The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

Effect of Manganese, Iron and Growth Promoting Bacteria on Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*)

Saheb Soodaee Mashaee[1]✉, Golnoosh Banitalebi[2]

1. Corresponding Author, Department of Soil Science and engineering Department, Faculty of Agricultural,, Shahr-e-kord University, Shahrekord , Iran. E-mail: ssoodaie78@gmail.com
2. Department of Soil Science and Engineering, Director of Research and Development, Negin Fasle Mushroom Company, Shahrekord, Iran. E-mail: agri.email@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 13 October 2022

Received in revised form: 1 July 2023

Accepted: 3 July 2023

Published online: 23 September 2023

Keywords:

Spawn-run,

Pseudomonas putida,

Yield, Mushroom,

Plant growth promoter.

ABSTRACT

Mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation is strongly dependent on biological (type and activity of microorganisms) and non-biological supplements in the culture medium. This study was performance to investigate the effects of Manganese and Iron as chemical and *Azotobacter chroococcum*, *Pseudomonas putida*, *Azospirillum lipoferum*, *Bacillus subtilis*, *Enterobacter cloacae*, mixed cyanobacteria as biological supplements on the growth and yield of button mushrooms. Two separate experiments were conducted based on a completely randomized design with three replications. Results showed that addition of *Azotobacter chroococcum* (18.9%) and *Pseudomonas putida* (8.2%) into substrate had a positive effect on yield compared to the control ($p \leq 0.05$). Among the bacteria, *Azotobacter chroococcum* and *Pseudomonas putida* showed more effect than other bacteria. Although the addition of chemical supplements (Mn+Fe) affected the time of harvesting and the weight of the harvested mushrooms in the first flash, no significant difference was observed in the total weight and yield of the produced mushrooms compared to the control. However, the mushroom yield increased by 11.2% compared to the control. The amount of microbial respiration in the compost of the casing run stage and spent mushroom compost in the biological treatment was greater than the control treatment, which indicated the more microbial activity and more decomposition of organic carbon compounds during the growth period of edible mushroom.

Cite this article: Soodaee Mashaee, S., & Banitalebi, G. (2023). Effect of Manganese, Iron and Growth Promoting Bacteria on Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54 (3), 369-382. DOI: http//doi.org/ 10.22059/IJHS.2023.350544.2070

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/IJHS.2023.350544.2070

Extended Abstract

Introduction

The most important edible mushroom is the button mushroom (*Agaricus bisporus*), which is an excellent example of sustainable food production that grows on a substrate with a layer of casing soil and is produced in large quantities for human consumption. Wheat stubble is one of the main traditional materials for button mushroom cultivation. Microorganisms have a remarkable ability to convert and degrade organic residues. Furthermore, addition of manganese dioxide to the compost has a stimulatory effect on mushroom yields. It is worth mentioning that manganese dioxide can enhance the extracellular electron transfer among bacteria. The aim of this study was to optimize the mushroom production process by adding chemical and biological supplements to the casing soil and study their effects on the quality and yield of edible mushrooms in growing room.

Materials and Methods

The effects of manganese and Iron as chemical and *Azotobacter chroococcum*, *Pseudomonas putida*, *Azospirillum lipoferum*, *Bacillus subtilis*, *Enterobacter cloacae* and a mixture of cyanobacteria, as biological supplements on the growth and yield of button mushrooms were investigated in two separate experiments based on a completely randomized design with three replications. Manganese and iron sources were manganese oxide (25% manganese dioxide) and iron sulfate (20% iron), respectively, which were added to the compost pile in the amount of 0.05% (w/w) in phase III of composting along with the casing soil. A certain volume (500 ml) of bacterial inoculum (about 1×10^8 cells/ml population) was sprayed on the compost surface (2.8 m^2) at the casing run stage, this step was repeated on the casing soil on the same day.

Results

The results obtained from the analysis of variance showed that there were statistically significant differences in the weight of mushrooms harvested in the first, second and third flashes and the average weight of each mushroom, among biological treatments ($p\leq0.01$). Meanwhile, significant differences observed in the weight of mushrooms harvested in the second flash ($p\leq0.01$) and the average weight of each mushroom ($p\leq0.05$), between chemical treatments. The results showed that the addition of *Azotobacter chroococcum* and *Pseudomonas putida* had a positive effect on yield (18.9% and 8.2%, respectively) compared to the control ($p\leq0.05$). Among the bacteria used in biological treatment, *Azotobacter chroococcum* and *Pseudomonas putida* showed more effect than other bacteria on yield and quality of mushroom. Although the addition of chemical supplements (Mn+Fe) affected the time of harvesting and the weight of the harvested mushrooms in the first flash, no significant difference was observed in the total weight and yield of the produced mushrooms compared to the control. However, the mushroom yield increased by 11.2% compared to the control. The amount of microbial respiration in the compost of the casing run stage and spent mushroom compost in the biological treatments was greater than the control treatment.

Conclusion

The results of the present research showed that it is possible to obtain reasonably high yields of *A. bisporus* by using biological and chemical supplements at casing run or at casing stage. Supplements types and the potential of using suitable casing soil and compost affect the biological efficiency of mushroom production. The use of microorganisms associated with casing soil in mushroom cultivation can be monitored and used for efficient management in mushrooms production. Among the bacteria used in this research, *Azotobacter crococcum* and *Pseudomonas putida* had a greater effect on mushroom yield, also the highest mushroom size was pbtained, by using *Pseudomonas putida* and *Enterobacter cloacae*. The organic carbon content in biological treatment was higher than chemical treatments during the experiments, which indicates the significant effects of microorganisms compared to chemical supplement. Additional research is needed to determine if the addition of bio-chemical supplements at casing or later, or the addition of both organic and inorganic supplements simultaneously, would further enhance mushroom productivity.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۴، شماره ۳

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

اثر منگنز، آهن و باکتری‌های محرک رشد بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*)

صاحب سودائی مشائی [۱] ✉ | گل‌نوش بنی‌طالبی [۲]

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ssoodaie78@gmail.com

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، تحقیقات و توسعه شرکت قارچ نگین فصل، شهرکرد، ایران. رایانامه: agri.email@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

اسپان‌زنی، سودوموناس پوتیدا، عملکرد، قارچ خوراکی، محرک رشد گیاه.

چکیده

کشت و پرورش قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) وابستگی شدیدی به افزودن مکمل‌های زیستی (نوع و فعالیت ریزجانداران موجود در بستر) و غیرزیستی به بستر کشت دارد. در این مطالعه اثرات منگنز و آهن به عنوان مکمل شیمیایی و باکتری‌های ازتوباکتر کروکوکوم، سودوموناس پوتیدا، آزوسپیریلوم لیپوفروم، باسیلوس سابتیلیس، انتروباکتر کلوآسه، مخلوط سیانوباکترها به عنوان مکمل‌های زیستی بر رشد و عملکرد قارچ خوراکی در دو آزمایش جداگانه و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، اثر مثبت افزودن مکمل زیستی ازتوباکتر کروکوکوم (۱۸/۹ درصد) و سودوموناس پوتیدا (۸/۲ درصد) را بر عملکرد قارچ نسبت به شاهد ($p\leq0.05$) نشان داد. در بین باکتری‌های استفاده شده در تیمار زیستی، باکتری‌های ازتوباکتر کروکوکوم و سودوموناس پوتیدا تأثیر بیشتری نسبت به بقیه باکتری‌ها داشتند. اگرچه کاربرد تیمار شیمیایی (Mn +Fe) در زمان آغاز برداشت و وزن قارچ برداشت شده در فلش اول تأثیر گذاشت، اما وزن کل قارچ تولید شده و عملکرد اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. با این حال، میزان عملکرد قارچ خوراکی نسبت به شاهد، ۱۱/۲ درصد افزایش یافت. میزان تنفس میکروبی پایه در کمپوست مرحله خاکدهی و پس از آن در پسماند کمپوست قارچ (SMC) در تیمار زیستی بیشتر از تیمار شاهد آن بود که نشان دهنده فعالیت میکروبی و تجزیه ترکیبات آلی کربنی بیشتر در طول دوره رشد قارچ خوراکی بود.

