Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

(OPEN ACCESS)

The effect of enriching the substrate of two edible oyster mushroom species with some nutritional supplements

Kulsom Sheykhi Molshaei[1], Seyed Esmaeil Razavi[*2], Seyed Javad Sanei[3], Elahe Lotfalinezhad[4]

1. M.Sc. Graduate in Plant Pathology, Dept. of Plant Protection, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: k.sheykhi2022@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Plant Protection, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: razavi@gau.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Plant Protection, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: sa_nei@yahoo.com
4. Ph.D. Graduate in Plant Pathology, Dept. of Plant Protection, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: elahelotfalinezhad@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 04.26.2025
Revised: 05.17.2025
Accepted: 07.05.2025

Keywords:
Biological efficiency,
Pleurotus eryngii,
Soybean flour,
Substrate

ABSTRACT

Background and Objectives: Edible oyster mushrooms, *Pleurotus* spp., are the second most important cultivated mushrooms worldwide, accounting for 25% of the total global production of edible mushrooms. These mushrooms are primary decomposers that can easily grow on lignocellulosic resources, including decayed wood and agricultural residues such as grain stubble and sawdust. The culture medium and the mushroom species can be important factors in increasing mushroom yield, quality in bioconversion, and biological efficiency. The method of preparing the culture medium and using nutritional supplements affects the yield and quality of edible mushrooms. This experiment aimed to investigate the effect of culture medium and nutritional supplements, including wheat bran and soybean flour, on improving the yield and growth of edible oyster mushrooms, *Pleurotus florida*, and *P. eryngii*.

Materials and Methods: This research was conducted in the edible mushroom cultivation hall at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. The primary inoculum of oyster mushrooms, *Pleurotus florida* gau 258 and *P. eryngii* gau 128, was prepared from the mushroom collection of the Plant Protection Department. In this research, wheat straw and sawdust (poplar tree) were used as substrates in equal proportions to cultivate edible oyster mushrooms, and wheat straw was used for the cultivation of Florida oyster mushrooms. The experiment was carried out as a factorial in a completely randomized design with four replications. The first factor included the mushroom species at two levels (*Pleurotus florida* and *P. eryngii*), the second factor included food supplements at two levels (wheat bran and soybean flour), and the third factor included food supplement levels at five levels (0, 2, 8, 12, and 20). Approximately four weeks after cultivation and after the caps reached the appropriate size (cap diameter reached 8–10 cm), harvesting was carried out to investigate the effect of nutritional supplements. Initial yield (first

flush), total yield (harvested in three stages), number of fruiting bodies, length of the tillering period, efficiency, and protein content in each culture bed were calculated. Yield was evaluated based on the total weight of mushrooms harvested from each bed block during the three growth phases.

Results: Results: In this study, the shortest vegetative period and the lowest number of fruiting bodies in both mushroom species belonged to the 20% soybean flour treatment. On the other hand, based on the results of this study, the growth period of the *P. eryngii* species was less than that of *P. florida*. The highest average biological efficiency in the *P. florida* species was attributed to the wheat bran treatment at 20%, with an average of 23.47 g. In both species studied, the lowest biological efficiency was attributed to soybean flour at 20%. According to the results obtained, the highest average yield in *P. florida* was observed in the wheat bran treatment at 20% (164.33 g), and the lowest was in the soybean flour treatment (65.41 g). The highest yield of *P. eryngii* was obtained in the control treatment (29%), and the lowest was in the soybean flour treatment at 20%. The highest protein percentage (55%) was also obtained in *P. eryngii* with wheat bran treatment.

Conclusion: In this study, wheat bran supplement had a longer mycelium growth period, biological efficiency, and performance than other supplements. Since the intensity of fungal mycelium use of the substrate leads to the reduction and loss of elements required for mushroom growth, and according to the results of this study, it is recommended that enrichment of the substrate with wheat bran supplement along with chemical supplements, especially micronutrients, be investigated.

Cite this article: Sheykhi Molshaei, Kulsom, Razavi, Seyed Esmaeil, Sanei, Seyed Javad, Lotfalinezhad, Elahe. 2026. The effect of enriching the substrate of two edible oyster mushroom species with some nutritional supplements. *Journal of Plant Production Research*, 32 (4), 185-204.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jopp.2025.23584.3251
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

تأثیر غنی‌سازی بستر دو گونه قارچ خوراکی صدفی با برخی مکمل‌های غذایی

کلثوم شیخی ملشائی[۱]، سید اسماعیل رضوی*[۲]، سید جواد صانعی[۳]، الهه لطفعلی‌نژاد[٤]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد بیماری‌شناسی گیاهی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان ایران. رایانامه: k.sheykhi2022@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان ایران. رایانامه: razavi@gau.ac.ir

۳. استادیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان ایران. رایانامه: sa_nei@yahoo.com

٤. دانش‌آموخته دکتری بیماری‌شناسی گیاهی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان ایران. رایانامه: elahelotfalinezhad@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰۲/۰٦
تاریخ ویرایش: ۱٤۰٤/۰۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰٤/۱٤

واژه‌های کلیدی:
آرد سویا،
بستر کشت،
راندمان زیستی،
Pleurotus eryngii

چکیده

سابقه و هدف: قارچ‌های خوراکی صدفی .*Pleurotus* spp، دومین قارچ مهم کشت‌شده در سراسر جهان هستند که ۲۵ درصد از کل تولید جهانی قارچ‌های خوراکی را به خود اختصاص داده‌اند. این قارچ‌ها از تجزیه‌کننده‌های اولیه هستند که به‌راحتی می‌توانند روی منابع لیگنوسلولزی ازجمله چوب‌های پوسیده و بقایای زراعی مانند کلش غلات و خاکاره و غیره رشد کنند. بستر کشت قارچ صدفی و هم‌چنین گونه قارچ می‌تواند یک عامل مهم در افزایش عملکرد قارچ، کیفیت آن در تبدیل زیستی و افزایش راندمان زیستی باشد. نحوه آماده‌سازی بستر کشت و استفاده از مکمل‌های غذایی بر میزان عملکرد و کیفیت قارچ‌های خوراکی تأثیرگذار است. هدف از این آزمایش بررسی تأثیر بستر کشت و مکمل‌های غذایی ازجمله سبوس گندم و آرد سویا بر بهبود عملکرد و رشد قارچ خوراکی صدفی *Pleurotus florida* و *Pleurotus eryngii* می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در سالن پرورش قارچ خوراکی واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. مایه تلقیح اولیه قارچ صدفی، گونه‌های *Pleurotus florida* gau 258 و *P. eryngii* gau 128 از کلکسیون قارچ گروه گیاه‌پزشکی تهیه گردید. در این پژوهش از کلش گندم و خاکاره (درخت صنوبر) به‌عنوان بستر با نسبت‌های مساوی برای کشت قارچ خوراکی صدفی ارینجی و کلش گندم برای کشت قارچ صدفی فلوریدا استفاده شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. عامل اول شامل گونه قارچ

در دو سطح (*Pleurotus florida* و *P. eryngii*)، عامل دوم شامل مکمل‌های غذایی در دو سطح (سبوس گندم و آرد سویا) و عامل سوم شامل سطوح مکمل‌های غذایی در پنج سطح (صفر، ۲، ۸، ۱۲ و ۲۰) بود. تقریباً چهار هفته پس از کشت و پس از رسیدن کلاهک‌ها به‌اندازه مناسب (رسیدن قطر کلاهک به ۱۰-۸ سانتی‌متر)، برداشت انجام شد و به‌منظور بررسی اثر مکمل‌های غذایی، عملکرد اولیه (فلش اول)، عملکرد کل (برداشت در سه مرحله)، تعداد اندام بارده، طول دوره پنجه‌دوانی، راندمان و میزان پروتئین در هر بستر کشت محاسبه گردید. عملکرد بر اساس وزن کل قارچ‌های برداشت‌شده از هر بلوک بستر در طی سه مرحله رشدی موردبررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: در این پژوهش کوتاه‌ترین دوره رویشی و کم‌ترین تعداد کلاهک در هر دو گونه قارچ، متعلق به تیمار آرد سویا ۲۰ درصد بود. از طرفی بر اساس نتایج این پژوهش دوره رشدی گونه ارینجی کم‌تر از فلوریدا ثبت شد. بیش‌ترین میانگین راندمان زیستی در گونه فلوریدا به تیمار سبوس گندم در سطح ۲۰ درصد با میانگین ۲۳/٤۷ گرم تعلق گرفت. در هر دو گونه قارچ صدفی موردمطالعه، کم‌ترین راندمان زیستی متعلق به آرد سویا در سطح ۲۰ درصد بود. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین میانگین عملکرد در قارچ صدفی فلوریدا در تیمار سبوس گندم با سطح ۲۰ درصد (١٦٤/٣٣ گرم) و کم‌ترین آن در تیمار آرد سویا (٦٥/٤١ گرم) مشاهده شد. بیش‌ترین عملکرد در قارچ صدفی ارینجی در تیمار شاهد (۲۹ درصد) و کم‌ترین آن از تیمار آرد سویا در سطح ۲۰ درصد به‌دست آمد. بالاترین درصد پروتئین (۵۵ درصد) نیز در قارچ صدفی ارینجی با تیمار سبوس گندم حاصل شد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش مکمل سبوس گندم نسبت به سایر مکمل‌ها از طول دوره رشد میسلیوم، راندمان زیستی و عملکرد بیش‌تری برخوردار بود. ازآن‌جایی‌که شدت استفاده میسلیوم قارچی از بستر منجر به کاهش و از بین رفتن عناصر موردنیاز برای رشد قارچ می‌شود و با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد که غنی‌سازی بستر با مکمل سبوس گندم همراه با مکمل‌های شیمیایی به‌ویژه عناصر ریزمغذی نیز بررسی شود.

