نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هشتم، شماره سوم، ۱۴۰۰
۱۳۱-۱۴۶
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/JOPP.2021.18521.2732

مقاله کامل علمی-پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اجزای بستر کشت در فرایند تولید قارچ شی تاکه (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler)

حمیدرضا سرحدی[۱]، داریوش رمضان*[۲]، محمد مهدی ضرابی[۳]، مهدی پیرنیا[۴]، عباس نصیری دهسرخی[۵] و بهناز یوسف‌شاهی[۶]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران،
[۲]استادیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران،
[۳]استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، قزوین، ایران،
[۴]دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران،
[۵]دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران،
[۶]دانشجوی دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: هر چند بستر کشت تراشه چوب درختان به عنوان بستر مناسب برای پرورش قارچ شی تاکه گزارش شده است، اما دسترسی آسان و هم‌چنین هزینه پایین‌تر سایر ضایعات لیگنوسلولزی کشاورزی و صنعتی، سبب شده تا جایگزینی مناسب برای آن معرفی گردد. با توجه به این‌که نوع بستر کشت مورد استفاده در پرورش قارچ شی تاکه تأثیر به‌سزایی در مقدار پروتئین و سایر ویژگی‌های شیمیایی و دارویی اندام میوه‌ای قارچ دارد بنابراین در این پژوهش سعی شد که تغییرات فیزیکی و شیمیایی بستر کشت در طول دوره کشت این قارچ بررسی شود تا ارتباط بین رشد رویشی و زایشی و ارزش غذایی و دارویی قارچ شی تاکه با بسترهای مختلف بررسی شده و بهترین بستر برای کشت این قارچ معرفی گردد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در دانشگاه زابل سال ۹۹-۱۳۹۸ به صورت فاکتوریل دو عاملی و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. عامل اول شامل ۱۷ سطح مختلف برای بستر کشت و عامل دوم شامل دو سطح مختلف برای مکمل غذایی (۱. سولفات منیزیم و ۲. نیترات پتاسیم) بود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر کشت در دو مرحله قبل از تلقیح اسپان و بعد از برداشت قارچ (کمپوست مصرف شده) اندازه‌گیری گردید هم‌چنین صفات مربوط به اندام میوه‌ای به صورت میانگین دو چین مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: با اضافه کردن مکمل‌های آلی مانند سبوس گندم، کنجاله پنبه‌دانه و کنجاله سویا در بسترهای کشت تراشه چوب صنوبر و باگاس نیشکر غنی شده با مکمل‌های شیمیایی مانند نیترات پتاسیم و سولفات منیزیم ارزش غذایی بستر کشت افزایش یافته بنابراین میسلیوم‌های قارچ مواد غذایی بیش‌تری را به اندام میوه‌ای قارچ انتقال داده و موجب افزایش مقادیر ارگسترول (۴۷۹/۶۰)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۴۰/۱) و پلی‌ساکارید کل اندام میوه‌ای (۱۰/۹۵) تولید شده بر روی این بسترها نسبت به سایر

* مسئول مکاتبه: drhorticul@uoz.ac.ir

بسترها می‌شود. بسترهای کشت حاوی تراشه چوب صنوبر و سبوس گندم و کنجاله پنبه‌دانه غنی‌شده با مکمل‌های شیمیایی دارای بیش‌ترین میزان عملکرد (۲۹۴/۸) بودند. مقادیر بالای پتاسیم (۳۹۸/۶) اندام میوه‌ای قارچ از بسترهایی به دست آمد که حاوی باگاس نیشکر، تراشه چوب نخل خرما و تراشه چوب انگور بودند. هم‌چنین مقادیر بالای کلسیم (۱۴/۳) اندام میوه‌ای در قارچ‌های برداشت شده از بسترهای حاوی تراشه چوب صنوبر، سبوس گندم و باگاس نیشکر مشاهده گردید. با اندازه‌گیری درصد تغییرات تجزیه‌ای ضایعات مختلف کشاورزی مورد استفاده در این پژوهش در مراحل قبل از پنجه‌دوانی و بعد از تولید اندام میوه‌ای قارچ شی تاکه مشخص گردید که مقادیر نیتروژن، پروتئین، خاکستر و EC بستر کشت افزایش یافت و در مقابل مقادیر pH، کربن، نسبت کربن به نیتروژن، سلولز، همی‌سلولز و لیگنین بستر کشت در طول دوره کشت قارچ شی تاکه کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: ضایعات کشاورزی و جنگلی دارای مقادیر زیاد لیگنین و نسبت بالای کربن به نیتروژن بوده و این موضوع در کنار عدم تجزیه‌پذیری کامل این ترکیبات، موجب می‌گردد که میسلیوم‌های قارچ توانایی جذب کامل مواد غذایی موجود در بستر کشت را نداشته باشند، بنابراین جهت تعدیل نسبت کربن به نیتروژن و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده سلولز، همی‌سلولز و لیگنین و افزایش راندمان تبدیل زیستی (تبدیل سوبسترا به بازیدیوکارپ)، استفاده از بسترهای ترکیبی و مکمل‌های آلی و غیرآلی در کشت و تولید قارچ شی تاکه توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ارگسترول، پلی‌ساکارید کل، ضایعات کشاورزی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، قارچ شی تاکه

مقدمه

قارچ شی تاکه[1] (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) علاوه بر این‌که منبع مناسبی از پلی‌ساکاریدهایی با خواص دارویی بوده، حاوی ارگسترول[2] و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالایی نیز می‌باشد (۲۴). بستر اصلی پرورش قارچ شی تاکه خاک اره درختان سخت‌چوب مانند بلوط و افرا بوده اما در برخی از مناطق از سایر ترکیبات لیگنوسلولزی جایگزین مانند کلش گندم (۲۱)، کلش جو و ضایعات ساقه‌های حاصل از هرس انگور (۱۱) و ضایعات حاصل از پوسته بذر آفتابگردان (۹) جهت تولید قارچ استفاده شده است. گزارش شده است که رابطه منفی بین سرعت رشد رویشی میسلیوم[3] و عملکرد قارچ شی تاکه وجود دارد (۲۰). در مواردی کاهش مقادیر نیتروژن بستر کشت مدت زمان تولید اندام میوه‌ای قارچ را تسریع کرد (۲۲). بستر کشت به طور معنی‌داری بر مقادیر عناصر اندام میوه‌ای قارچ تأثیر می‌گذارد (۴). از طرفی نتایج آزمایشی نشان داده است که وجود مقادیر بالای نیتروژن بستر کشت دلیلی بر بالا بودن نیتروژن اندام میوه‌ای قارچ نخواهد بود (۷). بر اساس پژوهشی مشخص گردید که در بستر کشت تفاله پنبه‌دانه، سلولز و همی‌سلولز و لیگنین به ترتیب ۴۰، ۴۳ و ۲۹ درصد توسط میسلیوم‌های قارچ شاه صدف (*Pleurotus eryngii*) تجزیه گردید (۲۳). در پژوهشی دیگر بیش‌ترین کاهش در مقادیر کربن آلی بستر کشت در انتهای دوره برداشت، مربوط به بسترهایی بود که حاوی سبوس گندم بودند. و هم‌چنین مشخص گردید که میزان pH کمپوست مصرف شده (در انتهای آزمایش) در مقایسه با شروع آزمایش (قبل از تلقیح) کاهش یافت در حالی‌که مقادیر EC کمپوست مصرف شده در مقایسه با شروع آزمایش افزایش یافت (۱۹). در نتایج حاصل از پژوهشی دیگر همبستگی منفی معنی‌داری بین مقادیر نیتروژن بستر کشت و زمان کامل شدن پنجه‌دوانی[4] قارچ گانودرما لوسیدم (*Ganoderma lucidum*) مشاهده شد در صورتی که همبستگی منفی معنی‌داری

1- Shiitake
2- Ergosterol
3- Mycelium
4- Spawn running

بین سلولز و لیگنین بستر کشت با زمان کامل شدن پنجه دوانی برقرار بود و همچنین بین عملکرد کل قارچ با نیتروژن بستر کشت همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت در صورتی که بین عملکرد کل و مقادیر سلولز و لیگنین بستر کشت همبستگی مثبت معنی‌داری برقرار بود (٦). هم‌چنین بر اساس مطالعات صورت پذیرفته، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقادیر نیتروژن بستر کشت و رشد رویشی میسلیوم‌های قارچ شی تاکه وجود دارد به‌طوری‌که با افزایش مقادیر نیتروژن بستر کشت مرحله پنجه‌دوانی کوتاه‌تر گردید (٥). با توجه به این‌که مقادیر نیتروژن، پروتئین و سایر ویژگی‌های شیمیایی و دارویی اندام میوه‌ای قارچ با نوع بستر کشت در ارتباط می‌باشد بنابراین هدف از انجام این پژوهش اندازه‌گیری برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر کشت در دو مرحله قبل از تلقیح اسپان و بعد از برداشت اندام میوه‌ای قارچ می‌باشد که به منظور مورد بررسی نوع ارتباط بین رشد رویشی، زایشی، عملکرد، ارزش غذایی و دارویی قارچ شی تاکه با ویژگی‌های بستر کشت (ضایعات مختلف محصولات کشاورزی و صنعتی) صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشگاه زابل در سال ۹۹-۱۳۹۸ انجام گردید. پسماندهای مختلف لیگنوسلولزی در بستر کشت قارچ شی تاکه مطابق جدول ۱ مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱- ترکیب اجزای بسترهای کشت قارچ شی تاکه.