استناد: سودائی مشائی، صاحب؛ و بنی‌طالبی، گل‌نوش (۱۴۰۲). اثر منگنز، آهن و باکتری‌های محرک رشد بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*). *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۴ (۳)، ۳۸۲-۳۶۹. DOI: http//doi.org/ 10.22059/IJHS.2023.350544.2070

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/IJHS.2023.350544.2070

مقدمه

قارچ یک محصول غذایی مهم برای میلیون‌ها نفر در سراسر جهان است. مهمترین قارچ خوراکی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) است، نمونه‌ای عالی از تولید مواد غذایی پایدار که روی بستری با لایه خاک پوششی رشد می‌کند و در مقادیر زیاد برای مصرف انسان تولید می‌شوند. کلش گندم یکی از مواد اصلی سنتی برای کشت قارچ دکمه‌ای است (Kertesz & Thai, 2018). بستر قارچ دکمه‌ای به عنوان کمپوست، از طیف وسیعی از بقایای کشاورزی تهیه می‌شود و کلش گندم، کود مرغی، سنگ گچ و سبوس گندم پرمصرف‌ترین ماده برای تولید کمپوست قارچ دکمه‌ای است. محتوای مواد مغذی این مواد بسته به منبع بسیار متفاوت است که به نوبه خود منجر به عملکرد متفاوت می‌شود (Manikandan, *et al*., 2021). در فضای باز به ازای مصرف هر ۱۰ کیلوگرم کلش خشک، ۰/۸ کیلوگرم قارچ خوراکی تولید می‌شود اما در فضای بسته به ازای مصرف هر ۱۰ کیلوگرم کلش خشک، بیش از ۲ کیلوگرم قارچ خوراکی تولید می‌شود که به دلیل هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالاتر و کنترل دقیق‌تر شرایط رشد قارچ می‌باشد (Soodaee & Banitalebi, 2022).

در حال حاضر، راه‌های بهبود تبدیل مواد آلی را می‌توان به مسیرهای بیولوژیکی و شیمیایی تقسیم کرد. میکروارگانیسم‌ها از مسیر بیولوژیکی عملکرد خوبی در تبدیل و تجزیه بقایای آلی نشان می‌دهند (Li *et al*. 2020). با این حال غربالگری و کشت میکروارگانیسم‌ها از کمپوست زمان بر و پرزحمت است. پیش تیمارهای مختلف شیمیایی، مانند هیدرولیز اسیدی، هیدرولیز قلیایی و حلال‌های آلی برای تسریع در تبدیل بقایای آلی به کار برده شده است (Luo *et al*., 2019)، با این حال،این روش‌ها هزینه‌ها را افزایش داده و خطرات شدیدی را برای محیط زیست به همراه دارد. اخیراً، دی‌اکسید منگنز (MnO_2) به فرآیند کمپوست‌سازی اضافه شده است که به طور قابل توجهی تغییر و تبدیل بقایای آلی را ارتقاء داده است (Qi *et al*., 2021). دی‌اکسید منگنز به عنوان یک برنامه امیدوارکننده برای تبدیل بقایای آلی کشاورزی با فرآیند کمپوست‌سازی در حال ظهور است. قابل ذکر است که دی‌اکسید منگنز می‌تواند انتقال الکترون خارج سلولی را در بین باکتری‌ها تقویت کند (Dong *et al*., 2021). این خاصیت بیشتر بر فرآیند متابولیک باکتری‌های دخیل در تبدیل بقایای آلی در کمپوست تأثیر می‌گذارد که شاید عامل اصلی برای MnO_2 جهت بهبود تبدیل بقایای آلی باشد. علاوه بر این، گزارش شده است که دی‌اکسید منگنز می‌تواند ساختار جامعه باکتریایی را که ممکن است برای تبدیل اجزای آلی در کمپوست‌سازی مفید باشند، تغییر دهد. با این حال، مکانیسم‌های دخیل در چگونگی ارتقاء تغییر شکل بقایای آلی در فرآیند کمپوست‌سازی با افزودن دی اکسید منگنز همچنان مبهم هستند (Wu *et al*., 2018).

پیشینه تحقیق

مطالعه تأثیر جدایه‌های باکتری سودوموناس پوتیدا بر عملکرد قارچ خوراکی دکمه‌های سفید (*A. bisporus*) نشان داد که از ۸۱ جدایه باکتری جداسازی شده از خاک پوششی به‌دست آمده از ۶ مزرعه پرورش قارچ خوراکی، ۳۳ جدایه به عنوان باکتری سودوموناس پوتیدا شناسایی شدند. نتایج تلقیح این جدایه‌ها به خاک پوششی قارچ خوراکی در آزمایش مزرعه‌ای دلالت بر تأثیر مثبت و معنی‌دار جدایه‌ها بر وزن تر (۳۶۱/۶ گرم نسبت به ۱۴۶/۴ گرم تیمار شاهد) و تعداد قارچ (۲۱ نسبت به ۸/۵ تیمار شاهد) بر کیلوگرم کمپوست داشت. توان تولید سیدروفور، توان تولید هورمون ایندول استیک اسید و توانایی حل‌کنندگی فسفات نامحلول در جدایه‌های سودوموناس ارزیابی شد و نشان داده شد که توانایی تولید هورمون ایندول استیک اسید توسط باکتری‌ها ($r=0.58$ با وزن تر قارچ) ممکن است عامل تاثیرگذار بر عملکرد قارچ دکمه‌ای باشد (Lotfi *et al*., 2018). اتیلن یکی از عوامل احتمالی مهار رشد قارچ دکمه‌ای سفید می‌باشد، به این ترتیب که باکتری‌های سودوموناس پوتیدا به واسطه آنزیم ACC – دآمیناز، با کاهش میزان ACC و در نتیجه کاهش سطح اتیلن در قارچ دکمه‌ای سفید باعث رشد هیف می‌شوند (Chen *et al*., 2021). باکتری سودوموناس پوتیدا از طریق تولید سیدروفور با کنترل میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و تسهیل جذب آهن باعث حفظ کیفیت محصول و افزایش عملکرد در میزبان می‌شود (Ali & Vidhal, 2013). افزودن آهن به محیط کشت *A. bisporus*

باعث القای تشکیل ساختارهای ته‌سنجاقی در این قارچ خوراکی می‌شود (Gulser & Peksen, 2003). بررسی مکانیسم‌های موثر بر افزایش رشد و عملکرد قارچ دکمه‌ای از طرف باکتری‌های محرک رشد نشان داد که از بین ۹۰ جدایه، بیشترین عملکرد قارچ مربوط به باکتری‌های تولید کننده ایندول استیک اسید (IAA) با افزایش ۱۲/۷ درصدی وزن تازه قارچ خوراکی در مقایسه با شاهد و بیشترین مقدار ماده خشک، بیشترین تعداد قارچ و بیشترین میزان پروتئین مربوط به باکتری‌های دارای تمام ویژگی‌های محرک رشد (PGPR) بود (Ebadi *et al.*, 2012). نقش باکتری‌های موجود در مواد اولیه کشت قارچ (کمپوست و خاک پوششی) و باکتری‌های بدست آمده از سایر منابع (غیر از کمپوست و خاک پوششی) در بسیاری از تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است و اثر فزاینده آنها را بر رشد میسلیوم و تسریع در تبدیل مراحل کمپوست‌سازی در مقیاس آزمایشگاهی کشت قارچ نشان داده شده است (Mollai & Besharati, 2011).