استناد: شیخی ملشائی، کلثوم، رضوی، سید اسماعیل، صانعی، سید جواد، لطفعلی‌نژاد، الهه (۱۴۰۴). تأثیر غنی‌سازی بستر دو گونه قارچ خوراکی صدفی با برخی مکمل‌های غذایی. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۲ (۴)، ۲۰۴-۱۸۵.
DOI: 10.22069/jopp.2025.23584.3251

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

قارچ‌ها سرشار از پروتئین، مواد معدنی، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه ضروری هستند (۱). قارچ *Pleurotus* sp.؛ که به آن قارچ صدفی نیز می‌گویند، پس از قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus* (J.E.Lang) Imbach))، دومین قارچ مهم کشت‌شده در سراسر جهان است که ۲۵ درصد از کل تولید جهانی قارچ‌های خوراکی را به خود اختصاص داده است (۲). پرورش مقرون به‌صرفه (قیمت مناسب ضایعات کشاورزی به‌عنوان بستر)، دوره‌ی رشد کوتاه، عملکرد بالا، عدم نیاز به خاک‌پوششی و کنترل کم برای تأمین نیازهای محیطی آن‌ها در مقایسه با قارچ دکمه‌ای باعث گسترش کشت قارچ‌های صدفی در دنیا شده است (۲). عوامل مختلفی ازجمله کیفیت بستر کشت، میزان اسپان مصرفی، شرایط محیطی رشد، گونه و نژاد، نحوه آماده‌سازی بستر کشت و استفاده از مکمل‌های غذایی بر بهبود عملکرد و رشد قارچ‌های خوراکی تأثیرگذار است (۳). گونه‌های مختلف جنس *Pleurotus* به‌آسانی می‌توانند روی مواد خشبی و سخت مانند کاه گندم، پوشال برنج، کاه جو، تفاله زیتون (۲۰ درصد)، ضایعات پسته (۱/۵ درصد)، ضایعات پنبه (۳۳ درصد)، ساقه ذرت (۱۰۰ درصد)، باگاس نیشکر (۱۰۰ درصد)، باقی‌مانده آفتابگردان (۲۰ درصد) و خاکاره (۱۰۰ درصد) رشد نمایند، اما متداول‌ترین بستر کشت این‌گونه از قارچ‌ها کاه گندم، جو و پوشال برنج است (٤). انتخاب نوع و نحوه آماده‌سازی بستر کشت از مهم‌ترین مراحل و موفقیت در پرورش تولید قارچ خوراکی و قارچ صدفی محسوب می‌شود (۵). انتخاب یک بستر مناسب بر رشد، کیفیت اندام باره، عملکرد و راندمان‌زیستی قارچ تأثیر به‌سزایی دارد (٦، ۷). اوره، پودر پنبه‌دانه، سبوس گندم، سبوس برنج، آرد سویا، آرد ذرت ازجمله مکمل‌های غذایی متداول به‌منظور غنی‌سازی بسترهای کشت قارچ‌های صدفی می‌باشند (۸، ۹). گزارش‌های متعددی در رابطه با تأثیر غنی‌سازی بستر کشت با استفاده از مکمل‌های غذایی در گونه‌های مختلف قارچ صدفی پیشنهادشده است. جعفرپور و همکاران (۱۳۸۷) با کشت قارچ فلوریدا بر بسترهای کشت مختلف مانند تراشه چوب، غوزه پنبه، چغندرقند، تفاله فشنگچی و لیف نخل و غنی‌سازی بسترها با مکمل‌های غذایی مانند سبوس گندم، سبوس برنج، پودر آرد سویا و تفاله هویج، بیش‌ترین عملکرد و کارآیی زیستی قارچ را بر بستر تفاله فشنگچی چغندرقند غنی‌شده با سبوس برنج به‌دست آوردند (۱۰). در بررسی اثر مکمل‌های نیتروژنه شامل اوره و سبوس برنج بر بسترهای مختلف خاکاره اکالیپتوس، باگاس نیشکر، پوسته قهوه، بلال ذرت و پوست اکالیپتوس، بیش‌ترین عملکرد قارچ *P. ostreatus* به ترتیب بر بسترهای باگاس نیشکر، بلال ذرت و پوسته قهوه که با سبوس برنج غنی‌شده بود، مشاهده گردید (۱۱). نتایج پژوهش مهدوی تیکدری و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد، بالاترین عملکرد کل و کآرایی زیست قارچ صدفی در بستر کشت غنی‌شده با کنجاله سویا ۲/۵ درصد وزن‌تر بستر کشت و حداکثر مقدار پروتئین اندام باره قارچ با اضافه نمودن کنجاله سویا در هر سه سطح (۲/۵، ۵ و ۷/۵) حاصل شد (۱۲). طبق بررسی رحمان و همکاران (۲۰۱۳) غنی‌سازی بستر کشت با کلش برنج با ۰/۵ درصد نیتروژن، ۰/۳ درصد فسفر و پتاسیم، کارایی زیستی قارچ صدفی را افزایش داد (۸). غنی‌سازی محیط کشت کلش برنج با نوعی قارچ به‌عنوان مکمل زیستی سبب تجزیه بیش‌تر

لیگنین بستر کشت و نیز افزایش وزن اندام باردهی قارچ فلوریدا گردید (۱۳). بهاتا و همکاران (۲۰۱۷) نیز چهار مکمل مختلف را روی بستر کلش برنج مورد ارزیابی قراردادقراردادند. نتایج نشان داد، استفاده از سبوس گندم در مقایسه با سایر تیمارها بیش‌ترین تأثیر را در تسریع رشد قارچ فلوریدا روی بستر داشت (١٤). در نتایج موسارا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شد، تولید کلاهک در مخلوط کاه بقولات، کاه گندم و کاه برنج بیش‌تر از سایر بسترها بوده است (١٥). طبق نتایج سالاما و همکاران (۲۰۱۹) بالاترین عملکرد و کیفیت محصول با استفاده از مکمل‌غذایی سبوس گندم در بستر کشت قارچ خوراکی فلوریدا به نسبت ۱۵ درصد مشاهده شد (١٦). نتایج گنجیکونتا و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد، استفاده از مکمل‌غذایی سبوس گندم در بستر کشت فلوریدا کارایی زیستی و عملکرد را افزایش می‌دهد (۲). در مطالعه‌ای با موضوع ارزیابی تأثیر غنی‌سازی بستر کشت با مکمل‌های شیمیایی و زیستی بر برخی ویژگی‌های کیفی و عملکرد قارچ صدفی (*Pleurotus ostreatus*)، رمضان و همکاران (۲۰۱۹) گزارش نمودند، بیش‌ترین عملکرد کل (مجموع سه چین) اندام میوه‌ای در بستر کشت ترکیبی کلش گندم و تفاله زیتون غنی‌شده با نیترات آمونیوم با میانگین ١٨٦٢/٣٥ بود. این پژوهش‌گران این بستر را بستری مناسب جهت تولید قارچ صدفی پیشنهاد نمودند (۱۷). نتایج پژوهش کرد- انجارکی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تأثیر بسترهای کشت مخلوط و غیرمخلوط ضایعات کشاورزی بر برخی از ویژگی‌های رویشی، زایشی، تغذیه‌ای و دارویی دوسویه ایرانی و چینی قارچ گانودرما (*Ganoderma lucidium*) نشان داد، بسترهای مختلف به‌طور قابل‌توجهی وزن خشک، مقدار رطوبت، عملکرد و مقدار عناصر معدنی (نیتروژن، پتاسیم و کلسیم) در اندام باردهی را تحت‌تأثیر قراردادقراردادند. بیش‌ترین مقدار نیتروژن در اندام باردهی هر دوسویه ایرانی و چینی (به ترتیب ٥/٨٨ و ٦/٢٥ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) به بستر ترکیبی چوب صنوبر + کنجاله سویا (۷۰:۳۰) غنی‌شده با مکمل نانو اکسید منگنز و روش پولیکا- پنبه اختصاص داشت. بیش‌ترین وزن‌تر کل سویه‌های ایرانی و چینی (به ترتیب ١٠٩/٦٠ و ١٢٧/٦٦ گرم) در بستر ترکیبی چوب صنوبر + سبوس گندم (۷۰: ۳۰) غنی‌شده با سولفات منگنز مشاهده شد (۱۸). در پژوهشی دیگر رمضان و همکاران (۲۰۲۱) در ارزیابی تأثیر ضایعات کشاورزی- جنگلی مانند خاک‌اره صنوبر، کاه گندم، ضایعات نخل خرما و باگاس نیشکر بر وزن‌تر و خشک، دوره رویشی و برخی از مواد معدنی قارچ رنگین‌کمان (*Trametes versicolor*) گزارش نمودند، از میان نه فرمولاسیون، S1 (۸۰ درصد خاک‌اره صنوبر + ۲۰ درصد کاه گندم) حداکثر عملکرد کمی و کیفی را نشان داد. هیچ رابطه‌ای بین عملکرد قارچ رنگین‌کمان و ترکیب غذایی یا محتوای لیگنوسلولزی بسترهای در حال رشد یافت نشد. این نشان می‌دهد که این قارچ به تغذیه متوسطی نیاز دارد (۱۹). نتایج پژوهش حیدری صادق (۲۰۲۲) در بررسی بسترهای مختلف بر عملکرد دو قارچ خوراکی *Agrocybe aegerita* و *Hypsizygus ulmarius* (قارچ خوراکی نارون) نیز نشان داد، بیش‌ترین میزان عملکرد (٤٦٧/٥٤ گرم) و وزن خشک (٥٠/٢٤ گرم) در قارچ *H. ulmarius* به بستر کشت ترکیبی کلش گندم همراه با سبوس گندم (۹۰ به ۱۰) تعلق گرفت. هم‌چنین در این پژوهش بیش‌ترین میزان عملکرد (۷۲/۸۱ گرم) و وزن خشک (۹/۲۲ گرم) قارچ

