مایکوپروتئین‌ها: مروری بر تاریخچه، ویژگی‌ها، فواید و تولید به واسطه قارچ‌های رشته‌ای

فائزه بهرامی[1,*] ، یاسین کاظم زاده مقدم[2] ، مهدیس دهقان طزرجانی [3] ، مینا خدامی وایقان [4]

1- دانشجوی دکتری میکروبیولوژی ، f.bahrami7070@gmail.com
2- کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی میکروبی ، y_k.m@hotmail.com
3- کارشناسی بیوتکنولوژی ، mahdisdehghan.t2000@gmail.com
4- دانشجوی کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی مولکولی ، khoddamina78@gmail.com

چکیده

در دو دهه گذشته به دلیل رشد سریع جمعیت و متعاقبا رشد اقتصادی، تقاضای جهانی برای گوشت افزایش یافته است. این موضوع ممکن است منجر به کمبود منابع پروتئینی گوشتی و فراگیری سو تغذیه در جهان شود. همچنین مشکلات بالینی بسیار مهمی مانند ضعف عضلانی، نارسایی رشد و نقص سیستم ایمنی ناشی از کمبود منابع پروتئینی تلقی می‌شوند. به همین منظور دستیابی به پروتئین های جایگزین گوشت اهمیت بسزایی دارد. مایکوپروتئین های مشتق شده از قارچ ها به دلیل ارزش غذایی بالا ، هزینه های تولید پایین، کاهش آلودگی و تحمل چالش های زیست محیطی، از جمله خشکسالی و سیل، به عنوان یکی از پروتئین های جایگزین گوشت ، محبوبیت زیادی پیدا کرده اند. علاوه بر این مایکوپروتئین ها فوایدی چون تنظیم سطح کلسترول خون ، کاهش ابتلا به بیماری های قلبی عروقی ، بهبود رشد ماهیچه ها ، فعالیت آنتی اکسیدانی بالا و مهار رادیکال های آزاد را دارا می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده ، در این مقاله به مرور مطالعات صورت گرفته به منظور معرفی مایکوپروتئین، تاریخچه توسعه آن، ویژگی مایکوپروتئین از نظر ارزش غذایی ، اثرات زیست محیطی و دوام اقتصادی پرداخته می‌شود. در ادامه فواید مایکوپروتئین، روش های تولید و منبع تولید آن ها از برخی از گونه های متفاوت قارچ های رشته ای تولید کننده مایکوپروتئین ها شامل *Monascus purpureus*، *Aspergillus oryzae*، *Paradendryphiella salina*، *Paecilomyces variotii*، *Rhizopus oryzae* و *Fusarium venenatum* مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

کلمات کلیدی : مایکوپروتئین، پروتئین تک سلولی (SCP)، امنیت غذایی، قارچ رشته ای، جایگزین گوشت، پروتئین جایگزین.

1.مقدمه

گوشت یک منبع پروتئینی مهم برای انسان است که از ذبح یک حیوان زنده به دست می آید. پرورش یک حیوان به زمین، آب و منابع دیگر نیاز دارد، که برای تغذیه جمعیت رو به رشد در جهان چالش برانگیز است[1]. در دو دهه گذشته به دلیل رشد سریع جمعیت و متعاقبا رشد اقتصادی، تقاضای جهانی برای گوشت افزایش یافته است همچنین پیش‌بینی شده است که جمعیت انسان ها در سراسر جهان تا سال 2050 به 9.7 میلیارد نفر برسد[2]. بنابراین مصرف پروتئین به شدت افزایش خواهد یافت، که ممکن است منجر به شیوع سوء تغذیه در سراسر جهان شود[3]. همچنین مشکلات بالینی بسیار مهمی مانند ضعف عضلانی، نارسایی رشد و نقص سیستم ایمنی ناشی از کمبود منابع پروتئینی تلقی می‌شوند و در مقابل آن، مصرف زیاد فرآورده های گوشتی توسط مردم کشور های غربی با سرانه مصرف حدود 90 کیلوگرم گوشت با استخوان در سال و برخی دیگر از کشورهای در حال توسعه، به عنوان یکی از تهدیدکننده ترین مشکلات جهت عدم توانایی تامین پروتئین مورد نیاز جهان، مطرح می‌شود[4] [5].

علاوه بر این، تولید گوشت قرمز اثرات زیست محیطی نامطلوبی دارند. تولید گوشت به ویژه گوشت قرمز، یکی از عوامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند متان است. این گازها به گرم شدن کره زمین کمک کرده و تغییرات آب و هوایی را تشدید می‌کنند. همچنین صنعت دامداری به مقدار زیادی آب شیرین نیاز دارد. این در حالی است که بسیاری از مناطق جهان با کمبود آب روبرو هستند. برای پرورش دام‌ها، مساحت وسیعی از جنگل‌ها و مراتع طبیعی تبدیل به زمین‌های کشاورزی می‌شوند. این امر باعث از بین رفتن تنوع زیستی و فرسایش خاک می‌شود. علاوه بر این، کودها و فضولات حیوانی که در صنعت دامداری تولید می‌شوند، می‌توانند باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی و همچنین خاک شوند و به دلیل اینکه برخی از بیماری‌های عفونی از حیوانات به انسان منتقل می‌شوند. این بیماری‌ها می‌توانند تهدیدی برای سلامت عمومی باشند[6]. از آنجایی که افزایش پایدار تولید پروتئین دشوار است ،به همین منظور، جستجوی جایگزین‌های مناسب برای پروتئین‌های جایگزین گوشت که هزینه کمتر، اثرات زیست محیطی کمتر و نیاز به مواد خام کمتری دارند، ضروری است [3]. گوشت‌های جایگزین به چند دسته اصلی تقسیم می‌شوند. اول، گوشت‌های اصلاح‌شده ژنتیکی(GMO) : این گوشت‌ها از حیوانات اصلاح شده ژنتیکی به دست می‌آیند. دوم، گوشت‌های کشت شده (Cultured Meat): این نوع گوشت در محیط آزمایشگاهی و از سلول‌های بنیادی حیوانی تولید می‌شود و سوم، جایگزین‌های گیاهی و در آخر پروتئین تک‌سلولی (SCP): این دسته شامل محصولات پروتئینی است که از منابع قارچی، ریز جلبک‌ها، باکتری‌ها و یا مخمرها تولید می‌شوند [7-9].