Table 1. Composition of components Shiitake mushroom substrates.

کد	اجزای بستر substrate components	درصد هر یک از اجزا (٪) Percentage of each component (%)
S1	تراشه چوب صنوبر Poplar sawdust	100
S2	تراشه چوب + سبوس گندم Poplar sawdust + wheat bran	10 + 90
S3	تراشه چوب + کنجاله سویا Poplar sawdust + Soybean meal	10 + 90
S4	تراشه چوب + تفاله زیتون Poplar sawdust + Olive pomace	10 + 90
S5	تراشه چوب + کنجاله پنبه‌دانه Poplar sawdust + Cotton meal	10 + 90
S6	باگاس نیشکر + سبوس گندم Sugarcane bagasse + Wheat bran	10 + 90
S7	باگاس نیشکر + تفاله زیتون Sugarcane bagasse + Olive pomace	10 + 90

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

کد	اجزای بستر substrate components	درصد هر یک از اجزا (٪) Percentage of each component (%)
S8	ساقه خرما + سبوس گندم Date palm sawdust + Wheat bran	10 + 90
S9	ساقه خرما + تفاله زیتون Date palm sawdust + Olive pomace	10 + 90
S10	ساقه انگور+ کنجاله پنبه‌دانه Vine sawdust + Cotton meal	10 + 90
S11	ساقه انگور + سبوس گندم Vine sawdust + Wheat bran	10 + 90
S12	ساقه انگور + کلش گندم + کنجاله پنبه‌دانه Vine sawdust + Wheat straw + Cotton meal	10 + 30 + 60
S13	ساقه انگور + کلش گندم + تفاله زیتون Vine sawdust+ Wheat straw+ Olive pomace	10 + 30 + 60
S14	تراشه چوب + باگاس نیشکر + سبوس گندم Poplar sawdust +Sugarcane bagasse + Wheat bran	15 + 65 + 20
S15	تراشه چوب + باگاس نیشکر + سبوس گندم Poplar sawdust + Sugarcane bagasse + Wheat bran	15 + 75 + 10
S16	تراشه چوب + برگ خرما + کلش گندم Poplar sawdust +date palm leaves + Wheat straw	50 + 35 + 15
S17	تراشه چوب + برگ خرما + کلش گندم Poplar sawdust +date palm leaves + Wheat straw	50 + 45 + 5

آماده‌سازی اسپان (بذر): مراحل تولید اسپان قارچ از استوک به روش کوماری (۲۰۱۷) و زید و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد (۱٤، ۲۸). ابتدا استوک قارچ شی تاکه از شرکت قارچ آرین تهیه گردید. سپس، بذور گندم تا حدی که دانه‌ها کمی نرم شود جوشانده و یک درصد آهک اضافه گردید. پس از استریل شدن، کیسه‌ها (حاوی بذور گندم) در محفظه سربسته (هود) با استفاده از استوک قارچ در کنار شعله گاز، عمل تلقیح با برداشتن دیسک‌های میسلیومی به قطر ۱ سانتی‌متر انجام گردید. پس از گذشت سه هفته در دمای ۱ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میسلیوم قارچ در قسمت‌های مختلف کیسه‌ها نمایان گردید و اسپان برای مایه‌زنی بستر کشت آماده شد.

پاستوریزه و تلقیح بستر کشت: مقادیر آب بستر کشت در محدوده ۵۵ تا ٦۵ درصد تنظیم گردید (۲۱). ۲۰۰۰ گرم از بستر کشت، در کیسه‌های پلی پروپیلن ریخته شد و با استفاده از دستگاه اتوکلاو به مدت ۱/۵ ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ اتمسفر استریل گردید (۲۰). تلقیح بستر کشت به نسبت ۳ درصد (بر اساس وزن تر بستر کشت) با

اسپان قارچ شی تاکه و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

رشد رویشی و تشکیل اندام باردهی: از اولین روز کشت تا کامل شدن مرحله رشد رویشی دما در محدوده ۲±۲٤ درجه سانتی‌گراد و تحت شرایط تاریکی تنظیم گردید. پس از سفید شدن کامل بسترها با میسلیوم قارچ شی تاکه، درب کیسه‌ها به‌طور جزئی باز شده تا مرحله قهوه‌ای شدن[1] انجام شود (۵). در این مرحله رطوبت در محدوده ۸۵ تا ۹۰ درصد تنظیم گردید. پس از قهوه‌ای شدن بستر کشت (میسلیوم در این مرحله کاملاً به بستر چسبیده و توده محکم و سفتی تشکیل شده است که ظاهری شبیه به پوسته درخت که حالت ترک برداشته داشته باشد را دارا می‌باشد) جهت ورود به فاز زایشی و تشکیل سرسنجاقی‌های قارچ[2] دما در محدوده ۲±۱۸ درجه (شوک دمایی) سانتی‌گراد تنظیم گردید و پلاستیک به‌طور کامل از بستر کشت جدا شد (۲۰). در این مرحله از رشد قارچ مقادیر دی اکسید کربن به زیر ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام کاهش داده شد (مقادیر دی اکسید کربن محیط کشت با دستگاه دیجیتالی مجهز به سنسورهای حساس اندازه‌گیری و بر اساس پی‌پی‌ام ثبت شد) همین طور رطوبت نسبی محیط کشت با نصب دستگاه مه‌ساز به سطح ۹۰ درصد افزایش یافت. جهت رشد سرسنجاقی‌ها و تشکیل اندام میوه‌ای قارچ، از چهار لامپ مهتابی با توان ٤۰ وات استفاده شد. لامپ‌ها به مدت ۱٦ ساعت در هر شبانه‌روز تا انتهای برداشت روشن بود. زمان برداشت قارچ شی تاکه هنگامی در نظر گرفته شد که پرده ثانویه[3] بازیدیوکارپ پاره شده و لبه‌های کلاهک قارچ تغییر شکل ندهد (صاف نگردد) هم‌چنین تیغه‌های[4] زیر آن کاملاً گسترش یابد (۵).

شکل ۱- قارچ شی تاکه تولید شده در دانشگاه زابل.

Fig. 1. Shiitake mushroom produced at Zabol University.

