مروری بر تولید پروتئین تک یاخته از ضایعات

An overview of single cell protein production from waste products

نهایه نجفی[۱]، پیمان رجایی[۲]

دریافت :۱۴۰۱/۱۰/۱۱ پذیرش:۱۴۰۲/۰۲/۱۵

چکیده:

ضایعات مواد غذایی یک مشکل جدی با پیامدهای منفی زیست محیطی و اقتصادی است. مواد غذایی استفاده نشده (چه به عنوان ضایعات یا فرآورده‌های جانبی که به عنوان باقیمانده مواد غذایی از آن یاد می‌شود) منبعی از کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات زیست فعال است که می‌تواند برای جلوگیری از دور ریختن آن‌ها در یک چرخه جایگزین یا ثانویه استفاده شود. بررسی‌های کنونی در راستای استفاده از بقایای مواد غذایی برای مهندسی زیستی پروتئین تک سلولی، پرداختن به جنبه های تولید، تغذیه و ایمنی، چشم اندازهای اصلی تولید SCP[۳] است. SCP از میکروارگانیسم‌های مختلف از جمله قارچ‌ها، باکتری‌ها، مخمرها و جلبک‌ها به صورت خالص یا مخلوطی از این‌ها بدست می‌آیند. SCP به طور کلی حاوی درصد بالایی از پروتئین و منبع اسیدهای آمینه ضروری از جمله متیونین، ترئونین و لیزین هستند. استفاده از بقایای مواد غذایی به عنوان بستر برای تولید SCPهزینه های تولید را کاهش می‌دهد. با این حال چالش‌های، بهینه سازی در مقیاس صنعتی به قوت خود باقی است. استفاده از ضایعات غذایی و محصولات جانبی کشاورزی می تواند جایگزین امیدوار کننده ای برای تولید پروتئین باشد.

کلمات کلیدی: ضایعات مواد غذایی، پروتئین تک یاخته، مهندسی زیستی

۱- مقدمه

پیش بینی می‌شود که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹.۷ میلیارد نفر برسد. که باعث نیاز فزاینده به تولید حجم بیشتری از غذا، در شرایط ناپایدار سیستم های تولید فعلی در مورد پروتئین گردد. منبع فرآورده‌های گوشتی ارجح با بیشترین مصرف کننده با توجه به مصرف زیاد آن است. به عنوان مثال، در طول سال ۲۰۱۹-۲۰۲۱، متوسط مصرف سرانه گوشت در آمریکای شمالی، اقیانوسیه، اروپا و آمریکای لاتین به ترتیب ۹۸.۵، ۷۵.۶، ۶۳.۲ و ۶۰.۹ کیلوگرم بود. تغییرات جزئی برای این ارقام برای سال ۲۰۳۱ پیش بینی شده است. سرانه مصرف فعلی گوشت از مقدار توصیه شده روزانه گوشت بیشتر است، که سازمان جهانی تحقیقات سرطان (کمتر از ۵۰۰ گرم در هفته) را توصیه کرده است[۲]

[۱] دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم وصنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
[۲] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
نویسنده مسئول مکاتبه کننده: prajaei@gmail.com

مصرف گوشت زیاد با اثرات نامطلوب مختلف برای سلامتی، از جمله بیماری های قلبی عروقی مرتبط است. دیابت، سرطان و حتی خطر مرگ و میر را نیز افزایش می‌دهد. سازمان بهداشت جهانی[۴] اعلام کرد که هر سهم ۵۰ گرمی گوشت فرآوری شده-ای که روزانه مصرف می‌شود خطر ابتلا به سرطان کولورکتال را ۱۸ درصد افزایش می‌دهد بنابراین مصرف منابع پروتئینی می‌تواند جایگزین مناسبی برای پیشگیری از برخی بیماری‌های مزمن غیرواگیر باشد، به نظر می‌رسد که اکثر مصرف کنندگان تمایلی به کاهش مصرف گوشت خود ندارند با وجود مشکلات شناخته شده ناشی از مصرف گوشت و همچنین حمایت از حیوانات در حال حاضر منابع پروتئینی جایگزین مختلفی وجود دارد: از جمله حشرات خوراکی، پروتین‌های گیاهی، و پروتئین تک سلولی از جمله بیشترین موارد هستند. [۲]