قارچ ها غذای ایده آلی هستند زیرا دارای محتوای نسبتاً بالایی از پروتئین ها (معمولاً 20 تا 30 درصد ماده خشک به عنوان پروتئین خام) هستند که حاوی تمام اسیدهای آمینه ضروری است. زیست توده قارچی همچنین منبعی از فیبر غذایی است و عملاً عاری از کلسترول است. بازاریابی این مواد بر توانایی آن در شبیه سازی ماهیت موثر است و به عنوان جایگزین سالمی برای گوشت فروخته می‌شود. جمع آوری قارچ در مقیاس بزرگ برای غذا در بسیاری از مناطق به یک صنعت تبدیل شده است [10]. مایکوپروتئین های مشتق شده از قارچ ها به دلیل ارزش غذایی عالی، هزینه های تولید پایین، کاهش آلودگی و تحمل چالش های زیست محیطی، از جمله خشکسالی و سیل، به عنوان یکی از پروتئین های جایگزین گوشت، محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند [11]. از نظر امنیت غذایی، مایکوپروتئین توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده در سال

2001 تایید شد، مایکوپروتئین مشتق از سویه های امن (GRAS) برای مصرف مواد غذایی، ایمن در نظر گرفته می‌شود[12]. این محصول قارچی تاثیرات تخریبی کم‌تری بر محیط زیست نسبت به گوشت معمولی دارد. لذا مایکوپروتئین ها می‌توانند به عنوان یک جایگزین گوشتی بسیار خوب تلقی شوند .

با توجه به موارد ذکر شده ، در این مقاله به مرور مطالعات صورت گرفته به منظور معرفی مایکوپروتئین، تاریخچه توسعه آن، ویژگی مایکوپروتئین از نظر ارزش غذایی، اثرات زیست محیطی و دوام اقتصادی پرداخته می‌شود. در ادامه فواید مایکوپروتئین، روش های تولید و منبع تولید آن‌ها از برخی از گونه های متفاوت قارچ های رشته ای تولید کننده مایکوپروتئین ها شامل *Monascus purpureus*، *Aspergillus oryzae*، *Paradendryphiella salina*، *Paecilomyces variotii*، *Rhizopus oryzae* و *Fusarium venenatum* مورد بررسی قرار میگیرد.

2. معرفی مایکوپروتئین

قارچ ها میکروارگانیسم های یوکاریوتی هستند که به صورت مخمر، کپک یا ترکیبی از هر دو شکل ظاهر می شوند[13]. مایکوپروتئین (به معنای پروتئین از قارچ) به عنوان پروتئین مبتنی بر میسلیوم یا پروتئین قارچ رشته ای شناخته می‌شود، شکلی از پروتئین تک سلولی است که از قارچ ها برای مصرف انسان به دست می آید و یک غذای غنی از پروتئین است [14]. اگرچه محصولات مشتق شده از مایکوپروتئین اغلب به عنوان گیاهی شناخته می شوند اما این طبقه بندی طبق تعریف اشتباه است زیرا پادشاهی قارچ ها خصوصا گونه های تشکیل دهنده قارچ های رشته ای و همچنین مخمرها و کپک ها، از حیوانات و گیاهان جدا هستند. دیواره‌های سلولی قارچ ها به جای سلولز از بتا گلوکان و کیتین تشکیل شده است و فقدان کلروپلاست آنها را کاملاً متفاوت از گیاهان می‌کند[15] [16]. قارچ‌های خوراکی (Mushrooms) و ترافل‌ها نیز نوعی قارچ (بازیدیومیست‌ها) هستند، اما به دلیل محتوای پروتئین پایین‌تر، به طور کلی جایگزین‌های مناسبی برای گوشت در نظر گرفته نمی‌شوند [17] [18]. مایکوپروتئین از عضو جداگانه ای از خانواده قارچ ها (آسکومیست‌ها) تولید می‌شود و از طریق تخمیر رشد می‌کند [19]. امتیاز اسید آمینه اصلاح شده با قابلیت هضم پروتئین کلی آن 0.996 است که با استفاده از روش های استاندارد طلایی ایلئوستومی به دست آمده است و نشان می‌دهد که پروتئین با کیفیت بالایی است [20].

3.تاریخچه مایکوپروتئین

مایکوپروتئین برای اولین بار در اوایل دهه 1960 از قارچ *Fusarium venenatum* کشف شد و از آن زمان به دلیل مزایای سلامتی در مراحل مختلف زندگی از جمله بهبود پروفایل لیپیدی و سنتز پروتئین ماهیچه‌ای به عنوان منبع پروتئین پایدار مورد تحقیق قرار گرفت [21] [22]. با مطالعات اولیه انسانی در دهه 1970 امکان سنجی، تحمل پذیری و تأثیر متابولیک آن مشخص شد که منجر به دوام تجاری آن شد [23]. توسعه آن با افزایش نگرانی‌های بهداشتی مرتبط با مصرف گوشت قرمز و تأثیرات زیست‌محیطی کشاورزی دام انجام شده است. همچنین به دلیل داشتن ساختار فیبری و خواص عملکردی منحصر به فرد به عنوان جایگزین گوشت نیز پیشنهاد شد.[24]

4. ویژگی مایکوپروتئین ها

1.4. **ارزش غذایی:** مایکوپروتئین یک پروتئین کامل، غنی از اسیدهای آمینه ضروری، فیبر، ویتامین ها و مواد معدنی است که از سلامت کلی حمایت می‌کند [25] [26]. مایکوپروتئین دارای فعالیت آنتی اکسیدانی بالا و مهار رادیکال های آزاد است زیرا مایکوپروتئین های تولید شده توسط میکروارگانیسم های متفاوت حاوی متابولیت های مختلفی مانند فلاونوئیدها، هگزادکان و ترکیبات فنلی هستند[27]. به طور کلی مایکوپروتئین حاوی 6 گرم فیبر در هر 100 گرم است و طبق الزامات کمیسیون اروپا، منبعی غنی از فیبر محسوب می‌شود. فیبر غذایی طبیعی مایکوپروتئین شامل 12 ٪ فیبرهای محلول و 88 ٪ فیبرهای نامحلول با مقدار کمی کیتین و گلوکان است [28].