1- Browning
2- Pin head
3- Veil
4- Gills

صفات اندازه‌گیری شده: برخی از ویژگی‌های بستر کشت در دو مرحله قبل از تلقیح اسپان و بعد از برداشت (کمپوست مصرف شده) قارچ اندازه‌گیری گردید (جدول ۱). هم‌چنین صفات مربوط به اندام میوه‌ای به صورت میانگین دو چین مورد ارزیابی قرار گرفت. درصد خاکستر نمونه‌ها در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٦ ساعت در کوره الکتریکی تعیین گردید. هم‌چنین مقادیر آب (درصد) و ماده خشک (درصد) با استفاده از آون در دمای ٦۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲٤ ساعت تعیین گردید. جهت اندازه‌گیری نیتروژن کل بستر کشت (درصد) و اندام میوه‌ای (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) از دستگاه کجلدال (مدل V50 از شرکت Gerhardt) و جهت اندازه‌گیری مقادیر پتاسیم اندام میوه‌ای (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) از دستگاه فلیم فتومتر (مدل PFP7 ساخت کمپانی JENWAY انگلستان) استفاده شد. مقادیر کلسیم اندام میوه‌ای (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (مدل NovaAA ٤۰۰ از شرکت Analytik Jena ساخت USA) اندازه‌گیری گردید. هم‌چنین جهت تعیین درصد پروتئین اندام میوه‌ای از ضریب تبدیل نیتروژن به پروتئین ٦/۲۵ استفاده شد (۱). برای تعیین غلظت پلی‌ساکارید اندام میوه‌ای از روش فنل- سولفوریک اسید و با استفاده از عصاره آبی اندام میوه‌ای تعیین گردید. جذب نمونه‌ها در ٤۹۰ نانومتر قرائت شد و با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز، غلظت نهایی (مقادیر پلی‌ساکارید کل) بر حسب میلی‌گرم در گرم از پودر عصاره محاسبه گردید (۱۰، ۱۵). برای اندازه‌گیری مقادیر ارگسترول از روش ماتیلا (۱۹۹۲ و ۱۹۹٤) استفاده شد (۱٦، ۱۷). بدین‌منظور ۱۰ گرم از اندام میوه‌ای قارچ با نفت و دی‌اتیل‌اتر ترکیب و صابونی گردید. بعد از عمل تبخیر، با ۲ میلی‌لیتر هگزان رقیق گردید. عصاره آماده شده جهت اندازه‌گیری به دستگاه HPLC (مدل KNAUER D-14163 کشور آلمان) تزریق شده و نتایج بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک گزارش شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد تعیین گردید و به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH محاسبه شد (۱۸). مدت زمان لازم (روز) جهت کامل شدن مرحله پنجه‌دوانی در بستر کشت، محاسبه گردید و بعد از به اتمام رسیدن رشد رویشی (سفید شدن بستر کشت)، زمان شروع تشکیل سرسنجاقی و هم‌چنین زمان برداشت اولین اندام میوه‌ای یا پیش رسی[1] محاسبه گردید. هم‌چنین وزن تر (گرم) اندام میوه‌ای (در دو چین) با استفاده از ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. جهت تعیین متوسط وزن (گرم) اندام میوه‌ای قارچ شی تاکه نسبت وزن کل اندام میوه‌ای به ازای تعداد اندام میوه‌ای محاسبه گردید (۵). هم‌چنین ماده آلی و کربن آلی بستر کشت توسط روش انجمن رسمی شیمیدان‌های آمریکا (۱۹۹۵) اندازه‌گیری گردید (۱). جهت اندازه‌گیری EC و pH بستر کشت ۲۰ گرم بستر کشت (بر اساس وزن خشک) با ۲۰۰ میلی‌لیتر آب (نسبت حجمی ۱ به ۱۰) مخلوط شده و پس از ۱۵ دقیقه ورتکس، عصاره تهیه شده پس از عبور از صافی با دستگاه EC متر (مدل 6061 شرکت EZDO ساخت تایوان) و pH متر (مدل 601 شرکت EZDO ساخت تایوان) و ثابت شدن عدد دستگاه، تعیین گردید و مقادیر هدایت الکتریکی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر ثبت گردید (۸). برای تعیین مقادیر فیبر (سلولز + همی‌سلولز + لیگنین) بسترهای مورد آزمایش، از روش تعیین فیبر (الیاف نامحلول) با دو روش ان دی اف[2] (شوینده‌های یا پاک‌کننده‌های خنثی فیبر) و ای دی اف[3] (شوینده‌های اسیدی فیبر) استفاده شد (۲٦). برای تعیین میزان لیگنین بستر از روش ای دی ال[4] (شوینده‌های اسیدی

1- Precocity
2- Neutral detergent fibers (NDF)
3- Acid detergent fiber (ADF)
4- Acid detergent fibers (ADL)

لیگنین) استفاده شد (رابطه‌های ۱ تا ۳) (۲۵). مقادیر سلولز، لیگنین و همی‌سلولز بستر کشت به صورت درصد بیان شد (بر اساس وزن خشک بستر کشت).

$$\text{سلولز} = ADF - ADL \quad (۱)$$

$$\text{همی‌سلولز} = NDF - ADF \quad (۲)$$

$$\text{لینگین} = \left(\frac{ADF}{\text{ماده آلی}}\right) \times 100 \quad (۳)$$

تیمارهای مورد آزمایش: این پژوهش به‌صورت فاکتوریل دو عاملی و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار صورت پذیرفت. فاکتور اول شامل ۱۷ سطح مختلف برای بستر کشت (جدول ۱) و فاکتور دوم شامل دو سطح مختلف برای مکمل غذایی (۱. سولفات منیزیم (۲ گرم در لیتر برای هر کیسه دو کیلوگرمی، براساس وزن تر بستر کشت) و ۲. نیترات پتاسیم (۲ گرم در لیتر برای هر کیسه دو کیلوگرمی، براساس وزن تر بستر کشت) بود (۲۷).

تجزیه داده‌ها: تجزیه واریانس، مقایسات میانگین با آزمون حداقل دامنه‌های معنی‌دار دانکن در سطح احتمال پنج درصد و بررسی همبستگی بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS, Ver 9.3 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر کشت: با توجه به جدول ۲، بیش‌ترین مقدار کربن بستر کشت قبل از تلقیح (۵۷/۶۰٪)، به بستر S2 اختصاص دارد. به‌نظر می‌رسد وجود سبوس گندم در بستر کشت S2 سبب تجزیه بیش‌تر اجزای تشکیل‌دهنده بستر کشت شده است و کربن آلی توسط میسلیوم قارچ بیش‌تر از سایر تیمارها تجزیه شد. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد که مقادیر بالای نیتروژن کنجاله سویا سبب تسریع تجزیه بستر کشت S3 شده است و نیتروژن موجود در آن به مصرف قارچ رسیده است و در بین تیمارها بعد از برداشت بیش‌ترین مقدار بود. به‌نظر می‌رسد که در بستر کشت S3، وجود مقادیر بالای نیتروژن سبب کاهش نسبت کربن به نیتروژن بستر کشت شده و هدایت الکتریکی کمپوست مصرف شده به‌علت تجزیه و مصرف اجزای بستر کشت به نسبت کم‌تری در مقایسه با سایر تیمارها افزایش یافته است. هم‌چنین با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده بستر کشت S13 در جدول ۲ کم‌ترین میزان تجزیه سلولز و لیگنین صورت گرفته است که می‌توان به عدم وجود سبوس گندم، کنجاله سویا و کنجاله پنبه‌دانه نسبت داد که سبب کاهش سرعت تجزیه بستر کشت توسط میسلیوم قارچ شده است. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد که وجود ترکیبات فنلی در تفاله زیتون سبب کاهش قدرت تجزیه‌کنندگی میسلیوم قارچ شده است. با توجه به نسبت بالای کربن به نیتروژن بسترهای کشت (ضایعات کشاورزی و جنگلی)، لیگنین بالا و هم‌چنین عدم تجزیه‌پذیری کامل ترکیبات سلولزی، میسلیوم‌های قارچ توانایی دریافت کامل مواد غذایی موجود در بستر کشت را ندارند، بنابراین جهت تعدیل مقادیر کربن و نیتروژن و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده سلولز، همی‌سلولز و لیگنین و افزایش راندمان تبدیل زیستی (تبدیل سوبسترا به بازیدیوکارپ) از بسترهای ترکیبی و مکمل‌های آلی و غیرآلی استفاده می‌گردد. رشد میسلیوم قارچ به مقادیر نیتروژن و هم‌چنین محتوای عناصر بستر کشت بستگی دارد (۳). تغییرات تجزیه‌ای برخی از ضایعات مختلف کشاورزی هم‌چون کلش نخود، ساقه ذرت، کلش یونجه، بقایای طبق آفتابگردان و چوب بلوط در مراحل پنجه‌دوانی و تولید اندام میوه‌ای قارچ شی تاکه مشخص گردید که در مقایسه با افزایش نیتروژن، پروتئین و خاکستر بستر کشت، مقادیر pH، کربن و نسبت کربن به نیتروژن بستر کشت در طول دوره پرورش قارچ کاهش یافت (۵).

جدول ۲- مقایسه میانگین بین ترکیبات انتخابی بستر کشت قبل از مایه‌زنی با اسپان و بعد از برداشت قارچ شی تاکه.

Table 2. Mean comparison of selected constituents of substrates before inoculation and after cropping of Shiitake mushroom.

