تولید سریع بیوکمپوست غنی‌شده از پسماند (کاه و کلش) برنج

رضا شرفی[۱]، غلامرضا صالحی جوزانی[۲]*، ابراهیم کریمی[۳]، حسین قنواتی[٤] و مژگان کوثری[٥]

[۱] کارشناس دسترسی و بهره‌برداری از منابع ژنتیکی، مرکز ملی مدیریت منابع ژنتیک کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

[۲] استاد پژوهش، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

[۳] مربی پژوهش، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

[٤] استادیار پژوهش، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

[٥] دانشیار پژوهش، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

برنج، یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در جهان و کشور ایران است. سالانه حدود ٥٠٤ میلیون تن کاه و کلش برنج در دنیا و حدود ٥/٤ میلیون تن در ایران تولید می‌شود. کاه و کلش برنج به‌دلیل ساختار شیمیایی و سلولز زیاد، به عنوان خوراک دام قابل‌استفاده نیست و کشاورزان عموماً این بقایا را می‌سوزانند. این عمل منجر به آلودگی محیط زیست و از بین‌بردن میکروارگانیسم‌های درون خاک می‌شود. تولید بیوکمپوست، روشی جایگزین برای سوزاندان کاه و کلش برنج است. تولید بیوکمپوست نه تنها منجر به جلوگیری از آلودگی محیط زیست می‌شود، بلکه سبب افزایش کیفیت خاک و کاهش نیاز به کودهای شیمیایی نیز می‌شود. تولید بیوکمپوست همچنین در افزایش مقاومت گیاه به سرما، گرما و تنش‌های محیطی، سهولت در جذب مواد غذایی موجود در خاک توسط گیاه و افزایش میکروارگانیسم‌های مفید در خاک مؤثر است. ایجاد اشتغال و درآمد برای کشاورزان، مزیت دیگر تولید بیوکمپوست است. در این مقاله، نحوه تولید بیوکمپوست با استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید به‌منظور کاهش زمان رسیدگی بیوکمپوست و افزایش کیفیت آن به‌صورت گام به گام شرح داده شده است.

واژگان کلیدی: بیوکمپوست، پسماند کشاورزی، کاه و کلش برنج، کیفیت خاک، محیط زیست، میکروارگانیسم

* نگارنده مسئول: gsalehi@abrii.ac.ir

بیان مسئله

برنج، یکی از محصولات زراعی مهم در کشور است. سطح زیرکشت برنج در ایران نزدیک به ۷۹۲ هزار هکتار است و درنتیجه آن، حدود ٤/٥ میلیون تن کاه و کلش در سال تولید می‌شود. از این میزان، کمتر از ۲۰ درصد به عنوان علوفه و مصارف دیگر استفاده می‌شود و ۸۰ درصد بقیه، سوزانده شده (شکل ۱) یا در مزرعه باقی می‌ماند. کاه و کلش برنج دارای سلولز (۳۸ درصد)، همی‌سلولز (۲۵ درصد) و لیگنین (۱۲ درصد) است و ارزش غذایی برای دام ندارد (شرفی و همکاران، ۲۰۲۳). سوزاندن کاه و کلش تولیدی در شالیزارهای کشور، میکروارگانیسم‌ها و حشرات مفید را از بین برده و سلامت محیط زیست را به خطر می‌اندازد. عمل سوزاندن، ساختار و بافت خاک را نیز به‌هم می‌ریزد. سوزاندن یک تن کاه و کلش برنج منجر به تولید ۲/۲-۲ کیلوگرم انواع گازهای گلخانه‌ای از قبیل متان و نیتروژن اکسید می‌شود (شرفی و همکاران، ۲۰۲٤).