A. aegerita در بستر کشت ترکیبی تراشه چوب همراه با سبوس گندم (۹۰ به ۱۰) مشاهده شد (۲۰). قارچ شاه صدف یا ارینجی ازنظر عطر و کیفیت مرغوب‌ترین گونه در بین قارچ‌های مختلف صدفی است، اما ازنظر بستر کشت همانند قارچ فلوریدا با دامنه وسیعی از بسترها سازگاری ندارد و از عملکرد پایینی برخوردار است. بااین‌وجود بسیاری از مواد سلولزی درصورتی‌که همراه با مکمل باشند، می‌توانند موجب افزایش عملکرد این‌گونه شوند. نتایج مطالعات نشان داده است که افزودن ۵-۱۰ درصد کنجاله پنبه‌دانه به‌عنوان مکمل غذایی بیش‌ترین تأثیر را در راندمان قارچ صدفی ارینجی دارد؛ بنابراین هدف از این مطالعه بررسی تأثیر غنی‌سازی بستر بر میزان عملکرد این دو گونه قارچ صدفی فلوریدا و ارینجی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سالن پرورش قارچ خوراکی واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گردید. مایه تلقیح اولیه قارچ صدفی، گونه‌های *Pleurotus florida* (Mont) و *P. eryngii* از کلکسیون قارچ گروه گیاه‌پزشکی تهیه شد و پس از خالص‌سازی در شرایط استریل در آزمایشگاه روی دانه‌های گندم تهیه گردید. به‌منظور تهیه کشت خالص از قارچ، قطعه‌ای از بافت اندام بارده دو گونه *P. eryngii* و *P. florida* در مرز بین پایه و کلاهک با استفاده از تیغ جراحی در شرایط استریل تهیه و بر محیط کشت مالت آگار قرارداده شد. پس از کامل شدن رشد قارچ بر محیط کشت، تهیه بذر یا اسپان قارچ بر دانه‌های گندم انجام شد. برای این منظور ابتدا جهت نرم شدن دانه‌ها و از بین رفتن قوه نامیه از روش خیساندن در آب استفاده گردید. به‌منظور گرفتن آب اضافی، آن‌ها را آبکشی کرده و در محیط آزمایشگاه روی یک صافی یا پارچه ململ به مدت یک شبانه‌روز قرارداده شد. جهت تنظیم pH و جلوگیری از چسبیدن دانه‌ها به هم از کربنات کلسیم (به میزان ۲ درصد) و سولفات کلسیم (به میزان ٦ درصد) استفاده گردید. سپس دانه‌های گندم در داخل کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی ریخته و فرآیند سترون کردن در دمای ۱۲۱ درجه به مدت ۳۰ دقیقه در دو روز متوالی صورت گرفت. پس از خنک شدن بسته‌های گندم، عمل مایه‌زنی (تلقیح) انجام شد. به این صورت که دیسک‌های ۵ میلی‌متر از محیط کشت جدا و در شرایط استریل در داخل بسترهای گندم قرارداده شدند. سپس درب پلاستیک با حلقه و پنبه استریل مسدود گردید. بسته‌های مایه‌زنی شده به‌مدت ۲۰-۱۵ روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس جهت کامل شدن رشد قارچ قرارداده شدند (۲۱). جهت تهیه بستر کشت، کاه و کلش خردشده گندم و خاک‌اره (درخت صنوبر) یک شبانه‌روز در آب قرار داده شد تا خیس بخورد، سپس بسته‌بندی و در دستگاه بخارساز به مدت ٤ ساعت با دمای ۸۰ درجه سلسیوس ضدعفونی گردید (۲۱). در این پژوهش از کلش گندم و خاک‌اره به‌عنوان بستر با نسبت‌های مساوی برای کشت قارچ خوراکی صدفی ارینجی و کلش گندم برای کشت قارچ صدفی فلوریدا استفاده شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. عامل اول شامل گونه قارچ در دو سطح (*Pleurotus florida* و *P. eryngii*)، عامل دوم شامل مکمل‌های غذایی در دو سطح (سبوس گندم و آرد سویا) و عامل سوم شامل سطوح مکمل‌های غذایی در پنج سطح

(صفر، ۲، ۸، ۱۲ و ۲۰) بود. مکمل‌های غذایی به‌مدت ٤ تا ٥ ساعت خیسانده شده و در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه در دو روز متوالی استریل شد. پس از ضدعفونی، مکمل‌های غذایی به بسترهای کشت اضافه شدند. مخلوط حاصل که حاوی کلش خیس همراه با مکمل‌های غذایی بود، به میزان ٤ کیلوگرم درون کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی ریخته شد. هم‌زمان با پر کردن کیسه‌های بستر کشت، اسپاون گونه‌های قارچ موردمطالعه نیز به‌میزان ۳ تا ٥ درصد به این کیسه به‌صورت لایه‌ای اضافه شدند (۲۲).

به‌منظور تکمیل مرحله رشد رویشی کیسه‌های تلقیح شده در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در شرایط تاریکی در داخل سالن پروش قارچ قرارداده شدند. پس از کامل شدن مرحله رشد رویشی و پوشیدن شدن تمامی بستر از تارهای سفیدرنگ و ظریف قارچ صدفی، به‌منظور تحریک رشد زایشی و تولید کلاهک، دمای محیط به ۱۸ درجه سلسیوس تغییر داده شد. هم‌چنین سوراخ‌هایی به فاصله ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر و به قطر یک سانتی‌متر جهت خروج پین، در اطراف کیسه‌ها ایجاد گردید. در این زمان جهت تأمین رطوبت، کف سالن به‌طور مداوم آب‌پاشی شد. در این مرحله، نور با شدت ۱۰۰۰–۲۰۰۰ لوکس ضروری می‌باشد (۱۲). پس از گذشت ۱۷ تا ۲۲ روز از مایه‌زنی، کلاهک‌ها روی بستر ظاهر گردید (۲۳). شرایط محیطی جهت پرورش قارچ صدفی طی مدت کشت در جدول ۱ ارائه‌شده است. نیاز نوری جهت تشکیل اندام میوه‌ای در این پژوهش با استفاده از دو لامپ مهتابی با توان ۲۰ وات (۱۲ ساعت روشنایی در روز و ۱۲ ساعت روشنایی در شب) به فاصله یک متر از هم و در ارتفاع ۱/۵ متر بالاتر از سطح بستر قارچ تأمین گردید.

جدول ۱- شرایط محیطی محل پرورش قارچ خوراکی صدفی.

Table 1. Environmental conditions of oyster mushroom cultivation site.