بسترها Substrates	Carbon (%)		Nitrogen (%)		C:N ratio		EC (1:10, ds/m)		pH		Cellulose (%)		Hemicellulose (%)		Lignin (%)	
	BI	AC	BI	AC	BI	AC	BI	AC	BI	AC	BI	AC	BI	AC	BI	AC
S_1	51.20^{gh}	47.80^{ef}	0.90^{j}	0.98^{f}	60.90^{c}	51.40^{b}	2.39^{f}	2.40^{d}	6.47^{f}	5.72^{f-i}	25.90^{ij}	22.80^{a}	19.30^{g}	17.10^{b}	13.30^{g}	11.00^{a}
S_2	57.60^{a}	52.30^{a}	1.82^{bc}	2.08^{a}	31.70^{d}	25.20^{c}	3.16^{a}	3.34^{a}	7.28^{a}	6.48^{a-d}	35.10^{ab}	16.50^{c}	23.70^{b-f}	12.60^{h}	19.70^{ab}	7.30^{g}
S_3	56.70^{abc}	51.80^{ab}	2.12^{a}	2.21^{a}	27.00^{d}	23.70^{c}	3.16^{a}	3.31^{a}	7.30^{a}	6.77^{a}	35.90^{a}	17.30^{c}	23.70^{b-f}	12.70^{h}	20.60^{a}	7.40^{fg}
S_4	50.50^{h}	47.10^{f}	0.60^{j}	0.65^{g}	99.30^{ab}	84.10^{a}	2.01^{g}	2.16^{de}	6.32^{g}	5.74^{f-i}	25.10^{ij}	22.40^{a}	17.80^{gh}	16.30^{bc}	11.40^{hi}	10.60^{ab}
S_5	57.10^{ab}	51.90^{ab}	1.95^{ab}	2.19^{a}	29.30^{d}	23.70^{c}	3.17^{a}	3.29^{a}	7.28^{a}	6.53^{abc}	35.5^{ab}	16.2^{c}	23.30^{c-f}	12.80^{h}	19.80^{ab}	7.60^{fg}
S_6	54.00^{def}	49.60^{cde}	1.23^{gh}	1.36^{cde}	44.20^{cd}	36.80^{bc}	2.72^{cde}	2.85^{c}	6.94^{cd}	6.16^{c-f}	29.90^{ef}	17.60^{c}	22.00^{f}	14.80^{c-g}	14.10^{fg}	8.80^{de}
S_7	50.20^{h}	47.00^{f}	0.58^{j}	0.67^{g}	99.10^{ab}	79.60^{a}	1.93^{g}	2.04^{e}	6.27^{g}	5.67^{ghi}	24.10^{jk}	20.50^{b}	17.30^{gh}	16.00^{bcd}	11.40^{hi}	10.10^{bc}
S_8	53.60^{ef}	49.30^{cde}	1.20^{gh}	1.28^{de}	45.50^{cd}	38.70^{bc}	2.67^{de}	2.83^{c}	6.86^{d}	5.74^{f-i}	29.00^{fg}	17.70^{c}	22.20^{ef}	14.90^{c-g}	13.90^{g}	8.90^{de}
S_9	50.00^{h}	46.70^{f}	0.65^{j}	0.72^{g}	83.00^{b}	70.00^{a}	1.94^{g}	2.07^{e}	6.23^{g}	5.48^{i}	23.20^{k}	20.10^{b}	16.60^{h}	16.00^{bcd}	10.20^{i}	9.30^{cd}
S_{10}	54.20^{def}	50.10^{bcd}	1.41^{efg}	1.50^{cd}	39.00^{cd}	33.80^{bc}	2.92^{abc}	3.13^{ab}	7.02^{c}	6.13^{c-g}	31.30^{de}	17.60^{c}	26.80^{a}	13.90^{e-h}	16.40^{de}	8.70^{de}
S_{11}	54.10^{def}	50.20^{bcd}	1.37^{fgh}	1.47^{cd}	40.10^{cd}	34.50^{bc}	2.82^{bcd}	2.93^{bc}	6.99^{c}	6.21^{b-e}	30.60^{ef}	17.30^{c}	25.90^{ab}	14.20^{d-h}	15.70^{ef}	8.8^{de}
S_{12}	54.90^{de}	51.00^{abc}	1.50^{def}	1.59^{bc}	36.70^{d}	32.40^{c}	3.03^{ab}	3.15^{ab}	7.12^{b}	6.32^{a-e}	32.70^{cd}	17.30^{c}	25.60^{abc}	13.90^{e-h}	16.80^{de}	8.70^{de}
S_{13}	49.90^{h}	46.70^{f}	0.51^{j}	0.57^{g}	105.40^{a}	87.00^{a}	1.95^{g}	2.10^{e}	6.29^{g}	5.53^{hi}	21.20^{l}	19.80^{b}	24.40^{b-f}	19.80^{a}	10.20^{i}	9.50^{cd}
S_{14}	55.70^{bcd}	50.90^{abc}	1.74^{bcd}	1.80^{b}	32.00^{d}	28.30^{c}	3.14^{a}	3.22^{a}	7.22^{ab}	6.39^{a-e}	34.8^{ab}	17.00^{c}	22.80^{def}	13.50^{fgh}	18.7^{bc}	8.10^{efg}
S_{15}	55.30^{cd}	50.80^{abc}	1.64^{cde}	1.76^{b}	34.00^{d}	29.00^{c}	3.10^{a}	3.28^{a}	7.19^{ab}	6.65^{ab}	33.7^{bc}	17.20^{c}	22.20^{ef}	13.20^{gh}	17.70^{cd}	8.20^{ef}
S_{16}	52.70^{fg}	48.50^{def}	1.12^{hi}	1.20^{ef}	47.70^{cd}	41.10^{bc}	2.66^{de}	2.74^{c}	6.72^{e}	6.03^{d-g}	28.0^{gh}	17.90^{c}	24.80^{a-d}	15.60^{b-e}	13.40^{g}	9.20^{cd}
S_{17}	52.60^{fg}	48.50^{def}	1.12^{hi}	1.20^{ef}	47.50^{cd}	40.90^{bc}	2.55^{ef}	2.67^{c}	6.64^{e}	5.99^{e-h}	26.80^{hi}	17.80^{c}	24.50^{b-e}	15.30^{c-f}	12.80^{gh}	9.50^{cd}

* مقادیر (میانگین‌ها) با استفاده از آزمون دانکن در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ ≥ P ندارند. قبل از مایه‌زنی با اسپان: BI، بعد از برداشت: AC، کدگذاری بسترها در جدول ۱ نمایش داده شده است

* Values (means) within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan 's test, Before inoculation: BI, After cropping:AC. The coding of substrates is shown in Table 1

رشد رویشی و زایشی قارچ: با توجه به وجود نیتروژن در مکمل نیترات پتاسیم در مقایسه با سولفات منیزیم، غنی‌سازی بسترهای کشت با مکمل نیترات پتاسیم سبب تسریع در مرحله رشد رویشی قارچ شد (جدول ۳). در بسترهایی که از تراشه چوب صنوبر در ترکیب با سبوس گندم (S2)، کنجاله سویا و کنجاله پنبه‌دانه (S3 و S5) و سبوس گندم (S14) استفاده شده بود، رشد رویشی قارچ در زمان کوتاه‌تری کامل گردید (جدول ۳). با توجه به ترکیب بسترهای اشاره شده، به‌نظر می‌رسد که نیتروژن موجود در کنجاله سویا، کنجاله پنبه‌دانه و سبوس گندم سرعت رشد میسلیوم قارچ را افزایش می‌دهد. علی‌رغم افزایش سرعت رشد رویشی در اثر وجود ترکیبات آلی نیتروژن‌دار (S3)، شروع تشکیل سرسنجاقی‌ها در بستر کشت S3 نسبت به سایر بسترها طولانی‌تر بود (جدول ٤). برداشت اولین اندام میوه‌ای (پیش رسی) در بین بسترهای S7، S9 و S13 در زمان کوتاه‌تری انجام شد (جدول ٤). گزارش شده است که در قارچ شی تاکه با افزایش مقادیر نیتروژن بستر کشت مرحله پنجه‌دوانی سریع‌تر کامل می‌گردد (۵). نتایج پژوهش‌های صورت پذیرفته نشان داده که کوتاه‌ترین دوره رشد و نمو قارچ صدفی فلوریدا (*Pleurotus florida*) به بستر ترکیبی ضایعات خرما و پودر سویا، اختصاص داشت (۱۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین بین مکمل‌های شیمیایی انتخابی برای پرورش قارچ شی تاکه.

Table 3. Mean comparison of chemical supplements selected for Shiitake mushroom cultivation.

