مقاله ترویجی

کاربرد قارچ‌های خوراکی در تولید بسته‌بندی پایدار

مریم رواقی[1×]

تاریخ دریافت مقاله: اسفند ماه ۱۳۹۸
تاریخ پذیرش مقاله: خرداد ماه ۱۳۹۹

چکیده

امروزه مصرف‌کنندگان تمایل به مصرف محصولات دوست‌دار محیط‌زیست به جای پلاستیک‌ها دارند. بسته‌بندی دوست‌دار محیط‌زیست از مواد قابل بازیافت و تجدیدپذیر تولید می‌شوند که نه تنها برای افراد بلکه برای محیط‌زیست نیز ایمن است. بسته‌بندی بر پایهٔ قارچ یکی از انواع بسته‌بندی‌های دوست‌دار محیط‌زیست است که در سال‌های اخیر مورد توجّه قرار گرفته است. میسلیوم بخش رویشی قارچ با رشد سریع است که می‌تواند به هر آنچه اطرافش باشد مانند مواد آلی کم‌ارزش بچسبد و شبکه بسیار فشردهٔ رشته‌ای ایجاد کند. پس از آنکه قارچ با شکل و دانسیتهٔ مطلوب رشد کرد، به منظور توقّف رشد قارچ، مواد خشک می‌شوند و تحت تیمار حرارتی قرار می‌گیرند. ممکن است از فرایندهای تکمیلی مانند فشرده‌سازی و برش لیزری نیز برای دستیابی به شکل و ساختار مورد نظر استفاده شود. محصول تولیدی ماده‌ای مقاوم به حرارت و آتش، زیست‌تخریب‌پذیر و با هزینهٔ پایین است که ویژگی‌هایی مشابه پلاستیک‌های فومی سنتزی را دارد. از آن‌جایی که میسلیوم‌ها به طور کامل رشد نمی‌کنند تا بخش‌های زایشی را ایجاد نمایند، لذا هیچ‌گونه اسپور و در نتیجه نگرانی از بابت سلامتی وجود ندارد. این مقاله مروری بر وضعیت فنّاوری موجود در تولید مواد بر پایهٔ میسلیوم و کاربرد آن‌ها به عنوان جایگزین پایدار برای پلی‌استایرن است.

واژه‌های کلیدی

بسته‌بندی پایدار، زیست‌تخریب‌پذیری، فوم، قارچ و میسلیوم[2]

۱- مقدمه

گرچه بسته‌بندی نقش مهمی در فروش محصول دارد، اما تقریباً کل آن در زمان مصرف، راهی سطل زباله می‌شود و این مسئله کمتر مورد توجّه قرار می‌گیرد[۱]. یکی از چالش‌های جامعه امروزی، حرکت به سوی اقتصاد پایدار است که با کاهش تولید مواد مصرفی از منابع تجدیدناپذیر تحقق می‌یابد[۲]. سال‌ها ایدهٔ استفاده از مواد زیست تخریب‌پذیر که عملکردی مشابه مواد پیشین داشته‌باشند و به طور کامل اما کنترل شده همانند سایر ضایعات آلی تجزیه شوند، مورد توجّه پژوهش‌گران قرار گرفته

۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش
(× نویسنده مسئول: ravaghi.maryam@gmail.com)

2- Mycelium

است[۳]. در تحقیقات بسیاری استفاده از فیبرهای سلولزی، نشاسته، پلی‌لاکتیک‌اسید و کیتوزان مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است[۴].

حدود یک قرن است که قارچ‌ها به عنوان کارخانه‌های سلولی تولید آنزیم‌ها و مولکول‌های کوچک کاربرد دارند. در حین این فرایندهای تولیدی، زیست توده[1] اغلب به عنوان جریان ضایعات[2] در نظر گرفته می‌شود. این نگرش به تدریج همزمان با مطالعه در زمینهٔ به‌کارگیری زیست تودهٔ قارچی به عنوان مواد زیستی پایدار تغییر یافته است[۵]. استفاده از قارچ‌ها به عنوان مواد زیستی اولین بار طی دهه ۱۹۹۰ توسط دانشمندی ژاپنی[3] در تولید کاغذ و مصالح ساختمانی مورد بررسی قرار گرفت[۶].

پلاستیک‌های سنتزی واکنش‌پذیری پایینی با مواد شیمیایی دارند و باعث آلودگی محیط زیست می‌شوند[۴]. برای مثال پلی‌استایرن یک ماده ضد آب(هیدروفوب)[4] و سبک در صنعت بسته‌بندی است که نسبت به تجزیهٔ نوری مقاوم است[۷]. مادهٔ اصلی فوم پلی‌استایرن از نفت یا گاز طبیعی مشتق می‌شود و قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری و کمپوست شدن را ندارد[۱] . قارچ‌ها به آسانی روی ضایعات کشاورزی (مانند کاه و خاک اره) رشد می‌کنند و می‌توان آن‌ها را به عنوان جایگزینی برای پلاستیک‌ها و فوم‌های متداول مانند فوم پلی‌استایرن در نظر گرفت[۲، ۸ و ۹].