پسماند کمپوست قارچ (SMC[1]) یا ضایعات مصرف شده قارچ که پس از برداشت قارچ در سالن‌های پرورش باقی می‌ماند، علاوه بر میسلیوم‌ها و متابولیت‌های قارچی؛ حاوی مقدار قابل توجهی از مواد آلی باقیمانده مانند لیگنوسلولز و پروتئین است (Meng *et al.*, 2020). به ازای هر کیلوگرم قارچ خوراکی حدود ۵ کیلوگرم پسماند کمپوست قارچ تولید می‌شود (Aziera *et al.*, 2015). اهدافی که برای انجام این پژوهش دنبال می‌شود، شامل ارزیابی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی کمپوست طی فرآیند تولید و مصرف، بهینه‌سازی فرآیند تولید قارچ با استفاده از مکمل‌های شیمیایی و زیستی در خاک پوششی و بررسی تأثیر خاک پوششی بهینه‌سازی شده بر کیفیت و عملکرد قارچ خوراکی در سالن‌های پرورش قارچ می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش

به منظور ارزیابی اثر مکمل‌های شیمیایی و زیستی بر تولید قارچ خوراکی، دو آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به‌صورت جداگانه در دو سالن پرورش قارچ شرکت کشت و صنعت قارچ نگین فصل شهرکرد در سال ۱۴۰۰ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل افزودن مکمل شیمیایی در دو سطح (شاهد و افزودن منگنز + آهن) و افزودن مکمل زیستی در هفت سطح (شاهد، باکتری ازتوباکتر کروکوکوم، سودوموناس پوتیدا، آزوسپیریلوم لیپوفروم، باسیلوس سابتیلیس، انتروباکتر کلوآسه و مخلوط سیانوباکترهای *Anabaena*، *Nostoc* و *Calothrix* در فاز III کمپوست‌سازی همراه با خاک پوششی اعمال شدند. مایه تلقیح باکتریایی (با جمعیت حدود $۱۰^{۸}\times۱$ سلول در میلی‌لیتر) با حجم مشخص (۵۰۰ میلی‌لیتر) یک بار در سطح (۲/۸ متر مربع) کمپوست مرحله خاکدهی مه‌پاشی شد و در همان روز یک بار دیگر و به همان مقدار در هنگام دادن خاک پوششی، روی خاک پوششی مه‌پاشی شد. باکتری‌های مورد استفاده از کلکسیون میکروبی آزمایشگاه میکروبیولوژی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شدند. منابع منگنز و آهن به ترتیب شامل اکسید منگنز (۲۵ درصد دی‌اکسید منگنز) و سولفات آهن (۲۰ درصد آهن) به مقدار ۰/۰۵ درصد (وزنی/وزنی) به توده کمپوست اضافه شدند. برخی صفات مثل تعداد و وزن قارچ تولید شده، عملکرد، راندمان بیولوژیکی و نرخ تولید (Mamiro *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2019) در سالن پرورش قارچ اندازه‌گیری شدند. بعد از اعمال تیمار شیمیایی و زیستی در دو سالن پرورش جداگانه با کمپوست اولیه یکسان، برخی خصوصیات شیمیایی و زیستی کمپوست فاز III، خاک پوششی، پسماند کمپوست قارچ در تیمار شاهد و تیمار افزودن مکمل‌ها اندازه‌گیری شدند. یک نمونه مرکب (حدود ۳ کیلوگرم) از کمپوست در سه تکرار برداشته و به آزمایشگاه منتقل و در دمای یخچال (۴ درجه سلسیوس) تا زمان شروع تجزیه آزمایشگاهی نگهداری شد. برخی از خصوصیات شیمیایی و زیستی نمونه‌ها شامل: اسیدیته (نسبت ۱:۵)، قابلیت هدایت الکتریکی (نسبت ۱:۵)، تنفس میکروبی، تنفس ناشی از سوبسترا (Anderson *et al.*, 1990)، میزان نیتروژن و کربن آلی به روش والکلی‌بلاک (Nelson & Sommers, 1982)، کربن محلول در آب سرد و داغ (Corre *et al.*, 1999)، خاکستر و وزن خشک (Sharma, 1995)، به عنوان شاخص‌های کیفی کمپوست اندازه‌گیری شد.

1 Spent Mushroom Compost
2 Casing run

مواد خام مورد استفاده در تهیه کمپوست قارچ خوراکی در شرکت کشت و صنعت قارچ نگین فصل شامل کلش گندم (۴۵–۵۰ درصد)، کود مرغی (۳۰–۳۵ درصد)، باگاس نیشکر (۸–۱۰ درصد) و گچ (۱۰ درصد) (وزنی/وزنی) بود که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها در جدول ۱ نشان داده شده است. نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در کاه گندم حدود ۷۴، در کود مرغی حدود ۱۳ و در باگاس نیشکر حدود ۵۲ بود. با توجه به نسبت کربن به نیتروژن بالای کاه گندم و باگاس نیشکر، کود مرغی به عنوان منبع تأمین کننده نیتروژن و ترکیبات آلی سهل الوصول برای میکروب‌های تجزیه کننده ترکیبات لیگنوسلولزی به توده کمپوست اضافه شد و علاوه بر آن جهت تنظیم نسبت کربن به نیتروژن، کود شیمیایی نیتروژن (سولفات آمونیوم و اوره از هر کدام حدود ۰/۱۵ درصد) هم به توده اضافه شد. نسبت کربن به نیتروژن توده در ابتدای فرآیند کمپوست‌سازی حدود ۴۶ بود.

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی مواد خام اولیه در تولید کمپوست قارچ خوراکی

مواد خام	سلولز (درصد)	همی‌سلولز (درصد)	لیگنین (درصد)	نیتروژن (درصد)	کربن آلی (درصد)	خاکستر (درصد)	اسیدیته (۱:۱۰)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس/متر)	رطوبت (درصد)
کاه گندم	۳۶	۲۰	۱۷	۰/۴۳	۳۱/۸	۲۲/۰	۶/۷۳	۲/۴	۳/۷
کود مرغی	–	–	–	۳/۲۰	۴۱/۰	۱۴/۵	۶/۸۵	۸/۵	۳۸/۰
باگاس نیشکر	۳۵	۳۱	۲۰	۰/۹۵	۵۰/۰	–	۷/۶۰	۳/۱	۱۶/۰
گچ	–	–	–	–	–	۹۸/۰	۷/۰۵	–	۹/۰

جهت بررسی تجزیه و تحلیل آماری داده‌های پژوهش، ابتدا فرضیات تجزیه واریانس شامل همگن بودن واریانس و توزیع نرمال باقیمانده‌ها بررسی و تجزیه واریانس در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و سه تکرار انجام شد. نتایج حاصله توسط نرم‌افزار SAS (V. 9.2) تجزیه و تحلیل شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن با سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

اثر مکمل‌های زیستی بر عملکرد و تولید قارچ

با تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که وزن قارچ برداشت شده در فلش‌های اول، دوم و سوم و میانگین وزن هر قارچ در تیمارهای زیستی اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0.01$) داشت، ولی صفات وزن کل قارچ خوراکی، عملکرد، راندمان بیولوژیکی، نرخ تولید و میزان رطوبت قارچ براساس وزن تر در تیمارهای زیستی اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد نداشتند.

