشان داد به جز باکتری های C، G و J که فاقد فعالیت سلولازی بود، سایر باکتری ها توانایی تجزیه زایلان، سلولز و لیگنین داشتند که در این بین، سه سویه E، F و H در مقایسه با سایر باکتری ها بیشترین فعالیت آنزیمی از خود به نمایش گذاشتند. از طرف دیگر در میان چهار سویه قارچی، تنها سویه N بیشترین فعالیت آنزیمی در تجزیه زایلان، سلولز و لیگنین را داشت. بررسی ها همچنین نشان داد ۵ سویه باکتریایی و ۲ سویه قارچی قادر به تجزیه نشاسته بودند که در نهایت با توجه به تحمل دمای بالا (۶۰ درجه سلسیوس) سه سویه باکتریایی E، F و H و یک سویه قارچی N برای فرآیند تولید کمپوست برگزیده شدند (جدول ۴-۱).

شناسایی مولکولی سویه های میکروبی: آزمون های مولکولی و توالی یابی نشان داد ۳ سویه باکتریایی متعلق به گونه های *Bacillus subtilis*، *Nocardiopsis alba*، *Bacillus licheniformis* و *Thermoascus aurantiacus* است.

نتایج آنالیز تغییرات فیزیکی شیمیایی کمپوست در سطح آزمایشگاهی-تغییرات دمایی طی فرآیند تولید کمپوست در سطح آزمایشگاه: بررسی ها نشان داد کمترین تغییرات دمایی فرآیند کمپوستینگ در دو تیمار A و B وجود داشت. بالاترین تغییرات دمایی نیز در دو تیمار G و H تا بازه ۶۰/۰۲°C دیده شد. به بیان بهتر دو تیمار A و B نتوانستند فازهای دمایی شناخته شده تولید کمپوست (مزوفیل، ترموفیل، کولینگ و مرحله بلوغ) را کامل کنند در صورتیکه دو تیمار G و H به خوبی همه فازهای دمایی را از هفته سوم آزمایش به بعد را کامل طی کردند (شکل ۴).

جدول ۲. ارزیابی فعالیت هیدرولازی سویه‌های قارچی و باکتری جداسازی شده

Table 2. Evaluation of hydrolysis activity of isolated fungal and bacterial strains

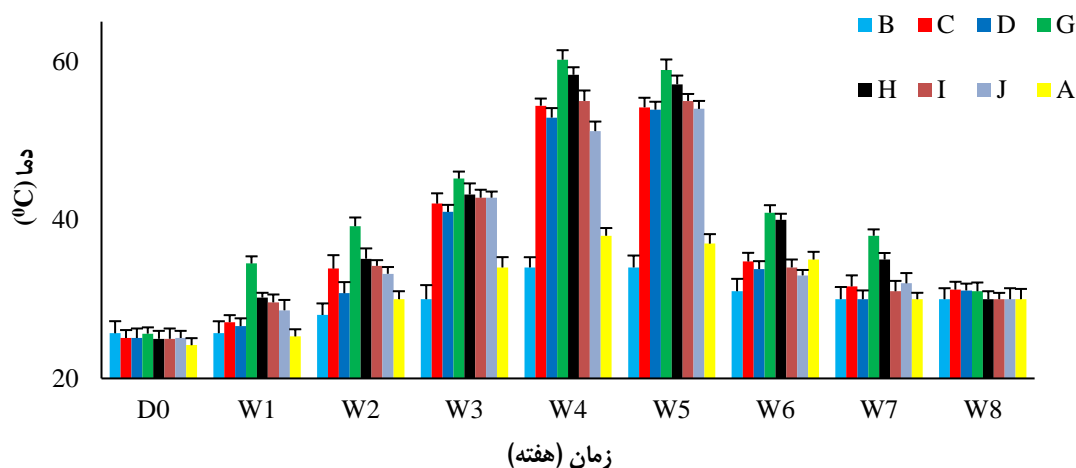
فعالیت زایلاتازی Xylanase activity	فعالیت لیگنینازی Ligninase activity	فعالیت سلولازی Cellulose activity	هیدرولیز نشاسته SDA	
Bacterial Strains		سویه‌های باکتریایی		
5/1 ^d	4/9 ^d	7/4 ^b	+	A
1/5 ^g	1/8 ^h	2/1 ^d	+	B
1 ^h	2/5 ^f	0 ^g	-	C
3/1 ^e	2/9 ^e	1/1 ^f	-	D
7/1 ^b	7/2 ^b	7/7 ^{ab}	+	E
7/9 ^a	6/6 ^c	7/9 ^a	+	F
1/7 ^g	2/2 ^g	0 ^g	-	G
6/8 ^c	8/1 ^a	7/9 ^a	+	H
1 ^h	1/1 ⁱ	1/3 ^e	-	I
2/2 ^f	3/1 ^e	0 ^g	-	J
1 ^h	1/9 ^h	2/5 ^c	-	K
Fungal Strains		سویه‌های قارچی		
2/2 ^c	1/7 ^d	3/2 ^b	-	M
7/9 ^a	7/5 ^a	7/9 ^a	+	N
3 ^b	2/5 ^b	3/1 ^b	-	O
2/8 ^b	2/2 ^c	3/2 ^b	+	P

میانگین‌ها با حروف بالانویس مختلف در یک ستون دارای اختلاف معنادار هستند ($p < 0.01$)

Means with different superscript letters in a column are significantly different ($p < 0.01$).

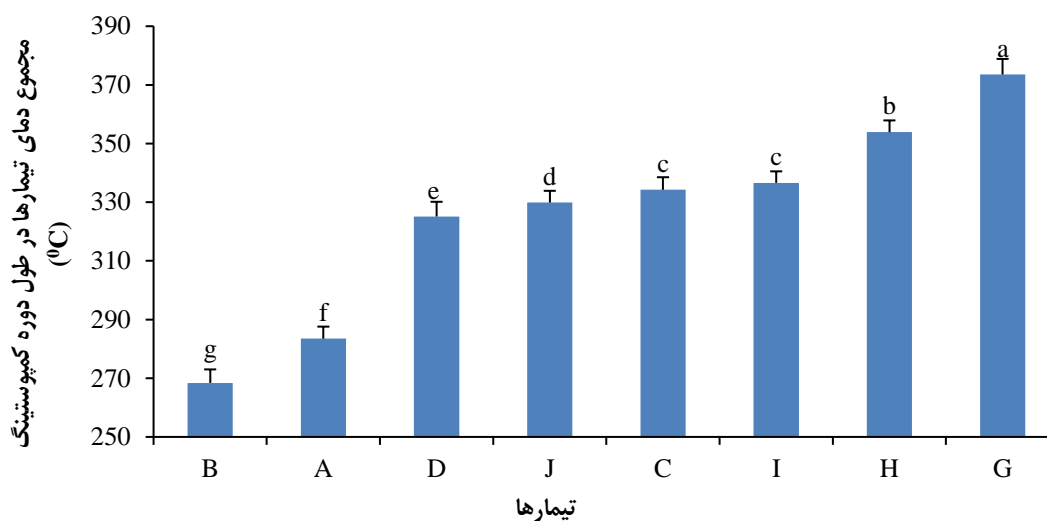
در تحقیق مشابه به منظور تولید بیوکمپوست از پسماندهای آشپزخانه نتایج نشان داد شروع رشد دما از روز دوم آغاز شد و در نهایت دما به $60/2^{\circ}\text{C}$ نیز رسید در انتهای فرآیند کمپوستینگ تیمارها دمای 25°C را نشان دادند (Nair et al. 2006). افزایش دمای کمپوستینگ نه تنها منجر به از بین رفتن پاتوژن‌های گیاهی می‌شود بلکه همزمان موجب افزایش فعالیت‌های میکروارگانیسم‌های ترموفیل می‌شود (Nakasaki et al. 1985). همچنین آنالیز تجمیع دمایی تیمارها نیز نتایج مشابهی نشان داد