SCP بیوپروتئین، پروتئین میکروبی یا زیست توده پروتئین نامیده می‌شود. که از میکروارگانیسم‌های مختلف از جمله قارچ‌ها، باکتری‌ها، مخم‌ها و جلبک‌ها به صورت خالص یا ترکیبی به دست می آید. تولید پروتئین تک سلولی در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰تا حدودی به دلیل کمبود مواد غذایی افزایش یافت. میکروارگانیسم‌های تولید کننده پروتئین می توانند منبع کربوهیدرات‌های پیچیده نیز باشند مانند (فیبر محلول و نامحلول)، لیپیدها، مواد معدنی و ویتامین‌ها [۱۱]

ارتباط تغذیه ای استفاده از میکروارگانیسم ها برای به دست آوردن پروتئین برای اهداف غذایی مزایای زیادی نسبت به منابع معمولی دارد، از جمله:

۲-تولید

۱-رشد سریع میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه تولید سریع پروتئین، زیرا جمعیت باکتری‌ها و مخمرها در ۵ تا ۱۵ دقیقه دو برابر می شوند، در حالی که جلبک‌ها و کپک‌ها این کار را در ۲ تا ۴ ساعت انجام می‌دهند.

۲- فضای کمتر مورد نیاز پروتین ها با استفاده از میکروارگانیزم ها نسبت به پروتئین از منابع گیاهی و حیوانی، که نیاز به مناطق وسیعی از زمین دارد.

۳-کاهش نیاز آب در مقایسه با تولید پروتئین گیاهی و حیوانی

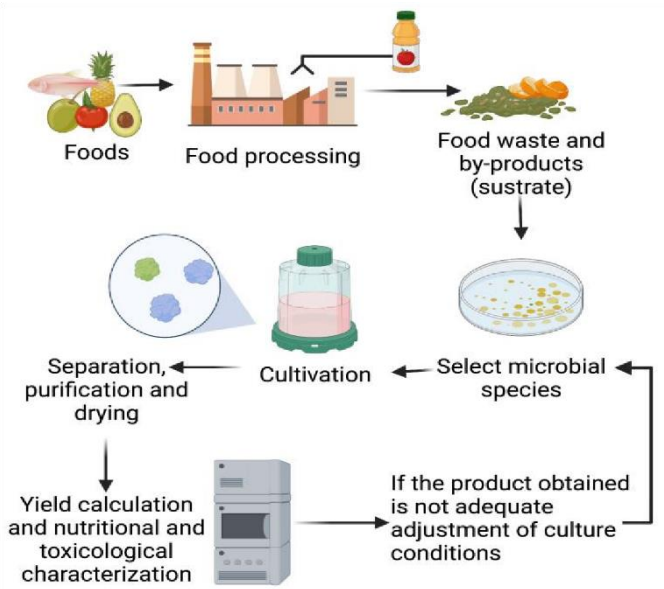
۴- تولید SCP مستقل از آب و هوا یا فصول است، اما نیاز به محیط کشت تحت شرایط کنترل شده دارد، مانند دما، اکسیژن، نور و اختلاط مداوم .

۵- SCP نیازی به استفاده از حشره کش‌ها، علف کش‌ها، قارچ کش‌ها و کودها و سایر آلاینده‌های که باعث آلودگی محیط زیست و سایش خاک می شود ندارند.

تولید SCP را می توان از میکروارگانیسم‌های مختلف به دست آورد. قارچ‌های شناخته شده‌ای که به طریق مختلف برای بشر مفید است، مانند: تولید مواد غذایی، آنتی‌بیوتیک‌ها، داروها، واکسن و الکل، قارچ‌ها به شکل مخمرها و کپک ها وجود دارد که مخمرها بیشترین استفاده را در تولید SCPدارند. در تولید SCP برجسته ترین و پرمصرف ترین گونه‌های مخمر ساکارومایسس سرویزیه[۵] و کلویورومایسس مارکسیانوس[۶] هستند.