مکمل‌ها Supplements	میانگین مربعات Means of squares							
	NFB	Ash (%)	Potassium (mg/100g D.M)	Calcium (mg/100g D.M)	TP (mg/g D.M)	SRT (days)	PFT (days)	PT (days)
سولفات منیزیم Magnesium sulfate	14.3[a]	5.01[a]	305.80[b]	11.70[a]	9.33[a]	39.30[a]	59.00[a]	81.30[a]
نیترات پتاسیم Potassium nitrate	13.1[b]	5.08[a]	317.90[a]	11.50[a]	9.25[a]	38.80[b]	59.10[a]	81.50[a]

* مقادیر (میانگین‌ها) با استفاده از آزمون دانکن در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ ≥ P ندارند. تعداد اندام بارده قارچ: NFB، پلی‌ساکارید کل: TP، زمان پنجه‌دوانی: SRT، زمان تشکیل پین: PT، زمان پیش رسی: PT

* Values (means) within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan 's test. Number of fruit body:NFB, Total Polysaccharide:TP, Spawn Running Times: SRT, Pinhead Formation Times:PT, Precocity Times:PT

جدول ٤- مقایسه میانگین برخی از صفات مورد بررسی بین فرمول‌های مختلف بستر کشت قارچ شی تاکه.

Table 4. Mean comparison of some evaluated traits between different formulas of Shiitake mushroom substrates.

بسترها Substrates	NFB	Potassium (mg/100g D.M)	Calcium (mg/100g D.M)	TP (mg/g D.M)	Ash (%)	SRT (days)	PFT (days)	PT (days)
S1	11.00^{fg}	337.80^{cd}	9.30^{ef}	8.44^{ef}	4.10^{cde}	41.10^{cde}	57.30^{def}	79.00^{h-k}
S2	18.20^{ab}	305.30^{ef}	13.9^{ab}	10.75^{abc}	5.90^{a}	36.40^{klm}	61.90^{a}	85.00^{abc}
S3	20.70^{a}	342.6^{cd}	12.8^{abc}	11.10^{a}	5.90^{a}	35.2^{0m}	62.20^{a}	86.10^{a}
S4	11.00^{fg}	356.90^{bc}	8.6^{fg}	7.78^{fg}	4.10^{cde}	41.60^{bcd}	57.30^{def}	78.40^{ijk}
S5	18.40^{ab}	325.00^{de}	12.6^{abc}	10.95^{ab}	6.00^{a}	35.90^{lm}	61.80^{a}	85.70^{ab}
S6	13.80^{def}	237.60^{i}	12.5^{abc}	10.18^{c}	4.80^{bc}	38.60^{ghi}	59.00^{cd}	81.80^{d-h}
S7	10.40^{g}	373.70^{ab}	8.5^{fg}	7.30^{g}	4.00^{de}	42.10^{bc}	56.00^{ef}	77.90^{jkl}
S8	12.40^{efg}	270.10^{gh}	12.2^{bcd}	8.93^{de}	4.70^{cd}	39.30^{fgh}	59.00^{cd}	81.20^{e-i}
S9	9.60^{g}	388.60^{a}	7.3^{g}	6.41^{h}	3.60^{e}	42.80^{ab}	55.60^{f}	77.10^{kl}
S10	14.80^{cde}	253.90^{hi}	14.0^{a}	10.41^{abc}	5.50^{ab}	37.90^{h-k}	60.60^{abc}	82.80^{b-f}
S11	13.80^{def}	239.70^{i}	13.1^{abc}	10.30^{bc}	5.50^{ab}	38.20^{hij}	59.80^{bc}	82.30^{c-g}
S12	15.50^{bcd}	268.60^{gh}	14.3^{a}	10.61^{abc}	6.20^{a}	37.40^{i-l}	60.70^{abc}	83.40^{a-e}
S13	6.80^{h}	398.60^{a}	7.8^{fg}	5.52^{i}	3.60^{e}	44.00^{a}	55.60^{f}	75.20^{l}
S14	17.40^{bc}	294.60^{fg}	14.3^{a}	10.68^{abc}	5.90^{a}	36.70^{klm}	60.60^{abc}	84.60^{a-d}
S15	15.90^{bcd}	282.80^{fg}	13.9^{ab}	10.62^{abc}	5.90^{a}	36.90^{jkl}	61.20^{ab}	84.10^{a-e}
S16	12.30^{efg}	303.40^{ef}	11.4^{cd}	9.33^{d}	4.50^{cd}	39.80^{efg}	57.90^{de}	80.40^{f-j}
S17	11.50^{fg}	323.60^{de}	10.8^{de}	8.67^{de}	4.80^{bc}	40.50^{def}	57.60^{de}	79.70^{g-k}

* مقادیر (میانگین‌ها) با استفاده از آزمون دانکن در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح $P \leq ۰/۰۵$ ندارند. تعداد اندام میوه‌ای: NFB، پلی‌ساکارید کل: TP، زمان پنجه‌دوانی: SRT، زمان تشکیل پین: PFT، زمان پیش رسی: PT

* Values (means) within each column followed by the same letter(s) ae not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan 's test. Number of fruit body:NFB,Total Polysaccharide:TP, Spawn Running Times: SRT, Pinhead Formation Times:PFT, Precocity Times:PT

ویژگی‌های فیزیولوژیکی و شیمیایی اندام میوه‌ای قارچ

خاکستر، نیتروژن، پتاسیم و کلسیم: با توجه به جدول ٤، در بسترهای کشت S2، S3، S5، S10، S11، S12، S14 و S15 مقادیر خاکستر اندام میوه‌ای تولید شده بر روی این بسترها بیش‌تر از سایر بسترهای مورد آزمایش می‌باشد. با توجه به درصد به نسبت بالای نیتروژن در مکمل‌های آلی کنجاله پنبه‌دانه و سبوس گندم مقادیر بیش‌تری از نیتروژن موجود در بستر کشت به اندام میوه‌ای قارچ منتقل می‌گردد به‌طوری‌که اندام میوه‌ای تولید شده بر روی بسترهای کشت S2، S3 و S5 غنی‌شده با نیترات پتاسیم از مقادیر بیش‌تری نیتروژن و پروتئین در مقایسه با سایر تیمارها برخوردار بودند (جدول ٥) در واقع غنی بودن بسترهای کشت با ترکیبات نیتروژنه آلی سبب افزایش رشد رویشی میسلیوم قارچ گشته به‌طوری‌که اجزای ترکیبات لیگنوسلولزی بستر کشت به اجزای ساده‌تر شکسته شده و میسلیوم قارچ مواد غذایی بیش‌تری را از بستر کشت به اندام میوه‌ای منتقل می‌کند. با توجه به وجود عنصر پتاسیم در مکمل نیترات پتاسیم، قارچ‌های برداشت شده از بسترهای غنی‌شده با این مکمل، مقدار پتاسیم بالاتری نسبت به قارچ‌های برداشت شده از بسترهای غنی‌شده با مکمل سولفات منیزیم داشتند (جدول ۳). هم‌چنین به‌نظر می‌رسد که با توجه به وجود مقادیر بالایی از عنصر پتاسیم در باگاس نیشکر، تراشه چوب نخل خرما و تراشه چوب انگور (بسترهای S7، S9 و S13) اندام میوه‌ای تولید شده بر روی این بسترها نیز از مقادیر بالای پتاسیم برخوردار باشند (جدول ٤). هم‌چنین مقادیر بالای

کلسیم اندام میوه‌ای تولید شده بر روی بسترهای S2، S3، S5، S6، S10، S11، S12، S14 و S15 را می‌توان به کلسیم موجود در تراشه چوب صنوبر، سبوس گندم و باگاس نیشکر ارتباط داد (جدول ٤).

آب: با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده بستر کشت و نیز غنی‌سازی توسط مکمل آلی سبوس گندم، کنجاله سویا و کنجاله پنبه‌دانه، قارچ‌های تشکیل شده بر روی بسترهای S2، S3، S5، S10، S12، S14 و S15 غنی‌شده با مکمل‌های نیترات پتاسیم و سولفات منیزیم از آب بیش‌تری در مقایسه با سایر تیمارها برخوردار بودند (جدول ٥). قارچ‌های تولید شده بر روی بستر S7، S9 و S13 غنی‌شده با مکمل شیمیایی نیترات پتاسیم، از مقادیر ماده خشک بالاتری برخوردار بودند (جدول ٥). با توجه به ماهیت بسترهای ذکر شده به‌نظر می‌رسد که باگاس نیشکر، تراشه چوب نخل خرما و تراشه چوب انگور غنی‌شده با مکمل‌های آلی توسط افزایش انتقال مواد غذایی از بستر کشت به اندام میوه‌ای قارچ شده و موجب افزایش میزان ماده خشک اندام میوه‌ای قارچ می‌شوند.