(شکل ۵) فرآیند تولید کمپوست در دو تیمار G و H بهتر از سایر تیمارها تکمیل شده و تجزیه مواد آلی در این دو تیمار نسبت به سایر تیمارها از سرعت بالاتری برخوردار بود. با مقایسه دو تیمار A با B و همچنین تیمار C با D نشان داده شد در تیمارهای دارای کود مرغی مجموع دمایی طی کمپوستینگ بیشتر از تیمارهای دارای اوره بود که این مهم به علت وجود میکروارگانیسم‌های فعال در کود مرغی بود. در تحقیق مشابه استفاده از کود مرغی به عنوان یک افزودنی به کمپوست کلش برنج منجر به افزایش دما در فاز ترموفیل، تسریع در بلوغ کمپوست و همچنین کاهش پاتوژن‌های موجود در کمپوست در مقایسه با تیمار کنترل بود که علت این امر وجود میکروارگانیسم‌های فعال در کود مرغی بیان شد (Yaldız et al. 2019; Tiquia & Tam 1998). همچنین مقایسه دوتیمار G و H با تیمار A نشان داد میکروارگانیسم‌ها نقش کلیدی در افزایش دما در طول کمپوستینگ داشتند. از سوی دیگر مقایسه تیمار G با تیمار H و همچنین مقایسه تیمار I با تیمار J نشان داد میکروارگانیسم‌های M₁ نتیجه بهتری نسبت به M₂ داشتند که این مهم نشان داد میکروارگانیسم‌های M₁ دارای فعالیت لیگنینازی بیشتری نسبت به میکروارگانیسم‌های M₂ بودند. نتایج مشابه نشان داد که استفاده از میکروارگانیسم‌هایی مانند *Chytridiomycota*، *Mucoromycota* و *Ascomycota* منجر به افزایش دما در مرحله ترموفیل فرآیند کمپوست شد (Duan et al. 2019). از سوی دیگر مقایسه تیمارهای C و D با دو تیمار A و B نشان‌دهنده تاثیر مثبت تفاله زیتون بر افزایش دما در سیکل‌های دمایی در کمپوست بود. وجود میکروارگانیسم‌های مفید در تفاله زیتون منجر به افزایش دما در طی کمپوستینگ می‌شوند (Canet et al. 2008). تحقیقات نشان داده در صورت تکمیل صحیح سیکل‌های دمایی خصوصا در فاز ترموفیل تجزیه مواد آلی به بهترین نحو انجام می‌شود (Yaldız et al. 2019; Chen et al. 2020) لذا این جهت دو تیمار یاد شده برای سطح پایلوت، مناسب ارزیابی شدند.



شکل ۴. تغییرات دمایی تیمارها طی تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح آزمایشگاهی. D0: روز شروع. W: هفته

Figure 4. Temperature changes of treatments during the production of compost from rice straw at the lab-scale. D0: Initial day. W: Week

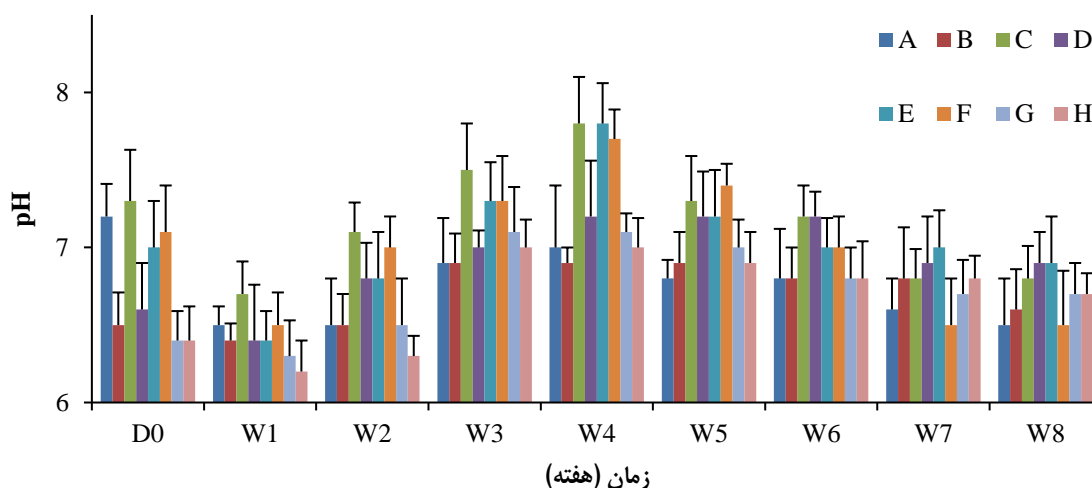


شکل ۵. مجموع دمای هر تیمار در طول دوره تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح آزمایشگاهی

Figure 5. Total temperature of each treatment during the production period of compost from rice straw at the lab-scale

تغییرات pH طی فرآیند تولید کمپوست در سطح آزمایشگاه: در تیمارهای دارای کود مرغی در هفته نخست کاهش pH تا ۵/۸ دیده شد. در تحقیق مشابه به منظور بررسی تاثیر کود مرغی بر کمپوست کلش برنج نتایج نشان داد تیمارهای دارای کود مرغی در ابتدای کمپوستینگ دارای افت pH بودند. سپس با گذشت زمان از کمپوستینگ میزان pH افزایش و در مرحله رسیدگی pH = ۷ شد (Karanja et al. 2019). در تحقیق حاضر از هفته دوم نیز میزان pH آهنگ افزایشی پیدا کرد. در تیمارهای H و G در فاز ترموفیلیک pH = ۸ شد. مطالعات نشان می‌دهد در ابتدای فرآیند کمپوستینگ به علت شروع فعالیت‌های میکروارگانیسم‌ها و تولید اسیدهای آلی شاهد افت میزان pH هستیم. در ادامه روند، میکروارگانیسم‌های موجود در کمپوست با تبدیل نیتروژن معدنی به نیتروژن آمونیاکی موجب افزایش pH و قلیایی شدن محیط می‌شوند (Gao et al. 2010). افزایش pH به دلیل تشکیل آمونیاک مرتبط با تخریب پروتئین و تجزیه اسیدهای آلی، همزمان است با حداکثر فعالیت میکروارگانیسم‌ها که این حالت به صورت ویژه در فاز ترموفیلیک بیشتر دیده می‌شود (Husks 2018). با توجه به تکمیل بهتر فازهای دمایی در دو تیمار G و H در ادامه فرآیند کمپوستینگ این دو تیمار مشاهده شد که در فاز کولینگ میزان pH آهنگ کاهشی به خود گرفت. مشاهدات نشان می‌دهد با ادامه روند تولید کمپوست، آمونیاک در اتمسفر رها می‌شود و یا در اثر نیتیرفیکاسیون به نیترات و سپس توسط باکتری‌های نیتروزوموناس به نیتريت تبدیل می‌شوند. این موضوع زمینه کاهش pH در پایان کمپوستینگ را بوجود می‌آورد که بر پایه مطالعات انجام شده بهترین pH در بازه ۶ تا ۸ است (Duan et al. 2019). در پایان آزمایش نیز میزان pH دو تیمار G و H به ترتیب ۶/۸ و ۶/۴ ثبت شد (شکل ۶). تیمارهای حاوی میکروارگانیسم‌های M₁ (I و G) دارای pH بالاتری نسبت به تیمارهای حاوی میکروارگانیسم‌های M₂ (H و J) بودند که تأثیر میکروارگانیسم‌های M₁ را بر افزایش pH در این تیمارها نشان

داد. تحقیقات مشابه نشان داد که بازه pH در کمپوست‌های مختلف بین ۳ تا ۱۱ ثبت شده است. در کمپوست‌هایی که از کود حیوانی استفاده شده میزان pH تا ۸ نیز افزایش یافته است (Nair et al. 2006). در پژوهشی روشن بر روی کمپوست ترکیبی کلش برنج به همراه کود مرغی که به منظور ارزیابی تاثیر قارچ اسپریلوس بر تجزیه هرچه بیشتر مواد لیگنینی انجام شد نتایج نشان داد در مراحل اولیه کمپوست pH به صورت قلیایی بود. اما در مراحل پایانی کاهش میزان pH به دلیل تولید اسیدهای آلی و از دست دادن آمونیاک، در نهایت در پایان کمپوستینگ، تمامی تیمارها pH در محدوده ۷ را نشان دادند (Jagwe et al. 2019).