نظر به اهمیت روزافزون حفاظت از منابع‌طبیعی و کاهش آلودگی، استفاده از منابع تجدیدپذیر در تولید بسته‌بندی‌های پایدار جایگاه ویژه‌ای به‌دست آورده است. هدف از این مقاله، بررسی یکی از مواد جدید بسته‌بندی بر پایهٔ میسلیوم‌های قارچی، شرایط تولید و کاربرد آن به عنوان جایگزین مواد پلاستیکی است.

1- Biomass
2- Waste Stream
3- Shigeru Yamanaka
4- Hydrophobic Material

۲- اهمیت و کاربردهای قارچ

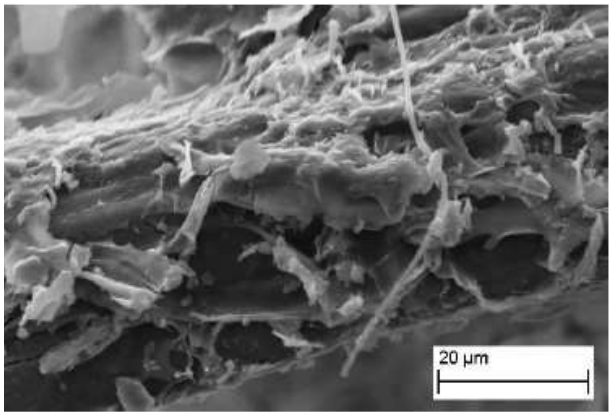
قارچ‌ها گستردگی فراوانی در طبیعت دارند و معمولاً روی مواد آلی کم ارزش مانند ساقه گیاهان می‌توانند رشد کنند[۱]. برای مثال برخی از انواع قارچ *آرمیلاریا*[5] در زمینی به وسعت ۱۰۰۰ هکتار شناسایی شده است[۲]. تاکنون حدود ۲۰۰۰ گونه قارچ خوراکی شناسایی شده است که از این میان، ۳۵ قارچ به صورت تجاری کشت می‌شوند[۱۰].

قارچ‌ها از دوران کهن به عنوان نوعی خوراکی در پخت و تزیین غذاها یا به عنوان نوعی عامل توهم‌زا شناخته می‌شدند[۱]. رومیان باستان آن را به عنوان "غذای خدایان" و چینی‌ها آن را تحت عنوان "اکسیر زندگی" می‌دانستند. قارچ‌ها به دلیل کالری، کربوهیدرات، چربی و سدیم کم به عنوان غذایی ارزشمند شناخته می‌شوند. این محصول غنی از سلنیوم[6]، پتاسیم، ریبوفلاوین[7]، نیاسین[8]، ویتامین D، پروتئین و فیبر است. گزارشات بسیاری مبنی بر اثرات مثبت قارچ‌ها در جلوگیری یا درمان پارکینسون[9]، آلزایمر[10]، فشارخون بالا و حمله قلبی وجود دارد. بسیاری از متابولیت‌های ثانویه همچون ترپن‌ها[11]، استروئیدها[12]، آنتراکینون‌ها[13]، مشتقات بنزوئیک اسید[14]، کینولون‌ها[15] و برخی از متابولیت‌های اولیه همچون اگزالیک اسید، پپتیدها و پروتئین‌های موجود در قارچ دارای خواص ضدمیکروبی هستند. ویژگی‌هایی همچون اثر ضدتومور، تقویت سیستم ایمنی و کاهش کلسترول همراه با حضور مواد زیست‌فعال در این ارگانیسم‌ها باعث شده است که امروزه عصارهٔ

5- *Armillaria*
6- Selenium
7- Riboflavin
8- Niacin
9- Parkinson
10- Alzheimer
11- Terpenes
12- Steroids
13- Anthraquinones
14- Benzoic Acid Derivatives
15- Quinolones

بسیاری از قارچ‌ها به عنوان مکمّل غذایی به فروش برسد[۱۱].

برخی از پژوهش‌گران فرایندهایی را برای رشد گونه‌های قارچی روی ضایعات کشاورزی جهت تولید مواد بسته‌بندی توسعه دادند. با رشد قارچ روی سوبسترا، سلول‌های رشته‌ای ایجاد می‌شود که حین رشد در محیط همچون چسب خود را به هر آن‌چه اطرافشان است، می‌چسبانند (شکل ۱)[۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴]. طی رشد طولی و ایجاد انشعابات، شبکه‌ای سه بعدی ایجاد می‌شود که در نهایت به عنوان مواد بسته‌بندی قابل استفاده است[۲]. این مراحل به طور دقیق‌تر در ادامه بحث شده‌است.