یک سوم از مایکوپپروتئین از چربی تشکیل شده است زیرا حاوی کربوهیدرات های کمی است که به راحتی در دسترس است. به طور عمده ، کمتر از 1.5 گرم اسید چرب زنجیره ای طولانی و کوتاه اشباع شده در هر 100 گرم از آن وجود دارد و همچنین سرشار از اسیدچرب غیراشباع یک یا چند زنجیره می‌باشد. مایکوپروتئین حاوی چندین ویتامین B محلول در آب از جمله پیریدوکسین (0.1 میلی گرم) ، فولات (114 میلی گرم) و کوبالامین (0.72) میلی گرم است [29].

2.4. **اثرات زیست محیطی:** در مقایسه با تولید پروتئین حیوانی و گیاهی به زمین و آب کمتری نیاز دارد که به کاهش ردپای کربن کمک می‌کند [30].

3.4. **دوام اقتصادی:** مایکوپروتئین را می‌توان با هزینه کمتر، با استفاده از ضایعات کشاورزی و صنعتی تولید کرد که امنیت و پایداری غذایی را افزایش می‌دهد [25] [26].

5. تاثیر بر سلامتی

تحقیقات نشان می‌دهد که مصرف مایکوپروتئین می‌تواند پروفایل لیپیدی را بهبود بخشد، اشتها را تنظیم کند و از سنتز پروتئین ماهیچه‌ای حمایت کند [30]. این به دلیل مشخصات کامل پروتئین و مزایای بالقوه آن در مدیریت سطح گلوکز و کلسترول خون شناخته شده است.[21] [24].

1.5. **مدیریت کلسترول:** مصرف مایکوپروتئین با بهبود پروفایل های کلسترول مرتبط است و به تنظیم چربی خون کمک می‌کند [26] [30]. در نتیجه، احتمال ابتلا به بیماری های عروق کرونر و قلبی عروقی را کاهش می‌دهد[31]. همچنین به دلیل محتوی پروتئینی بالا، رشد ماهیچه های مناسب برای سلامت بدن را افزایش داده و باعث کاهش دریافت انرژی در افراد می‌شود[32].

2.5.**سیری و مدیریت وزن:** احساس سیری را تقویت می‌کند، به طور بالقوه به کنترل وزن و سلامت متابولیک کمک می‌کند [26] [30].

3.5.**ایمنی مواد غذایی:** فرآیندهای تولید مایکوپروتئین برای به حداقل رساندن خطرات پاتوژن های غذایی طراحی شده اند، اگرچه برخی از افراد ممکن است آلرژی را تجربه کنند [25] [33]. از نظر امنیت غذایی، مایکوپروتئین توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده در سال 2001 تایید شد، مایکوپروتئین مشتق از سویه های امن (GRAS) برای مصارف مواد غذایی ایمن در نظر گرفته می‌شود [12].

در حالی که مایکوپروتئین مزایای متعددی را ارائه می‌دهد، بررسی چالش های بالقوه مانند پذیرش مصرف کننده و نیاز به تحقیقات بیشتر در مورد اثرات بلندمدت سلامت ضروری است. متعادل کردن این عوامل برای ادغام آن در رژیم های غذایی اصلی بسیار مهم خواهد بود.

6.روش های تولید

مایکوپروتئین از طریق فرآیندهای تخمیر، از جمله تخمیر غوطه ور (SmF) و تخمیر حالت جامد (SSF) تولید می‌شود. در این روش‌ها از بسترهای مختلف پسماندهای کشاورزی و صنعتی استفاده می‌شود که باعث افزایش پایداری و عملکرد تغذیه ای آن می‌شود[24]. سویه تولید کننده مایکوپروتئین ابتدا با استفاده از یک سیستم تخمیر هوازی و سوبستراهای کربوهیدرات و مواد مغذی مورد نیاز برای رشد، رشد می‌کند [34]. در مرحله بعد، میسلیوم قارچ تحت تیمار حرارتی قرار می گیرد تا محتوای اسید ریبونوکلئیک به سطوح مورد تایید و ایمن کاهش یابد. هنگامی که سطح اسید ریبونوکلئیک کاهش می یابد، هیف های معلق با سانتریفیوژ بازیابی می شوند [35]. مراحل نهایی تولید، فرآیندهای بخار کردن، سرد کردن و انجماد مایکوپروتئین ، منجر به ساختاری شبیه گوشت می‌شود که در زیر میکروسکوپ مشابه بافت گوشت مرغ است. این فرآیندهای ترکیبی همراه با افزودن نهایی آلبومین تخم مرغ، مواد کاربردی، طعم‌ها، گیاهان و ادویه‌ها، منجر به محصول نهایی می‌شود که بافت گوشت را تقلید می‌کند[36].

7. منبع تولید مایکوپروتئین :

برخی از گونه های قارچ های رشته ای تولید کننده مایکوپروتئین ها شامل *Monascus purpureus* ، *Aspergillus oryzae* ، *Paecilomyces variotii* ، *Paradendryphiella salina* و *Rhizopus oryzae* ، *Fusarium venenatum* هستند. در ادامه به بررسی آخرین مطالعات صورت گرفته بر روی هر گونه پرداخته می‌شود (جدول 1).