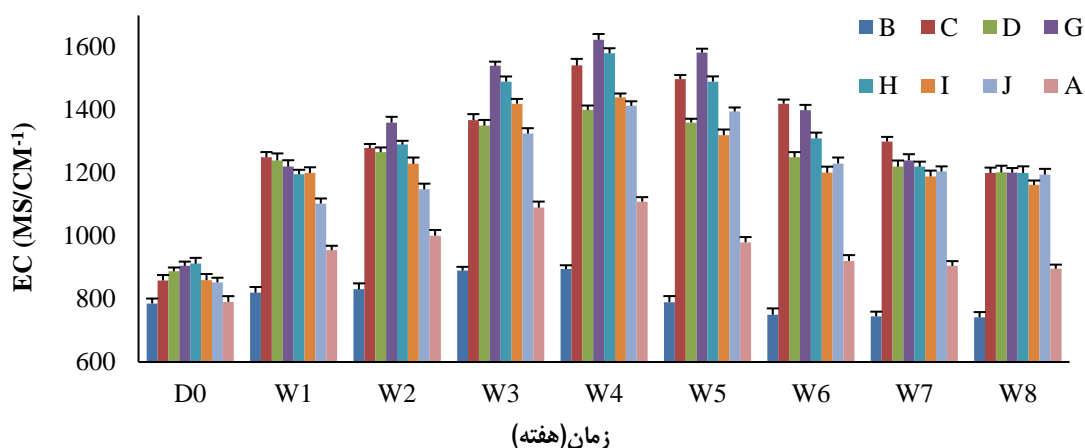


شکل ۶. تغییرات pH تیمارها طی تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح آزمایشگاهی. D0: روز شروع. W: هفته

Figure 6. Changes in pH of treatments during compost production from rice straw at the lab-scale. D0: Initial day. W: Week

تغییرات EC طی فرآیند تولید کمپوست در سطح آزمایشگاه: EC یکی از فاکتورهای نماینگر میزان شوری است که می‌تواند به عنوان یک عامل بازدارنده در خاک کشاورزی محسوب شود. EC بالا از جوانه‌زنی بذر و رشد مناسب گیاه جلوگیری کرده و در نتیجه باعث کاهش عملکرد می‌شود (Gao et al. 2010). بررسی تغییرات EC در بین تیمارها نشان داد که تیمارهای A و B در طول آزمایش، تغییر معنی‌داری در EC نداشته اما سایر تیمارها به ویژه تیمارهای C، G و H روند افزایشی خود را از هفته نخست آغاز کرده و در هفته پنجم بیشترین میزان EC را نشان دادند (شکل ۷). مطالعات نشان می‌دهد در مراحل ابتدایی کمپوستینگ به دلیل آزاد شدن نمک‌های معدنی مانند فسفات‌ها و یون‌های آمونیوم از طریق تجزیه مواد آلی به وسیله میکروارگانیسم‌ها شاهد افزایش میزان EC شد (Zhou et al. 2017; Gao et al. 2010). همچنین مقایسه دو تیمار G و H نشان داد میکروارگانیسم‌های M₁ در تجزیه مواد آلی و بدنبال آن افزایش میزان EC نتیجه بهتری نسبت به M₂ داشتند لذا بیشترین

میزان EC در تیمار G (۱۶۲۳ ms/cm) مشاهده شد. که مقایسه دو تیمار I و J نیز این مهم را تایید می‌کند همچنین تیمارهای دارای کود مرغی همچون تیمار A میزان EC بیشتری نسبت به تیمارهای دارای اوره (B) داشتند. در تحقیق مشابه استفاده از کود مرغی منجر به افزایش میزان EC در کمپوست کلس برنج شد. علت این امر وجود میکروارگانیسم‌های فعال در کود مرغی که منجر به تجزیه بیشتر مواد لیگنوسلولزی می‌شوند و همچنین وجود مواد مغذی مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها در کود مرغی بیان شد (Karanja et al. 2019). مقایسه تیمارهای C و D با دو تیمار A و B نشان‌دهنده تاثیر مثبت تفاله زیتون بر افزایش EC در کمپوست بود. مشاهدات نشان می‌دهد در مراحل پایانی فرآیند تولید کمپوست، فرار آمونیاک و رسوب نمک‌های معدنی دو دلیل اصلی کاهش مقدار EC در پایان فرآیند کمپوست است (Gao et al. 2010; Zhou et al. 2017). در نتایج مشابه بررسی میزان EC در طول دوره کمپوستینگ در تیمارهای حاوی کلس برنج به همراه کود مرغی به علت افزایش پتاسیم و سایر یون‌ها در طی کمپوست‌سازی و همچنین به دلیل آزاد شدن نمک‌های معدنی در طی تجزیه، به صورت پیوسته افزایش یافت (Jagwe et al. 2019).



شکل ۷. تغییرات EC تیمارها طی تولید کمپوست از کاه و کلس برنج در سطح آزمایشگاهی. D0: روز شروع. هفته: W

Figure 7. EC changes of treatments during compost production from rice straw at the lab-scale. D0: Initial day. W: Week

تغییرات C/N تیمارها طی فرآیند تولید کمپوست: نسبت C/N یکی از مهمترین عوامل در ارزیابی کیفیت کمپوست است. کاهش نسبت C/N در طی فرآیند کمپوست به عنوان یکی از مهم ترین عوامل موثر بر بلوغ کمپوست شناخته می‌شود. کاهش نسبت C/N بیش از ۴۰ درصد نشان دهنده بلوغ کمپوست است. با توجه به اهمیت نسبت C/N اولیه، میزان کربن و نیتروژن مواد اولیه تیمارها به گونه‌ای تنظیم شد که نسبت C/N روز صفر پیرامون ۶۰ باشد تا فرآیند بهینه فعالیت میکروبی در تولید کمپوست را

شاهد باشیم (جدول ۳). در تنظیم نسبت C/N اولیه آزمایش نباید نیتروژن بالایی در ترکیب تیمارها منظور کرد زیرا منجر به افزایش چشمگیر میزان فعالیت میکروارگانیسم‌ها و به دنبال آن از یک سو منجر به مصرف بیشتر اکسیژن و تبدیل تجزیه هوازی به تجزیه بی‌هوازی و تولید بوی زننده می‌شود و از سوی دیگر نیتروژن اضافی به صورت آمونیاک از دسترس توده خارج می‌شود. همچنین فاز ترموفیلیک در فرآیند کمپوست کاهش یافته و کاهش میزان تجزیه مواد لیگنینی رخ خواهد داد. از سوی دیگر نسبت کربن بالا سبب افزایش مصرف کربن توسط میکروارگانیسم‌ها و تولید بیش از حد CO₂ می‌شود (Nair et al. 2006). هر چه نسبت C/N در زیست توده در سطح اولیه بالاتر باشد، محتوای کربن بالاتر و محتوای نیتروژن کمتر را نشان می‌دهد که باعث طولانی‌تر شدن فرآیند، عدم بلوغ و کیفیت پایین کمپوست نهایی تولید شده به دلیل فعالیت میکروبی کمتر است (Esmaeili et al. 2020). بررسی تغییرات نسبت C/N در سطح آزمایشگاه نشان داد در پایان کمپوستینگ بیشترین میزان C/N مربوط به تیمارهای A و B (به ترتیب ۴۹/۱۴ و ۵۴/۴۵ درصد) و کمترین عدد هم مربوط به دو تیمار G و H (به ترتیب ۱۵/۰۲ و ۱۹/۴۴ درصد) بود. تغییرات نسبت C/N در فرآیند تولید کمپوست، تحت تاثیر فعالیت میکروبی است. در واقع هرچه نسبت C/N با کاهش بیشتری رو به رو شود نشان‌دهنده فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها در جهت تجزیه بیشتر مواد لیگنوسلولزی محسوب می‌شود (Nair et al. 2006). لذا درصد بالای کاهش نسبت C/N دو تیمار G و H (به ترتیب ۷۶/۶۶ و ۶۸/۸۲ درصد) نسبت به سایر تیمارها به ویژه تیمارهای A و B به دلیل فعالیت میکروبی بهینه آن‌ها است لذا تاثیر مثبت و معنی‌دار وجود میکروارگانیسم M₁ و M₂ در تیمارها مشهود بود (شکل ۸). در تحقیق دیگر کمپوست به دست آمده از پسماندهای آلی آشپزخانه‌ای بعد از اتمام دوره کمپوستینگ میزان نسبت C/N کمتر از ۲۰ شد (Nair et al. 2006). استفاده از قارچ‌های *Aspergillus fumigatus*، *Aspergillus terreus* و *Aspergillus flavus* باعث شد تا کمپوست کلش برنج به همراه کود مرغی در زمان کمتر به بلوغ برسد از سوی دیگر نسبت C/N از ۳۴ به میزان ۱۶/۲۵ در مرحله نهایی برسد که تأییدی بر تاثیر مثبت استفاده از میکروارگانیسم‌ها بر کاهش نسبت C/N بود (Jagwe et al. 2019). مقایسه دو تیمار G و H نشان داد کارایی میکروارگانیسم‌های M₁ بیشتر از M₂ بود که نتیجه مشابه در مقایسه دو تیمار I و J نیز مشاهده شد. همچنین مقایسه تیمار A با تیمار C نشان داد تفاله زیتون تاثیر مثبتی در کاهش درصد C/N داشت که این مهم می‌تواند به دلیل وجود میکروارگانیسم‌های فعال در تفاله زیتون باشد. نتایج نشان داد که تیمارهای حاوی کود مرغی (A، C، G و H) به جای اوره (B، D، I و J) به عنوان منبع نیتروژن، کاهش بیشتری در نسبت C/N نشان دادند. در تحقیق مشابه وجود میکروارگانیسم‌های موجود در کود مرغی منجر به کاهش چشمگیر نسبت C/N در کمپوست کلش برنج بیان شد (Karanja et al. 2019). نتایج تحقیق بر کمپوست ترکیبی کود مرغی به همراه تفاله زیتون نشان داد تیمار دارای کود مرغی بیشتر در نهایت دارای کاهش نسبت C/N بیشتری نسبت به سایر تیمارها بود (Amalero et al. 2003). اگر در کمپوست نهایی، میزان کربن در نسبت C/N بالا باشد پس از افزودن کود به خاک، میکروارگانیسم‌ها به منظور اکسید کردن میزان بالای کربن، به نیتروژن بیشتری نیاز دارند که مانع دسترسی گیاه به نیتروژن می‌شود. در چنین شرایطی تعدادی از میکروارگانیسم‌ها به منظور تامین کمبود نیتروژن