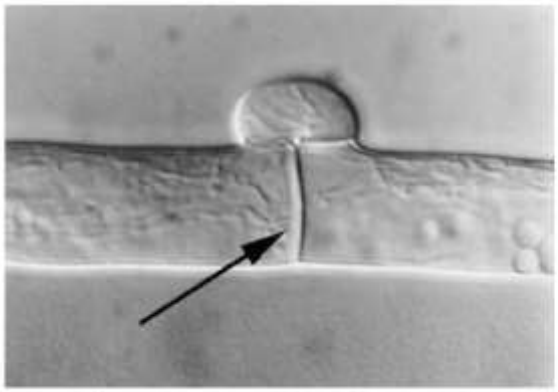


شکل ۱- تصویر میکروسکوپی از هیف‌های قارچی رشد یافته روی یک فیبر طبیعی[۳].

۳- انواع قارچ‌های مورد استفاده در تولید بسته‌بندی

قارچ‌های زیادی در طبیعت وجود دارند، اما قارچ انتخابی برای کاربرد تجاری بایستی رشد سریع و نسبتاً آسانی داشته باشد و شبکه‌ای فشرده از میسلیوم‌ها را تولید کند. از این نظر *آسکومیکوتا*[1] و *بازیدیومیکوتا*[2] که جزو دوهستگان یا قارچ‌های عالی هستند، مورد توجّه قرار گرفتند. این قارچ‌ها با سرعت بیشتری نسبت به سایرین رشد می‌کنند و تکثیر می‌شوند و از این رو، برای تولید مواد بر پایهٔ میسلیوم مناسب‌تر هستند. *بازیدیومیکوتا* به دلیل دو ویژگی منحصر به فرد از جمله داشتن سپتا[3] و آناستوموز[4] توجّه بیشتری را به خود جلب کرده اند[۱۵].

وجود سپتا یک ویژگی مهم در تولید مواد بر پایهٔ میسلیوم است چرا که باعث افزایش توانمندی میسلیوم‌ها می‌شود. سپتا دیوارهٔ عرضی سلولی و دارای منفذی است که می‌تواند در مواقع ضرورت بسته شود (شکل ۲). چنان‌چه یک هیف پاره شود، سیتوپلاسم به خاطر فشار بالا از طریق پارگی خارج می‌شود که این امر منجر به آسیب و از دست رفتن مواد مغذّی کلنی قارچی می‌گردد. اگر قارچ دارای دیوارهٔ عرضی باشد، هیف پاره شده کامل بسته می‌شود و تنها سیتوپلاسم بین دو دیوارهٔ عرضی خارج می‌شود. از آن‌جایی که میسلیوم تنها در فاز رویشی زنده است اثر حفاظتی سپتا تنها در این فاز کاربرد دارد. چنان‌چه در فاز رویشی فعالیت مکانیکی یا فشار ثابت اعمال شود اثر حفاظتی سپتا باعث تکثیر سریع‌تر می‌گردد[۱۵].

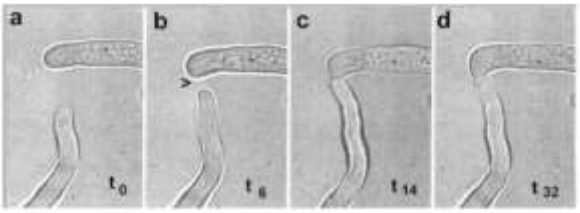


شکل ۲- سپتا یا دیوارهٔ عرضی در *بازیدیومیکوتا* [۱۵]

آناستوموز توانایی ادغام دو هیف مختلف است که در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند(شکل ۳). آناستوموز یک ویژگی بسیار مهم در رشد سریع و ایجاد شبکهٔ گستردهٔ

1- *Ascomycota*
2- *Basidiomycota*
3- Septa
4- Anastomosis

میسلیومی است. شبکهٔ میسلیومی وسیع‌تر بدین معناست که مواد مغذّی به راحتی می‌توانند از مناطق غنی‌تر به سایر نواحی منتقل شوند؛ به این ترتیب، توسعهٔ کلنی در تمام جهات و به صورت یکنواخت روی محیط کشت انجام می‌شود. از آن‌جا که تمام هیف‌ها می‌توانند به یکدیگر متصل شوند تودهٔ حاصل چسبنده‌تر و متراکم‌تر می‌شود و در برابر تنش، مقاومت بیشتری نسبت به میسلیوم‌های بدون آناستوموز خواهد داشت.