ارگسترول، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و پلی‌ساکارید کل: با توجه به وجود مکمل‌های آلی مانند سبوس گندم و کنجاله پنبه‌دانه در بسترهای کشت تراشه چوب و باگاس نیشکر غنی‌شده با مکمل‌های شیمیایی نیترات پتاسیم و سولفات منیزیم ارزش غذایی بستر کشت افزایش یافته بنابراین میسلیوم‌های قارچ مواد غذایی بیش‌تری به اندام میوه‌ای قارچ انتقال می‌دهد بنابراین مقادیر ارگسترول اندام میوه‌ای تولید شده بر روی بسترهای S2، S3، S5، S12، S14 و S15 غنی‌شده با مکمل‌های شیمیایی نیترات پتاسیم و سولفات منیزیم بیش‌تر از سایر تیمارها می‌باشد (جدول ٥). هم‌چنین با توجه به ارزش غذایی و ماهیت بسترهای کشت S2، S3، S5، S6، S10، S11، S12، S14 و S15 غنی‌شده با مکمل‌های نیترات پتاسیم و سولفات منیزیم، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی اندام میوه‌ای قارچ‌های تولید شده بر روی بسترهای ذکرشده بیش‌تر از سایر تیمارها می‌باشد (جدول ٥). غنی بودن بسترهای کشت تراشه چوب با سبوس گندم و کنجاله پنبه‌دانه سبب افزایش ارزش غذایی بستر کشت شده و مواد غذایی بیش‌تری از بستر کشت به اندام میوه‌ای قارچ منتقل شده است بدین‌صورت مقادیر پلی‌ساکارید کل اندام میوه‌ای قارچ‌های تولید شده بر روی بسترهای S2، S3، S5، S10، S12، S14 و S15 در مقایسه با سایر تیمارها بیش‌تر می‌باشد (جدول ٤). نتایج بررسی انجام شده توسط سردار و همکاران (٢٠١٧) نشان داد که بیش‌ترین (٢٥/٣٦ درصد) پروتئین خام قارچ شاه صدف مربوط به قارچ‌های تولید شده روی بستر کشت ضایعات پنبه و کم‌ترین (١٨/٩٣ درصد) مربوط به قارچ‌های تولید شده بر روی بستر کشت خاک اره (تراشه چوب) بود (٢٣). آزمایش انجام شده بر روی دو گونه مختلف قارچ صدفی نیز نشان داده است که بیش‌ترین مقادیر کلسیم (٣٤٥/٠٦ میلی‌گرم در ١٠٠ گرم ماده خشک قارچ) اندام میوه‌ای قارچ صدفی درختی (*Pleurotus osetratus*) به بستر کشت باگاس نیشکر اختصاص دارد (١٢).

عملکرد اندام میوه‌ای: با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده بسترهای کشت S2، S3 و S5 غنی‌شده با مکمل شیمیایی سولفات منیزیم، عملکرد قارچ‌های تولید شده بر روی این بسترها بیش‌تر از سایر تیمارها بود (جدول ٥). با توجه به ساختار فیزیکی تراشه چوب صنوبر و تهویه و تخلخل مناسب، میسلیوم قارچ به راحتی رشد کرده و هم‌چنین با توجه به ارزش غذایی بالای کنجاله پنبه‌دانه و سبوس گندم، مواد غذایی بیش‌تری در دسترس قارچ قرار گرفته و اندام میوه‌ای تولید شده بر روی این تیمارها از وزن بیش‌تری در مقایسه با سایر تیمارها برخوردارند. بررسی‌های انجام شده نشان داده است که تفاله پنبه‌دانه به دلایل توان نگهداری آب و هم‌چنین مقدار بالای نیتروژن، بستری مناسب برای پرورش قارچ می‌باشد به‌طوری‌که قارچ‌های پرورش‌یافته بر روی این بستر عملکرد بالاتری داشتند (٤، ٢).

جدول ۵- مقایسه میانگین بسترها و مکمل‌ها در برخی از صفات قارچ شی تاکه.

Table 5. Mean comparison of substrates and supplements on some of Shiitake mushroom properties.

بسترها Substrates	مکمل‌ها Supplements	WFB (%)	DM (%)	Ergosterol (mg/100g D.M)	AC (%)	TFW (g.2000g substrate)	Nitrogen (mg/100g D.M)	Protein (mg/100g D.M)
S1	MS	84.40^{ijk}	15.50^{bcd}	377.50^{klm}	31.3^{ij}	190.30^{i-l}	2.35^{mno}	14.70^{mno}
	PN	84.20^{ijk}	15.7^{bcd}	373.70^{klm}	22.6^{k}	186.30^{jkl}	2.46^{l-o}	15.3^{l-o}
S2	MS	88.80^{ab}	11.10^{kl}	479.60^{a}	39.2^{ab}	294.80^{ab}	3.05^{ij}	19.00^{ij}
	PN	87.90^{a-e}	12.00^{h-l}	463.10^{abc}	38.0^{abc}	211.00^{f-k}	4.85^{a}	30.30^{a}
S3	MS	89.20^{ab}	10.80^{kl}	475.00^{ab}	38.6^{abc}	311.00^{a}	4.49^{b}	28.00^{b}
	PN	88.40^{abc}	11.50^{jkl}	460.20^{a-d}	37.2^{a-d}	247.80^{cde}	4.91^{a}	30.70^{a}
S4	MS	84.50^{ijk}	15.50^{bcd}	367.00^{lm}	32.3^{g-j}	186.30^{jkl}	2.13^{nop}	13.30^{nop}
	PN	84.10^{ijk}	15.80^{bcd}	306.20^{n}	22.8^{k}	179.70^{kl}	2.31^{mno}	14.40^{mno}
S5	MS	89.20^{a}	10.70^{l}	477.10^{a}	40.1^{a}	288.10^{ab}	3.60^{fg}	22.5^{fg}
	PN	88.00^{a-d}	12.00^{i-l}	468.30^{ab}	39.4^{ab}	207.30^{f-k}	4.85^{a}	30.30^{a}
S6	MS	86.10^{c-i}	13.80^{d-j}	422.30^{e-i}	36.5^{a-f}	223.20^{d-i}	3.09^{ij}	19.30^{ij}
	PN	85.70^{d-j}	14.20^{c-i}	418.30^{f-j}	36.4^{a-f}	216.20^{e-j}	3.21^{hi}	20.00^{hi}
S7	MS	83.60^{jk}	16.30^{bc}	362.8^{lm}	29.6^{j}	181.70^{jkl}	1.93^{pq}	12.00^{pq}
	PN	80.20^{l}	19.70^{a}	304.00^{n}	20.9^{k}	169.60^{lm}	2.08^{op}	13.00^{op}
S8	MS	85.60^{e-j}	14.30^{c-h}	418.30^{f-j}	35.5^{b-h}	213.70^{e-k}	2.94^{ijk}	18.30^{ijk}
	PN	85.30^{f-j}	14.60^{c-g}	415.20^{g-j}	34.6^{c-i}	210.70^{f-k}	3.10^{ij}	19.30^{ij}
S9	MS	83.40^{jk}	16.50^{bc}	355.60^{m}	29.5^{j}	172.00^{lm}	1.69^{qr}	10.50^{qr}
	PN	79.60^{l}	20.30^{a}	310.50^{n}	20.3^{k}	168.10^{lm}	1.85^{pq}	11.60^{pq}
S10	MS	87.10^{a-h}	12.80^{e-l}	439.60^{b-h}	36.2^{a-g}	242.40^{c-f}	3.60^{fg}	22.50^{fg}
	PN	87.00^{a-h}	12.90^{e-l}	431.70^{c-h}	36.5^{a-f}	231.40^{d-g}	3.77^{ef}	23.60^{ef}
S11	MS	86.80^{b-h}	13.10^{e-k}	430.70^{c-h}	36.7^{a-e}	230.70^{d-g}	3.29^{ghi}	20.50^{ghi}
	PN	86.20^{c-i}	13.80^{d-j}	425.30^{d-i}	34.5^{c-i}	226.70^{d-h}	3.54^{fgh}	22.10^{fgh}
S12	MS	87.60^{a-f}	12.40^{g-l}	452.00^{a-f}	36.7^{a-e}	255.40^{cd}	3.83^{def}	23.90^{def}
	PN	87.20^{a-g}	12.70^{f-l}	444.40^{a-g}	36.7^{a-e}	233.70^{c-g}	4.00^{cde}	25.00^{cde}
S13	MS	82.90^{k}	17.10^{b}	368.40^{lm}	29.5^{j}	144.60^{mn}	1.18^{s}	7.30^{s}
	PN	79.20^{l}	20.70^{a}	316.90^{n}	21.5^{k}	119.80^{n}	1.42^{rs}	8.80^{rs}
S14	MS	88.00^{a-d}	11.90^{i-l}	459.40^{a-d}	38.0abc	266.20^{bc}	4.17^{bcd}	26.10^{bcd}
	PN	87.90^{a-e}	12.10^{h-l}	456.60^{a-e}	38.5^{abc}	222.60^{d-i}	4.31^{bc}	26.90^{bc}
S15	MS	88.00^{a-d}	11.90^{i-l}	453.50^{a-f}	38.2^{abc}	256.80^{cd}	4.04^{cde}	25.20^{cde}
	PN	87.60^{a-f}	12.40^{g-l}	456.00^{a-e}	37.3^{a-d}	214.40^{e-k}	4.20^{bcd}	26.20^{bcd}
S16	MS	85.10^{g-k}	14.90^{b-f}	404.00^{h-k}	33.0^{e-j}	203.00^{g-l}	2.73^{jkl}	17.10^{jkl}
	PN	84.80^{h-k}	15.10^{b-e}	394.80^{i-l}	33.3^{d-j}	202.50^{g-l}	2.91^{ijk}	18.20^{ijk}
S17	MS	84.90^{h-k}	15.10^{b-e}	390.80^{i-m}	32.6^{f-j}	194.70^{h-l}	2.47^{lmn}	15.40^{lmn}
	PN	85.60^{e-j}	14.30^{c-h}	384.20^{j-m}	31.9^{hij}	179.70^{kl}	2.62^{klm}	16.40^{klm}