شرایط محیطی Environmental conditions	مرحله پنجه‌دوانی اسپان Stage of Spawn Running	مرحله تشکیل اندام باردهی Stage of Fruiting
رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity	85-95	85-90
دما (سلسیوس) Temperature (ºC)	25	18-21
تهویه Ventilation	1 fold	2-3 fold
نیاز نوری Light requirement	-	+

تقریباً چهار هفته پس از کشت و پس از رسیدن کلاهک‌ها به‌اندازه مناسب، برداشت انجام شد و به‌منظور بررسی اثر مکمل‌های غذایی، عملکرد اولیه (فلش اول)، عملکرد کل (برداشت در سه مرحله)، تعداد اندام بارده، طول دوره پنجه‌دوانی، کارایی زیستی و میزان پروتئین در هر بستر کشت محاسبه

گردید. عملکرد بر اساس وزن کل قارچ‌های برداشت‌شده از هر بلوک بستر در طی سه مرحله رشدی موردبررسی قرار گرفت (۲٤). برای ارزیابی تعداد اندام بارده، تعداد دقیق قارچ‌های تولیدشده در هر بستر مورد شمارش قرار گرفت (۲۵). بازه زمانی بین تلقیح اسپان در بستر تا سفید شدن کامل آن توسط بافت ریسه‌ای قارچ به‌عنوان طول دوره پنجه‌دوانی برای هر بستر تعیین شد. در این پژوهش کارایی زیستی از رابطه ۱ محاسبه گردید (۲٦). میزان پروتئین اندام بارده نیز با اندازه‌گیری نیتروژن به روش کجلدال و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (۲۷).

$$\text{عملکرد زیستی} = \frac{\text{وزن تر قارچ برداشت شده}}{\text{وزن بسترخشک کشت}} \quad (۱)$$

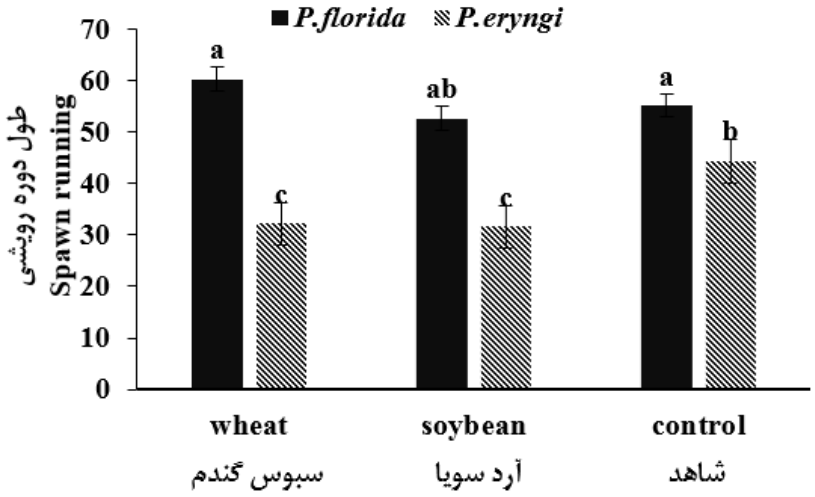
$$\text{پروتئین کل} = \text{درصد نیتروژن} \times ٤/۳۸ \text{ (ضریب پروتئین قارچ خوراکی)} \quad (۲)$$

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد و داده‌های به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار R.4.0.4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر اصلی نوع مکمل، نوع قارچ و سطوح مکمل در سطح یک درصد طول دوره رویشی قارچ را تحت‌تأثیر قراردادقراردادند. اثر متقابل آن‌ها (به‌استثنای اثر متقابل قارچ در مکمل در سطوح) نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). مقایسه تأثیر سطوح مختلف مکمل‌های غذایی نشان داد، در قارچ صدفی فلوریدا استفاده از مکمل سبوس گندم در سطح ۸ درصد بیش‌ترین درصد افزایش طول دوره رویشی (۱٦/۹۲ درصد) را نسبت به شاهد داشت. کوتاه‌ترین دوره رویشی مربوط به تیمار آرد سویا ۲۰ درصد (۳۲/۷۳ روز) بود که طول دوره رویشی در این تیمار نسبت به شاهد ٤۰/٦۷ درصد کاهش یافت. در قارچ گونه ارینجی بالاترین افزایش درصد دوره رویشی نسبت به شاهد متعلق به مکمل آرد سویا دو درصد با میانگین ۸/٤٤ درصد ثبت شد. هم‌چنین در این‌گونه قارچی، مکمل آرد سویا ۲۰ درصد باعث کاهش حدود ٤۷/۱۵ درصدی طول دوره رویشی نسبت به شاهد گردید (شکل ۱ و جدول ۳). نتایج این پژوهش نشان داد، طول دوره رویشی قارچ در بین مکمل‌های غذایی متفاوت است که این امر بیش‌تر مربوط به مرحله رشد و گسترش میسلیوم روی بستر کشت و تا حدودی مربوط به توسعه اندام بارده قارچ صدفی می‌باشد. گزارش‌ها بیانگر آن است که قارچ صدفی ارینجی همانند قارچ صدفی فلوریدا با دامنه وسیعی از بسترها سازگاری ندارد و ازنظر عملکردی نسبت به قارچ فلوریدا از عملکرد کم‌تری برخوردار است (۲۸). نتایج به‌دست‌آمده در ارتباط با تفاوت دوره رشدی قارچ خوراکی صدفی در بین بستر کشت و مکمل‌های مختلف، با نتایج مطالعات دیگر پژوهش‌گران مطابقت دارد (۲۹). علت کاهش طول دوره رشدی با مکمل غذایی آرد سویا، به این دلیل است که این مکمل غنی از نیتروژن و درنتیجه پروتئین است و آمینواسیدهای موجود در آرد سویا، به‌عنوان آغازکننده‌های رشد بر

میسلیوم عمل می‌کنند و درنتیجه باعث افزایش سرعت رشد و کاهش طول دوره رشدی قارچ صدفی می‌شوند. طبق بررسی‌های انجام‌شده، با ترکیب کردن مکمل‌های نیتروژنه به بستر، میزان زیادی نیتروژن وارد محیط کشت‌شده و درنتیجه سرعت رشد میسلیوم افزایش و طول دوره رویشی کاهش می‌یابد (۳۰). سینگ و پراساد (۲۰۱۲) گزارش دادند که سوبسترای غنی از آرد سویا زمان کم‌تری برای رشد میسلیوم صرف کرد این پژوهش‌گران بیان نمودند وجود گلوکز، فروکتوز و ترهالوز در این سوبسترا، میانگین زمان لازم برای رشد کامل میسلویم را کاهش می‌دهد (۳۱). دب و همکاران (۲۰۲۱) نیز بیان نمودند، آرد سویا یک مکمل غنی از پروتئین است که مقادیر زیادی نیتروژن را به بستر می‌دهد و میسلیوم قارچ را قادر می‌سازد تا نیتروژن موجود را به‌طور کامل جذب کند و درنتیجه موجب رشد بالای میسلیوم و کاهش دوره رشدی قارچ شود (۳۲). نتایج ساجید و همکاران (۲۰۱۸) در ارزیابی تأثیر سبوس گندم بر عملکرد قارچ صدفی *Pleurotus ostreatus* نشان داد که میسلیوم قارچ در تمام کیسه‌هایی که فقط حاوی کاه گندم بودند، به زمان کم‌تری (به‌طور میانگین ۲۳/۷ روز) برای رشد نیاز داشت. درحالی‌که کیسه‌های حاوی سبوس گندم در ۲٦ روز تکمیل شد. به‌طورکلی رشد قارچ در کیسه‌های حاوی سبوس گندم کند بود. این پژوهش‌گران این‌طور بیان نمودند که کیسه‌های شاهد فقط حاوی کاه گندم به‌عنوان یک بستر غذایی واحد بودند که نفوذ و رشد سریع میسلیوم را آسان می‌کردند. از سوی دیگر، کیسه‌های حاوی سبوس گندم، محیط غذایی پیچیده‌تر و متنوع‌تری بودند که تشکیل کلنی را برای میسلیوم دشوار می‌نمود. به‌همین دلیل این کیسه‌ها تشکیل مراحل سر سنجاقی و تشکیل اندام باردهی را به‌طور قابل‌توجهی دیرتر از کیسه‌های شاهد آغاز نمودند (۳۳). بااین‌حال، نتایج متضاد توسط مخیز و همکاران (۲۰۱٦) نشان می‌دهد که با افزایش درصد مکمل سبوس گندم، سرعت رشد میسلیوم کاهش می‌یابد. این پژوهش‌گران بیان نمودند که این مکمل‌ها حاوی نسبت کربن به نیتروژن (C/N) بالاتری هستند که به رشد سریع میسلیوم کمک می‌کند (۳٤). از طرفی براساس نتایج این پژوهش دوره رشدی گونه اینجی کم‌تر از فلوریدا بود. ساختار فیزیکی خاک‌اره، ازجمله سختی بافت آن نسبت به کلش گندم، ظرفیت پایین در حفظ و نگهداری رطوبت و بافت ضخیم آن و هم‌چنین افزایش غلظت برخی از ترکیبات شیمیایی محیط کشت، موجب کاهش سرعت رشد و افزایش زمان پنجه‌دوانی میسلیوم در گونه اینجی می‌شود (۲۹، ۳۰). تفاوت در طول دوره رشد قارچ خوراکی *P. florida* و *P. eryngii* در بین تیمارهای مختلف به ترکیبات شیمیایی سوبسترا و مکمل غذایی اضافه‌شده، قابلیت استفاده از ترکیبات شیمیایی و میزان آزادسازی مواد غذایی سوبسترا و مکمل غذایی (۳۰) و هم‌چنین ویژگی‌های فیزیکی سوبسترای مورداستفاده مرتبط می‌باشد (۳۱).