فرآوری و دفع صحیح مواد غذایی استفاده نشده پرهزینه است و بنابراین استفاده از آنها برای تولید SCP این هزینه‌ها را به حداقل می‌رساند و منجر به سود اقتصادی می‌شود. سالانه تن ها مواد غذایی هدر رفته و دور ریخته می‌شود که می‌توان آن را در تولید SCP برای مصرف انسانی، با گرید غذایی در نظرگرفت.[۱۲]

SCP را می‌توان از تعداد زیادی از میکروارگانیسم‌ها به دست آورد، اما زمانی که مصرف انسان در میان باشد، تولید آنها محدود هستند. انتخاب مناسب‌ترین گونه تحت تأثیر سرعت رشد، بستر و شرایط بهینه رشد، مانند دما، pH و نیازهای مواد مغذی (به ویژه کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی)است. میکروارگانیسم انتخاب شده همچنین باید غیر بیماریزا باشد، حاوی درصد کمی اسیدهای نوکلئیک باشد و باید بی‌ضرر باشد [۱۳]. انتخاب به شدت تحت تأثیر عملکرد پروتئین آن است. به عنوان مثال، این مقدار برای ریزجلبک‌ها، باکتری‌ها و مخمرها به ترتیب بین ۶۰ ۷۰، ۳۰ و ۸۰ و ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی بر وزنی است. با این حال، این درصدها می‌توانند با توجه به بستر مورد استفاده برای هر مورد در شرایط رشد بهینه متفاوت باشند.پسماندهای بی ضرر تولید شده از صنایع غذایی می‌توانند به عنوان بسترهای این فرآیند در نظر گرفته شوند و در نتیجه میزان ضایعات مواد غذایی را کاهش دهند. این رویکرد می‌تواند ارزش افزوده‌ی مواد بلا استفاده را با اجازه دادن جهت ورود مجدد به زنجیره تولید غذا به عنوان گام مهمی در اقتصاد و همچنین امنیت غذایی جهانی کمک کند. فرآیند اصلی تولید SCP هزینه‌های تولید خود را کاهش می‌دهد اگر مواد ورودی مورد استفاده (بستر) هزینه مالی پایینی داشته باشد [۱۱] بنابراین، هدف تولید SCP جهت استفاده از محصولات جانبی صنایع غذایی که به طور طبیعی غنی از بسترهای مختلف هستند متمرکز است. که معمولاً برای رشد میکروارگانیسم ها استفاده می شوند و هزینه آنها می‌تواند تقریباً صفر باشد. فرآیند اصلی برای تولید SCP در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. بهینه سازی تولید SCP از بقایای مواد غذایی (ضایعات غذایی و محصولات جانبی‌کشاورزی).

Figure 1. Optimizing SCP production from food residues (food waste and agricultural by-products).

ذکر این نکته ضروری است که بستر باید حاوی مواد مغذی (به ویژه کربن و نیتروژن) به شکلی باشد که به راحتی در دسترس میکروارگانیسم باشد، مانند مونوساکاریدها و دی ساکاریدها [۱۱]. در این راستا، گزارش شده است که نسبت بیشتری از کربوهیدرات های قابل تخمیر باعث افزایش عملکرد SCP می شود. کاشیف و همکارانش در مطالع ای نشان دادند ،ساکارومایسس سروزیه کشت شده در بستری مبتنی بر پوست سیب زمینی با ۸۲.۳۲ درصد کربوهیدرات، عملکرد بالاتری نسبت به تفاله هویج، پوست موز و پوست پرتقال نشان داد که محتوای کربوهیدرات آنها به ترتیب ۶۱.۸۶، ۵۹.۰۰ و ۵۴.۱۷ درصد بود. علاوه بر این، نشان داده شده است که تنظیم منبع کربن و ظرفیت تبدیل آن را می‌توان با گنجاندن اسیدهای چرب فرار در مایع تخمیر زباله، که باعث افزایش تولید زیست توده توسط باکتری‌های فتوسنتزی می‌شود، به دست آورد. این به دلیل فعالیت تحریک‌کننده مسیرهای متابولیک است که می‌تواند اسیدهای چرب فرار را به اسیدهای تری‌کربوکسیلیک[۷] و یا استیل-CoA[۸]تبدیل کند، که هر دو مسیر حیاتی در تولید SCP هستند.