1.7. قارچ رشته ای *فوزاریوم اکسیسپورم* (*Fusarium oxysporum*)

در بررسی صورت گرفته جهت ارزیابی پتانسیل قارچ *فوزاریوم اکسیسپورم* برای تولید پروتئین به عنوان یک جایگزین برای پروتئین‌های حیوانی نتایج نشان داده است که این قارچ توانایی خوبی برای تولید مایکوپروتئین را دارد . همینطور ، شرایط بهینه برای تولید مایکوپروتئین که درنهایت منجر به تولید محصول حاوی 42 درصد (وزنی) پروتئین خام می‌شود ، ارزیابی شده است. گفته شده است که عملیات حرارتی زیست توده قارچی در دمای 65 درجه سانتی گراد در کاهش سطح RNA موثر است به صورتیکه این روش شوک حرارتی سطح RNA را می‌تواند به کمتر از 1٪ کاهش دهد که به عنوان یک سطح

قابل قبول برای محصولات غذایی انسانی شناخته می‌شود[37]. *فوزاریوم اکسیسپورم* به دلیل پتانسیل آن برای تولید سموم مضر T-2 که خطرات قابل توجهی برای سلامتی دارد، به عنوان سویه GRAS برای غذا در نظر گرفته نمی شود [38].

2.7. قارچ رشته ای *فوزاریوم وناتوم* (*Fusarium venenatum*)

فوزاریوم وناتوم یک نوع قارچ رشته ای است که در اواخر دهه 1960 به عنوان یک منبع پروتئینی جایگزین کشف شد. پس از سال‌ها تحقیق، این قارچ برای مصرف انسان تأیید شد و در حال حاضر در تولید مواد غذایی مختلف استفاده می‌شود. این پروتئین قارچی به دلیل فواید سلامتی مانند کاهش کلسترول و ایجاد احساس سیری، محبوبیت فزاینده‌ای پیدا کرده است[36].

فوزاریوم وناتوم حاوی درصد نسبتا بالایی از پروتئین ها (حدود 56 الی 76 درصد) است. محتوای پروتئینی این قارچ تقریباً تمام اسیدهای آمینه ضروری به جز پرولین و آسپارتیک اسید را شامل می‌شود . همچنین اسیدهای آمینه حاوی گوگرد نسبتاً کم هستند[39]. جهت افزایش محتوای پروتئینی مایکوپروتئین حاصل از *فوزاریوم وناتوم* با دو روش اصلی به این هدف می‌توان دست یافت : اول، مهندسی متابولیک با مسدود کردن مسیرهای متابولیکی که منجر به تولید محصول جانبی اتانول می‌شوند و همینطور مسدود کردن مسیر گلیکونئوژنز که با مهار این مسیر، قارچ مجبور می‌شود منابع کربنی را مستقیماً برای تولید پروتئین قارچی به کار ببرد و آن‌ها را به گلوکز تبدیل نکند. دوم، بهینه‌سازی محیط کشت. استفاده از Znso4. نیز به عنوان عاملی برای بهینه سازی محیط کشت مورد توجه واقع شده است. مشخص شده است که قارچ های مهندسی شده که در محیط حاوی Znso4 رشد می‌یابند در مقایسه با سویه نوع وحشی، نرخ سنتز، نسبت تبدیل کربن و محتوای پروتئین مایکوپروتئین تولید شده از سویه مهندسی شده به ترتیب 57، 62 و 57 درصد افزایش میابد که با کاهش قابل توجهی در انتشار CO_2 همراه می‌شود [40]. این نشان می‌دهد که این قارچ پتانسیل بسیار بالایی جهت تولید مایکوپروتئین دارد.

3.7. قارچ رشته ای *موناسکوس پورپورئوس* (*Monascus purpureus*)

Monascus purpureus بیشتر برای تخمیر برنج سفید برای تولید برنج قرمز تیره معروف به angkak یا beni koji شناخته شده است . *موناسکوس پورپورئوس* یک قارچ رشته ای است که انواع متابولیت های ثانویه از جمله رنگدانه ها، لیپیدها و موناکولین ها را تولید می‌کند که بیشتر به دلیل توانایی خود در تولید رنگدانه های مختلف، از رنگ زرد روشن تا قرمز تیره شناخته شده است و از آن به عنوان رنگ و طعم دهنده در غذاها و نوشیدنی ها استفاده شده است. این قارچ رشته ای برای تخمیر برنج سفید برای تولید برنج قرمز تیره معروف به angkak یا beni koji بسیار مورد استفاده قرار گرفته شده است[41-44] . این قارچ به دلیل تولید طیف متفاوتی از اسید آمینه هایی مانند اسید آسپارتیک، ترئونین، سرین، اسید گلوتامیک، گلیسین، آلانین، سیستئین، والین، متیونین، ایزولوسین، لوسین، تیروزین، فنیل آلانین، لیزین، هیستین آرژنین و پرولین از محتوای اسید آمینه بالایی برخوردار بوده و محصول حاصل از آن، دارای ارزش غذایی مطلوبی می باشد. [45].

4.7. قارچ رشته ای *آسپرژیلوس اوریزائه* (*Aspergillus oryzae*)

آسپرژیلوس اوریزائه به طور گسترده در صنایع غذایی و خوراک مورد استفاده و تحقیق قرار می گیرد. سال‌هاست که در کشورهای آسیایی مانند چین و ژاپن برای تهیه نوشیدنی‌هایی از جمله ساکه، سرکه و غذاهایی مانند کوجی، اونکام و میسو

یا تخمیر سویا استفاده می‌شود. از طریق استفاده گسترده از آن، مانند بسیاری از گونه های جنس آسپرژیلوس، وضعیت GRAS را دریافت کرده است[46].