با مقایسه میانگین بین تیمارها (جدول ۲) مشخص شد که در تیمار زیستی که از باکتری‌های مختلف در فاز III کمپوست-سازی در ابتدای مرحله اسپان‌ران و خاکدهی مورد استفاده قرار گرفت، وزن قارچ در فلش اول در تیمار باکتری ازتوباکتر ۳۲/۴ کیلوگرم و سودوموناس ۳۱/۵ کیلوگرم، در سطح مورد آزمایش هر تیمار (۲/۸ متر مربع)، بیشتر از سایر باکتری‌ها بود که با تیمار شاهد با وزن ۲۴/۴ کیلوگرم از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد. در فلش دوم وزن قارچ در تیمار باکتری ازتوباکتر به ۱۵/۲۳ کیلوگرم کاهش یافت که با تیمار آزوسپیریلوم (۱۵/۵۱ کیلوگرم) و سیانوباکتر (۱۴/۲۳ کیلوگرم) اختلاف معنی‌داری نداشت. در فلش سوم میزان قارچ برداشت شده در تیمار باسیلوس (۱۲/۰۸ کیلوگرم) و انتروباکتر (۱۰/۶۷ کیلوگرم) بیشتر از بقیه تیمارهای زیستی بود. بیشترین وزن کل قارچ برداشت شده در تیمار باکتری ازتوباکتر (۵۴/۳ کیلوگرم) و سودوموناس (۴۹/۷ کیلوگرم) حاصل شد که از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری را با تیمار شاهد (۴۵/۷) نشان داد. بزرگ‌ترین اندازه و کیفیت هر قارچ برداشت شده در تیمار باکتری سودوموناس (۲۲/۰۸ گرم به ازای هر قارچ) و انتروباکتر (۲۲/۰۰ گرم به ازای هر قارچ) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد نیز تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد

نشان داد. عملکرد قارچ خوراکی در تیمار مصرف باکتری ازتوباکتر (۱۹/۴۱ کیلوگرم در متر مربع) بیشتر از سایر تیمارها بود که از لحاظ آماری با بقیه تیمارهای زیستی در یک کلاس آماری قرار داشت ولی نسبت به تیمار شاهد ۱۸/۹ درصد افزایش را نشان داد. مصرف باکتری سودوموناس پوتیدا با عملکرد ۱۷/۷۷ کیلوگرم در مترمربع باعث افزایش ۸/۲ درصد عملکرد نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین راندمان بیولوژیکی و نرخ تولید در تیمار باکتری ازتوباکتر (به ترتیب ۲۲/۳۵ درصد و ۲/۰۳ کیلوگرم بر کیلوگرم در روز) حاصل گردید و با تیمار شاهد نیز تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد.

جدول ۲. مقایسه اثر تیمارهای زیستی بر میانگین عملکرد و اجزای عملکرد قارچ خوراکی

تیمارها	وزن قارچ فلش اول (کیلوگرم)	وزن قارچ فلش دوم (کیلو گرم)	وزن قارچ فلش سوم (کیلوگرم)	وزن کل قارچ (کیلوگرم)	میانگین وزن هر قارچ (کیلوگرم)	عملکرد (کیلوگرم/مترمربع)	راندمان بیولوژیکی (درصد)	نرخ تولید (کیلوگرم برکیلوگرم در روز)	رطوبت قارچ (وزن‌تازه) (درصد)
ازتوباکتر	۳۲/۴۰a	۱۵/۲۳a	۶/۷۰c	۵۴/۳۳a	۱۹/۵۳bc	۱۹/۴۱a	۲۲/۳۵a	۲/۰۳a	۸۹/۶۷a
سودوموناس	۳۱/۵۲ab	۱۱/۱۹c	۷/۰۳bc	۴۹/۷۵ab	۲۲/۰۸a	۱۷/۷۷ab	۲۰/۴۷ab	۱/۸۵ab	۹۰/۷۹a
آزوسپیریلوم	۲۵/۱۲c	۱۵/۵۱a	۸/۵۰bc	۴۹/۱۴ab	۲۰/۸۲ab	۱۷/۵۵ab	۲۰/۲۱ab	۱/۸۴ab	۸۹/۶۰a
باسیلوس	۲۴/۸۰c	۱۰/۹۹c	۱۲/۰۸a	۴۷/۸۷ab	۱۹/۰۱bc	۱۷/۰۹ab	۱۹/۶۹ab	۱/۷۹ab	۸۹/۹۶a
انتروباکتر	۲۴/۷۹c	۱۲/۲۶bc	۱۰/۶۷a	۴۷/۷۳ab	۲۲/۰۰a	۱۷/۰۵ab	۱۹/۶۴ab	۱/۷۸ab	۹۰/۲۷a
سیانوباکتر	۲۷/۳۶bc	۱۴/۳۵ab	۷/۴۱bc	۴۹/۱۳ab	۱۷/۸۴c	۱۷/۵۴ab	۲۰/۲۱ab	۱/۸۳ab	۹۱/۱۱a
شاهد	۲۴/۴۲c	۱۲/۶۵bc	۸/۶۴b	۴۵/۷۱b	۱۸/۱۱c	۱۶/۳۲b	۱۸/۸۱b	۱/۷۱b	۸۹/۱۸a

*حروف مشابه در هر ستون و هر گروه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است. (منبع: یافته‌های تحقیق)

اثر مکمل‌های شیمیایی بر عملکرد و تولید قارچ

با تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که وزن قارچ برداشت شده در فلش‌های دوم در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0.01$) و میانگین وزن هر قارچ در سطح احتمال ۵ درصد ($p\leq0.05$) اختلاف معنی‌داری داشتند، ولی وزن قارچ برداشت شده در فلش اول و سوم، وزن کل قارچ، عملکرد، راندمان بیولوژیکی، نرخ تولید و میزان رطوبت قارچ براساس وزن تر در تیمارهای شیمیایی اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد نداشتند.

با مقایسه میانگین بین تیمارها (جدول ۳) مشخص شد که در تیمار شیمیایی (Mn +Fe) در فلش اول میزان قارچ بیشتری نسبت به شاهد برداشت شد (۲۲/۵۴ کیلوگرم) ولی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نشان نداد. میزان قارچ برداشت شده در فلش دوم در تیمار شیمیایی کمتر از تیمار شاهد شد که این اختلاف از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. با این حال میانگین کل برداشت قارچ خوراکی (۳۹/۸۵ کیلوگرم) در تیمار شیمیایی (Mn+Fe) بیشتر از تیمار شاهد شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. میانگین وزن یا اندازه قارچ برداشت شده در تیمار شیمیایی ۸/۶ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود که می‌توان به تأثیر آهن و منگنز بر اندازه قارچ اشاره کرد. میزان عملکرد قارچ خوراکی در تیمار شیمیایی نسبت به شاهد، ۱۱/۲ درصد افزایش نشان داد. راندمان بیولوژیکی و نرخ تولید در تیمار شیمیایی و شاهد اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری نداشتند.

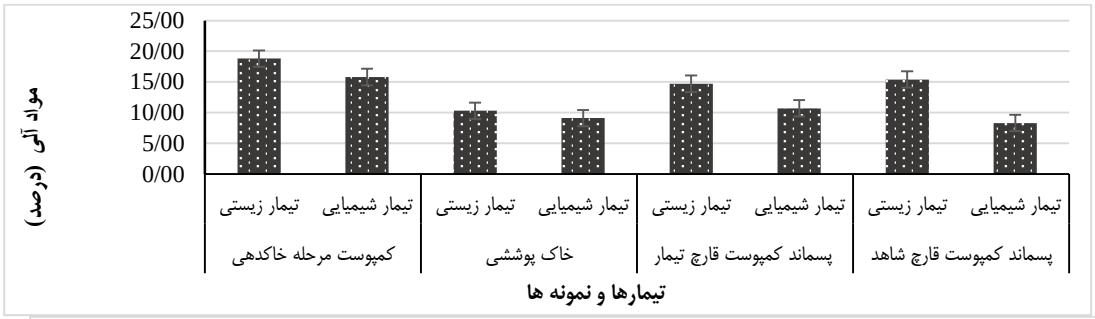
جدول ۳. مقایسه اثر تیمارهای شیمیایی بر میانگین عملکرد و اجزای عملکرد قارچ خوراکی