مورد نیاز سایر میکروارگانیسم‌ها از بین می‌رود (Esmaeili et al. 2020). این موضوع نشان می‌دهد نسبت C/N دو تیمار G و H به ویژه تیمار G در بازه مناسب برای کشت و کار گیاهان است.

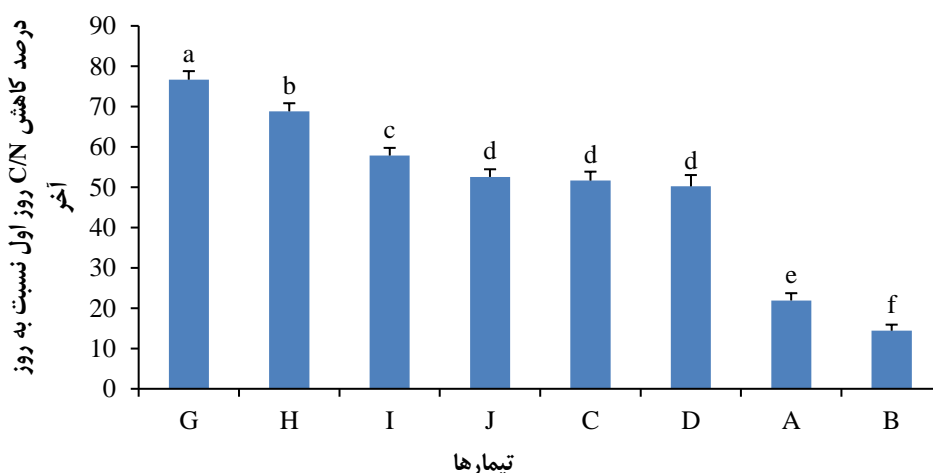
جدول ۳. تغییرات نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در تیمارهای تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح آزمایشگاهی

Table 3. C/N ratio changes of composting treatments from rice straw at the lab-scale

تیمارها	کربن روز اول (%)	نیتروژن روز اول (%)	کربن/نیتروژن روز اول	کربن روز آخر (%)	نیتروژن روز آخر (%)	کربن/نیتروژن روز آخر	درصد کاهش کربن/نیتروژن (%)
Treatments	C D0 (%)	N D0 (%)	C/N D0	C DF (%)	N DF (%)	C/N DF	Reduction C/N (%) of
G	47.45 ^{bc}	0.737 ^{bcd}	64.38 ^e	27.04 ^g	1.8 ^a	15.02 ^h	76.66 ^a
C	47.11 ^{abc}	0.728 ^{cd}	64.71 ^a	31.30 ^d	1 ^{cd}	31.3 ^d	51.63 ^d
H	45.77 ^{cb}	0.724 ^d	62.35 ^e	27.22 ^g	1.4 ^b	19.44 ^g	68.82 ^b
D	48.42 ^a	0.75 ^{abc}	64.56 ^a	35.36 ^c	1.12 ^c	32.14 ^c	50.21 ^d
I	48.20 ^{ab}	0.752 ^{ab}	64.09 ^b	29.72 ^f	1.1 ^c	27.01 ^f	57.85 ^c
J	47.9 ^{abc}	0.762 ^a	63.86 ^b	30.30 ^e	1 ^{cd}	30.3 ^e	52.55 ^d
B	48.48 ^a	0.762 ^a	63.62 ^c	43.02 ^b	0.79 ^d	54.45 ^a	14.41 ^f
A	45.51 ^c	0.723 ^d	62.94 ^d	44.23 ^a	0.9 ^{cd}	49.14 ^b	21.29 ^e

میانگین‌ها با حروف بالانویس مختلف در یک ستون دارای اختلاف معنادار هستند ($p < 0.01$)

Means with different superscript letters in a column are significantly different ($p < 0.01$)



شکل ۸. درصد تغییرات نسبت کربن به نیتروژن در طی پروسه کمپوستینگ در تیمارها در سطح آزمایشگاهی

Figure 8. Reduction of C/N ratio (%) during the composting process in different treatments at the lab level

بررسی میزان عناصر کم مصرف و پرمصرف در سطح آزمایشگاه: بررسی میزان فلزات سنگین در نمونه‌های

کمپوست تولیدی نشان داد دامنه حضور این فلزات در همه تیمارها در بازه قابل پذیرش است. همچنین مشخص شد تیمارهای دارای کود مرغی و تفاله زیتون H, G و C در مقایسه با سایر تیمارها دارای بیشترین میزان فسفر، پتاسیم، آهن، منیزیم، منگنز و کلسیم هستند (جدول ۴). در تحقیق مشابه نتایج مطالعه بر تولید کمپوست از ترکیب کود مرغی و تفاله زیتون نشان داد این دو ماده دارای عناصر کم مصرف و پرمصرف بسیاری هستند که در تعیین کیفیت کمپوست نهایی نقش مثبت ایفا می‌کنند (Amalero et al. 2003; Albuquerque et al. 2009).

جدول ۴. عناصر میکرو و ماکرو و فلزات سنگین در تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح آزمایشگاهی

Table 4. Micro and macro elements and heavy metals in compost production from rice straw at the lab level

تیمارها Treatments	فلزات سنگین (ppm)					عناصر میکرو و ماکرو (ppm)				
	Heavy metals (ppm)					Micro-macro elements (ppm)				
	Cd	Cu	Zn	Ni	Ca	P	K	Fe	Mg	Mn
G	1>	17 ^{ab}	43 ^d	10>	40799 ^b	4573 ^a	7260 ^a	1998 ^a	3690 ^a	543 ^b
H	1>	16 ^{abc}	51 ^c	10>	41623 ^a	3562 ^b	7031 ^b	1914 ^b	3259 ^b	578 ^a
C	1>	17 ^b	60 ^a	10>	39060 ^c	2514 ^c	5235 ^c	1486 ^c	3096 ^c	536 ^c
D	1>	15 ^{bc}	59 ^a	10>	35620 ^d	2341 ^d	5185 ^d	1386 ^d	3040 ^d	521 ^d
I	1>	18 ^a	54 ^b	10>	33289 ^g	2014 ^f	5123 ^e	1313 ^f	1980 ^g	445 ^g
J	1>	14 ^c	59 ^a	10>	34503 ^f	2125 ^e	5001 ^f	1325 ^e	2331 ^f	505 ^e
B	1>	17 ^{ab}	50 ^c	10>	31256 ^h	1120 ^h	4540 ^g	1121 ^h	3030 ^e	470 ^f
A	1>	14 ^c	41 ^d	10>	35450 ^e	1223 ^g	3132 ^h	1190 ^g	1889 ^h	444 ^h

میانگین‌ها با حروف بالانویس مختلف در یک ستون دارای اختلاف معنادار هستند ($p < 0.01$)

Means with different superscript letters in a column are significantly different ($p < 0.01$).