استفاده از ضایعات به عنوان منبع نواد غذایی این قارچ را به سویه ای مقرون به صرفه مبدل می‌کند .امکان استفاده از ضایعات خرما به عنوان منبع کربن برای تولید پروتئین تک سلولی (SCP) توسط قارچ *آسپرژیلوس اوریزائه* اثبات شده است و نسبت اسیدهای آمینه ضروری به کل اسیدهای آمینه تولید شده با استفاده از این منبع کربن، 46 درصد از SCP ارزیابی شده است. با استفاده از این روش ، می‌توان از آسپرژیلوس اوریزائه برای تولید پروتئین در مقیاس بزرگ‌تر استفاده کرد که می‌تواند به عنوان یک راهکار برای تبدیل ضایعات به محصول با ارزش و همچنین تامین پروتئین مورد نیاز انسان و دام باشد[47]. علاوه بر این تولید محصولات غذایی از مایکوپروتئین این قارچ نیز توسعه یافته است . اخیرا یک نوع برگر با استفاده از مایکوپروتئین های حاصل از *آسپرژیلوس اوریزائه* تهیه شده است که دارای پروتئین بالاتری نسبت به یک محصول سنتی همبرگر است. در این مطالعه استفاده از مالتودکسترین برای رشد این قارچ رشته ای، تولید زیست توده را در غلظت 90 گرم در لیتر و زمان انکوباسیون شش روز به حداکثر رساند و مشخص شده است که با استفاده از عصاره چغندر رنگی، می‌توان به محصولی مشابه با رنگ گوشت با منشاء حیوانی دست پیدا کرد بنابراین محصول تولید شده هم از نظر فیزیکی و هم مشخصات حسی مانند گوشت حیوانی خواهد بود[48].

5.7. قارچ رشته ای *پارادندریفیلا سالینا* (*Paradendryphiella salina*)

جلبک‌های دریایی منبع غنی از مواد مغذی هستند و پتانسیل بالایی برای تولید مواد غذایی جدید دارند. اما استخراج مواد مفید از جلبک‌ها به دلیل ساختار پیچیده دیواره سلولی‌شان دشوار است. قارچ های دریایی می‌توانند پلی ساکاریدها را در جلبک ها تجزیه کرده و مایکوپروتئین خوراکی تولید کنند اینکار محتوای مواد مغذی و هضم مواد غذایی و ضایعات را افزایش می‌دهد. اخیرا استفاده بهتر از جلبک‌ها و زباله‌های حاصل از تولید محصولات دریایی به منظور بستری برای رشد پاراندریفیلا سالینا مورد بررسی قرار گرفته است. این قارچ دریایی ، از طریق تخمیر زیست توده ماکرو جلبک قهوه ای به عنوان تنها منبع کربن مایکوپروتئین تولید می‌کند. مایکوپروتئین به‌دست‌آمده منجر به بیشترین مقدار فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شده است. علاوه بر این گفته می‌شود که این روش، محتوای پروتئین و اسید آمینه *پاراندریفیلا سالینا* و ضایعات جلبک های قهوه ای را افزایش می‌دهد و غلظت آلژینات و سلولز در ضایعات جلبک دریایی به ترتیب تا 311 میلی گرم در گرم و 47 میلی گرم در گرم کاهش می یابد[49]. تولید مایکوپروتئین و پروتئین های شبه هیدروفوبین با استفاده از ضایعات جلبک دریایی سبز (*Ulva spp*) به عنوان منبع کربن به وسیله *پاراندریفیلا سالینا* اخیرا توسعه یافته است و با این روش می‌توان از یک کیلو جلبک خشک 561 گرم مایکوپروتئین با 48/2 درصد پروتئین و غلظت اسید آمینه 21 درصد تولید کرد. همچنین گفته شده است مایع کشت حاصل از تخمیر غوطه ور می‌تواند دارای پروتئین های فعالی باشدکه رفتارهای سازگار با هیدروفوبین کلاس II را نشان دهد[50].

6.7. قارچ رشته ای *پسیلومایسس وریوتی* (*Paecilomyces variotii*)

پسیلومایسس وریوتی حاوی 60 تا 70 درصد پروتئین غنی از بتا گلوکان و نوکلئوتید است [51]. این قارچ پروتئین های مختلفی از جمله آمیلازها، کیتینازها، پکتینازها، تانازها و فیتازها را تولید می‌کند که کاربردهای بالقوه ای در غذا، خوراک دام و فرآیندهای بیوتکنولوژیکی داشته و همینطور یک منبع پروتئین جایگزین برای غذا، خوراک دام و آبزیان است [52].

استفاده از این قارچ رشته ای به عنوان جایگزینی برای پروتئین‌های سنتی در تغذیه ماهی ها می‌تواند موثر باشد اما استفاده از این قارچ می‌تواند باعث تغییراتی در کیفیت گلوله‌های غذایی شود. گلوله‌ها نرم‌تر و شکننده‌تر اما بالابودن قابلیت جذب آب آن‌ها از جمله این تغییرات است. اخیرا مشخص شده است که استفاده از مایکوپروتئین حاصله از این قارچ رشد کلی ماهی‌ها را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد ، اما ضریب تبدیل غذا بهبود یافته است. این به این منظور است که ماهی‌ها برای رشد به غذای کمتری نیاز داشتند. علیرغم کاهش هضم پروتئین و سایر مواد مغذی در روده ماهی‌هایی که با این قارچ تغذیه شده بودند، جذب مواد مغذی در بدن ماهی افزایش پیدا کرد. در آخر مشخص شد این قارچ باعث بهبود عملکرد سیستم ایمنی در روده ماهی می‌شود و به تقویت سلامت کلی ماهی کمک کرد. این موضوع نوید بخش این خواهد بود که مایکوپروتئین های حاصل از این قارچ می‌توانند به عنوان مکمل های جایگزین گوشت استفاده شوند [53].