شکل ۱- تأثیر بستر کشت بر طول رویشی *P. eryngi* و *P. florida*

Fig. 1. The effect of cultivation substrate on the spawn running of *P. eryngi* and *P. florida.*

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر مکمل‌ها و گونه قارچی بر دوره رشد رویشی، تعداد اندام بارده، عملکرد، راندمان زیستی و پروتئین قارچ خوراکی صدفی.

Table 2. Results of variance analysis of the effect of supplements and mushroom species on spawn running, number of fruit, yield, biological efficiency, and protein of edible oyster mushrooms.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		دوره رویشی Spawn Running	تعداد اندام بارده Number of fruit	عملکرد Yield	راندمان زیستی Biological efficiency	پروتئین Protein
مکمل Supplement	2	246.84**	17.9**	3984.82**	95.04**	13.68**
قارچ Mushroom	1	9561.46**	1338.62**	191924.54**	3917.20**	332.05**
سطوح Levels	3	310.62**	0.59ns	238.26ns	5.47ns	261.71**
قارچ × مکمل Mushroom * supplement	2	268.90**	16.34*	2871.76**	70.16**	406.38**
مکمل × سطوح Levels * supplement	3	588.37**	11.84*	3404.88**	72.63**	85.00**
قارچ × سطوح Mushroom * Levels	3	190.77**	1.30ns	452.22ns	9.76ns	243.06**
مکمل × قارچ × سطوح Levels * Mushroom * supplement	3	71ns	4.85ns	1186.92ns	27.68ns	48.84**
خطای آزمایش Error	54	43.11	3.51	453.85	9.62	0.49

ns غیرمعنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد و یک درصد

ns Non significant, * and ** significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر مکمل‌ها و گونه قارچی بر دوره رشد رویشی، تعداد اندام بارده، عملکرد، راندمان زیستی و پروتئین قارچ خوراکی صدفی.

Table 3. Mean comparison of the effect of supplements and mushroom species on spawn running, number of fruit, yield, biological efficiency, and protein of edible oyster mushrooms.

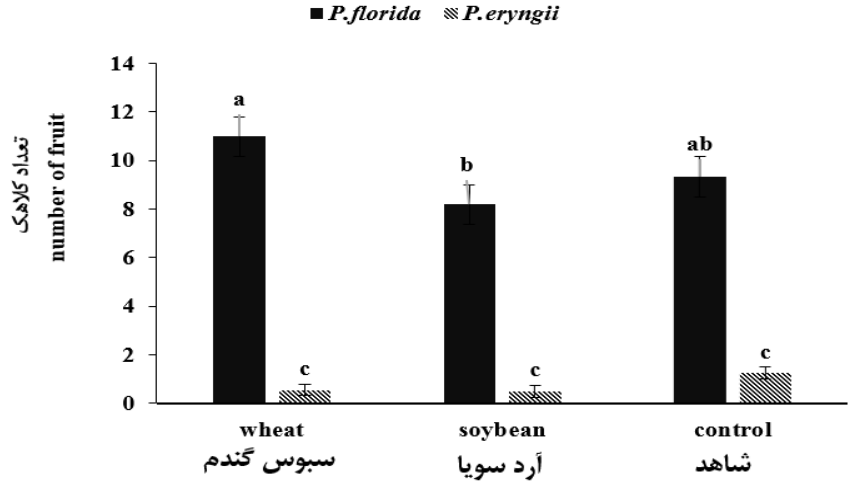
پروتئین Protein (%)	راندمان زیستی Biological efficiency (g)	عملکرد Yield (g)	تعداد اندام بارده Number of fruite	دوره رویشی Spawn Running	سطح Level	مکمل Supplement	قارچ Mushroom
25.00^{m}	16.93 ^{ab}	118.58^{b}	9.33^{ab}	55.17^{ab}	0	سبوس گندم Wheat bran	*P. florida*
28.75^{k}	19.82 ^{ab}	131.33^{ab}	10.33^{ab}	60.35^{a}	2		
33.75^{j}	17.61 ^{ab}	123.33^{ab}	9.75^{ab}	64.51^{a}	8		
35.00^{i}	20.52^{ab}	143.66^{ab}	11.33^{ab}	58.25^{a}	12		
48.75^{d}	23.47 ^{a}	164.33^{a}	12.58^{a}	58.28^{a}	20		
25.00 ^{m}	16.93 ^{ab}	118.58 ^{b}	9.33^{ab}	55.17 ^{ab}	0	آرد سویا Soybean flour	
35.25 ^{h}	15.61 ^{b}	109.33 ^{b}	8.58 ^{ab}	60.76 ^{a}	2		
37.5 ^{g}	14.82 ^{b}	103.83 ^{bc}	9.16 ^{ab}	58.80 ^{a}	8		
38.75 ^{f}	17.33^{ab}	123.16 ^{ab}	8.75 ^{ab}	58.42 ^{a}	12		
42.50 ^{b}	8.56 ^{c}	65.41 ^{cd}	6.25 ^{bc}	32.73 ^{cde}	20		
35.00 ^{i}	4.14 ^{cd}	29.00 ^{de}	2.00 ^{cd}	44.39^{bc}	0	سبوس گندم Wheat bran	*P. eryngii*
38.30 ^{fg}	2.02 ^{cd}	14.16 ^{e}	0.66 ^{d}	27.67^{de}	2		
42.50 ^{d}	2.47 ^{cd}	17.33 ^{e}	0.83 ^{d}	32.25 ^{cde}	8		
43.75 ^{c}	1.64 ^{d}	11.50 ^{e}	0.66 ^{d}	32.96 ^{cde}	12		
55 ^{a}	3.83 ^{cd}	26.83 ^{de}	1.33^{cd}	36.07 ^{cde}	20		
27.5 ^{l}	4.14 ^{cd}	29.00 ^{de}	2.00 ^{cd}	44.39 ^{bc}	0	آرد سویا Soybean flour	
36.25 ^{h}	2.83 ^{cd}	19.83 ^{e}	1.00 ^{d}	40.64 ^{cd}	2		
35.00 ^{i}	1.64 ^{d}	11.50 ^{e}	0.66 ^{d}	34.39 ^{cde}	8		
41.25 ^{e}	2.02 ^{cd}	14.16 ^{e}	0.83 ^{d}	28.03 ^{de}	12		
43.75 ^{c}	1.33 ^{d}	9.33 ^{e}	0.50 ^{d}	23.46 ^{e}	20		

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Mean fallowed by similar letters at each column based on the LSD test, are not significantly different at the 5% probability level

نتایج تجزیه واریانس تعداد اندام بارده نشان داد، اثر اصلی نوع قارچ و نوع مکمل در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش نوع قارچ در مکمل و همچنین سطح در نوع مکمل، تعداد اندام بارده را در سطح احتمال پنج درصد تحت‌تأثیر قراردادقراردادند. سایر تیمارهای موردمطالعه در ارتباط با این صفت اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین به‌دست‌آمده، در قارچ صدفی گونه فلوریدا تیمار سبوس گندم در سطح ۲۰ درصد موجب افزایش ۳٤/۸۳ درصدی تعداد اندام بارده نسبت به شاهد گردید. هم‌چنین در این‌گونه، بیش‌ترین درصد کاهش تعداد اندام بارده (۳۳/۰۱ درصد) در مقایسه با شاهد، در تیمار آرد سویا در سطح ۲۰ درصد مشاهده شد. در این پژوهش مشاهده شد که در قارچ صدفی گونه ارینجی با افزودن مکمل غذایی تعداد اندام بارده قارچ کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که کم‌ترین درصد کاهش تعداد اندام بارده این‌گونه در مقایسه با شاهد متعلق به تیمار سبوس گندم ۲۰ درصد (۳۳/۵ درصد کاهش) و بیش‌ترین درصد کاهش آن (۰/۷۵ درصد کاهش) برای تیمار آرد سویا ۲۰ درصد ثبت شد

(جدول ۳ و شکل ۲). تأثیر بستر کشت و مکمل غذایی بر تعداد اندام میوه‌ای در قارچ خوراکی صدفی *P. florida* و *P. eryngii* بسته به نوع آن متفاوت است. این تأثیر سبب می‌شود که با اضافه کردن مکمل‌های غذایی به بستر کشت، تعداد اندام باردهی قارچ خوراکی صدفی به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کند. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش در مورد تأثیر معنی‌دار مکمل‌های غذایی ازجمله سبوس گندم مبنی برافزایش تعداد اندام میوه‌ای در قارچ خوراکی صدفی با نتایج یلدیز و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد (۱۱). مطالعات نشان داده‌اند، بین میزان محصول قارچ و مقدار سلولز و لیگنین بستر کشت رابطه مثبت وجود دارد و این ترکیبات به‌عنوان یک عامل مهم برای تشکیل اندام بارده قارچ صدفی می‌باشند (۳۵). نتایج اویس و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد، سبوس گندم تأثیر قابل‌توجهی بر تعداد اندام باردهی قارچ می‌گذارد. این پژوهش‌گران بیان نمودند، این افزایش ممکن است به دلیل اسیدهای آمینه یا پروتئین‌های اضافی و یا کربوهیدرات‌های قابل‌تجزیه و در دسترس میسلیوم قارچ باشد (۳۶). سبوس گندم منابع آلی نیتروژنی، پتاسیم و فسفر را برای میسلیوم قارچ تأمین می‌کند که قارچ‌ها می‌توانند به‌راحتی از آن‌ها استفاده کنند (۳۱). میزان نیتروژن سبوس بر اساس وزن خشک بین ۱ تا ۳ درصد متغیر است. بیش‌ترین قسمت نیتروژن سبوس گندم، نیتروژن پروتئینی است، بنابراین، افزودن سبوس گندم به‌عنوان مکمل، محتوای نیتروژن بستر را افزایش می‌دهد و درنتیجه موجب افزایش بهره‌وری قارچ می‌شود (۳۷). نشان داده‌شده است که مکمل با سطوح مختلف کربنات‌ها و افزودنی‌های مبتنی بر نیتروژن باعث افزایش تولید قارچ می‌شود (۳۸).