* مقادیر (میانگین‌ها) با استفاده از آزمون دانکن در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ ≥ P ندارند. آب اندام میوه‌ای قارچ: WFB، ماده خشک: DM، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: AC، وزن قارچ تازه (عملکرد): TFW، منیزیم سولفات: MS، پتاسیم نیترات: PN

* Values (means) within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan 's test. Water Fruiting Body: WFB, Dry Matter:DM, Antioxidant Capacity:AC, Total Fresh Weight: TFW, MS: Manganese sulfate, PN: Potassium nitrate

همبستگی اجزای بستر کشت با ویژگی‌های قـارچ: در بسترهایی که مقادیر نیتروژن بالایی دارنـد (کنجالـه سویا، کنجاله پنبه‌دانه و سبوس گندم) زمان کامل شدن مرحلـه پنجـه‌دوانـی قـارچ کـاهش یافـت (r=۰/۹۲). هم‌چنین زمان پیش رسی قارچ در بسترهایی که مقادیر نیتروژن بـیش‌تـری دارنـد افـزایش یافـت (r=۰/۸۸). به‌نظر می‌رسد که وجود عنصر نیتروژن در بستر کشت سبب تعدیل نسبت کـربن بـه نیتـروژن بسـتر شـده و بنابراین میسلیوم قارچ با سرعت بـیش‌تـری ترکیبـات لیگنوسلولزی را مورد تجزیه قـرار مـی‌دهـد. بنـابراین زمان رشد رویشـی قـارچ کـاهش مـی‌یابـد از طرفـی افزایش سرعت رویشی زمان تولید اندام میوه‌ای را بـه تعویق انداخت. هم‌چنین با افـزایش نسـبت کـربن بـه نیتروژن بستر کشت زمان کامل شدن پنجه‌دوانی قـارچ افزایش یافت (r=۰/۷۷). همچنین وجود مقادیر بالایی از سلولز (r=۰/۷۹)، همی‌سـلولز (r=۰/۳۱) و لیگنـین (r=۰/۷۵) بستر کشت سبب افزایش وزن تر کل انـدام میوه‌ای قارچ گردید. با توجه به رابطـه ($r= -۰/۶۰^{**}$) بین نسبت کربن به نیتروژن بستر کشت با وزن تر کـل اندام میوه‌ای به‌نظر می‌رسد که با افزایش این نسبت از مقادیر نیتروژن بستر کشت کاسته شده بنابراین قدرت تجزیه‌کنندگی میسـلیوم قـارچ کـاهش یافـت و بسـتر کشت به‌طور کامل توسط میسلیوم قارچ تجزیه نشـده و مواد غذایی آن به‌طور کامل مورد مصرف قارچ قـرار نمی‌گیرد بنابراین از عملکـرد آن کاسـته شـده اسـت. بـا افـزایش نسـبت کـربن بـه نیتـروژن بسـتر کشـت پلی‌ساکارید کل ($r= -۰/۷۲^{**}$)، ارگسترول ($r= -۰/۶۳^{**}$) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ($r= -۰/۵۷^{**}$) انـدام میـوه‌ای کاهش یافت که بـه‌نظـر مـی‌رسـد بـا کـاهش مقـادیر نیتـروژن بسـتر کشـت، از قـدرت میسـلیوم قـارچ در تجزیه بستر کشت کاسته شده و مواد غذایی کم‌تری به اندام میوه‌ای منتقل می‌گردد، بنـابراین ارزش غـذایی و دارویی اندام میوه‌ای کاهش می‌یابد.

جدول ٦- ارزیابی درصد تغییرات در خصوصیات شیمیایی بستر کشت در طول دوره رشد قاچ شی تاکه.

Table 6. Evaluation of the changes percentage in the chemical properties of substrate during the Shiitake mushroom cultivation period.

Substrates	Carbon	Nitrogen	C:N	EC	pH	Cellulose	Hemicellulose	Lignin
S1	-6.64	8.89	-15.60	0.42	-11.59	-11.97	-11.40	-17.29
S2	-9.20	14.29	-20.50	5.70	-10.99	-52.99	-46.84	-62.94
S3	-8.64	4.25	-12.22	4.75	-7.26	-51.81	-46.41	-64.08
S4	-6.73	8.33	-15.31	7.46	-9.18	-10.76	-8.43	-7.02
S5	-9.11	12.31	-19.11	3.79	-10.30	-54.37	-45.06	-61.62
S6	-8.15	10.57	-16.74	4.78	-11.24	-41.14	-32.73	-37.59
S7	-6.37	15.52	-19.68	5.70	-9.57	-14.94	-7.51	-11.40
S8	-8.02	6.67	-14.95	5.99	-16.33	-38.97	-32.88	-35.97
S9	-6.60	10.77	-15.66	6.70	-12.04	-13.36	-3.61	-8.82
S10	-7.56	6.38	-13.33	7.19	-12.68	-43.77	-48.13	-46.95
S11	-7.21	7.30	-13.97	3.90	-11.16	-43.46	-45.17	-43.95
S12	-7.10	6.00	-11.72	3.96	-11.24	-47.09	-45.70	-48.21
S13	-6.41	11.76	-17.46	7.69	-12.08	-6.60	-18.85	-6.86
S14	-8.62	3.45	-11.56	11.4	-11.50	-51.15	-40.79	-56.68
S15	-8.14	7.32	-14.71	5.81	-7.51	-48.96	-40.54	-53.67
S16	-7.97	7.14	-13.84	3.01	-10.27	-36.07	-37.10	-31.34
S17	-7.79	7.14	-13.89	4.71	-9.79	-33.58	-37.55	-25.78

کدگذاری بسترها در جدول ۱ نمایش داده شده است.

The coding of substrates is shown in Table 1.