جدول 1 – خلاصه ای از آخرین مطالعات جهت تولید مایکوپروتئین با استفاده از قارچ های رشته ای

مرجع	ویژگی و مزایا	کاربرد	نوع گونه قارچ رشته ای
[37]	مایکوپروتئین دارای محتوای پروتئینی بالا و اسیدهای آمینه ضروری است	جهت افزایش کارایی تولید و درصد پروتئینی مایکوپروتئین	*Fusarium venenatum*
[40]	افزایش تولید مایکوپروتئین با کیفیت بالا و کاهش انتشار CO_2	جهت افزایش کارایی تولید و درصد پروتئینی مایکوپروتئین و کاهش آلودگی های زیست محیطی	*Fusarium venenatum*
[47]	استفاده بهینه از ضایعات خرما، تولید پایدار، کاهش هزینه، منبع پروتئینی جایگزین	تولید پروتئین تک‌سلولی از ضایعات کشاورزی (خرما)	*Aspergillus oryzae*
[48]	تولید محصولی با بافت، طعم و ارزش غذایی مشابه گوشت ، پایداری، سلامت، عدم آلرژن، کاهش فشار بر منابع، تنوع محصولات	تولید پاتی برگر از مایکوپروتئین	*Aspergillus oryzae*
[49]	افزایش ارزش غذایی جلبک‌ها، استفاده از ضایعات، تولید پروتئین پایدار و بهبود پروفایل اسیدهای آمینه	استفاده ضایعات جلبک های قهوه ای دریایی و فراوری مایکوپروتئین غنی	*Paradendryphiella salina*
[50]	استفاده بهینه از جلبک‌ها، تولید محصولات با ارزش افزوده، تولید پروتئین شبه هیدروفوبین جهت مصارف کاربردی صنایع آزایشی و بهداشتی	استفاده ضایعات جلبک های سبز دریایی و فراوری مایکوپروتئین و تولید پروتئین شبه هیدروفوبین	*Paradendryphiella salina*

[53]	بهبود کیفیت خوراک، افزایش رشد و بهبود سلامت روده ماهی افزایش جذب مواد مغذی	پروتئین جایگزین برای تغذیه ماهی سالمون	*Paecilomyces variotii*

8.بحث و نتیجه گیری

مایکوپروتئین نوعی پروتئین است که از رشد قارچ‌های رشته‌ای به دست می‌آید. این پروتئین به عنوان یک جایگزین گیاهی برای گوشت شناخته می‌شود و از نظر ارزش غذایی بسیار غنی است. این محصول دارای ارزش غذایی بالایی بوده و حاوی تمام اسیدهای آمینه ضروری، فیبر، ویتامین‌ها و مواد معدنی است. تولید آن به منابع آب و زمین کمتری نیاز دارد و ردپای کربن کمتری نسبت به تولید گوشت دارد. علاوه براین، مصرف مایکوپروتئین ممکن است به بهبود پروفایل لیپیدی و کاهش خطر بیماری‌های قلبی عروقی کمک کند. مایکوپروتئین از طریق فرآیند تخمیر قارچ‌های رشته‌ای به دست می‌آید. در این فرآیند، قارچ در محیطی غنی از کربوهیدرات رشد می‌کند و سپس میسلیوم قارچ جدا شده و تحت فرآوری قرار می‌گیرد تا به محصول نهایی تبدیل شود. گونه‌های مختلفی از قارچ‌ها برای تولید مایکوپروتئین استفاده می‌شوند که هر کدام ویژگی‌های منحصر به فردی دارند. برخی از این گونه‌ها عبارتند از *Fusarium venenatu*، *Monascus purpureus*، *Aspergillus oryzae* و *Paradendryphiella salina* که جهت جایگزینی برای گوشت در تولید انواع محصولات غذایی مانند برگر، سوسیس و گوشت‌های فرآوری شده یا به عنوان یک منبع پروتئینی با کیفیت برای تغذیه دام و طیور و آبزیان. ، می‌توانند به کار گرفته شوند.

با توجه به مزایای متعدد مایکوپروتئین، انتظار می‌رود که در آینده به عنوان یک منبع پروتئینی پایدار و سالم، نقش مهمی در تغذیه انسان ایفا کند. با اینحال یکی از چالش‌های اصلی در گسترش مصرف مایکوپروتئین، پذیرش آن توسط مصرف‌کنندگان است.در حال حاضر، هزینه تولید مایکوپروتئین در مقایسه با برخی منابع پروتئینی دیگر بیشتر است اما با توجه به مطالعات صورت گرفته در جهت بهینه سازی رشد گونه های تولید کننده مایکوپروتئین و همچنین استفاده از ضایعات صنایع مختلف می‌توان هزینه های تولید را به حتی کمتر از هزینه های موجود برای پرورش حیوانات برای گوشت قرمز، کاهش داد.

در نهایت می‌توان گفت مایکوپروتئین یک جایگزین جذاب و پایدار برای پروتئین‌های حیوانی است که می‌تواند به بهبود سلامت انسان و کاهش فشار بر محیط زیست کمک کند. با این حال، برای توسعه گسترده مایکوپروتئین، نیاز به تحقیقات بیشتر برای کاهش هزینه‌های تولید، توسعه محصولات جدید و افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان است.

9. قدردانی

این پژوهش با حمایت استارتاپ میشن میل صورت پذیرفت که بدین وسیله از همه دست اندرکاران و و پرسنل این مجموعه تقدیر و تشکر بعمل می‌آید.