تولید بیوکمپوست، فرآیندی است که مواد آلی موجود در پسماندها و ضایعات کشاورزی و شهری، توسط میکروارگانیسم‌ها در حضور رطوبت و گرما، در محیط هوازی و شرایط کنترل‌شده، تجزیه شده و به مواد پایدار آلی و معدنی تبدیل می‌شوند. بیوکمپوست، خصوصیات بسیار مفیدی برای رشد گیاهان زراعی و باغی دارد. بیوکمپوست به عنوان یک کود باکیفیت، می‌تواند جایگزین بخشی از کودهای شیمیایی (ازته، فسفره، پتاسه و ...) شود (پورمظاهری و همکاران، ۲۰۱۵). بیوکمپوست، به عنوان یک عامل ایجاد تخلخل (تأمین هوا در اطراف ریشه) و حفظ رطوبت خاک نیز مطرح است. افزایش ماده آلی خاک به تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه، افزایش جانداران ذره‌بینی هوازی مفید، اصلاح ساختار خاک، تنظیم اسیدیته خاک، ذخیره‌سازی آب در خاک و کاهش مصرف آب در خشکسالی‌ها کمک می‌کند (سرکمریان و همکاران، ۱۳۹٤). ماده آلی باعث شتاب‌بخشیدن به بازسازی خاک و کمک به اصلاح ساختمان خاک در اراضی شور می‌شود. از مزایای دیگر ماده آلی می‌توان به افزایش اکسیژن خاک، کاهش تبخیر و تعرق، جلوگیری از سله‌بستن خاک، افزایش مقاومت گیاه به سرما، گرما و تنش‌های محیطی، سهولت در جذب مواد غذایی موجود در خاک توسط گیاه، کاهش خطر آلاینده‌ها در خاک و اثر خنثی‌کنندگی آنها اشاره کرد. ماده آلی همچنین در کاهش آفات و بیماری‌ها و درنتیجه، کاهش مصرف سموم دفع آفات و افزایش مقاومت گیاه به ابتلاء به انواع بیماری‌ها مؤثر است (سرکمریان و همکاران، ۲۰۱۵).

شکل ۱- سوزاندن مزارع برنج پس از برداشت در شمال کشور

شکل ۲- مزایای کاربرد بیوکمپوست در کشاورزی

معرفی دستورالعمل

فرآیند گام به گام تولید بیوکمپوست از پسماندهای برنج

۱- زیرساخت‌ها، مواد و امکانات مورد نیاز برای تولید بیوکمپوست از کاه و کلش برنج در کنار مزرعه فضا و آب

کشاورزان می‌توانند از زمین‌های بایر کنار مزرعه خود و یا از خود مزرعه، بعد از برداشت برنج، برای تولید بیوکمپوست استفاده کنند (شکل ۳). در صورتی‌که در اطراف مزرعه برنج، فضای مسقف وجود داشته باشد، از این فضا می‌توان برای تولید بیوکمپوست نیز استفاده کرد (شکل ٤). مزیت فضای مسقف نسبت به فضای باز، جلوگیری از تابش مستقیم خورشید به توده‌ها، کاهش تبخیر و تسریع فرآیند است. البته، این موضوع اجباری نیست و کشاورزان می‌توانند در فضای باز هم تولید بیوکمپوست را انجام دهند.

شکل ٣- نمونه‌ای از زمین‌های مورداستفاده برای تولید بیوکمپوست

شکل ٤- نمونه‌ای از فضای مسقف برای تولید بیوکمپوست

برای تأمین رطوبت در طی فرآیند تولید بیوکمپوست و خیساندن توده کاه و کلش برنج، نیاز به آب شیرین و وجود چاله یا استخر به عمق حدود یک و نیم متر با عرض و طول دلخواه است. در صورت عدم وجود چاله بزرگ یا استخر، کشاورز می‌تواند به مدت دو شبانه‌روز توده کاه و کلش را آب‌پاشی کند تا به‌طور کامل خیس شود.

دستگاه به‌هم‌زن (ترنر)

در صورتی‌که حجم توده کاه و کلش زیاد باشد و امکان به‌هم‌زدن و هوادهی توده به کمک کارگر نباشد، بهتر است از ترنر با عرض ۲/۵ تا ۳ متر استفاده شود (شکل ۵).