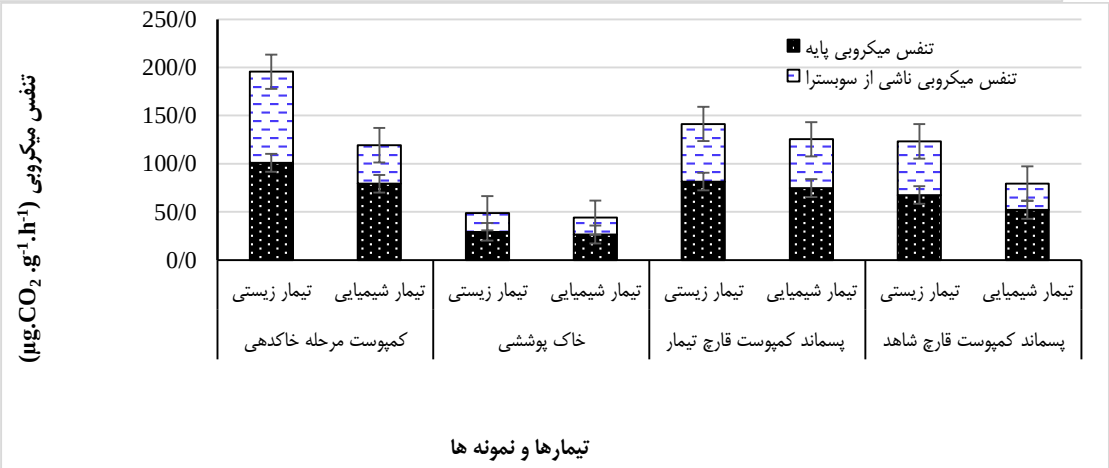
تیمارها	وزن قارچ فلش اول (کیلوگرم)	وزن قارچ فلش دوم (کیلوگرم)	وزن قارچ فلش سوم (کیلوگرم)	وزن کل قارچ (کیلوگرم)	میانگین وزن هر قارچ (گرم)	عملکرد (کیلوگرم/مترمربع)	راندمان بیولوژیکی (درصد)	نرخ تولید (کیلوگرم بر کیلوگرم در روز)	رطوبت قارچ (وزن‌تازه) (درصد)
منگنز+ آهن	۲۲/۵۴a	۱۳/۹۵b	۳/۳۵a	۳۹/۸۵a	۲۵/۲a	۱۷/۳۹a	۱۶/۹۴a	۱/۴۱a	۸۸/۳۸a
شاهد	۲۰/۲۹a	۱۵/۵۲a	۳/۷۰a	۳۹/۵۱a	۲۳/۲b	۱۵/۶۳a	۱۷/۲۳a	۱/۴۴a	۸۸/۵۱a

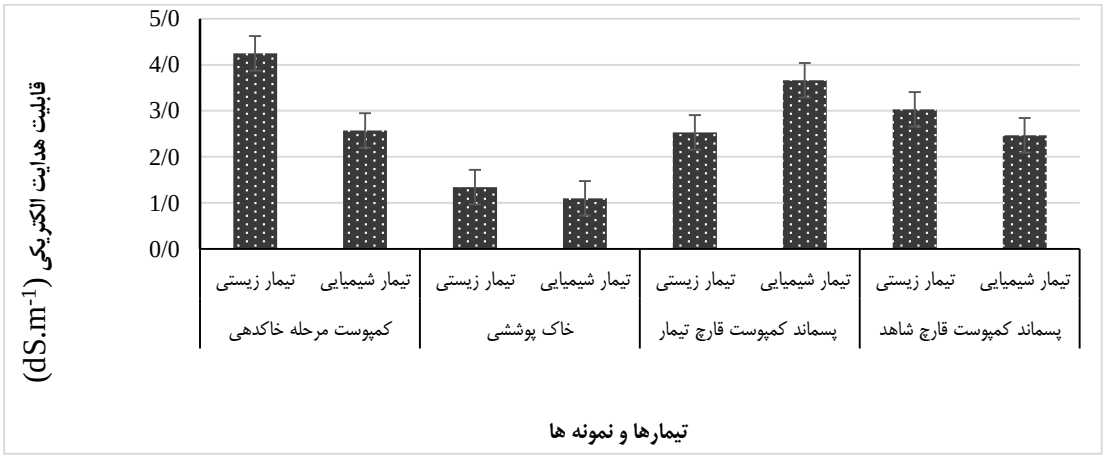
*حروف مشابه در هر ستون و هر گروه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است. (منبع: یافته‌های تحقیق)

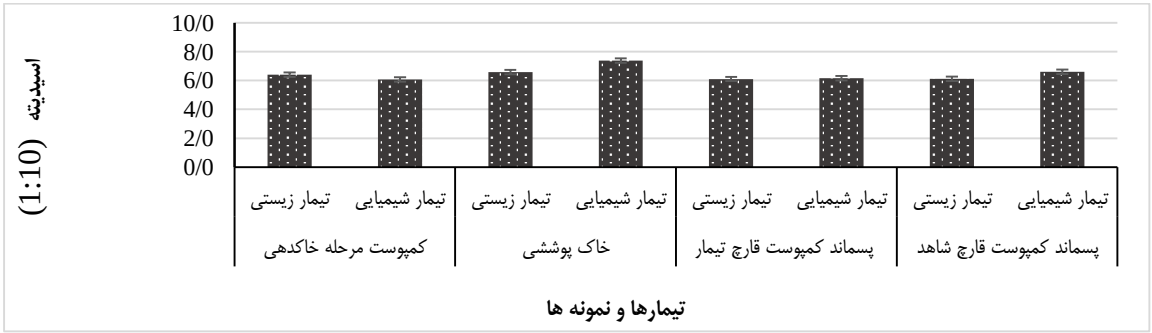
اثر مکمل‌های زیستی و شیمیایی بر برخی خصوصیات بستر، خاک پوششی و کمپوست قارچ مصرفی

برای ارزیابی تغییرات زیستی توده کمپوست در اثر فعالیت میکروارگانیسم‌ها، بهتر است از نمایه‌های زیست– شیمیایی خاک مثل تنفس میکروبی که نشان دهنده تنوع، توزیع زیستی و فعالیت میکروب‌های فعال می‌باشد در توده در حال کمپوست شدن استفاده شود. میزان تنفس پایه و ناشی از سوبسترا در کمپوست مرحله خاک‌دهی (زمان اعمال تیمار زیستی و شیمیایی) به ترتیب ۱۰۱/۰ و ۹۴/۶ میکروگرم CO_2 بر گرم در ساعت در تیمار زیستی و ۷۹/۲ و ۴۰/۱ میکروگرم CO_2 بر گرم در ساعت در تیمار شیمیایی بود (شکل ۱) که می‌تواند نشان از بیشترین میزان فعالیت میکروبی و تجزیه ترکیبات آلی کربنی موجود در توده در حال کمپوست شدن داشته باشد. کمترین میزان تنفس پایه و برانگیخته به ترتیب ۸۱/۵ و ۵۰/۸ میکروگرم CO_2 بر گرم در ساعت در تیمار زیستی و ۲۶/۴ و ۱۷/۶ میکروگرم CO_2 بر گرم در ساعت در تیمار شیمیایی در خاک پوششی حاصل گردید که نشان می‌دهد با توجه به اینکه خاک پوششی قبل از استفاده در سالن‌های مخصوص در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد پاستوریزه می‌شود، جمعیت زیادی از میکروارگانیسم‌های مفید را از دست خواهند داد و بنابراین، این وضعیت دلیلی بر تنفس میکروبی کمتر در آن می‌باشد. میزان کربن آلی کل در کمپوست مرحله خاک‌دهی در تیمار زیستی و شیمیایی به ترتیب ۱۸/۸۰ و ۱۵/۸۰ درصد بود که با گذشت زمان و پیشرفت فرآیند تولید قارچ کاهش می‌یابد. میزان اسیدیته در تیمار زیستی و شیمیایی در دامنه‌ای بین ۶/۰۸ در کمپوست مرحله خاک‌دهی تیمار شیمیایی و ۶/۶۰ در پسماند کمپوست قارچ متغیر بود. بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی ۴/۲۵ دسی‌زیمنس برمتر، در کمپوست مرحله خاک‌دهی تیمار زیستی و ۳/۶۶ دسی‌زیمنس بر متر در پسماند کمپوست قارچ تیمار شیمیایی ثبت گردید.