10.مراجع

1. Roy, B., Hagappa, A., Ramalingam, Y. D., & Mahalingam, N. (2021). A review on lab-grown meat: Advantages and disadvantages. Quest International Journal of Medical and Health Sciences, 4(1), 19-24.
2. Nadathur, S., Wanasundara, J. P., & Scanlin, L. (2024). Feeding the globe nutritious food in 2050: Obligations and ethical choices. In Sustainable Protein Sources (pp. 649-668). Academic Press
3. Aiking, H. (2014). Protein production: planet, profit, plus people?. The American journal of clinical nutrition, 100, 483S-489S
4. Stehfest, E., Bouwman, L., Van Vuuren, D. P., Den Elzen, M. G., Eickhout, B., & Kabat, P. (2009). Climate benefits of changing diet. Climatic change, 95(1), 83-102
5. Bonny, S. P., Gardner, G. E., Pethick, D. W., & Hocquette, J. F. (2015). What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry?. Journal of Integrative Agriculture, 14(2), 255-263
6. Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., ... & Jebb, S. A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. Science, 361(6399), eaam5324.
7. Maga, E. A., & Murray, J. D. (2010). Welfare applications of genetically engineered animals for use in agriculture. Journal of animal science, 88(4), 1588-1591.
8. Van der Spiegel, M., Noordam, M. Y., & Van der Fels-Klerx, H. J. (2013). Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. Comprehensive reviews in food science and food safety, 12(6), 662-678.
9. Upadhyaya, S., Tiwari, S. H. A. S. H. A. N. K., Arora, N., & Singh, D. P. (2016). Microbial protein: a valuable component for future food security. Microbes and environmental management. Studium Press, New Delhi, 8, 259.
10. Moore, D., & Chiu, S. W. (2001). Fungal products as food. Bio-exploitation of filamentous fungi. Fungal Diversity Press, Hong Kong, 223-251
11. Zhang, C., Guan, X., Yu, S., Zhou, J., & Chen, J. (2022). Production of meat alternatives using live cells, cultures and plant proteins. Current Opinion in Food Science, 43, 43-52
12. FDA . (2001). GRN No. 91 Mycoprotein
13. McGinnis, M. R., & Tyring, S. K. (1996). Introduction to mycology. Medical microbiology, 4.
14. Finnigan, T. J., Wall, B. T., Wilde, P. J., Stephens, F. B., Taylor, S. L., & Freedman, M. R. (2019). Mycoprotein: the future of nutritious nonmeat protein, a symposium review. Current developments in nutrition, 3(6), nzz021.
15. Baldauf, S. L., Roger, A. J., Wenk-Siefert, I., & Doolittle, W. F. (2000). A kingdom-level phylogeny of eukaryotes based on combined protein data. Science, 290(5493), 972-977.
16. Katz, L. A., Grant, J. R., Parfrey, L. W., & Burleigh, J. G. (2012). Turning the crown upside down: gene tree parsimony roots the eukaryotic tree of life. Systematic biology, 61(4), 653-660.

17. Boland, M. J., Rae, A. N., Vereijken, J. M., Meuwissen, M. P., Fischer, A. R., van Boekel, M. A., ... & Hendriks, W. H. (2013). The future supply of animal-derived protein for human consumption. Trends in food science & technology, 29(1), 62-73.
18. Souza Filho, P. F., Andersson, D., Ferreira, J. A., & Taherzadeh, M. J. (2019). Mycoprotein: environmental impact and health aspects. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 35(10), 147.
19. Derbyshire, E. (2020). Protein guidance—Is it time for an update. Dietetics Today, 22-23.
20. Edwards, D. G., & Cummings, J. H. (2010). The protein quality of mycoprotein. Proceedings of the Nutrition Society, 69(OCE4), E331.
21. Derbyshire, E. J., & Delange, J. (2021). Fungal protein–what is it and what is the health evidence? A systematic review focusing on mycoprotein. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5, 581682.
22. Derbyshire, E. (2022). Fungal-derived mycoprotein and health across the lifespan: a narrative review. Journal of Fungi, 8(7), 653.
23. Coelho, M. O., Monteyne, A. J., Dunlop, M. V., Harris, H. C., Morrison, D. J., Stephens, F. B., & Wall, B. T. (2020). Mycoprotein as a possible alternative source of dietary protein to support muscle and metabolic health. Nutrition Reviews, 78(6), 486-497.
24. Ahmad, M. I., Farooq, S., Alhamoud, Y., Li, C., & Zhang, H. (2022). A review on mycoprotein: History, nutritional composition, production methods, and health benefits. Trends in Food Science & Technology, 121, 14-29.
25. Zade, S. V., Rastegar, H., & Hashempour-Baltork, F. (2024). Mycoproteins for use in meat analogs: a scientific description and potential utilities. In Handbook of Plant-Based Meat Analogs (pp. 81-97). Academic Press.
26. Saeed, F., Afzaal, M., Khalid, A., Shah, Y. A., Ateeq, H., Islam, F., ... & Shah, M. A. (2023). Role of mycoprotein as a non-meat protein in food security and sustainability: A review. International Journal of Food Properties, 26(1), 683-695.
27. Umesh, M., Suresh, S., Santosh, A. S., Prasad, S., Chinnathambi, A., Al Obaid, S., ... & Shanmugam, S. (2023). Valorization of pineapple peel waste for fungal pigment production using Talaromyces albobiverticillius: Insights into antibacterial, antioxidant and textile dyeing properties. Environmental Research, 229, 115973.
28. Derbyshire, E., & Ayoob, K. T. (2019). Mycoprotein: Nutritional and health properties. Nutrition today, 54(1), 7-15.
29. Finnigan, T., Needham, L., & Abbott, C. (2017). Mycoprotein. Sustainable Protein Sources, 305–325. doi:10.1016/b978-0-12-802778-3.00019-6
30. Derbyshire, E. J., & Finnigan, T. J. (2022). Mycoprotein: A futuristic portrayal. In Future Foods (pp. 287-303). Academic Press.
31. Coelho, M. O., Monteyne, A. J., Dirks, M. L., Finnigan, T. J., Stephens, F. B., & Wall, B. T. (2021). Daily mycoprotein consumption for 1 week does not affect insulin sensitivity or glycaemic control but modulates the plasma lipidome in healthy adults: a randomised controlled trial. British Journal of Nutrition, 125(2), 147-160.
32. Bottin, J. H., Swann, J. R., Cropp, E., Chambers, E. S., Ford, H. E., Ghatei, M. A., & Frost, G. S. (2016). Mycoprotein reduces energy intake and postprandial insulin release without altering glucagon-like peptide-1 and peptide tyrosine-tyrosine concentrations in