شکل ۵- ترنر مورداستفاده در تولید بیوکمپوست

کاه و کلش برنج

کاه و کلش برنج از شالیزار جمع‌آوری و به محل تولید بیوکمپوست منتقل می‌شود. برای دستیابی به بیوکمپوستِ باکیفیت، لازم است قبل از شروع فرآیند، کاه و کلش با خرمنکوب خرد و به قطعات ۳-۲ سانتی‌متری تبدیل شوند (شکل ٦).

شکل ٦- جمع‌آوری کاه و کلش برنج و خردکردن آن

کودحیوانی(مرغی، گاوی و ...) و کود اوره

یکی از نیازمندی‌های اصلی تولید بیوکمپوست از کاه و کلش برنج، وجود کود حیوانی و اوره (کود حاوی نیتروژن) است. این کودها نقش اساسی در تسریع فرآیند و همچنین افزایش کیفیت بیوکمپوست تولیدی دارند. دلیل این موضوع، وجود درصد ازت بالا در این کودها است که باعث کاهش نسبت کربن به ازت در کاه و کلش برنج می‌شود.

کاربرد میکروارگانیسم‌های فعال‌کننده بیوکمپوست

کاه و کلش برنج به‌دلیل ساختار پیچیده لیگنوسلولزی، نیاز به حضور میکروارگانیسم‌های با فعالیت آنزیمی قوی برای تجزیه‌شدن دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل در فرآیند تولید کمپوست، جمعیت میکروبی موجود در فرآیند هوازی واکنش است. بنابراین، نوع جنس و گونه میکروبی می‌تواند نقش بسیار مهمی در کیفیت کمپوست تولیدی داشته باشد. اضافه‌کردن میکروارگانیسم‌های مفیدی که توانایی تجزیه سریع کاه و کلش برنج را دارند، بسیار دارای اهمیت است. در حال حاضر، سویه‌های میکروبی مؤثر در فرآیند بیوکمپوست کاه و کلش برنج در دسترس هستند. میکروارگانیسم‌های *باسیلوس سوبتیلیس*[1]، *باسیلوس لیچنیفورمیس*[2]، قارچ‌های *ترموآسکوس ائورانتیکوس*[3] و *تریکودرما*[4] اثرات بسیار خوبی در تسریع فرآیند تولید بیوکمپوست از کاه و کلش برنج دارند (شکل ۷).