شکل ۲- تأثیر بستر کشت بر تعداد اندام بارده *P. eryngi* و *P. florida*.

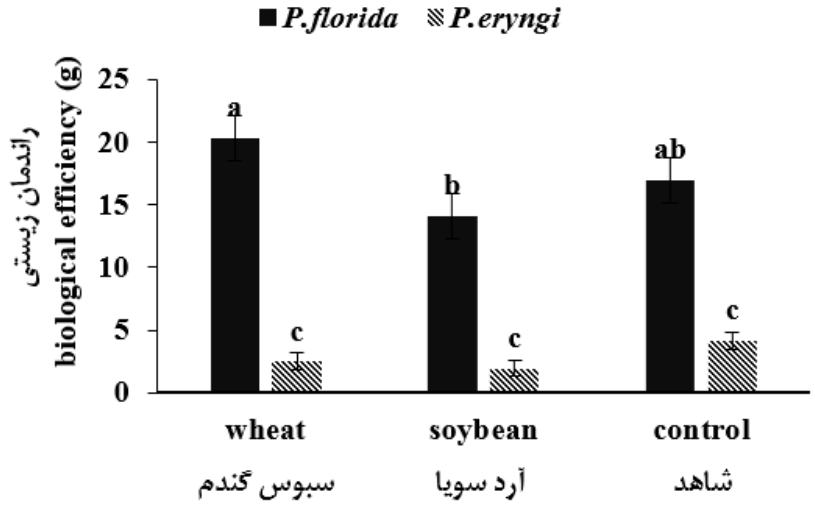
Fig. 2. The effect of cultivation substrate on number of fruit of *P. eryngi* and *P. florida*.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد در جدول ۲ ارائه‌شده است. بر اساس این جدول اثر اصلی قارچ و نوع مکمل و هم‌چنین اثر متقابل نوع مکمل و نوع قارچ و نوع مکمل در نوع سطح مکمل در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌داری بودند (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین عملکرد، در قارچ صدفی گونه فلوریدا بیش‌ترین درصد افزایش عملکرد در مقایسه با شاهد از تیمار سبوس گندم با سطح ۲۰ درصد (۳۸/۵۸ درصد) و بیش‌ترین درصد کاهش عملکرد نسبت به شاهد از تیمار آرد سویا با سطح

۲۰ درصد (٤٤/۸۳ درصد) حاصل شد. هم‌چنین براساس این نتایج در قارچ صدفی گونه ارینجی، کم‌ترین درصد کاهش عملکرد در مقایسه با شاهد به میزان ۹/۰۳ درصد در تیمار سبوس گندم با سطح ۲۰ درصد و بالاترین درصد کاهش عملکرد به میزان ٦۷/۸۲ درصد در تیمار آرد سویا ۲۰ درصد مشاهده شد (جدول ۳). در نتایج اویس و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شد، سبوس گندم بالاترین درصد افزایش عملکرد را نسبت به سایرین نشان داد که ممکن است به دلیل ترکیب شیمیایی آن باشد. این پژوهش‌گران بیان نمودند، سبوس به‌طور طبیعی منبع غنی از کربوهیدرات، ویتامین‌ها و مواد معدنی است (۳٦). از طرفی آرد سویا به خاطر افزایش بیش‌ازاندازه غلظت گاز Co2 در محیط کشت موجب تأثیر منفی بر سرعت استقرار یافتن روی بستر و تشکیل اندام باردهی قارچ خوراکی صدفی می‌شود (۳۹). میزان نیتروژن آرد سویا بیشتر از سبوس گندم می‌باشد. اگرچه نیتروژن بیش‌تر در بستر منجر به رشد بهتر میسلیومی می‌شود، اما لزوماً منجر به عملکرد بالا نمی‌شود. مطالعات نشان داده‌اند، غلظت‌های بالای نیتروژن رشد میسلیومی بیش‌تری را تحریک می‌کند اما تشکیل بازیدیوکارپ را کاهش می‌دهد (٤۰). در گونه ارینجی آرد سویا در تمام سطوح آن با شاهد اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. خاکاره نسبت به کلش گندم دارای بیش‌ترین لیگنین و کم‌ترین مقدار نیتروژن و پروتئین می‌باشد. بنابراین یکی از دلایل اصلی در کاهش عملکرد و راندمان زیستی پایین قارچ‌های تولیدشده روی این بستر کشت در مقایسه با بستر کلش گندم می‌باشد (٤۱). روند تجزیه بسترهایی که دارای میزان بالایی از لیگنین باشند، توسط قارچ کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین در این‌گونه از بسترهای کشت، نیتروژن به‌صورت غیرمتحرک می‌باشد که به‌راحتی توسط قارچ جذب نمی‌شود که برای به‌دست آوردن بیش‌ترین عملکرد و راندمان زیستی آن، باید نسبت سطوح مکمل‌های غذایی را افزایش داد تا حداکثر عملکرد حاصل شود (٤۲).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی نوع قارچ و نوع مکمل و هم‌چنین برهم‌کنش سطوح و نوع مکمل و قارچ و مکمل در سطح یک درصد راندمان زیستی قارچ را تحت‌تأثیر قراردادقراردادند (جداول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، در قارچ صدفی گونه فلوریدا بیش‌ترین درصد افزایش راندمان زیستی مربوط به تیمار سبوس گندم در سطح ۲۰ درصد (۳۸/٦۲ درصد افزایش) و بیش‌ترین درصد کاهش راندمان زیستی در تیمار آرد سویا در سطح ۲۰ درصد (٤۹/٤۳ درصد کاهش) می‌باشد. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کاهش راندمان زیستی در قارچ صدفی ارینجی به ترتیب متعلق به تیمار آرد سویا در سطح ۲۰ درصد (٦۷/۸۷ درصد کاهش) و تیمار سبوس گندم در سطح ۲۰ درصد (۷/٤۸ درصد کاهش) به‌دست آمد (جدول ۳ و شکل ۳). ازت موجود در سبوس گندم، نقش بسیار مهمی در تحریک رشد رویشی میسلیوم دارد و با مطالعات وانگ و همکاران (۲۰۰۱) مبنی بر غنی‌سازی بستر با سبوس گندم، برنج و ذرت که باعث افزایش راندمان زیستی می‌شود، مطابقت دارد (٤۳). در پژوهش سالاما و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیش‌ترین، وزن کل و کارایی زیستی مربوط به سبوس گندم بود. این پژوهش‌گران، افزایش وزن قارچ و کارایی زیستی را به نیتروژن موجود در سبوس گندم نسبت دادند (۱٦). مکمل سوبسترا با منابع مختلف نیتروژن آلی مانند سبوس گندم، وزن قارچ و کارایی زیستی قارچ صدفی را افزایش می‌دهد (٤٤). منابع آلی نیتروژن سبوس گندم به‌راحتی توسط قارچ استفاده می‌شود، زیرا جذب این منابع ازنظر انرژی کارآمدتر از تولید آن است، درنتیجه به قارچ اجازه می‌دهد انرژی بیش‌تری برای رشد میسلیوم و تشکیل

میوه صرف کند (۱۶). از طرفی افزایش وزن کل قارچ برداشت‌شده و کارایی زیستی می‌تواند به‌دلیل دسترسی بالا به آب در بستر سبوس گندم باشد، زیرا افزودن سبوس گندم موجب حفظ رطوبت بستر می‌شود (۴۵). بین میزان محصول قارچ و مقدار سلولز و لیگنین بستر کشت رابطه مثبت وجود دارد و این ترکیبات به‌عنوان یک عامل مهم برای تشکیل اندام بارده قارچ صدفی می‌باشند (۳۴). پژوهش حاضر نشان داد، برای به‌دست آوردن بیش‌ترین عملکرد و راندمان زیستی در قارچ گونه ارینجی می‌بایست، نسبت سطوح مکمل‌های غذایی را افزایش داد تا نتیجه بهتری حاصل شود. قارچ خوراکی صدفی ارینجی یک قارچ کند رشد است و توانایی هضم لیگنین در این‌گونه بسیار کم است و به‌راحتی نمی‌تواند از لیگنین به‌عنوان ماده رشد استفاده کند. از مواردی که بر راندمان‌زیستی آن تأثیرگذار است، میزان رطوبت موجود در بستر نیز می‌باشد (۴۳). میزان زیاد آب یا کم آب تأثیر منفی روی رشد مناسب میسلیوم‌ها می‌گذارد. میزان فعالیت و تحرک آب در بستر را باید با توجه به میزان ظرفیت نگه‌داری آب در نظر گرفت. به این صورت که کلش گندم و مکمل غذایی سبوس گندم به علت بافت نرم، رطوبت را بیش‌تر از بافت درشت و خشبی خاک‌اره در خود نگهداری می‌کند. خاک‌اره به دلیل تخلخل و تهویه بیش‌تر، باعث از دست‌دهی رطوبت نسبت به بستر کلش گندم می‌شود که این امر باعث کاهش رشد و توسعه میسلیوم‌ها و تشکیل اندام باردهی و درنتیجه کاهش راندمان زیستی می‌شود که با نتایج داس و مخرجی (۲۰۰۷) مطابقت دارد (۴۴).