شکل ۱. مقادیر کربن آلی، تنفس میکروبی پایه و ناشی از سوبسترا، قابلیت هدایت الکتریکی و اسیدیته در تیمارهای زیستی و شیمیایی بعد از اعمال تیمار در کمپوست، خاک پوششی، پسماند کمپوست قارچ تیمار و شاهد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

بحث

در تحقیقی گزارش شده است که کاربرد باکتری باسیلوس و انتروباکتر در کنترل زیستی عوامل بیماری‌زای قارچ خوراکی تأثیرگذار است، معمولاً این بیماری‌ها در فرآیند تولید قارچ خوراکی در فلش سوم بیشتر شیوع می‌یابند (Ashmavi *et al*., 2022; Safirzadeh *et al*., 2019). باکتری سودوموناس باعث تحریک میسیلیوم قارچ و انتقال آن از فاز رویشی به فاز زایشی می‌شود. اگر خاک پوششی حاوی باکتری سودوموناس پوتیدا نباشد، میسلیوم‌های قارچ خوراکی بدون تشکیل پین (ته سنجاقی) به رشد خود ادامه می‌دهند (Den Ouden, 2022). جمعیت باکتری‌ها در خاک پوششی مرطوب به سرعت افزایش می‌یابد و وجود باکتری سودوموناس پوتیدا برای تحریک میسلیوم و پین‌زایی ضروری است (Lotfi *et al*., 2018). مصرف باکتری سودوموناس پوتیدا باعث افزایش ۸/۲ درصد عملکرد نسبت به تیمار شاهد شد. مکانیسم‌های موثر بر افزایش رشد و عملکرد قارچ دکمه‌ای از طرف باکتری‌های محرک رشد می‌تواند به دلیل تولید ایندول استیک اسید (Ebadi *et al*., 2012)، تثبیت نیتروژن اتمسفری (Ahlawat & Rai, 2015) و تولید سیدروفور (Ali & Vidhal, 2013) باشد.

مصرف مایه تلقیح میکروبی از جمله باکترهای ازتوباکتر و سودوموناس و انتروباکتر در فاز III کمپوست‌سازی بر میزان تولید و کیفیت قارچ خوراکی تأثیرگذار می‌باشد که به طور متوسط حدود ۱۸/۹ درصد افزایش عملکرد حاصل می‌گردد. باکتری‌های محرک رشد از جمله باکتری ازتوباکتر با تثبیت نیتروژن اتمسفری و تولید ایندول استیک اسید به رشد و بهبود عملکرد قارچ دکمه‌ای کمک می‌کنند (Ebadi *et al*., 2012). در پژوهشی، با افزودن مکمل ماده غذایی کندرهای تجاری برای کشت قارچ خوراکی (کنجاله سویا در مرحله اسپان‌ران و مرحله خاک‌دهی، مکمل ترکیبی نیتروژن و عنصر ریزمغذی در مرحله اسپان‌ران) نشان دادند که عملکرد قارچ با مکمل کندرهای تجاری ۱۰ درصد (۲۰/۱ کیلوگرم در متر مربع) در مرحله خاک‌دهی بیشتر بود. در بستر غنی شده با مکمل ترکیبی نیتروژن و ریزمغذی‌ها به میزان با ۰/۷۴ و یا ۰/۹ درصد در زمان اسپان‌ران، عملکرد به ترتیب ۵۱/۸ درصد (۱۲/۹ کیلوگرم در مترمربع) و ۷۱/۸ درصد (۱۴/۶ کیلوگرم در مترمربع) نسبت به بستر غنی نشده (۸/۵ کیلوگرم در مترمربع) افزایش یافته است (Mamiro *et al*., 2007). جمعیت متنوعی از باکتری‌ها و قارچ‌ها در تولید قارچ خوراکی درگیر هستند. کمپوست‌سازی توسط یک کنسرسیوم میکروبی متشکل از قارچ‌های گرمادوست (*Scytalidium thermophilum*) و طیفی از پروتئوباکتری‌ها و اکتینوباکتری‌های گرمادوست انجام می‌شود که بسیاری از آنها اخیراً شناسایی شده‌اند. گونه‌های باکتریایی خاصی باعث افزایش طول هیف‌های قارچ خوراکی می‌شوند و فعالیت باکتری برای القای تولید بدن‌های میوه‌دهی قارچ در طول کشت مورد نیاز است (Kertesz & Thai, 2018). کاربرد باکتری باسیلوس مگاتریوم ، باسیلوس سابتیلیس[1] (Ekinci & Dursun, 2014) و سودوموناس پوتیدا (Chen *et al*,. 2013) در کمپوست و خاک پوششی نشان داده است که بیشترین عملکرد کل (۱۴۵/۹ گرم در یک کیلوگرم بستر)، قطر کلاهک، قطر ساقه و وزن قارچ در محیط کشت حاوی باکتری باسیلوس سابتیلیس و باسیلوس مگاتریوم و کود آلی حاصل می‌شود (Ekinci & Dursun, 2014).

از آنجایی که تراکم هیف قارچ خوراکی در طول میوه‌دهی به اوج خود می‌رسد، بیشتر گونه‌های باکتریایی شناسایی شده در مطالعات اخیر، احتمالاً از نظر فیزیکی با میسلیوم قارچ در ارتباط هستند. این در اصل برای همه گونه‌های مختلف باکتری‌ها صادق است، اما گونه‌های باکتریایی غالب متصل به هیف قارچ دکمه‌ای در خاک پوششی، اعضای گروه سودوموناس هستند. سودوموناس‌ها تا ۸۰ درصد از باکتری‌ها را در محیط خاک پوششی تشکیل می‌دهند و شامل باکتری‌های آغازگر بازیدیوم سودوموناس پوتیدا و سودوموناس فلورسنس و سودوموناس تولاسی (پاتوژن قارچ) می‌باشند (Vieira & Pecchia, 2021). قارچ‌های دکمه‌ای طیف وسیعی از ترکیبات آلی فرار را تولید می‌کنند که مهمترین آنها اتیلن و چندین ترکیب C8 است که

1*Bacillus megaterium*
2*Bacillus subtilis*
3*Pseudomonas putida*
4*Pseudomonas fluorescens*
5*Pseudomonas tolaasii*

توسط سودوموناس‌ها در خاک پوششی متابولیزه می‌شوند (Baars *et al.*, 2020). مطالعات محققان نشان می‌دهد که علاوه بر سودوموناس پوتیدا، سایر جمعیت‌های باکتریایی بومی که مسئول حذف مواد شیمیایی بازدارنده تولید شده توسط میسلیوم قارچ دکمه‌ای سفید و القای رشد پریموردیا و رشد میسلیوم هستند، نیز اهمیت دارند و به جای استفاده از یک سویه باکتری، استفاده از یک کنسرسیوم میکروبی موثر با کارایی بیشتر نیاز است (Shamugam & Kertesz, 2023). پیشرفت‌های اخیر در شناخت باکتری‌ها و قارچ‌های مهم و کلیدی در تولید کمپوست قارچ، پتانسیل بهبود بهره‌وری کمپوست قارچ و افزایش عملکرد را فراهم می‌کنند. همچنین سرکوب و حذف عوامل بیماری‌زا با تنوع میکروبی محیط کشت توسط برخی پژوهشگران به اثبات رسیده است (Song *et al.*, 2021).

تأثیر مکمل‌های شیمیایی بر عملکرد و تولید قارچ، تولید سیدروفور (Ali & Vidhal, 2013) و کاهش سطح اتیلن تنشی (Chen *et al.*, 2013) توسط باکتری سودوموناس پوتیدا در خاک پوششی قارچ دکمه‌ای می‌تواند باعث رشد هیف و تسهیل جذب آهن و در نتیجه افزایش عملکرد شود.