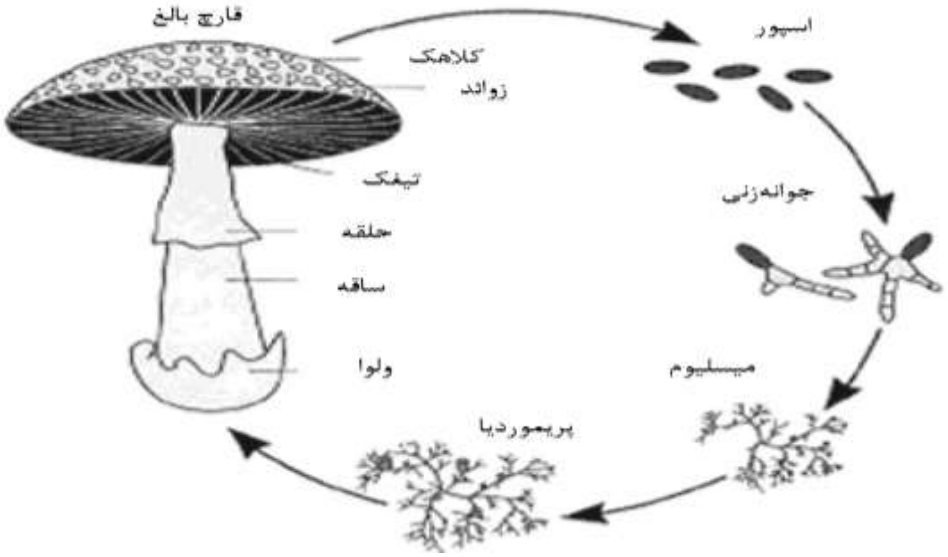


شکل ۳- روند پدیدهٔ آناستوموز در دو هیف نزدیک به یکدیگر[۱۵]

جدول(۱) متداول‌ترین قارچ‌های مصرفی برای تولید مواد بسته‌بندی بر پایهٔ میسلیوم را نشان می‌دهد. قارچ صدفی، قارچ دم بوقلمون، قارچ ریشی و قارچ پشت قرقاولی متداول‌ترین قارچ‌های مورد تحقیق در تولید بسته‌بندی هستند که از این میان یک شرکت آمریکایی تحقیقات گسترده‌ای روی قارچ پشت قرقاولی انجام داده است[۱۵].

٤- مراحل رشد قارچ

چرخهٔ زندگی قارچ *بازیدیومیکوتا* با قرار گرفتن اسپور آن در خاک، چوب، برگ یا سایر ضایعات شروع می‌شود (شکل ۴). در صورت مساعد بودن شرایط ساختارهای لوله‌ای بلند به قطر ۱۵-۵ میکرون نام هیف شروع به رشد می‌کند. هیف‌ها در میان خاک یا چوب برای یافتن مواد غذایی و دیگر رشته‌های قارچی شبکه‌ای فشرده به نام میسلیوم را می‌سازند [۱۵]. میسلیوم‌ها با ترشح آنزیم پلیمرهای موجود در سوبسترا را می‌شکنند و به عنوان مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌دهند [۲]. هیف‌ها با اتصال به یکدیگر از طریق آناستوموز به ارگانیسم‌هایی قوی‌تر و بزرگ‌تر تبدیل می‌شوند [۱۵]. با گذشت زمان زیست تودهٔ قارچی روی مواد آلی و بین ذرّات آن‌ها رشد می‌کند و به تدریج جایگزین آن می‌شود. در یک زمان مشخص رشد هیف خارج از سوبسترا و در هوا انجام می‌شود که لایه‌ای پفکی یا فشرده که سطح سوبسترا را پوشانده است، ایجاد می‌کند. این لایهٔ فشرده، پوستهٔ قارچی نام دارد[۲]. زمانی‌که ارگانیسم به حد کافی رشد کرد و قوی شد تحت شرایط ویژه و در معرض سطوح آزاد شبکه‌ای فشرده از سلول‌های متورم به‌نام پریموردیا[1] راایجاد می‌کند. با توسعهٔ



شکل ٤- چرخه زندگی *بازیدیومیست*[۱۵]

1- Primordia

جدول ۱- قارچ‌های متداول مورد استفاده در تولید مواد بر پایهٔ میسلیوم[۱۵]

نام علمی قارچ	*پلوروتوس اوستراتوس*	*ترامتس ورسیکالر*	*گانودرما لوسیدوم*	*پلیپوروس اسکواموسس*
نام مصطلح	قارچ صدفی	قارچ دم بوقلمون	قارچ جان‌افزا، قارچ ریشی	قارچ زین دریاد، قارچ پشت قرقاولی
تصویر				

پریموردیا و مهیّا شدن شرایط محیطی از نظر رطوبت و دما، سلول‌ها با جذب آب متورم شده و بخش‌های زایشی را می‌سازند. آن‌چه ما تحت عنوان قارچ خوراکی می‌شناسیم، کلاهکی است که روی یک پایه قرار گرفته است. اسپورها در کلاهک تولید می‌شوند و به طور متناوب توسط جریان هوا منتشر می‌شوند. چنان‌چه اسپورهای تولیدی در محیط جدید و مناسب قرار گیرند، این چرخه مجدّد تکرار خواهد شد. در تولید مواد بر پایهٔ میسلیوم‌ها بایستی از تولید بخش‌های زایشی جلوگیری شود. در این حالت تنها مواد مغذّی صرف تولید میسلیوم‌هایی قوی‌تر می‌شود[۱۵].