آنالیز میزان درصد خاکستر (Ash)، ماده جامد فرار (V.S) (Valatile. Soild) تیمارها در سطح آزمایشگاه:

میزان مواد جامد فرار (Volatile solid (VS)) بیان کننده میزان مواد آلی موجود در کمپوست است. در طی کمپوستینگ مقدار مواد جامد فرار از ابتدا تا مرحله بلوغ کاهش می‌یابد. میزان کاهش مواد جامد فرار نشان‌دهنده سرعت تجزیه مواد آلی در طی کمپوستینگ است (Hubner et al. 2019). میکروارگانیسم‌ها نقش کلیدی در تجزیه مواد آلی و به دنبال آن کاهش میزان مواد جامد فرار در طی کمپوستینگ دارند (Malik et al. 2021). نتایج نشان داد در طی کمپوستینگ بیشترین درصد کاهش مواد جامد

فرار در نمونه G (۳۲/۲۶٪) و کمترین درصد کاهش میزان مواد جامد فرار مربوط به تیمار B (۷/۶۶٪) بود (جدول ۵). تیمارهای دارای میکروارگانیزم‌های M₁ و M₂ (G, H, I and J) درصد کاهش میزان مواد جامد فرار بیشتری را نسبت به دیگر تیمارها نشان دادند. همچنین مقایسه تیمارهای G با تیمار H و همچنین تیمار I با تیمار J نشان داد میکروارگانیزم‌های M₁ نقش موثرتری در کاهش میزان مواد جامد فرار در مقایسه با میکروارگانیزم‌های M₂ داشتند. مقایسه تیمار G و H با تیمارهای I و J، تیمار B با تیمار A و همچنین تیمار C با تیمار D نشان داد تیمارهای دارای کود مرغی به علت داشتن میکروارگانیزم‌های موثرتر میزان درصد کاهش مواد جامد فرار بیشتری را ثبت کردند. مقایسه تیمار C با تیمار A و همچنین تیمار B با تیمار D نشان داد میکروارگانیزم‌های موجود در تفاله زیتون نیز نقش موثری در کاهش میزان مواد جامد فرار ایفا کردند.

جدول ۵. درصد خاکستر، مواد جامد فرار در تیمارهای تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح آزمایشگاهی

Table 5. Percentage of ash and volatile solid in compost production treatments from rice straw at the lab level

تیمارها Treatments	خاکستر (%)		مواد جامد فرار (%)		درصد کاهش مواد جامد فرار (%) Reduction of V.S (%)
	روز اول Initial day	روز آخر Final day	روز اول Initial day	روز آخر Final day	
G	19.4	45.4	80.6	54.6	32.26 ^a
H	19.0	39.4	81.0	60.6	25.19 ^b
C	20.2	35.8	79.8	64.2	19.55 ^d
D	20.4	34.6	79.6	65.4	17.80 ^e
I	19.8	38.7	80.2	61.3	23.57 ^{bc}
J	19.9	36.9	80.1	63.1	21.22 ^{cd}
B	19.1	25.3	80.9	74.7	7.66 ^g
A	19.6	28.8	80.4	71.2	11.44 ^f

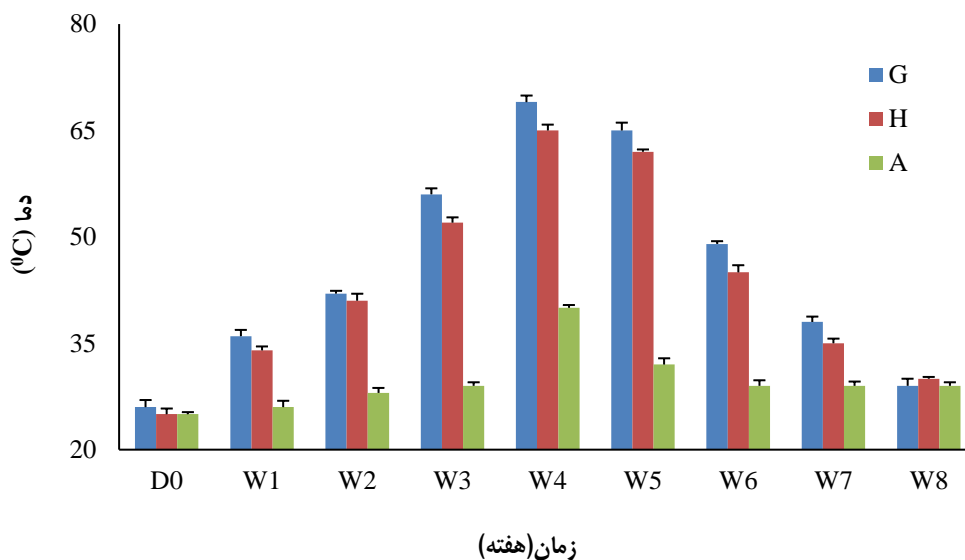
میانگین‌ها با حروف بالانویس مختلف در یک ستون دارای اختلاف معنادار هستند ($p < 0.01$)

Means with different superscript letters in a column are significantly different ($p < 0.01$)

نتایج آنالیز تغییرات فیزیکی شیمیایی کمپوست در سطح پایلوت- تغییرات دمایی تولید کمپوست در

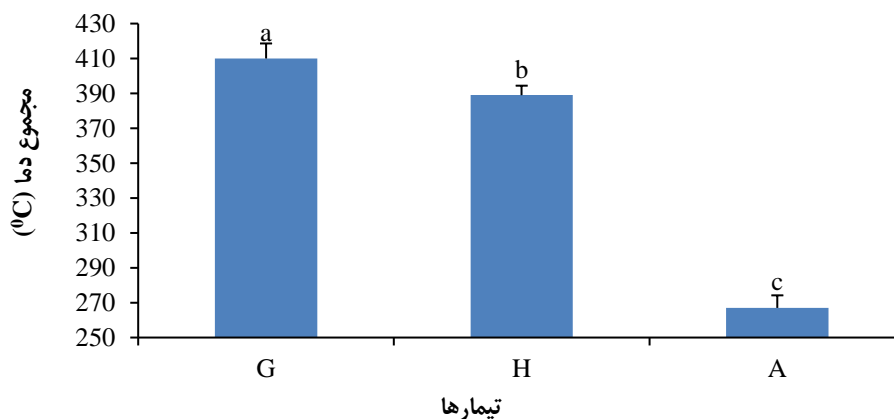
سطح پایلوت: تغییرت دمایی در دو تیمار G و H پس از یک هفته آغاز شد و فازهای دمایی شناخته شده تولید کمپوست (مزوفیل، ترموفیل، کولینگ و مرحله بلوغ) در طول کمپوستینگ تکمیل شدند در حالی که تغییرات دمایی تیمار A (شاهد) تکمیل نشد. دو

تیمار G و H پس از یک هفته وارد فاز مزوفیل شده و در پایان هفته دوم وارد فاز ترموفیل و کاهش دما در هر دو تیمار از هفته پنجم آغاز شد. بازه دمایی در فاز ترموفیل دو تیمار G و H به ترتیب $68/9^{\circ}\text{C}$ و $66/3^{\circ}\text{C}$ بود (شکل ۹). آنالیز تجمیع دمایی تیمارها نیز نتایج مشابهی نشان داد (شکل ۱۰).



شکل ۹. تغییرات دمایی تیمارها طی تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح پایلوت. D0: روز شروع. w: هفته

Figure 9. Temperature changes of treatments during the production of compost from rice straw at the pilot-scale. D0: Initial day. W: Week

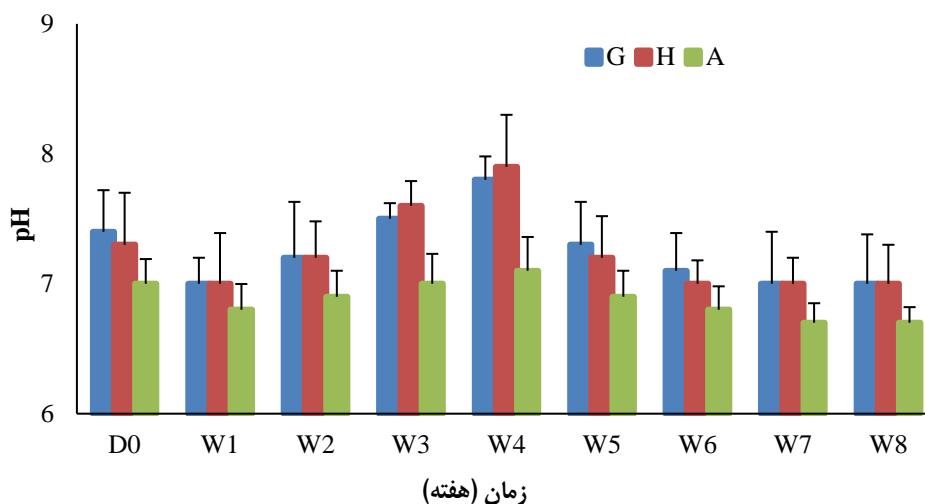


شکل ۱۰. مجموع دمایی هر تیمار در طول دوره تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح پایلوت