دی‌اکسید منگنز می‌تواند انتقال الکترون خارج سلولی را در بین باکتری‌ها را تقویت (Dong *et al*., 2021) و همچنین ساختار جامعه باکتریایی را تغییر دهد به‌طوری که برای تبدیل ترکیبات آلی در کمپوست‌سازی مفید باشد (Wu *et al*., 2018). بازیدیومیست‌هایی مثل قارچ دکمه‌ای سفید تجزیه کننده لیگنین هستند و با تولید آنزیم‌های فنل اکسیداز خارج سلولی مانند لاکاز و منگنز پراکسیداز (MnP) سبب تجزیه بستر لیگنوسلولزی که روی آن رشد می‌کنند، می‌شوند (Doddapaneni *et al.*, 2013). ژن‌های کدکننده آنزیم‌های لاکازها و پراکسید منگنز به شدت در قارچ دکمه‌ای سفید در طول تکثیر میسلیوم در کمپوست و بعداً در رشد قارچ با شدت کمتری بیان می‌شوند (Patyshakuliyeva *et al*,. 2015). رابطه بین مهار رشد میسلیوم و توانایی باکتری‌های خاص برای القای فعالیت آنزیم لیگنینولیتیک ممکن است با تولید گونه‌های اکسیژن فعال مرتبط باشد. تولید پراکسید هیدروژن با افزایش زیست توده میسلیوم رویشی قارچ که ناشی از واکنش‌های اکسیداسیون کاتالیز شده توسط لاکازها و منگنزپراکسیداز است، می‌تواند بازخورد مثبتی در تولید پایین‌دست اتیلن بازدارنده رشد توسط میسلیوم ایجاد کند (Shamugam & Kertesz, 2023).

مکانیسم‌های متابولیکی اصلی باکتریایی دخیل در ترکیبات کربن و نیتروژن با افزودن دی‌اکسید منگنز (با تیمار شاهد و تیمار افزودن دی‌اکسید منگنز) نشان داد که دی‌اکسید منگنز تبدیل کربن و نیتروژن را در کمپوست تسریع می‌کند. باکتری‌های اصلی دخیل در تبدیل کربن و نیتروژن شناسایی شده‌اند، این باکتری‌ها در کمپوست تیمار شده با دی‌اکسید منگنز تحت تأثیر مکمل شیمیایی قرار گرفتند (Qi *et al.*, 2021). علاوه بر این، تأثیر باکتری‌های اصلی کمپوست تیمار شده با دی‌اکسید منگنز در تبدیل کربن و نیتروژن طی دو مسیر انجام می‌شود: در مسیر اول باکتری‌های اصلی با تسریع جریان اسیدهای آمینه در چرخه تری کربوکسیلیک اسید، تبدیل C و N را افزایش می‌دهند و در مسیر دیگر اثرات مکمل باکتری‌های اصلی، تنوع کلی باکتری‌های دخیل در تبدیل C و N را افزایش داده است، که افزودن دی‌اکسید منگنز به فرآیند کمپوست‌سازی یک برنامه امیدوارکننده برای تیمار بقایای آلی کشاورزی است (Qi *et al.*, 2021). برخی محققین نشان داده‌اند که بعد از افزودن اکسید منگنز تنوع باکتریایی افزایش یافته و این تنوع بالاتر باکتریایی می‌تواند دگرگونی ماده آلی را تسریع ببخشد (Berry & Widder, 2014).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که در بین باکتری‌های استفاده شده در تیمار زیستی، باکتری‌های ازتوباکتر کروکوکوم (۱۸/۹ درصد)، و سودوموناس پوتیدا (۸/۹ درصد) تأثیر بیشتری بر عملکرد قارچ خوراکی نسبت به تیمار شاهد بدون باکتری داشتند، با مصرف باکتری سودوموناس پوتیدا (۲۲/۰۸ گرم به ازای هر قارچ) و انتروباکتر کلوآسه (۲۲/۰۰ گرم به ازای هر قارچ) کیفیت ظاهری (اندازه هر قارچ) افزایش یافت. بنابراین می‌توان مصرف این سه باکتری را به عنوان مکمل زیستی در پرورش قارچ

خوراکی پیشنهاد داد. افزودن مکمل شیمیایی هر چند در زمان شروع فلش اول و وزن قارچ برداشت شده در فلش اول تأثیر گذاشت، ولی در وزن کل قارچ تولید شده و عملکرد تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت، با این حال، میزان عملکرد قارچ خوراکی در تیمار شیمیایی (Mn+Fe) نسبت به شاهد، ۱۱/۲ درصد افزایش نشان داد. تنفس میکروبی پایه و تنفس ناشی از سوبسترا در کمپوست مرحله خاکدهی بیشتر از بقیه مراحل تولید بود و در پسماند کمپوست قارچ، تیمار زیستی بیشتر از تیمار شاهد آن بود، که نشان دهنده بیشترین میزان فعالیت میکروبی و تجزیه ترکیبات آلی کربنی موجود در بستر در طول دوره رشد قارچ خوراکی بود. تغییرات کربن آلی از زمان اعمال تیمار زیستی و شیمیایی تا پایان برداشت قارچ خوراکی، در تیمار زیستی (۶۰/۵ درصد) بیشتر از تیمار شیمیایی (۴۶/۳ درصد) بود که نشان از فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها دارد.

سپاسگزاری

این پژوهش توسط شرکت کشت و صنعت قارچ نگین فصل شهرکرد و دانشگاه شهرکرد طی انعقاد قرارداد شماره ۴۹۰د/۱۰۰ به تاریخ ۱۴۰۰/۱۱/۰۶ تأمین مالی شده است. نویسندگان بدینوسیله از مدیر عامل محترم این شرکت، جناب آقای مهندس کاظمی برای مساعدت بی‌دریغ ایشان در انجام کارهای تحقیقاتی و فراهم نمودن بستر تحقیقاتی در شرکت، تشکر می‌نمایند.

منابع

دن اودن، مارک. (۱۴۰۱). *سیگنال قارچ (راهنمای قارچ خوراکی)*. ترجمه گلنوش بنی‌طالبی و صاحب سودایی مشایی. چهارمحال و بختیاری: انتشارات جهاد دانشگاهی شهرکرد.

سودائی مشائی، صاحب و بنی طالبی، گلنوش. (۱۴۰۰، ۲۵–۲۷ دی). *فناوری استفاده از کاه گندم در فرآیند کمپوست‌سازی برای تولید قارچ خوراکی*(*Agaricus bisporus*) ،هفدهمین کنگره ملی و سومین کنگره بین المللی علوم زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

صفیرزاده، سعید، چرم، مصطفی و عنایت ضمیر، نعیمه. (۱۳۹۸). تأثیر ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (*Enterobacter cloacae*) بر جذب و کارایی جذب پتاسیم در گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) . *تحقیقات آب و خاک ایران*،۵۰(۷)، ۱۶۸۹–۱۶۹۹.

لطفی، مجتبی، فارسی، محمد؛ میرشمسی کاخکی، امین و جانپور، جواد. (۱۳۹۷). بررسی تأثیرجدایه های باکتری *Pseudomonas putida* بر عملکرد قارچ خوراکی دکمه ای سفید (*Agaricus bisporus*). *علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۲(۲)، ۲۷۳–۲۸۶.

ملایی، فوزیه و بشارتی، حسین. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر باکتریهای محرک رشد گیاه (PGPR) بر خواص کیفی و کمی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*)در بسترهای مختلف حاصل از ضایعات صنعتی و کشاورزی. *پژوهش‌های خاک*، ۲۵ (۴)،۳۷۳–۳۸۴.

Ahlawat, O. P. & Rai, R. D. (2015). Effect of '*Azotobacter*'and '*Phosphotika*'biofertilizers on the spawn-run, pinning and yield of the white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Mushroom Research*, 24, 95– 104.

Ali, S. S. & Vidhale, N. N. (2013). Bacterial siderophore and their application: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 2(12), 303-312.

Anderson, T. H. & Domsch, K. H. (1990). Application of eco-physiological quotient (qCO_2 and Dq) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, 22, 251–255.