شکل ۳- تأثیر بستر کشت بر راندمان زیستی *P. eryngi* و *P. florida*.

Fig. 3. The effect of cultivation substrate on biological efficiency of *P. eryngi* and *P. florida*.

نتایج این پژوهش نشان داد، درصد پروتئین قارچ در بین مکمل‌های غذایی متفاوت است و در این رابطه اثر اصلی و اثر متقابل تمامی تیمارها در سطح یک درصد پروتئین قارچ را تحت‌تأثیر قرارداد (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، در قارچ صدفی گونه فلوریدا تیمار سبوس گندم در سطح ۲۰ درصد و تیمار آرد سویا در سطح ۲۰ درصد به‌ترتیب موجب افزایش ۹۵ و ۷۰ درصدی پروتئین

نسبت به شاهد شدند. بیش‌ترین درصد افزایش پروتئین در قارچ صدفی ارینجی در مقایسه با شاهد متعلق به تیمار سبوس گندم (٥٧/١٤ درصد) بود (جدول ۳). نتایج پژوهش سالاما و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که بیش‌ترین میزان پروتئین از سبوس گندم به‌دست آمد (١٦). این نتایج ممکن است به‌دلیل تفاوت ترکیبات تغذیه‌ای مکمل‌های مختلف باشد (٤٥). ترکیب تغذیه‌ای قارچ تا حد زیادی به وضعیت منابع غذایی مانند نسبت C/N، ویتامین‌ها، فیتوهورمون‌ها، عناصر ماکرو و میکرو و تفاوت‌های زیستی سوبستراها و مکمل‌ها بستگی دارد (٤٦). یحیی (۲۰۱۲) نیز بیان نمود، تغییرات در محتوای نیتروژن و پروتئین در قارچ به نسبت C/N در بستر کشت با مکمل‌ها وابسته است (٤٧). سبوس به‌طور طبیعی منبع غنی از کربوهیدرات، ویتامین‌ها و مواد معدنی است که علاوه بر ماهیت تجزیه‌پذیری بیش‌تر، این منابع غذایی موجب افزایش سرعت تجزیه ساختار لیگنوسلولزی بستر کشت می‌شود. به‌گونه‌ای که تجزیه شدن مواد آلی افزایش‌یافته و نسبت کربن به نیتروژن متعادل می‌شود و درنتیجه مواد غذایی به‌راحتی در اختیار میسلیوم قارچ قرار می‌گیرد. این میسلیوم مواد غذایی بیش‌تری را به اندام بارده منتقل می‌کند که می‌تواند عامل مهمی در افزایش ترکیبات غذایی به‌ویژه پروتئین باشد (٤٨). از طرفی مکمل غذایی سبوس گندم به علت بافت نرم، توانایی بالاتری در جذب و نگهداری آب دارد. درنتیجه شرایط محیطی مناسب (عناصر غذایی و رطوبت مناسب) موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده سلولز، لیگنین، نشاسته و پروتئین می‌شود که مواد را با سرعت بیش‌تری به‌صورت محلول و قابل‌جذب درمی‌آورند و درنتیجه موجب بهبود کمیت و کیفیت قارچ می‌شوند (٤٩). از طرفی سبوس گندم مکمل بهتری است که سرشار از پروتئین و چربی است. بیش‌ترین قسمت نیتروژن سبوس گندم، نیتروژن پروتئینی و قابل‌دسترس است؛ بنابراین، افزودن سبوس به‌عنوان مکمل، محتوای نیتروژن بستر را افزایش می‌دهد (۳۷). افزایش در دسترس بودن نیتروژن باعث افزایش محتوای پروتئین در گیاهان، حیوانات و قارچ‌ها می‌شود (۳۸).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مکمل سبوس گندم نسبت به سایر مکمل‌ها از راندمان زیستی و عملکرد بیش‌تری برخوردار بود. هم‌چنین به دلیل داشتن سلولز، همی‌سلولز، لیگنین و نیتروژن بالا تأثیر فراوانی در تسریع میوه‌دهی و عملکرد بالا دارد. هم‌چنین نتایج این پژوهش نشان داد، مکمل‌ها در قارچ صدفی ارینجی با تیمار شاهد عملکرد متفاوتی نداشتند و حتی مکمل آرد سویا در این‌گونه موجب کاهش عملکرد نسبت به شاهد گردید. آرد سویا نیز به‌دلیل افزایش بیش‌ازاندازه غلظت گاز Co_2 در محیط کشت، موجب تأثیر منفی بر سرعت استقرار یافتن روی بستر و تشکیل اندام باردهی قارچ خوراکی صدفی می‌شود. ازآنجایی‌که شرایط محیطی مناسب (فراهمی منابع غذایی) باعث افزایش راندمان زیستی و عملکرد می‌شود و با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد که غنی‌سازی بستر با مکمل سبوس گندم همراه با مکمل‌های شیمیایی به‌ویژه عناصر ریزمغذی نیز بررسی شود.

منابع

1. Chakma, S., Hossain, M. M., Sarkar, N. C., Kakon, A. J., & Hossain, M. M. (2016). Effect of different wheat bran supplements and mother cultures on growth and yield of oyster mushroom. *Annual Bangladesh Agriculture*, 20(1&2), 41-47.
2. Ganjikunta, H. K., Simon, S., Lal, A. A., & Bhuvanesh, R. A. (2020). Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus florida*) on wheat straw supplemented with wheat and rice brans. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9 (12), 2324-2328
3. Royse, D. J., Rhodes, T. W., Ohga, S., & Sanchez, J. E. (2004). Yield, mushroom size and time to production of *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) grown on switch grass substrate spawned and supplemented at various rates. *Bioresource Technology*, 91(1), 85-91.
4. Carrasco, J., Zied, D. C., Pardo, J. E., Preston, G. M., & Giménez, A. P. (2018). Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. *AMB Express*, 8 (1), 146-156. **doi:10.1186/ s13568018-0678-0.**
5. Atila, F., Tüzel, Y., Faz Cano, A., & Fernandez, J. A. (2016). Effect of different lignocellulosic wastes on *Hericium americanum* yield and nutritional characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(2), 606-612.
6. Lin, Q., Long, L., Wu, L., Zhang, F., Wu, S., Zhang, W., & Sun, X. (2017). Evaluation of different agricultural wastes for the production of fruiting bodies and bioactive compounds by medicinal mushroom *Cordyceps militaris*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 3476-3480.
7. Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnior, A. M., & Ribani, R. H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal Biological Sciences*, 26(4), 633-646.
8. Rahman, M. H., Ahmed, K. U., Roy, T. S., Mandal, M. S. H., & Alam, M. R. (2013). Effect of chemical fertilizer supplements with rice straw on the growth and yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *International Journal of Agricultural Technology*. 9 (2), 47-51.
9. Yildis, S., Yildis, U. S., Gezer, E. D., & Temiz, A. (2003). Some lignocellulosic wastes used as raw material in cultivation of the *Pleurotus ostreatus* culture mushroom. *Process Biochemistry*, 38(3), 301-306.
10. Jafarpour, M., Poursaeid, N., Jalali Zand, A. R., Golparvar, A.R., Behdad, M. (2009). Effect of some of the wastes of agricultural conversion industries and food supplements on som of the specifications of the edible mushroom (*Pleurotus florida*). *Journal of Research in Agricultural Science*, 4(2), 188-203.
11. Nunes, M. D., Da Luz, J. M. R., Paes, S. A., Ribeiro, J. J. O., Da Silva, M. D. C. S., & Kasuya, M. C. M. (2012). Nitrogen supplementation on the productivity and the chemical composition of oyster mushroom. *Journal of Food Research*, 1(2), 113-119.
12. Mahdavi Tikdari, M., Bolandnazar, S., Motallebi Azar, A., & Panahande, J. (2012). Effect of addition of nutritional supplements to substrate on yield and protein content of oyster mushroom (*Pleurotus florida*). *Journal of Crop Production Processing*, 2(5), 153-161.
13. Mapanao, K. M., Abella, E. A., Aquino, D. L., & Kalaw, S. P. (2016). Use of effective microorganisms on enhancing the mycelial growth of *Pleurotus florida* on unsterilized rice straw. *Journal of Biological Engineering Research and Review*, 3(1), 30-36.
14. Bhatta, D., & Bist, V. (2017). Effects of Supplements in Rice Straw on Oyster Mushroom (*Pleurotus florida*) Production. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 6(1), 29-31.