۵- کشت اولیه قارچ

کشت اولیهٔ میسلیوم قارچ در محیط کشتی از نمک‌های معدنی که با منابع کربنی، نیتروژنی و ترکیبات غیرآلی غنی شده است، انجام می‌شود. $MgSO_4$، K_2HPO_4، KH_2PO_4، $CaCO_3$، $Zn(CH_3COO)_2$، $ZnSO_4$ و $CuSO_4$ برخی از مواد متداول مصرفی در تهیهٔ محیط کشت است. این سوسپانسیون به مدّت ۳۰ دقیقه در ۱۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد اتوکلاو و سپس خنک می‌شود. به این سوسپانسیون ۱۰ درصد حجمی/ حجمی مادهٔ تلقیح افزوده می‌شود و سپس به مدّت ٦ روز در انکوباتور[1] شیکردار ۲۸ درجهٔ سانتی گراد با سرعت چرخش ۱۵۰ دور در دقیقه قرار می‌گیرد. در پایان این دوره، میسلیوم‌ها توسط سانتریفوژ[2] ۲۵۰۰ گرم جداسازی و سپس چندین بار با آب مقطر شسته می‌شوند. محصول تولیدی در ادامه برای تولید مواد اولیهٔ بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱]. برای تلقیح قارچ مورد نظر به بستر کشت گاهی از اسپان[3] قارچ نیز استفاده می‌شود. اسپان عبارتست از: رشد میسلیوم رویشی خالص قارچ خوراکی بر روی دانه‌های غلّات و یا هر مادهٔ آلی که بتوان آن را با بستر قارچ مخلوط نمود [۱۵].

٦- انواع مواد بسته‌بندی بر پایه میسلیوم

٦-۱- میسلیوم‌های خالص

مواد قارچی خالص پس از مصرف کامل سوبسترا یا با جداسازی قارچ از سطح سوبسترا به دست می‌آیند (شکل ۵)[۱۵]. معمولاً در تولید میسلیوم خالص از روش کشت مایع استفاده می‌شود. در این حالت، قارچ در ظروف ثابت[4] یا همزننده[5] کشت داده می‌شود. قارچ‌های رشته‌ای در سطح محیط کشت مایع و ثابت، لایه‌ای از هیف را ایجاد می‌کنند. این لایه پس از خشک شدن می‌تواند ویژگی‌هایی مشابه چرم، کاغذ یا پلاستیک داشته‌باشد[١٦].

1- Shaker Incubator

2- Centrifuge
3- Spawn
4- Static
5- Machine-Shaken

شکل ۵- کامپوزیت بر پایه میسلیوم (چپ)، میسلیوم خالص (راست)[۱۶]

رشد قارچ و محصول نهایی تولید شده وابسته به گونه، طبیعت مادهٔ تلقیح شده، ترکیبات محیط کشت، دما، pH و عوامل خارجی همچون سرعت هم‌زدن است. کشت قارچ در محیط غنی از منابع کربنی مانند ساکارز باعث افزایش تولید میسلیوم‌ها و زیست‌توده می‌شود. منابع نیتروژنی ضمن افزایش متابولیسم آمونیاک و آزادسازی یون هیدروژن باعث کاهش pH محیط و در نهایت کاهش رشد میسلیوم می‌شوند. کشت غرقابی[1] در حضور آمونیوم سولفات و سدیم نیترات پنج برابر زیست‌تودهٔ کمتری در مقایسه با نمونه‌های کنترل ایجاد می‌کند[۱۰]. چنان‌چه در پایان کشت قارچ، افزودنی‌هایی مانند گلیسرول و اتانول افزوده شود مادهٔ تولیدی رنگ، شفافیت و سفتی متفاوتی خواهد داشت[۱۶]. قارچ *پلوروتوس اوستراتوس*[2] در مقایسه با قارچ *گانودرما لوسیدوم*[3] مواد میسلیومی سفت‌تری حین رشد روی سلولز ایجاد می‌کند و افزودن دکستروز[4] به سوبسترای بر پایه سلولز مواد قارچی را الاستیک‌تر می‌کند. پژوهش در زمینهٔ اثر شرایط رشد محیطی بر خصوصیات میسلیوم *شیزوفیلوم کومیونه*[5] نشان می‌دهد که بیشینه مقاومت کششی بسته به رشد قارچ در شرایط نور یا تاریکی در شرایط محیطی یا وجود ۷ درصد دی‌اکسیدکربن بین ۵/۱ تا ۹/۶ مگاپاسکال متغیر است[۲].