شکل ۷- باکتری *باسیلوس لیچنیفورمیس* **(راست) و قارچ** *ترموآسکوس* **(چپ)**

مورداستفاده در فرآیند تولید بیوکمپوست

۲- مراحل اجرای فرآیند تولید بیوکمپوست

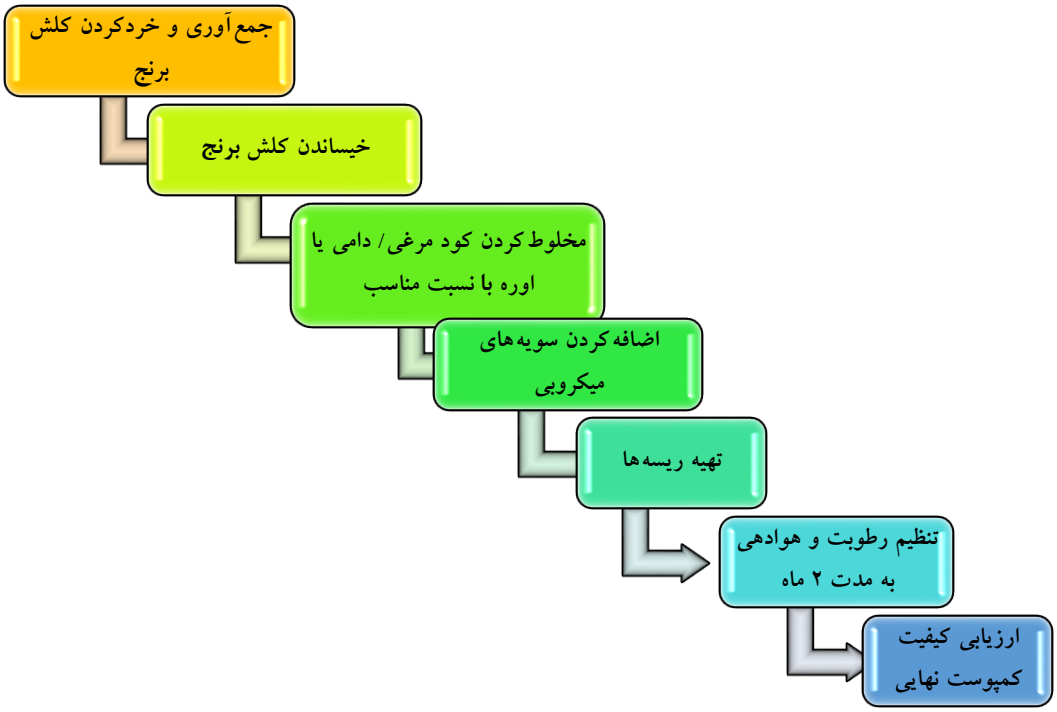
فرآیند کلی تولید بیوکمپوست از کاه و کلش برنج در شکل ۸ آورده شده است. پیش از آغاز روند بیوکمپوست‌سازی، محوطه تولید بیوکمپوست باید به‌گونه‌ای مطلوب آماده شود. این محوطه باید دارای سطح صاف بوده، شیب مناسب و زهکشی خوبی داشته باشد تا هنگام بارندگی هیچ‌گونه آسیبی از نظر جاری‌شدن آب نداشته باشد. در صورتی‌که محوطه بیوکمپوست‌سازی

[1] *Bacillus subtilis*
[2] *Bacillus licheniformis*
[3] *Thermoascus aurantiacus*
[4] *Trichoderma* sp.

سیمان یا آسفالت شده باشد، کارایی فرآیند بسیار بهتر خواهد بود. عامل مهم دیگر، دسترسی به آب شیرین کافی برای خیساندن اولیه کلش برنج و همچنین تأمین رطوبت توده (٦٠ تا ٧٠ درصد) در طی فرآیند است. باید توجه داشت که حضور بیش از حد نور خورشید یا باران، تأثیرات معکوسی بر تعادل رطوبتی در داخل توده بیوکمپوست می‌گذارد. جریان هوا باید به‌گونه‌ای باشد که هوادهی مناسب توده بیوکمپوست به‌منظور بازدهی حداکثری میکروارگانیسم‌ها تأمین شود.

تولید انبوه سویه‌های میکروبی بومی

با توجه به عدم آشنایی و فقدان دسترسی کشاورزان به تجهیزات تولید میکروارگانیسم‌های مفید و مؤثر در فرآیند تولید بیوکمپوست، بهترین راه‌حل، خرید فرمولاسیون این میکروارگانیسم‌ها از شرکت‌های تولیدکننده این قبیل میکروارگانیسم‌ها است. میزان مصرف این فرمولاسیون در فرآیند بیوکمپوست به‌صورت 10^9 سلول میکروارگانیسم (CFU) در کیلوگرم توده کاه و کلش است. در صورتی‌که تولید بیوکمپوست از کاه و کلش برنج توسط شرکت تولیدکننده بیوکمپوست صورت پذیرد، شرکت می‌تواند میکروارگانیسم‌های مؤثر را خریداری کرده و یا تولید آنها را برون‌سپاری کند. شرکت می‌تواند با ایجاد زیرساخت تولید این میکروب‌ها، رأسا نسبت به تولید آنها اقدام کند. البته برای تولید انبوه سویه‌های میکروبی مؤثر در فرآیند بیوکمپوست در شرایط مناسب، نیاز به وجود فرمانتور با حجم ۱۰۰ تا ۲۰۰ لیتر است. در صورت نیاز به حجم کم، می‌توان از دستگاه شیکر انکوباتور استفاده کرد. در صورت عدم وجود امکانات فوق‌الذکر، می‌توان تولید سویه‌ها را به شکل پیمانکاری برون‌سپاری کرد.