healthy overweight and obese adults: a randomised-controlled trial. British Journal of Nutrition, 116(2), 360-374.
33. Khan, R., Brishti, F. H., Arulrajah, B., Goh, Y. M., Abd Rahim, M. H., Karim, R., ... & Saari, N. (2024). Mycoprotein as a meat substitute: production, functional properties, and current challenges-a review. International Journal of Food Science & Technology, 59(1), 522-544.
34. Finnigan, T. J. A. (2011). Mycoprotein: origins, production and properties. Handbook of food proteins, 335-352.
35. Gilani, G. S., & Lee, N. (2003). PROTEIN| sources of food-grade protein.
36. Wiebe, M. (2002). Myco-protein from Fusarium venenatum: a well-established product for human consumption. Applied microbiology and biotechnology, 58, 421-427.
37. Ahangi, Z., Shojaosadati, S. A., & Nikoopour, H. (2008). Study of mycoprotein production using Fusarium oxysporum. Pakistan Journal of Nutrition, 7(2), 240-243.
38. Qiu, M., Deng, Y., Deng, Q., Sun, L., Fang, Z., Wang, Y., ... & Zhao, J. (2022). Cysteine inhibits the growth of Fusarium oxysporum and promotes T-2 toxin synthesis through the Gtr/Tap42 pathway. Microbiology Spectrum, 10(6), e03682-22.
39. Hosseini, S. M., & Khosravi-Darani, K. (2011). Response surface methodology for mycoprotein production by Fusarium venenatum ATCC 20334. J Bioprocess Biotech, 1(102).
40. Tong, S., Chen, W., Hong, R., Chai, M., Sun, Y., Wang, Q., & Li, D. (2023). Efficient Mycoprotein Production with Low CO2 Emissions through Metabolic Engineering and Fermentation Optimization of Fusarium venenatum. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 72(1), 604-612.
41. Souza Filho, P. F., Nair, R. B., Andersson, D., Lennartsson, P. R., & Taherzadeh, M. J. (2018). Vegan-mycoprotein concentrate from pea-processing industry byproduct using edible filamentous fungi. Fungal biology and biotechnology, 5, 1-10.
42. Song, J., Luo, J., Ma, Z., Sun, Q., Wu, C., & Li, X. (2019). Quality and authenticity control of functional red yeast rice—a review. Molecules, 24(10), 1944.
43. Ma, J., Li, Y., Ye, Q., Li, J., Hua, Y., Ju, D., ... & Chang, M. (2000). Constituents of red yeast rice, a traditional Chinese food and medicine. Journal of agricultural and food chemistry, 48(11), 5220-5225.
44. Caro, Y., Venkatachalam, M., Lebeau, J., Fouillaud, M., Dufossé, L., Merillon, J. M., & Ramawat, K. (2016). Fungal Metabolites. Reference Series in Phytochemistry.
45. Yudiarti, T., Sugiharto, S., Isroli, I., Widiastuti, E., Wahyuni, H. I., & Sartono, T. A. (2019). Effect of fermentation using Chrysonillia crassa and Monascus purpureus on nutritional quality, antioxidant, and antimicrobial activities of used rice as a poultry feed ingredient. Journal of Advanced Veterinary and Animal Research, 6(2), 168.
46. 27. Karimi, S., Mahboobi Soofiani, N., Lundh, T., Mahboubi, A., Kiessling, A., & Taherzadeh, M. J. (2019). Evaluation of filamentous fungal biomass cultivated on vinasse as an alternative nutrient source of fish feed: Protein, lipid, and mineral composition. Fermentation, 5(4), 99.
47. Al-Farsi, M., Al Bakir, A., Al Marzouqi, H., & Thomas, R. (2019). Production of single cell protein from date waste. By-Products of Palm Trees and Their Applications, 11, 302.

48. 29. Gamarra-Castillo, O., Echeverry-Montaña, N., Marbello-Santrich, A., Hernández-Carrión, M., & Restrepo, S. (2022). Meat substitute development from fungal protein (Aspergillus oryzae). Foods, 11(19), 2940
49. Salgado, C. L., Muñoz, R., Blanco, A., & Lienqueo, M. E. (2021). Valorization and upgrading of the nutritional value of seaweed and seaweed waste using the marine fungi Paradendryphiella salina to produce mycoprotein. Algal Research, 53, 102135.
50. Landeta-Salgado, C., Cicatiello, P., & Lienqueo, M. E. (2021). Mycoprotein and hydrophobin like protein produced from marine fungi Paradendryphiella salina in submerged fermentation with green seaweed Ulva spp. Algal Research, 56, 102314
51. Bajpai, P. (2017). Single cell protein production from lignocellulosic biomass (pp. 1-78). Singapore: Springer.
52. 33. I., Herrera, Bravo, de, Laguna., F., J., Toledo, Marante., Roberto, Mioso. (2015). Enzymes and bioproducts produced by the ascomycete fungus Paecilomyces variotii. Journal of Applied Microbiology, 119(6):1455-1466. doi: 10.1111/JAM.12934
53. 34. Hooft, J. M., Montero, R., Morales-Lange, B., Blihovde, V. F., Purushothaman, K., Press, C. M., ... & Øverland, M. (2024). Paecilomyces variotii (PEKILO®) in novel feeds for Atlantic salmon: Effects on pellet quality, growth performance, gut health, and nutrient digestibility and utilization. Aquaculture, 589, 740905.