به منظور تغییر در ویژگی مواد تولیدی گاهی از اصلاحات ژنتیکی نیز استفاده می‌شود، برای مثال غیرفعال‌سازی ژن هیدروفوبین[6] *sc3* در نژادی از *شیزوفیلوم کومیونه* نگهداری آب را بهبود می‌بخشد و میسلیوم‌هایی فشرده‌تر تولید می‌کند. این امر منجر به افزایش سه تا چهار برابری بیشینه مقاومت کششی در مقایسه با قارچ اولیه می‌شود. به علاوه ویژگی‌های مکانیکی میسلیوم‌ها از مواد طبیعی به مواد ترموپلاستیک تغییر می‌یابد[۵].

۶-۲- کامپوزیت میسلیوم

در تولید کامپوزیت بر پایهٔ میسلیوم قارچ مورد نظر به مواد از پیش استریل شده افزوده می شود. بخش‌های رویشی قارچ شروع به تجزیه مواد بستر کرده و ضمن رشد طولی با ایجاد انشعابات جدید و ادغام هیف‌ها شبکه‌ای فشرده ایجاد می‌کنند[۱۶]. رشد رشته‌های فیبری به‌هم‌پیوسته و تشکیل اولیگوساکاریدهایی[7] همچون کیتین و بتاگلوکان[8] باعث چسباندن و انسجام ذرات می‌شود (شکل ۵)[۱۷].

بستر کشت باید دارای مواد مغذّی رشد میسلیوم‌ها همچون منبع کربن، نیتروژن، مواد معدنی و ویتامین‌ها باشد و به علاوه همواره درصد مشخصی از آب به محیط اضافه شود[۱۶]. هر مادهٔ غنی از سلولز اعم از کاه، چوب و کنف می‌تواند به عنوان بستر کشت استفاده شود اما نوع مواد انتخابی به طور چشمگیری بر کیفیت محصول نهایی مؤثر است[۱۵ و ۱۶]. بستر پس از آماده‌سازی استریل می‌شود تا از فعالیت دیگر ارگانیسم‌های مخرب که ممکن است مانع از فعالیت قارچ مورد نظر شوند جلوگیری کند. به جز استریلیزاسیون[9]، فرایندهای دیگری همچون پاستوریزاسیون[10]، تیمار با هیدروژن پراکسید و کمپوست کردن طبیعی نیز کاربرد دارد[۱۵].

1- Submerged Cultivation
2- *Pleurotus Ostreatus*
3- *Ganoderma Lucidum*
4- Dextrose
5- *Schizophyllum Commune*

6- Hydrophobin Gene
7- Oligosaccharides
8- β-Glucan
9- Sterilization
10- Pasteurization

در مرحلهٔ بعد اسپان قارچ مورد نظر به بستر اضافه می‌شود و شروع به تولید اندام‌های رویشی در بستر می‌کند. برای جلوگیری از تولید بخش‌های زایشی نور بایستی حداقل غلظت دی‌اکسید کربن بالا باشد[۱۵]. در تولید مواد بر پایهٔ میسلیوم نه تنها بستر بلکه شرایط محیطی نیز بایستی استریل و عاری از سایر میکروارگانیسم‌ها باشد. کشت میسلیوم‌ها طی دو تا سه هفته در محیطی کنترل شده به لحاظ نور، دما، رطوبت برای تضمین رشد پایدار انجام می‌شود. شرایط بهینهٔ دما و رطوبت برای رشد نژادهای قارچی مختلف، متفاوت است اما بیشتر گونه‌ها در حدود ۳۵-۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد رشد مطلوبی دارند. با توجّه به اهمیت آب در متابولیسم قارچ شرایط رطوبتی در حدود ۶۵-۶۰ درصد برای جلوگیری از خشک شدن سوبسترا ضروری است[۱۶].

در تولید کامپوزیت پیش از آن‌که قارچ منجر به تجزیهٔ کامل سوبسترا شود، فعالیت قارچ توسط خشک کردن یا تیمار حرارتی متوقّف می‌شود[۵]. استفاده از فرایند خشک کردن تنها قارچ را به حالت خواب فرو می‌برد. بدین ترتیب زمانی‌که شرایط رطوبتی مهیّا شود قارچ با فعالیت مجدّد به وضعیت مطلوب برمی‌گردد. برخلاف خشک کردن به‌کارگیری حرارت باعث از بین بردن قارچ می‌شود[۲]. برای کاهش مصرف انرژی مورد نیاز برای استریل کردن می‌توان از روش‌های دیگر مانند استفاده از روغن پوست درخت دارچین، روغن آویشن، روغن اورگانو[1] و روغن علف‌لیمو نیز استفاده کرد که به طور طبیعی خاصیت ضدعفونی‌کنندگی دارند[۱]. در این حالت میسلیوم‌ها یک فاز فیبری پیوسته تحت عنوان ماتریکس را می‌سازند که در تماس با فاز پراکنده متشکل از مواد آلی و تا حدودی هضم شده (پرکننده) است[۱۸].