شکل ۸- فرآیند کلی تولید بیوکمپوست از کاه و کلش برنج

سه سویه باکتریایی *باسیلوس سوبتیلیس*، *باسیلوس لیچنیفورمیس* و *نوکاردیوپسیس آلبا*[5] و دو سویه قارچی *ترمواسکوس ائورانتیکوس* و *تریکودرما* در تجزیه پسماندهای برنج برای تولید بیوکمپوست عملکرد بالایی دارند. برای استفاده از این میکروارگانیسم‌ها، لازم است هر سویه در شرایط بهینه کشت شود و محلولی با حداقل غلظت 10^9 cfu/ml تهیه شود. برای این منظور، از محیط کشت مایع تریپتیک سوی براوث[6] استفاده می‌شود. باکتری‌ها در دمای ٢٨ درجه سلسیوس به مدت ١٤ تا ٢٤ ساعت در ارلن یا فرمانتور، با ١٥٠ دور در دقیقه کشت شده تا به غلظت موردنظر برسند. برای تکثیر سویه‌های قارچی *ترمواسکوس ائورانتیکوس* و *تریکودرما* از محیط کشت جامد پوتیتو دکستروز آگار[7] استفاده شود. سپس بلوک‌هایی از این کشت میکروبی به سبوس گندم استریل منتقل شده و در انکوباتور در دمای ٥٠ درجه سلسیوس نگهداری شوند (شکل ٩).

پس از تولید باکتری‌ها و قارچ‌ها، برای اندازه‌گیری تعداد پرگنه (کُلُنی) میکروارگانیسم‌ها در نمونه‌های مایع، تعداد در هر میلی‌لیتر و در نمونه‌های جامد در هر گرم محاسبه می‌شود. برای این کار، معمولاً از روش سری رقت استفاده می‌شود. در این راستا، لازم است رقت‌های مختلف از باکتری تهیه و در محیط کشت آن به مدت ١٨ الی ٢٤ ساعت در انکوباتور با دمای معین کشت شود. سپس تعداد پرگنه‌های ناشی از تغذیه، رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌های موجود در هر پتری‌دیش به دست می‌آید. بدین ترتیب، هنگامی‌که از محلول‌های رقیق‌کننده، عمل کشت‌دادن در محیط‌های جامد (در پتری‌دیش) صورت می‌گیرد، میکروارگانیسم‌های موجود در نمونه با وضعیت مناسب و شرایط آماده‌تری شروع به تغذیه، رشد و تکثیر می‌کنند.

جمع‌آوری کاه و کلش برنج و خیساندن توده

کاه و کلش برنج باقیمانده در مزرعه را به‌صورت دستی و یا مکانیزه جمع‌آوری کرده و سپس به کمک دستگاه خرمنکوب به قطعاتی در محدوده ٣-١ سانتی‌متری خرد شوند. با این عمل، تأثیر میکروارگانیسم‌ها در طول فرآیند بر روی کاه و کلش بیشتر شده و همچنین فرآیند با سرعت بالاتری انجام می‌شود. برای شروع فرآیند، ابتدا باید توده کاه و کلش به مدت ٤٨ ساعت به‌طور کامل خیسانده شود. بعد از این مرحله، اختلاط سایر مواد صورت می‌گیرد. به‌منظور رطوبت‌دهی اولیه و رساندن آن به میزان ٧٠ درصد وزنی، به میزان تقریباً ٥٠٠ کیلوگرم کاه و کلش خشک به مدت سه روز رطوبت‌دهی می‌شود. رطوبت‌دهی کاه و کلش باید پیش از ترکیب‌شدن با سایر افزودنی‌های منظورشده در هر تیمار، صورت گیرد. در طی فرآیند، رطوبت به میزان ٦٠ درصد حفظ شده و هوادهی نیز هر ٦-٤ روز یک‌بار انجام شود.