Aziera, N., Rasib, A., Zakaria, Z., Tompang, M.F. & Othman, H. (2015). Characterization of biochemical composition for different types of spent mushroom substrate in Malaysia. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 19 (1), 41-45.

Baars, J. J., Scholtmeijer, K., Sonnenberg, A. S., and van Peer, A. (2020). Critical factors involved in primordia building in *Agaricus bisporus*: a review. *Molecules*, 25(13), 2984.

Berry, D. & Widder, S. (2014). Deciphering microbial interactions and detecting keystone species

with co-occurrence networks. *Frontiers in Microbiology*, 5, 219-230.

Chen, S. C., Qiu, C. W., Huang, T., Zhou, W. W., Qi, Y. C., Gao, Y. Q., Shen, J. W. & Qiu, L. Y. (2013). Effect of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase producing bacteria on the hyphal growth and primordium initiation of *Agaricus bisporus*. *Fungal Ecology*, 6(1),110–118.

Chen, X., Cheng, W., Li, S., Tang, X. & Wei, Z. (2021). The "quality" and "quantity" of microbial species drive the transformation of cellulose during composting. *Bioresource Technology*, 320, 124425–124425.

Corre, M. D., Schnabel, R. R. and Shaffer, J. A. (1999). Evaluation of soil organic carbon under forests, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(11), 1531-1539.

Den Ouden, M. (2022). *Mushroom Signal (Edible mushroom guide*). Translated by Bani-Talebi, G. & Soodaee Moshaee, S. Chaharmahal and Bakhtiari: Shahrekord Academic Jihad Publications. (in Persian)

Doddapaneni, H., Subramanian, V., Fu, B. & Cullen, D. (2013). A comparative genomic analysis of the oxidative enzymes potentially involved in lignin degradation by *Agaricus bisporus*. *Fungal Genetics and Biology*, 55, 22-31.

Dong, G., Han, R., Pan, Y., Zhang, C., Liu, Y., Wang, H., Ji, X., Dahlgren, R. A., Shang, X., Chen, Z. & Zhang, M. (2021). Role of MnO_2 in controlling iron and arsenic mobilization from illuminated flooded arsenic-enriched soils. *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123362–123362.

Ebadi A., Alikhani, H. A. & Rashtbari, M. (2012). Effect of plant growth promoting bacteria (PGPR) on the morpho-physiological properties of button mushroom *Agaricus bisporus* in two different culturing beds. *International Research Journal of Basic and Applied Sciences*, 3, 203-212.

Ekinci, M. & Dursun, A. (2014). The effects of compost added bacteria, organic fertilizer and their mixtures on yield and quality of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*, 67, 1441–1450.

Gulser, C. & Pekşen, A. (2003). Using tea waste as a new casing material in mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation. *Bioresource Technology*, 88(2), 153-156.

Kertesz, M.A., Thai, M. (2018). Compost bacteria and fungi that influence growth and development of *Agaricus bisporus* and other commercial mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102, 1639–1650. https://doi.org/10.1007/s00253-018-8777-z

Li, K., Cao, R., Mo, Luo, X., Liu, J., Zheng, P., Li, M., Zhou, Y., Huang, L., Chen, L. & Shuai, L. (2019). Promoting enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass by inexpensive soy protein. *Biotechnology for Biofuels*, 12, 51-65.

Li, K., Cao, R., Mo, S., Yao, R., Ren, Z. & Wu, J. (2020). Swine manure composting with compound microbial inoculants: removal of antibiotic resistance genes and their associations with microbial community. *Frontiers in Microbiology*, 11, 592-592.

Lotfi, M., Farsi, M., Mirshamsi, A. & Janpour, J. (2018). Investigating the effect of *Pseudomonas putida* bacteria isolates on the function of edible white button mushroom (*A. bisporus*). *Journal of Horticultural Sciences*, 32(2), 286-273. (In Persian).

Mamiro, D. P., Royse, D. J. & Beelman, R. B. (2007). Yield, size, and mushroom solids content of *Agaricus bisporus* produced on non-composted substrate and spent mushroom compost, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23, 1289 -1296.

Manikandan, K., Sharma, R. & Ahlawat, O.P. (2021). Nitrogen calculator: A decision support tool for compost production of white button mushroom. *International Journal of Communication Systems*, 9(2), 649-652.

Mollai, F. & Basharti, H. (2012). Investigating the effect of plant growth promoting bacteria (PGPR) on the qualitative and quantitative properties of button mushroom (*Agaricus bisporus*) in different substrates obtained from industrial and agricultural wastes, *Journal of Soil Research*, 25(4), 373-385. (In Persian)

Meng, L., Li, W., Zhang, X., Zhao, Y., Chen, L. & Zhang, S. (2020). Influence of spent mushroom

substrate and molasses amendment on nitrogen loss and humification in sewage sludge composting. *Heliyon*, 6 (9), e04988. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04988.

Nelson, D.W. & Sommers, L.E. (1982). Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In A. L. Page (Ed.), *Methods of Soil Aanalysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, (pp. 539–577). Ameriacan Society of Agronomy.

Patyshakuliyeva, A., Post, H., Zhou, M., Jurak, E., Heck, A. J., Hildén, K. S. & De Vries, R. P. (2015). Uncovering the abilities of *Agaricus bisporus* to degrade plant biomass throughout its life cycle. *Environmental Microbiology*, 17(8), 3098-3109.

Qi, H., Zhao, Y., Wang, X., Wei Z., Zhang, X., Wu, J., Xie, X., Kang, K., Yang, H. & Shi, M. (2021). Manganese dioxide driven the carbon and nitrogen transformation by activating the complementary effects of core bacteria in composting. *Bioresource Technology*, 330, 124960-124960. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124960.

Safirzadeh, S., Chorom, M. & Enayatizamir, N. (2019). Effect of plant growth-promoting rhizobacteria (*Enterobacter cloacae*) on uptake and uptake efficiency of potassium in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(7), 1689-1699. (In Persian)

Shamugam, S. and Kertesz, M. A. 2023. Bacterial interactions with the mycelium of the cultivated edible mushrooms *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*, *Journal of Applied Microbiology*, 134 (1), 1-10. https://doi.org/10.1093/jambio/lxac018

Sharma, H. S. S. (1995). Thermogravimetric analysis of mushroom (*Agaricus bisporus*) compost for fibre components. In: T. Elliott (Ed), *Science and Cultivation of Edible Fungi*. (pp. 267–273) Balkema, Rotterdam.

Song, T. Shen, Y. Jin, Q. Feng W. Fan, L. Cao, G. & Cai, W. (2021). Bacterial community diversity, lignocellulose components, and histological changes in composting using agricultural straws for *Agaricus bisporus* production. *Peer Journal*, 9:e10452, https://doi.org/10.7717/peerj.10452.

Soodaee Moshaee, S. & Bani-Talabi, G. (2022, 25-27 January). The technology of using wheat straw in the composting process to produce edible mushroom (*Agaricus bisporus*) In *17th National Congress and 3rd International Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran*. Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. (In Persian)

Vieira, F. R., and Pecchia, J. A. (2021). Bacterial community patterns in the *Agaricus bisporus* cultivation system, from compost raw materials to mushroom caps. *Microbial Ecology*, 84(1), 20-32.

Wu, J., Qi, H., Huang, X., Wei, D., Zhao, Y., Wei, Z., Lu, Q., Zhang, R. & Tong, T. (2018). How does manganese dioxide affect humus formation during bio-composting of chicken manure and corn straw?, *Bioresource Technology*, 269, 169–178.

Zhang, H.L., Wei, J.K., Wang, Q.H., Yang, R., Gao, X.J., Sang, Y.X., Cai, P.P., Zhang, G.Q. & Chen, Q.G. (2019). *Lignocellulose utilization and bacterial communities of millet straw based mushroom (Agaricus bisporus) production*. Scientific Reports, 9, 1151. https://doi.org/10.1038/s41598-018-37681-6.