یکی از ویژگی‌های این مواد، قابلیت رویش مستقیم در قالب است. به علاوه می‌توان از برش با لیزر و فشرده‌سازی گرم و سرد نیز برای شکل‌دهی استفاده کرد. تحقیقات نشان داده است برش باعث از بین رفتن پوستهٔ خارجی میسلیوم می‌شود که بر قدرت فشرده‌سازی مواد و دفع رطوبت تأثیرگذار خواهد بود[۱۶]. برای بهبود خصوصیات مواد تولیدی در مرحلهٔ نهایی پوشش‌دهی صورت می‌گیرد[۱۵]. کامپوزیت‌های تولیدی خصوصیاتی مشابه پلی‌استایرن انبساطی [2] یا دیگر فوم‌ها دارند[۵].

خصوصیات مکانیکی کامپوزیت میسلیوم همچون میسلیوم خالص به نوع قارچ، سوبسترا، شرایط کشت و فراوری مواد بستگی دارد[۵]. در تولید کامپوزیت معمولاً از میسلیوم قارچ‌هایی همچون *پلوروتوس استراتوس* و *ترامتس مولتی کالر* [3] استفاده می‌شود. نوع قارچ بر یکنواختی کامپوزیت میسلیوم و ضخامت پوستهٔ قارچی اثرگذار است. پوستهٔ قارچی ضمن تأثیر بر خصوصیات مکانیکی باعث مقاومت در برابر آب نیز می‌گردد. کامپوزیت‌های میسلیومی بر پایه کاه در مقایسه با انواع تولید شده از پنبه سفت‌تر بوده و مقاومت به رطوبت کمتری دارند. فشرده‌سازی کامپوزیت با حرارت منجر به یکنواختی، مقاومت و سفتی کامپوزیت میسلیوم می‌شود و محصول نهایی دانسیته و مدول الاستیک مشابه مواد طبیعی مانند چوب و چوب‌پنبه دارد[۲]. به علاوه هرچه هضم سوبسترای در دسترس قارچ دشوارتر باشد، مواد میسلیومی سفت‌تر خواهند شد. برای مثال میسلیوم‌های رشد یافته روی سلولز مقدار کیتین بیشتری در ساختمان دیوارهٔ خود دارند[۱۹].

۷- تولید و مصرف بسته‌بندی قارچی

امروزه مصرف‌کنندگان تمایل زیادی به خرید محصولات با حداقل اثرات زیست‌محیطی دارند و به همین‌دلیل، شرکت‌های بزرگ تولید و استفاده از بسته‌بندی‌های پایدار را جزء اهداف اصلی خود قرار داده‌اند[۱]. شکل(۶) کاربرد بسته‌بندی بر پایهٔ مواد میسلیومی را نشان می‌دهد. کامپوزیت‌های تولید شده

1- Oregano Oil

2- Expanded Poly Styrene (EPS)

3- *Trametes Multicolor*

شکل ٦- فوم بر پایهٔ مواد میسلیومی برای کاربردهای مختلف

شکل ۷- تجهیزات تولید بسته‌بندی فومی بر پایهٔ قارچ[۱]

توسط قارچ‌ها هزینهٔ تولید پایین، دانسیتهٔ کم، ویژگی‌های مکانیکی، استحکام و قدرت کشش قابل رقابت با انواع سنتزی را دارند، در تولید آن‌ها انرژی کم‌تری مصرف می‌شود و از همه مهم‌تر زیست‌تخریب‌پذیر هستند[۲۰ و ۲۱].

یک شرکت استارتاپ[1] نیویورکی از قارچ‌ها برای تولید مواد مقاوم به حرارت و آتش، جاذب انرژی، زیست تخریب‌پذیر و با انرژی کم تحت عنوان مایکوباند[2] استفاده کرده است.

این مواد به یک هشتم انرژی و یک دهم دی‌اکسید کربن مصرفی برای تولید بسته‌بندی‌های فومی نیازمندند. شکل(۷) تجهیزات مورد نیاز برای تولید بسته‌بندی فومی بر پایهٔ قارچ را نشان می‌دهد. از آن‌جایی که در این روش بخش‌های زایشی و اسپور[3] تولید نمی‌شود، هیچ‌گونه نگرانی بابت ایجاد مواد آلرژن[4] وجود ندارد[۱].

1- Startup Company
2- Mycobond

3- Spore
4- Allergens

۸- نتیجه گیری

مواد بسته‌بندی قارچی در دمای بالا یا تماس با اشعهٔ فرابنفش مقاوم هستند و به دلیل استفاده از اندام‌های رویشی و عدم تولید اندام‌های زایشی برای سلامت مصرف‌کننده ایمن شناخته می‌شوند. این مواد بدون تأثیر بر هزینه و عملکرد می‌توانند جایگزین مواد پلاستیکی در تولید بسته‌بندی شوند. با این وجود، تولید بسته‌بندی بر پایهٔ قارچ با دانسیتهٔ یکنواخت یکی از چالش‌های مطرح در این زمینه است. تولید چنین بسته‌بندی‌هایی به عنوان جایگزین فوم پلی‌استایرن می‌توند نقطه عطفی در تاریخ بسته‌بندی باشد.