[5] *Nocardiopsis alba*
[6] Tryptic Soy Broth
[7] Potato Dextrose Agar (PDA)

شکل ۹- کشت سویه‌های باکتریایی (راست) و قارچی (چپ)

اضافه‌کردن مواد افزودنی به توده کاه و کلش خیسانده‌شده

میکروارگانیسم‌ها برای فعالیت مناسب نیاز به منابع کربنی، ازته و نمکی دارند. در حالت عادی، نسبت کربن به ازت در کلش برنج نزدیک به ۱۰۰ است (درصد کربن خیلی بالا و منابع نیتروژنی ناچیز). این نسبت برای تولید بیوکمپوست مناسب نیست. بنابراین، برای پیاده‌سازی فرآیند مطلوب تولید بیوکمپوست از این پسماندها، استفاده از ترکیبات مختلف با نسبت کربن به ازت بسیار کمتر (مانند کود مرغی یا اوره) به‌منظور کاهش نسبت کربن به ازت ضروری است. مناسب‌ترین نسبت کربن به ازت برای شروع فرآیند بیوکمپوست، حدود ٤٠ است. بنابراین، بسته به میزان دسترسی به سایر پسماندهای ارزان‌قیمت، مانند کود مرغی یا کود اوره، باید تلاش کرد تا نسبت کربن به ازت توده اولیه را با استفاده از نسبت مناسب این ترکیبات به میزان مورد نظر رساند. پس از افزودن کلیه ترکیبات به توده، کل توده را با بیل مکانیکی یا دستی بسته به حجم کار مخلوط کرده و سپس ریسه‌ها (ویندروها) با ارتفاع حدود ۱/۵ متر و عرض ۲/۵-۲ متر ساخته می‌شود. ترکیب پیشنهادی برای تولید بیوکمپوست شامل ۸۰-۷۰ درصد کاه و کلش برنج، ۳۰-۲۰ درصد کود مرغی یا دامی (درصدی را هم می‌توان از کود اوره استفاده کرد) و میکروارگانیسم‌ها به میزان 10^6 سلول از هر میکروارگانیسم در هر گرم پسماند نهایی است.

تنظیم رطوبت، دما و هوادهی توده

پس از انجام مراحل فوق، لازم است فرآیند تولید بیوکمپوست به مدت ۲ ماه مدیریت شود. مقدار رطوبت توده باید همواره در حدود ٦٠ درصد حفظ شود. بدین منظور، لازم است مقدار رطوبت توده در هر ریسه هر ۳ روز یک‌بار اندازه‌گیری شود. سیستم آب‌پاشی می‌تواند روی دستگاه ترنر نصب شده و در مرحله هوادهی، رطوبت‌دهی نیز انجام شود. میکروارگانیسم‌های فعال در فرآیند تولید بیوکمپوست از نوع هوازی هستند و وجود اکسیژن برای آنها امری ضروری است. با توجه به حجم بالای توده پسماند در طی فرآیند، اکسیژن موجود در توده به سرعت مصرف می‌شود و فرآیند به سمت بی‌هوازی پیش می‌رود که امری مضر است. برای انجام فعالیت هوازی میکروب‌ها و تقسیم مساوی رطوبت داده‌شده به توده‌ها، لازم است

هوادهی و به‌هم‌زدن با دستگاه ترنر متصل به تراکتور و یا با کمک بیل به‌صورت دستی انجام شود. عمل هوادهی بهتر است به‌طور معمول هر ۳ یا ٤ روز یک‌بار صورت گیرد (شکل ۱۰).