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از بسترهای ترکیبی و مکمل‌های آلی و غیرآلی یکی از روش‌های کارآمد برای تهیه بستر کشت و راه‌حلی مناسب برای رفع مشکل عدم تجزیه‌پذیری کامل ترکیبات سلولزی در فرایند تولید قارچ شی تاکه می‌باشد. زیرا میسلیوم‌های قارچ در بسترهای ساده حاوی تراشه چوب توانایی دریافت کامل مواد غذایی موجود در بستر کشت را ندارند. بنابراین در این پژوهش به‌منظور افزایش راندمان تبدیل زیستی (تبدیل سوبسترا به بازیدیوکارپ) و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده سلولز، همی‌سلولز و لیگنین از بسترهای ترکیبی با فرمولاسیون‌های متنوع برای تولید قارچ شی تاکه استفاده شده است. رشد میسلیوم قارچ به مقادیر نیتروژن و محتوای عناصر بستر کشت بستگی دارد. در بسترهایی که مقادیر نیتروژن بالایی دارند (کنجاله سویا، کنجاله پنبه‌دانه و سبوس گندم) زمان کامل شدن مرحله پنجه‌دوانی (۳۵/۲) قارچ کاهش یافت. هم‌چنین زمان پیش‌رسی (۸۶/۱) قارچ در بسترهایی که مقادیر نیتروژن بیش‌تری دارند افزایش یافت. با توجه به ساختار فیزیکی تراشه چوب صنوبر و تهویه و تخلخل مناسب، میسلیوم قارچ به راحتی رشد کرده و هم‌چنین با توجه به ارزش غذایی بالای کنجاله پنبه‌دانه و سبوس گندم، مواد غذایی بیش‌تری در دسترس قارچ قرار گرفته و اندام میوه‌ای تولید شده بر روی این تیمارها از وزن بیش‌تری (۲۹۴/۸) در مقایسه با سایر تیمارها برخوردارند. با کاهش نسبت کربن به نیتروژن بستر کشت، ارگسترول (۴۷۹/۶۰)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۴۰٪/۱) و پلی‌ساکارید کل اندام میوه‌ای (۱۰/۹۵) اندام میوه‌ای افزایش یافت که به‌نظر می‌رسد با افزایش مقادیر نیتروژن بستر کشت، قدرت میسلیوم قارچ در تجزیه بستر کشت افزوده شده و مواد غذایی بیش‌تری به اندام میوه‌ای منتقل می‌گردد. بنابراین ارزش غذایی و دارویی اندام میوه‌ای افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده از تغییرات تجزیه‌ای بسترهای مورد استفاده برای قارچ شی تاکه در مرحله قبل از پنجه‌دوانی و مرحله بعد از برداشت اندام میوه‌ای نشان داد که مقادیر pH، کربن، نسبت کربن به نیتروژن، سلولز، همی‌سلولز و لیگنین بستر کشت در طول دوره پرورش قارچ کاهش یافت و در مقابل مقادیر نیتروژن، پروتئین، خاکستر و EC بستر کشت افزایش یافت.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر، با حمایت مالی تحت پژوهانه به شماره UOZ-GR-9718-72 توسط دانشگاه زابل اجرا گردیده است. از دانشگاه زابل به خاطر حمایت مالی جهت انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1.A.O.A.C. 1995. (Association of Official Analytical Chemist), in: S.ed. Williams (Ed.), Official Methods of Analysis, 16th edition A.O.A.C, Washington, USA. pp. 101-102.

2.Adebayo, G.J., Omolara, B.N. and Toyin, A.E. 2009. Evaluation of yield of oyster mushroom (*Pleurotus pulmonarius*) grown on cotton waste and cassava peel. Afr. J. Biotechnol. 8: 2. 215-218.

3.Adenipekun, C.O. and Gbolagade, J.S. 2006. Nutritional Requirements of *Pleurotus florida* (Mont.) Singer, A Nigerian Mushroom. Pak J Nutr. 5: 6. 597-600.

4.Ashraf, J., Ali, M.A., Ahmad, W., Ayyub, C.M. and Shafi, J. 2013. Effect of different substrate supplements on oyster mushroom (*Pleurotus* spp.) production. Food Sci. Technol. 1: 3. 44-51.

5.Atila, F. 2019. Compositional changes in lignocellulosic content of some agro-wastes during the production cycle of shiitake mushroom. Sci. Hort. 245: 263-268.
6.Atila, F. 2020. Comparative study on the mycelial growth and yield of *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) Karst. on different lignocellulosic wastes. Sheng Tai Xue Bao. 40: 2. 153-157.
7.Atila, F., Tuzel, Y., Cano, A.F. and Fernandez, J.A. 2017. Effect of different lignocellulosic wastes on *Hericium americanum* yield and nutritional characteristics. J. Sci. Food Agric. 97: 2. 606-12.
8.Cavins, T.J., Whipker, B.E., Fonteno, W.C., Harden, B., McCall, I. and Gibson, J.L. 2000. Monitoring and managing pH and EC using the PourThru extraction method. Horticulture Information Leaflet. 590: 1. 1-17.
9.Curvetto, N.R., González-Matute, R., Figlas, D. and Delmastro, S. 2005. Shiitake bag cultivation. Chapter 4. Sunflower seed hulls. Mushroom Growe ŕs Handbook 2 – Shiitake Cultivation. Mushworld- Heineart Inc., Seoul. pp. 119-124.
10.DuBois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28: 3. 350-356.
11.Gaitán-Hernández, R., Esqueda, M., Gutierrez, A. and Beltran-Garcia, M. 2011. Quantitative changes in the biochemical composition of lignocellulosic residues during the vegetative growth of *Lentinula edodes*. Braz. J. Microbiol. 42: 1. 30-40.
12.Hoa, H.T., Wang, C. and Wang, C.H. 2015. The effects of different substrates on the growth, yield, and nutritional composition of two oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). J. Mycol. 43: 4. 423-434.
13.Jafar Pour, M., Poursaeid, N., Jalali Zand, A., Golparvar, A.R. and Behdad, M. 2009. Effect of some of the wastes of agricultural conversion industries and food supplements on some of the specifications of the edible mushroom (*Pleurotus florida*). Res. J. Agric. Sci. 4: 2. 188-203.
14.Kumari, R. 2017. In-Vitro Propagation of *Ganoderma Lucidum*–A Medicinal Mushroom in Different Culture Medium. Int. J. Innov. 2: 4. 294-297.
15.Masuko, T., Minami, A., Iwasaki, N., Majima, T., Nishimura, S.I. and Lee, Y.C. 2005. Carbohydrate analysis by a phenol–sulfuric acid method in microplate format. Anal. Biochem. 339: 1. 69-72.
16.Mattila, P., Piironen, V., Backman, C., Uusi-Rauva, E. and Koivistoinen, P. 1992. Determination of vitamin D3 in egg yolk by high-performance liquid chromatography with diode array detection. J. Food Compost Anal. 5: 4. 281-90.
17.Mattila, P., Piironen, V., Uusi-Rauva, E. and Koivistoinen, P. 1994. Vitamin D contents in edible mushrooms. J. Agric. Food Chem. 42: 11. 2449-2453.
18.Miliauskas, G., Venskutonis, P.R. and Van Beek, T.A. 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. Food Chem. 85: 2. 231-237.
19.Peksen, A., Yakupoglu, G., Yakupoglu, T., Gulser, COzturk, E. and Ozdemir, N. 2011. Changes in chemical compositions of substrates before and after *Ganoderma lucidum* cultivation. World J. Microbiol. Biotechnol. 27: 3. 637-42.
20.Philippoussis, A., Diamantopoulou, P. and Israilides, C. 2007. Productivity of agricultural residues used for the cultivation of the medicinal fungus *Lentinula edodes*. Int. Biodeterior. Biodegradation. 59: 3. 216-9.
21.Royse, D. and Sanchez, J.E. 2007. Ground wheat straw as a substitute for portions of oak wood chips used in shiitake (*Lentinula edodes*) substrate formulae. Bioresour. Technol. 98: 11. 2137-2141.
22.Sakamoto, Y. 2018. Influences of environmental factors on fruiting body induction, development and maturation in mushroom-forming fungi. Fungal Biol. Rev. 32: 4. 236-48.

23.Sardar, H., Asif Ali, M., Anjum, M.A., Nawaz, F., Hussain, S., Naz, S. and Karimi, S.M. 2017. Agro-industrial residues influence mineral elements accumulation and nutritional composition of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*). Sci. Hort. 225: 327-34.

24.Smith, J., Rowan, N. and Sullivan, R. 2002. Medicinal Mushrooms: Their therapeutic properties and current medical usage with special emphasis on cancer treatments. 268p.

25.Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2th Ed. Cornell University Press, Ithac. 488p.

26.Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74: 10. 3583-3597.

27.Xiang, S., Wu, C., Jiang, J., Lu, X. and Zeng, F. 2014. Effects of different concentrations of magnesium sulphate on the growth and development of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). Edible Fungi of China, 33: 1. 63-65.

28.Zied, D.C., Savoie, J.M. and Pardo-GiméneZ, A. 2011. Soybean the main nitrogen source in cultivation substrates of edible and medicinal mushrooms. Soybean and nutrition. 22: 433-452.