۹- منابع

1. Abhijith, R., Ashok, A., and Rejeesh, C. R. (2018). **"Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: A review."** Mater. Today Proc., Elsevier Ltd 5, 2139–2145.
2. Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., and Wösten, H. A. B. (2019). "**Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites."** Mater. Des., Elsevier Ltd 161, 64–71.
3. Jiang, L., Walczyk, D., Mooney, L., and Putney, S. (2016). "**Manufacturingbof mycelium-based biocomposites."** International SAMPE Technical Conference, 1944-1955.
4. Bajwa, D. S., Holt, G. A., Bajwa, S. G., Duke, S. E., and McIntyre, G. (2017). "**Enhancement of termite (*Reticulitermes flavipes L.*) resistance in mycelium reinforced biofiber-composites."** Ind. Crops Prod. 107, 420–426.
5. Wösten, H. A. B. (2019). "**Filamentous fungi for the production of enzymes, chemicals and materials."** Curr. Opin. Biotechnol. 59, 65–70.
6. Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., and Savino, E. (2019). "**Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review."** Sustain. 11 (1), 281.
7. Holt, G. A., McIntyre, G., Flagg, D., Bayer, E., Wanjura, J. D., and Pelletier, M. G. (2012). "**Fungal mycelium and cotton plant materials in the manufacture of biodegradable molded packaging material: Evaluation study of select blends of cotton byproducts."** J. Biobased Mater. Bioenergy 6, 431–439.
8. Santhosh, B. S., Bhavana, D. R., and Rakesh, M. G. (2018). "**Mycelium composites: An emerging green building material."** Int. Res. J. Eng. Technol. 05, 3066–3068.
9. Bafkar, O. (2015). "**Mycelium material new replacement for thermoplastics."** Research Proposal, 1-2.
10. Rathore, H., Prasad, S., Kapri, M., Tiwari, A., and Sharma, S. (2019). "**Medicinal importance of mushroom mycelium: Mechanisms and applications."** J. Funct. Foods, Elsevier 56, 182–193.
11. Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., and Paredes-López, O. (2015). "**Edible mushrooms: Improving human health and promoting quality life."** Int. J. Microbiol. 2015.
12. Wagner, A. (2016). "**Mycelium Biking: Eco-design at its best,"** Luleå University of Technology.
13. Bayer, E., and McIntyre, G. (2009). **"Method for producing**

rapidly renewable chitinous material using fungal fruiting bodies and product made thereby." United States. United States patent US20090307969A1.

14. Bayer, E., McIntyre, G., and Swersey, B. L. (2008). **"Method for producing grown materials and products made thereby."** United States. United States patent US20080145577A1.
15. Lelivelt, R. J. J. (2018). "**The mechanical possibilities of mycelium materials."** Master's Thesis,Eindhoven University of Technology, 1–82.
16. Karana, E., Blauwhoff, D., Hultink, E. J., and Camere, S. (2018). **"When the material grows: A case study on designing (with) mycelium-based materials."** Int. J. Des. 12, 119–136.
17. Liu, R., Long, L., Sheng, Y., Xu, J., Qiu, H., Li, X., Wang, Y., and Wu, H. (2019). **"Preparation of a kind of novel sustainable mycelium/cotton stalk composites and effects of pressing temperature on the properties."** Ind. Crops Prod., Elsevier 141, 111732.
18. Jones, M. P., Lawrie, A. C., Huynh, T. T., Morrison, P. D., Mautner, A., Bismarck, A., and John, S. (2019). **"Agricultural by-product suitability for the production of chitinous composites and nanofibers utilising *Trametes versicolor* and *Polyporus brumalis* mycelial growth."** Process Biochem., Elsevier Ltd 80, 95–102.
19. Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., and Athanassiou, A. (2017). **"Advanced Materials from Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties."** Sci. Rep., Nature Publishing Group 7, 1–11.
20. Jiang, L., Walczyk, D., McIntyre, G., and Chan, W. K. (2016). **"Cost modeling and optimization of a manufacturing system for mycelium-based biocomposite parts."** J. Manuf. Syst., The Society of Manufacturing Engineers 41, 8–20.
21. Jiang, L., Walczyk, D., McIntyre, G., Bucinell, R., and Tudryn, G. (2017). **"Manufacturing of biocomposite sandwich structures using mycelium-bound cores and preforms."** J. Manuf. Process., The Society of Manufacturing Engineers 28, 50–59.

آدرس نویسنده

خوزستان- اهواز- بلوار گلستان - بعد از ساختمان آب و برق- مرکز تحقیقات وآموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان- ساختمان پژوهشی- ۰۶۱۳۳۷۳۷۳۸۹ داخلی ۲۳۲