شکل ۱۰- هوادهی دستی توده کاه و کلش برنج

توده بیوکمپوست بالغ

فرآیند تولید بیوکمپوست شامل سه مرحله اصلی مزوفیل، ترموفیل و بلوغ است. در مرحله مزوفیل، میکروارگانیسم‌ها در دمای ۲۰ تا ٤۰ درجه سلسیوس فعالیت می‌کنند. در مرحله ترموفیل، میکروارگانیسم‌ها در دمای ٤۰ تا ۸۰ درجه سلسیوس فعالیت دارند و در نهایت، در مرحله بلوغ که پس از کاهش دما، میکروارگانیسم‌های مزوفیل دوباره فعال می‌شوند. اگر دمای توده پس از مرحله ترموفیل، کاهش یافته و به دمای محیط نزدیک شود و برای چند روز ثابت بماند، این وضعیت نشان‌دهنده بلوغ بیوکمپوست است. در این مرحله، رنگ بیوکمپوست باید قهوه‌ای تیره متمایل به سیاه باشد و بوی آن شبیه خاک جنگل و تازه باشد.

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

سالانه حجم زیادی از کاه و کلش برنج تولید می‌شود که به‌دلیل داشتن سلولز بسیار، برای تغذیه دام مناسب نیست. کشاورزان به‌طور معمول کاه و کلش برنج را سوزانده و یا در زمین دفن می‌کنند که هر دو روش، منجر به آلودگی محیط زیست می‌شوند. تولید بیوکمپوست به عنوان روشی دوست‌دار محیط زیست، راه‌حل مناسبی جهت جایگزینی برای سوزاندن و یا دفن‌کردن کلش برنج است. مراحل تولید بیوکمپوست به ترتیب شامل جمع‌آوری و آماده‌سازی مواد اولیه، کشت میکروارگانیسم‌ها و اضافه‌کردن آنها به کلش برنج به عنوان عوامل تجزیه‌کننده مواد سلولزی، تولید توده بیوکمپوست و کنترل کیفیت نهایی است.

از مزایای تولید بیوکمپوست می‌توان به افزایش کیفیت خاک، تقویت رشد گیاهان به‌دلیل وجود میکروارگانیسم‌های مفید در بیوکمپوست، کاهش آلودگی محیط زیست و درآمدزایی برای کشاورزان اشاره کرد. افزودن کود مرغی (تا حدی که نسبت کربن به ازت در حدود ٤٠ شود) و میکروارگانیسم‌های مؤثر (حداقل غلظت 10^9 cfu/ml) در تجزیه کلش برنج در نهایت منجر به زودرسی بیوکمپوست و افزایش کیفیت آن خواهد شد و وابستگی به کودهای شیمیایی را از بین می‌برد.

فهرست منابع

۱- سرکمریان، فرید، غلامرضا صالحی‌جوزانی و فواد مرادی. ١٣٩٤. بهینه‌سازی تولید سریع کمپوست غنی‌شده از باگاس نیشکر با استفاده از فرآیندهای بیوتکنولوژیک. *زیست‌فن آوری گیاهان زراعی*، ٥ (٩)، ص ٤٩-٦٤.

2. Pourmazaheri, H., G.R. Salehi Jouzani, E. Karimi, S.M.K. Nekouei, M. Tabatabaei and R.M. Amiri. 2015. Development of a bioprocess for fast production of enriched biocompost from municipal solid wastes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 104: 482-489.
3. Sarkamarian, F., G. Salehi Jouzani and F. Moradi. 2015. Fast production of enriched biocompost from sugarcane baggase using biotechnological process. *Crop Biotechnology*, 5 (9): 49-64.
4. Sharafi, R., G.R. Salehi Jouzani, E. Karimi, H. Ghanavati and M. Kowsari. 2023. Enriched biocompost production from rice straw using biotechnology approaches at pilot scale. *Agricultural Biotechnology Journal*, 15 (3):165-196.
5. Sharafi, R., G. Salehi Jouzani, E. Karimi, H. Ghanavati and M. Kowsari. 2024. Integrating bioprocess and metagenomics studies to enhance humic acid production from rice straw. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 40 (6): 1-14.