Figure 10. Total temperature of each treatment during the production period of compost from rice straw at the pilot-scale

تغییرات pH تولید کمپوست در سطح پایلوت: بررسی تغییرات pH در سطح پایلوت نشان داد دامنه تغییرات pH

تیمارهای G و H همانند سطح آزمایشگاهی پیش رفت و در تیمار A (شاهد) نتوانست الگوی استاندارد در تولید کمپوست به وجود آید که این موضوع نشان دهنده عدم فعالیت میکروبی در این تیمار است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. تغییرات pH تیمارهای تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح پایلوت. D0: روز شروع. W: هفته

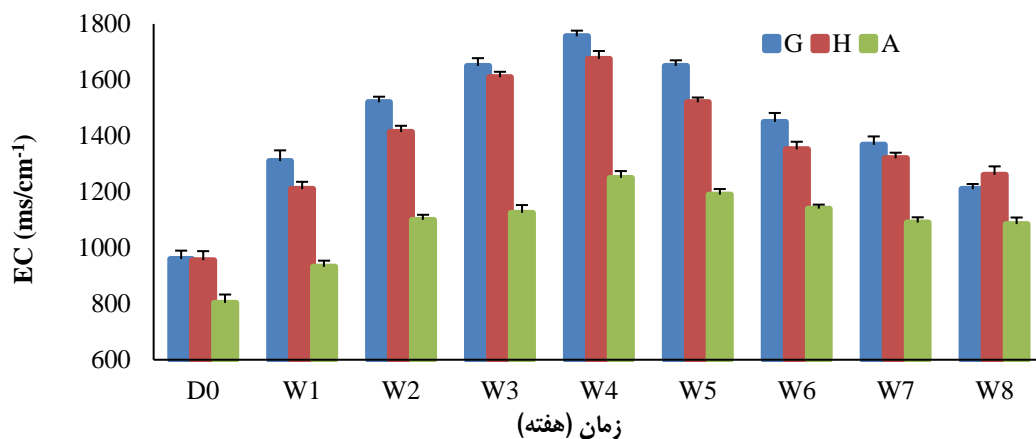
Figure 11. Changes in pH of treatments during compost production from rice straw at the pilot-scale. D0: Initial day. W: Week

تغییرات EC تولید کمپوست در سطح پایلوت: بررسی تغییرات EC در سطح پایلوت نشان داد که روند تغییرات آن

در هر دو تیمار G و H با روند تغییرات EC در سطح آزمایشگاهی مشابه بوده اما در تیمار A تغییر ویژه‌ای دیده نشد که نشان از آزاد نشدن نمک‌های معدنی از طریق تجزیه مواد آلی به واسطه عدم فعالیت میکروبی در آن است (شکل ۱۲).

تغییرات C/N کمپوست در سطح پایلوت: کاهش نسبت C/N در دو تیمار G و H نسبت به تیمار A (شاهد) در

سطح پایلوت مشابه تغییرات در سطح آزمایشگاه بود با این تفاوت که میزان C/N نهایی این دو تیمار (به ترتیب ۱۷/۲٪ و ۲۶/۸۳٪) در سطح پایلوت بالاتر بود (جدول ۶). بررسی درصد تغییرات نسبت C/N تیمارها نشان داد که بیشترین درصد کاهش نسبت C/N با ۷۳/۴۸٪ نسبت به روز نخست آزمایش، مربوط به تیمار G بوده و تیمار شاهد (A) نیز کمترین درصد کاهش را نشان داد.



شکل ۱۲. تغییرات EC تیمارها طی تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح پایلوت. D0: روز شروع. w: هفته

Figure 12. EC changes of treatments during compost production from rice straw at the pilot-scale. D0: Initial day. W: Week

جدول ۶. تغییرات نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در تیمارهای تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح پایلوت

Table 6. C/N ratio changes of composting treatments from rice straw at the pilot-scale

تیمارها	روز اول C	روز اول N	C/N روز اول	C روز آخر	N روز آخر	C/N روز آخر	درصد کاهش C/N
Treatments	C D0	N D0	C/N D0	C DF	N DF	C/N DF	Reduction of C/N (%)
G	48 ^{ab}	0.74 ^a	64.86 ^a	25.81 ^c	1.5 ^a	17.2 ^c	73.48 ^a
H	47 ^b	0.73 ^a	64.38 ^a	29.52 ^b	1.1 ^{ab}	26.83 ^b	58.32 ^b
A	49.2 ^a	0.79 ^a	62.27 ^a	43.32 ^a	0.8 ^b	54.15 ^a	13.03 ^c

میانگین‌ها با حروف بالانویس مختلف در یک ستون دارای اختلاف معنادار هستند ($p < 0.01$)

Means with different superscript letters in a column are significantly different ($p < 0.01$)

بررسی میزان عناصر کم مصرف و پر مصرف در سطح پایلوت: بررسی عناصر میکرو و ماکرو در سطح پایلوت

همانند نتایج سطح آزمایشگاه بود با این تفاوت که در بین سه تیمار مورد ارزیابی، ارزش غذایی تیمار G نسبت به دو تیمار دیگر در بازه بالاتری قرار داشت (جدول ۷).

جدول ۷. عناصر میکرو و ماکرو و فلزات سنگین در تیمارهای تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح پایلوت

Table 7. Micro and macro elements and heavy metals in compost production treatments from rice straw at the pilot level

تیمارها Treatments	فلزات سنگین (ppm)				عناصر میکرو و ماکرو (ppm)					
	Heavy metals (ppm)				Micro-macro elements (ppm)					
	(Cd)	(Cu)	(Zn)	(Ni)	(Ca)	(P)	(K)	(Fe)	(Mg)	(Mn)
G	1>	15 ^c	40 ^b	10>	41123 ^a	4850 ^a	7450 ^a	2021 ^a	4028 ^a	613 ^a
H	1>	17 ^a	42 ^a	10>	40650 ^b	4231 ^a	7345 ^b	1420 ^b	3899 ^b	582 ^b
A	1>	16 ^b	31 ^c	10>	32300 ^c	1520 ^c	3320 ^c	1260 ^c	2115 ^c	412 ^c

میانگین‌ها با حروف بالانویس مختلف در یک ستون دارای اختلاف معنادار هستند ($p < 0.01$)

Means with different superscript letters in a column are significantly different ($p < 0.01$)

آنالیز میزان درصد خاکستر (Ash)، ماده جامد فرار (V.S) و تیمارها در سطح پایلوت: در

سطح پایلوت، نتایج مشابه نمونه‌های آزمایشگاهی بود. تیمار G دارای بیشترین درصد کاهش مواد جامد فرار (۳۲/۷۶٪) و تیمار شاهد با ۱۲/۵۲٪ کمترین درصد کاهش مواد جامد فرار را نشان داد. مقایسه دو تیمار G و H با تیمار شاهد نشان داد میکروارگانیزم‌های M₁ و M₂ نقش کلیدی در کاهش مواد جامد فرار داشتند که تاثیر میکروارگانیزم‌های M₁ به مراتب بیشتر بود (جدول ۸).

ارزیابی سمیت گیاهی (فیتوتوکسیسیته): بررسی شاخص جوانه‌زنی (GI) به روش تشریح شده لاساریدی و همکاران

(2006) نشان داد این شاخص برای هر دو تیمار G و H بیش از ۸۰٪ (به ترتیب به ترتیب ۹۶٪ و ۸۸٪) بود و نسبت به تیمار کنترل A (خاک بدون هرگونه افزودنی) (۵۳٪) وضعیت بسیار بهتری داشتند اما نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. مطالعات نشان می‌دهد بررسی سمیت گیاهی، فاکتوری مهم به منظور بررسی اینکه کود تولید شده آیا یک بازدارنده برای رشد گیاهان محسوب می‌شود یا خیر. آمونوم و اسیدهای آلی از جمله بازدارندگان مهم در کودهای آلی به شمار می‌آیند (Wong et al. 2009). نتایج این پژوهش نشان داد با توجه به درصدهای شاخص جوانه‌زنی (GI)، تیمارهای G و H فاقد مواد بازدارنده رشد هستند. در تحقیق مشابه، از کلش برنج به همراه کود مرغی و قارچ اسپرژیلوس به منظور تولید کمپوست استفاده شد که در بین تیمارها، تیماری که دارای بیشترین کاهش در نسبت C/N بود بیشترین درصد جوانه‌زنی نیز در این تیمار (۹۴/۳۲٪) مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با کاهش حداکثری نسبت C/N میزان سمیت کمپوست کلش برنج نیز کمتر می‌شود (Jagwe et al. 2019).