15. Musara, A., Gasura, E., Ngadze, E., Tikiti, A. M. A., Mashingaidze, A. B., & Zvidzai, C. (2017). Effect of mixing cereal and legume stra ws on yield ofgrey oyster mushroom under controlled conditions. *African Crop Science Journal*, 26(2), 175-187.
16. Salama, A. N. A., Abdou, A. A. K., Helaly, A. A., & Salem, E. A. (2019). Effect of different nutritional supplements on the productivity and quality of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*, 44(2), 12-24.
17. Ramezan, D., Moradipour, F., & Zarabi, M. M. (2019). Evaluation effects of substrate enrichment by chemical and biological supplements on some qualitative characteristics and yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(2), 295-310.
18. Kurd-Anjaraki, S., Ramezan, D., Ramezani, S., Samzadeh-Kermani, A., Pirnia, M., & Yousef Shahi, B. (2020). Potential of waste reduction of agro-biomasses through Reishi medicinal mushroom (*Ganoderma lucidum*) production using different substrates and techniques. *Acta Ecologica Sinica*, 1 (2), 1-13.
19. Ramezan, D., Alizade Jahan Abadi, B., Samzade Kermani, A., Pirnia, M., & Farrokhzad, Y. (2021). Cultivation of Turkey Tail Mushroom (*Trametes versicolor*) on Lignocellulosic Wastes and Evaluation of Substrate Bioconversion. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India - Section B: Biological Sciences*, 1-12.
20. Heydari Sadegh, S., Ramezan, D., Pirnia, M., Aran, M., & Sarani, S. (2022). Evaluation of Yield and Total Polysaccharide amounts of the Basidiocarp of Iranian Isolates of *Agrocybe Aegerita* and *Hypsizygus Ulmarius* Mushroom Produced on various Substrates. *Biological Journal of Microorganisms*, 12(45), 1-17.
21. Fazaeli, H., Jelan, Z. A., Azizi, A., Liang, J. B., Mahmodzadeh, H., & Osman, A. (2002). Effects of fungal treatment on the nutritive value of wheat straw. *Malaysian Journal of Animal Science*, 7, 61-71.
22. Zhang, R. H., Li, X. J., & Fadel, J. G. (2002). Oyster mushroom cultivation with rice and wheat straw. *Bioresource Technology*, 82(3), 277-284.
23. Makenali, F. Kashi, A., & Hekmati, J. (2015). Effect of the base substrate and dietary supplementson growth indices florida oyster mushroom (*Pleurotus florida*). *Journal of Horticultureal Science*, 29(3), 368-376.
24. Baysal, E., Peker, H, Yalinkilic, M. K., & Temiz, A. (2003). Cultivation of oyster mushroom on waste paper with some added supplementary materials. *Bioresource Technology*, 89, 95-97.
25. Shah, Z. A., Ashraf, M., & Ishtiaq, C. M. (2004). Comparative study on cultivation and yield performance of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on diverent substrates (wheat straw, leaves, sawdust). *Pakistan Journal Nutrional*, 3, 158-160.
26. Gaitan-Hernandez, R., & Salmones, D. (2008). Obtaining and characterizing *Pleurotus ostreatus* strains for commercial cultivation under warm environtal condition. *Scientia Horticulturae*, 118, 106-110.
27. Guo, L. Q., Lin, J. Y., & Lin, J. F. (2007). Non-volatile components of several novel species of edible fungi in China. *Food Chemistry*, 100, 643-649.
28. Razavi, S. E., Sanei, S. J., & Rahiminejad, V. (2018). Pathology of edible mushrooms. *Peyk-Reyhan-Pub*, 272 p.
29. Obodai, M., Cleland-Okine, J., & Vowotor, K.A. (2003). Comparative study on the growth and yield of Pleurotus ostreatus mushroom on different lignocellulosic byproducts. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 30 (3), 146–149.

30. Mandeel, Q. A., Al-Laith, A. A., & Mohamed, S. A. (2005). Cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) on various lignocellulosic wastes. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 21, 601 607.
31. Singh, S. D., & Prasad, G. (2012). Effect of different Substrate supplements on the growth and yield of two species of mushroom *Pleurotus florida* and *P. sajorcaju*. *International Multidisciplinary Research Journal*, 2 (3), 61-64.
32. Deb, S., Simon, S., & Lal, A. A. (2021). Effect of rice bran and soybean flour on the growth and yield of white oyster mushroom [*Pleurotus florida* (Mont.) Singer]. *Biological Forum–An International Journal*, 13(3), 637-642.
33. Sajid, M., Imtiaz, M., Jalal, F., Islam, B., Khan, M. A., Hussain, S., Said, F., Ullah Khan, H., & Hussain, A. (2018). Effect of wheat bran and brown sugar on the yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Pure and Applied Biology*, 7(4), 1186-1196.
34. Mkhize, S. S., Cloete, J., Basson, A. K., & Zharare, G. E. (2016). Performance of *Pleurotus ostreatus* mushroom grown on maize stalk residues supplemented with various levels of maize flour and wheat bran. *Food Science and Technology*, 36(4), 598-605.
35. Salmones, D., Mata, G., & Waliszewski, K. N. (2005). Comparative culturing of *Pleurotus* spp. on coffee pulp and wheat straw: biomass production and substrate biodegradation. *Bioresource Technology*, 96, 537-544.
36. Oys, S., Singh, R., & Kanaujia, R. S. (2015). Effect of cereal, millet and legume bran supplement on yield and biological efficiency of oyster mushroom (*Pleurotus flabellatus*). *Mushroom Research*, 24(1), 69-74.
37. Sangeetha, A., Suresh Kumar, P., Eswaramurthy, S., & Kalaimani, T. (2011). Effect of bio-fertilizers, supplements and vent tubes on yield of *Pleurotus citrinopileatus*. *Mushroom Research*, 20(2), 79-82.
38. Obiaigwe, J. A., Adenipekun, C. O., Egbewale, S. O., & Aruwa, G. (2023). Growth, yield and nutritional quality of *pleurotus pulmonarius* and *pleurotus ostreatus*, grown on different substrates amended with wheat bran. *Biotechnology Journal International*, 27(4), 46-60.
39. Singh, M. P., & Singh, V. K. (2011). Yield performance and nutritional analysis of *Pleurotus citrinopileatus* on different agrowastes and vegetable wastes. Proceedings of the 7th *International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products* (ICMBMP7), 2011, 385-392.
40. Harith, N., Abdullah, N., & Sabaratnam, V. (2014). Cultivation of *Flammulina velutipes* mushroom using various agro-residues as a fruiting substrate. *Pesquisa Agropecuária Brasileira–PAB*. 49, 181-188.
41. Hassan, F. R. H., Medany, G. M., & Abou Hussein, S. D. (2010). Cultivation of the king oyster mushroom (*Plerrotus eryngii*) in Egypt. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(1), 99-105.
42. Chanakya, H. N., Malayil, S., & Vijayalakshmi, C. (2015). Cultivation of *Pleurotus* spp. on a combination of anaerobically digested plant material and various agro-residues. *Energy for Sustainable Development*, 27, 84-92.
43. Wang, D., Sakoda, S., & Suzuki, M. (2001). Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostereatus* cultivated on spent beer grain. *Bioresource Technology*, 78, 293-300.
44. Das, N., & Mukherjee, M. (2007). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on weed plants. *Bioresource Technology*, 98(14), 2723-2726.
45. Khan, M. A., Amin, S. M. R., Uddin, M. N., Tania, M., & Alam, N. (2008). Comparative study of the nutritional composition of oyster mushrooms cultivated in Bangladesh. *Bangladesh Journal Mushroom*, 2, 14-29.

46.Adenipekun, C. O., & Gbolagade, J. S. (2015). Nutritional requirements of *Pleurotus florida* (Mont.) Singer, A Nigerian mushroom. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6, 597-600.

47.Yehia, S. R. (2012). Nutritional value and biomass yield of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus* cultivated on different wastes in Egypt. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, 11, 9-14.

48.Stajić, M., Persky, L., Hadar, Y., Friesem, D., Duletić-Laušević, S., Wasser, P. & Nevo, E. (2006). Effect of copper and manganese ions on activities of laccase and peroxidases in three *Pleurotus* species grown on agricultural wastes. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 128, 87-96.

49.Quds-Valid, A. (2010). Planting and cultivating edible and medicinal fungi (Jun-Cao technology). *Iranian Agricultural Science Publishing*, 217 p.