جدول ۸. درصد خاکستر، مواد جامد فرار در تیمارهای تولید کمپوست از کاه و کلش برنج در سطح پایلوت

Table 8. Percentage of ash and volatile solid in compost production treatments from rice straw at the pilot level

تیمارها	خاکستر (%)		مواد جامد فرار (%)		درصد کاهش مواد جامد
Treatments	Ash (%)		Volatile solid (%)		فرار (%)
	روز اول	روز آخر	روز اول	روز آخر	Reduction of V.S (%)
	Initial day	Final day	Initial day	Final day	
G	17.9	44.8	82.1	55.2	32.76 ^a
H	17.1	38.9	82.9	61.1	26.30 ^b
A	17.7	28	82.3	72	12.52 ^c

میانگین‌ها با حروف بالانویس مختلف در یک ستون دارای اختلاف معنادار هستند ($p < 0.01$)

Means with different superscript letters in a column are significantly different ($p < 0.01$)

ارزیابی تاثیر کمپوست نهایی بر شاخص‌های رشد گیاه: در این مطالعه نشان داده شد که هر دو تیمار G و H

در مقایسه با تیمار شاهد (A) توانستند در شاخص‌های رشد گندم تاثیر بهتری داشته باشند که البته کمپوست G بیشترین تاثیر در شاخص‌های رشدی گندم نشان داد. نکته مهم در این بررسی این بود که با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار بین میزان ۱۰ و ۲۰ درصد کمپوست افزوده شده هر دو تیمار G و H و همچنین با توجه به منظور کردن اقتصاد مصرف میزان کمپوست، بهتر است در عمل میزان ۱۰ درصد کمپوست تیمار نهایی مورد استفاده قرار بگیرد (جدول ۹). مطالعات نشان می‌دهد شاخص سطح برگ (leaf area index : LAI) یک فاکتور اساسی به منظور بررسی و مطالعات اکولوژیکی گیاهان است. شاخص سطح برگ ارتباط مستقیم با تنش خشکی، فتوسنتز، حجم سلولی دارد. هرچه میزان سطح برگ افزایش یابد به دنبال آن شاهد افزایش تنفس و فتوسنتز در برگ گیاه خواهیم بود (Ghasemzadeh et al. 2022). شاخص سطح ویژه برگ (Specific Leaf Area: SLA) بیانگر نسبت سطح برگ به وزن خشک بخش فتوسنتز کننده گیاه یا همان برگ گیاه است که واحد اندازه گیری آن cm^2/gr است. هرچه این نسبت کوچکتر باشد نمایانگر ضخامت بیشتر برگ و وجود بیشتر اجزای فتوسنتز کننده یعنی کلروپلاست، کلروفیل و تعداد سلول‌های مزوفیل برگ است و به بیان ساده تر هرچه این نسبت کوچکتر باشد یعنی ظرفیت فتوسنتز برگ گیاه بیشتر است (Karimi & Azizi 1994). این موضوع نیز در ادامه می‌تواند سایر مولفه‌های رشد مانند ارتفاع و وزن خشک و ... را تحت تاثیر خود قرار دهد. نتایج به دست آمده از این مطالعه نیز نشان می‌دهد هر دو شاخص اشاره شده در تیمارهای G و H شرایط بهتری از تیمار شاهد (A)

دارد و بین این دو تیمار نیز تیمار G شرایط بهتری دارد اما در زمینه درصد بهره‌برداری همانگونه که اشاره شد میزان ۱۰ درصد کمپوست نهایی به دست آمده از سطح پایلوت حالت اقتصادی تری دارد.

جدول ۹. ارزیابی تاثیر درصدهای گوناگون کمپوست نهایی بر شاخص‌های رشد گندم

Table 9. Evaluation of the effect of different percentages of final compost on wheat growth indexes

تیمارها	درصد مصرف	وزن خشک	وزن تر (گرم)	ارتفاع (cm)	سطح ویژه برگ	شاخص سطح
Treatments	Consumption (%)	(گرم) Dry weight	Fresh weight (gr)	Height (cm)	(cm ² /gr) SLA	برگ (cm ²) LAI
G1	5	0.92 ^b	4.3 ^{ab}	43 ^b	49.14 ^b	17.2 ^b
G2	10	0.95 ^{ab}	4.4 ^{ab}	45.2 ^{ab}	48.05 ^c	17.3 ^a
G3	20	1.1 ^a	4.7 ^a	47 ^a	45 ^e	18.9 ^a
H1	5	0.82 ^c	3.5 ^d	40 ^c	48.21 ^c	13.5 ^e
H2	10	0.9 ^b	4.1 ^c	42 ^b	47.5 ^c	15.2 ^d
H3	20	0.93 ^{ab}	4.3 ^{ab}	45.2 ^{ab}	46 ^d	16.1 ^c
A	0	0.4 ^d	2.6 ^e	24 ^d	59 ^a	5.9 ^f

میانگین‌ها با حروف بالانویس مختلف در یک ستون دارای اختلاف معنادار هستند ($p < 0.01$)

Means with different superscript letters in a column are significantly different ($p < 0.01$)

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به دست آمده در آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق در سطح آزمایشگاهی بر اساس

آنالیزهای صورت گرفته در خصوص ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی از قبیل نسبت C/N، pH، EC، تغییرات دما، رطوبت و غلظت عناصر غذایی در طی فرآیند تیمارهای G و H توانستند فازهای دمایی مرسوم در فرآیند کمپوستینگ را با بهترین شرایط تکمیل کرده و بلوغ زود هنگام تر و بدون سمیت گیاهی فراهم نمایند در عین حال بالاترین دما در طی فاز ترموفیل مربوط به تیمار G (۶۰/۰۲ °C) و H (۵۸/۳ °C)، بیشترین میزان کاهش نسبت C/N در تیمار G (۷۶/۶۶٪) و H (۶۸/۸۲٪)، در نهایت بیشترین درصد کاهش مواد جامد فرار (۳۲/۲۶ درصد) مربوط به تیمار G بود. لذا دو تیمار G و H به عنوان تیمارهای منتخب به منظور اجرا در سطح پایلوت در نظر گرفته شدند. در این تحقیق در سطح پایلوت و بر اساس آنالیزهای صورت گرفته در خصوص ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی از قبیل نسبت C/N، pH، EC، تغییرات دما، رطوبت و غلظت عناصر غذایی در طی فرآیند و همچنین آزمون سمیت گیاهی و تاثیر کمپوست نهایی بر روی شاخص‌های رشد گندم، دو تیمار حاوی کاه و کلش برنج، کود مرغی و سوبه‌های میکروبی با فعالیت هیدرولازی بالا (تیمارهای G و H) توانستند فازهای دمایی مرسوم در فرآیند کمپوستینگ را با بهترین شرایط تکمیل کرده و بلوغ زود هنگام تر و بدون سمیت گیاهی فراهم نمایند. درصد کاهش نسبت C/N این دو تیمار به ویژه تیمار G بالاترین درصد

کاهش (۷۳%/۴۸) را به نمایش گذاشت. این دو تیمار بیشترین تاثیر را بر روی شاخص‌های رشد گندم به ویژه شاخص سطح برگ و شاخص سطح ویژه برگ نسبت به شاهد داشتند. همچنین داده‌های به دست آمده از آنالیز خصوصیات فیزیکوشیمیایی کمپوست نهایی به ویژه تیمار G با استاندارد ملی تولید کمپوست همخوانی داشت. با توجه به این نتایج، تیمار G به عنوان تیمار برتر و مناسب برای تولید انبوه بیوکمپوست در سطح مزارع و یا سایت‌های تولید کمپوست قابلیت ترویج و همچنین تجاری سازی خواهد داشت. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد کود مرگی و میکروارگانیسیم‌های M_1 بیشترین تاثیر مثبت بر روی تسریع در بلوغ و افزایش کیفیت کمپوست را دارا بودند. از آنجا که تفاوت بین دو گروه میکروارگانیسیم‌ها در نوع قارچ آن‌ها بود لذا قارچ *Thermoascus aurantiacus* نقش کلیدی در بلوغ کمپوست ایفا کرد.

سپا سگزاری: از معاونت محترم پژوهشی پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی به خاطر حمایت مالی و معنوی در اجرای

پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

References

- Abdel-rahman MA (2016) Establishment of efficient cellulolytic bacterial consortium potential for designed composting of rice straw. *Adv Biol Res* 3, 211–228.
- Albuquerque JA, Gonzalez J, Tortosa G, Baddi GA, Cegarra J (2009) Evaluation of “alperujo” composting based on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation* 20, 257–270.
- Amalero EG, Ingua GL, Erta GB, Emanceau PL (2003) Review article Methods for studying root colonization by introduced. *J Agron* 23, 407–418.
- Azim K, Ouyahia K, Amellouk A et al. (2014) Dynamic composting optimization through C/N ratio variation as a start-up parameter. Proc of the 4th ISOFAR Scientific Conference, Building Organic Bridges at the Organic World Congress. Oct 13-15, 2014. Istanbul, Turkey. pp. 787-790.
- Bandounas L, Wierckx NJ, de Winde JH, Ruijsenaars HJ (2011) Isolation and characterization of novel bacterial strains exhibiting ligninolytic potential. *BMC Biotechnol* <https://doi.org/10.1186/1472-6750-11-94>
- Canet R, Pomares F, Cabot B et al. (2008). Composting olive mill pomace and other residues from rural southeastern Spain. *J Waste Manag* 28, 2585–2592.
- Chandel AK, daSilva SS, Carvalho W, Singh OV (2012). Sugarcane bagasse and leaves: Foreseeable biomass of biofuel and bio-products. *J Chem Technol Biotechnol* 87(1), 11–20.

- Chen H, Awasthi SK, Liu T et al. (2020). Effects of microbial culture and chicken manure biochar on compost maturity and greenhouse gas emissions during chicken manure composting. *J Hazard Mater* 389, e121908. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121908>.
- Chi CP, Chu S, Wang B et al. (2020) Bioresource Technology Dynamic bacterial assembly driven by *Streptomyces griseorubens* JSD-1 inoculants correspond to composting performance in swine manure and rice. *Bioresour Technol* 313, e123692. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123692>.
- Duan Y, Awasthi SK, Chen H et al. (2019). Evaluating the impact of bamboo biochar on the fungal community succession during chicken manure composting. *Bioresour Technol* 272, 308–314.
- Esmaili A, Reyahi M, Gholami M, Eslami H (2020) Pistachio waste management using combined composting- vermicomposting technique : Physico-chemical changes and worm growth analysis. *J Clean Prod* 242, e118523. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118523>.
- Gao M, Li B, Yu A et al. (2010) Bioresource technology The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust. *Bioresour Technol* 101, 1899–1903.
- Ghasemzadeh S, Sharafi R, Salehi Jouzani G et al. (2022) Efficient lignocellulose degradation during rice straw composting with native effective microorganisms and chicken manure. *Org Agric* 12(3), 397-409.
- Gummert M, Van Hung N, Chivenge P, Douthwaite B (2020) Sustainable rice straw management. (1st ed), Springer Nature Switzerland. pp 1-13. Springer Nature.
- Hubner T, Herrmann A, Kretzschmar J, Harnisch F (2019) Suitability of fecal sludge from composting toilets as feedstock for carbonization. *J Water Sanit Hyg Dev* <https://doi.org/10.2166/washdev.2019.047>
- Husks MR (2018) Biofiltration of Acetic Acid Vapours Using Filtering Bed Compost from Poultry Manure - Pruning Residues - Rice Husks. *Chem Eng J* 64, 511-516.
- Jagwe J, Komakech AJ, Karungi J et al. (2019) Assessment of a cattle manure vermicomposting system using material flow analysis: A case study from Uganda. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su11195173>.
- Karanja AW, Njeru EM, Maingi JM (2019). Assessment of physicochemical changes during composting rice straw with chicken and donkey manure. *Int J Recycl Org Waste Agric* 8, 65–72.
- Karimi E, Mohseni Fard E (2017). Nanomaterial Effects on Soil Microorganisms. *Cham* https://doi.org/10.1007/978-3-319-46835-8_5.

- Kaur P, Singh G, Monica K, Taggar S (2019) Enhanced bio - composting of rice straw using agricultural residues : an alternate to burning. *Int J Recycl Org Waste Agric* 8, 479-483.
- Kausar H, Sariah M, Mohd Saud H et al. (2011). Isolation and screening of potential actinobacteria for rapid composting of rice straw. *Biodegradation* 22, 367–375.
- Lasaridi K, Protopapa I, Kotsou M et al. (2006) Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. *J Environ Manage* 80, 58–65.
- Liu L, Wang S, Guo X et al. (2018) Succession and diversity of microorganisms and their association with physicochemical properties during green waste thermophilic composting. *J Waste Manag* 73, 101-112.
- Malik K, Rani S, Ahlawat S (2021) Bioconversion process for compost production from agricultural residue. *Int J Chem Stud* 9(2), 827–830.
- Nair J, Sekiozoic V, Anda M (2006) Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresour Technol* 97, 2091-2095.
- Nakasaki K, Shoda M, Kubota H. (1985) Effect of temperature on composting of sewage sludge. *Appl Environm Microbiol* 50, 1526-1530.
- Nguyen H, VanNguyen CD, Tran T et al. (2016) Energy efficiency, greenhouse gas emissions, and cost of rice straw collection in the Mekong river delta of Vietnam. *Field Crops Res* 198, 16–22.
- Palkova L, Tomova A, Repiska G et al. (2021) Evaluation of 16S rRNA primer sets for characterisation of microbiota in paediatric patients with autism spectrum disorder. *Sci Rep* <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86378-w>.
- Palanivell P, Susilawati K, Ahmed O, Muhamad A (2014) Effects of extraction period on yield of rice straw compost humic acids. *Afr J Biotechnol* 11, 4530–4536.
- Parkash V, Saikia AJ (2015) Production and multiplication of native compost fungal activator by using different substrates and its influence on growth and development of capsicum. *Biotechnol Res Int* 481363, <https://doi.org/10.1155/2015/481363>
- Raja HA, Miller AN, Pearce CJ, Oberlies NH (2017) Fungal identification using molecular tools: a primer for the natural products research community. *J Nat Prod* 80, 756-770.
- Pourmazaheri H, Salehi Jouzani G, Karimi E et al. (2015) Development of a bioprocess for fast production of enriched biocompost from municipal solid wastes. *Int Biodeterior Biodegradation* 104, 482-489.
- Ribeiro N, de Q, Souza TP et al. (2017) Microbial additives in the composting process. *Cienc Agrotecnologia* 41, 159–168.

- Ryckeboer J, Mergaert J, Coosemans J et al. (2003) Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *J Appl Microbiol* 94, 127-37.
- Santos F, Machado G, Faria D et al. (2017) Productive potential and quality of rice husk and straw for biorefineries. *Biomass Convers Biorefin* 7(1), 117-126.
- Suluk K, Tosun I, Ekinici K (2017) Co-composting of two-phase olive-mill pomace and poultry manure with tomato harvest stalks. *Environ Technol* <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1217279>.
- Tiquia S, Tam NF (1998) Spent pig litter in turned and forced aeration piles. *Environ Pollut* 8, 329-337.
- Vasconcelos S, Goes C, Salomao R et al. (2019) Screening of bacterial extracellular xylanase producers with potential for cellulose pulp biobleaching. *Acta Sci* <https://doi.org/10.4025/actascibiolsoci.v41i1.42101>.
- Wong JW, Fung SO, Selvam A (2009) Coal fly ash and lime addition enhances the rate and efficiency of decomposition of food waste during composting. *Bioresour Technol* 100, 3324-3331.
- Wu D, Wei Z, Qu F et al. (2020) Effect of Fenton pretreatment combined with bacteria inoculation on humic substances formation during lignocellulosic biomass composting derived from rice straw. *Bioresour Technol* <https://doi: 10.1016/j.biortech.2020.122849>. Epub.
- Xu D, Deng Y, Xi P et al. (2019) Fulvic acid-induced disease resistance to *Botrytis cinerea* in table grapes may be mediated by regulating phenylpropanoid metabolism. *Food Chem* 286, 226-233.
- Yaldız G, Camlica M, Ozen F, Eratalar SA (2019) Effect of poultry manure on yield and nutrient composition of sweet basil (*Ocimum Basilicum* L.). *Commun Soil Sci Plant Anal* 50, 838-852.
- Zhou M, Guo P, Wang T et al. (2017). Metagenomic mining pectinolytic microbes and enzymes from an apple pomace-adapted compost microbial community. *Biotechnol Biofuels* <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0885-y>.