وجود ترکیبات ضد میکروبی نیز باید در نظر گرفته شود زیرا آنها می‌توانند رشد و تولید پروتئین را مهار کنند. به عنوان مثال، کاهش عملکرد به دلیل وجود لیمونن، ترپن‌ها و کامفن موجود در پوست مرکبات گزارش شده است . اگر بستر حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات با اثرات ضد باکتری مشابه باشد، لازم است قبل از استفاده از آن، پیش تیمارها اعمال شود. اتوکلاو

کردن به عنوان یک روش ساده برای این منظور گزارش شده است، زیرا می‌تواند غلظت لیمونن در پوست پرتقال را تا ۶۲٪ کاهش دهد که باعث بهبود رشد استافیلوکوکوس سرویزیه می شود .

دما و منابع نیتروژن از دیگر عوامل مهمی هستند که باید در طول تولید SCP در نظر گرفته شوند. مخمر کلایورمایس مارکیانوس در اتحادیه اروپا و در ایالات متحده در مقایسه با کلایوروماییسس لاکتیس[۹] حتی در دماهای بالا (بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد) رشد سریعتری دارد و اکثر سویه های آن الکلی ندارند. . افزودن نمک های آمونیوم باعث افزایش ۴۵ درصدی پروتئین شده[۷] وجود کافی نیتروژن در محیط کشت کاملا ضروری است. اگر با نسبت کربن: نیتروژن ۱۰:۱ انجام شود . در این راستا، گزارش شده است که افزودن سولفات آمونیوم > نیترات آمونیوم > (نیترات سدیم، ذرت یا لیکور اوره) به محیط کشت ساکارومایسس سروزیه باعث افزایش عملکرد SCP می‌شود که از تخمیر صنعتی بقایای مواد غذایی حاصل می‌شود. با این حال، کنترل منبع و غلظت نیتروژن نیز مهم است زیرا غلظت‌های بالای یون آمونیوم NH_4^+بر رشد و تحمل به دمای بالای کلایوروماییسس مارکسیانوس تأثیر منفی می‌گذارد، که ممکن است به منابع نیتروژن آلی متناوب نیاز داشته باشد.

هنگامی که میکروارگانیسم ها به زیست توده کافی رسیدند، SCP باید جدا شود. این فرآیندهای جداسازی شامل مراحل مختلف استخراج و تصفیه است که می‌تواند زمان، مصرف انرژی و هزینه تولید را افزایش دهد و ممکن است پایداری را کاهش دهد. هنگامی که SCP جدا شد، می توان آن را به مواد تشکیل دهنده تبدیل کرد، مرحله ای که پیچیدگی و هزینه آن به خلوص یا کاربردهای مورد نظر بستگی دارد. برای به دست آوردن پروتئین از توده زیستی، باید ارگانیسم تولیدکننده را غلیظ کرد و محیط آبی که در آن وجود دارد را از طریق خشک کردن حذف نمود. برای مثال، برداشت ریزجلبک‌ها را می‌توان از طریق انعقاد، لخته‌سازی، فیلتر کردن و سانتریفیوژ کردن و سایر روش‌ها انجام داد. هنگامی که زیست توده خشک شد و به دلیل اینکه پروتئین آن در داخل سلول ها قرار دارد، لازم است که غشای آن ها مختل شود و سلول‌ها باز شوند. از هم گسیختگی سلولی می‌تواند از طریق روش‌های فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی صورت گیرد، به عنوان مثال، میدان‌های الکتریکی پالسی، کاویتاسیون هیدرودینامیکی یا تغییرات فشار، آنزیم‌ها یا قلیاها و... انجام شود [۳]. پس از این مرحله، محصول متشکل از ذرات با اندازه‌های مختلف و با تمام اجزای تشکیل دهنده آنها از جمله لیپیدها، پروتئین ها، اسیدهای نوکلئیک و غیره است. سپس خالص‌سازی پروتئین عمدتاً با سانتریفیوژ و فیلتراسیون و به دنبال آن تقسیم پروتئین بر اساس حلالیت آن انجام می‌شود. جداسازی پروتئین‌ها نیز می‌تواند با توجه به پراکندگی، چگالی یا اندازه آنها انجام شود. این فرآیندها ضروری هستند اما می‌توانند پرهزینه باشند و در نتیجه هزینه نهایی محصولات به دست آمده را افزایش دهند[۴] پروتئین را از ریزجلبک *Arthrospira platensis* از پساب‌ها به دست آوردند.

فرآیندهای گزارش شده توسط اسمیت و همکاران، که ذکر می‌کنند تولید یک جایگزین گوشت بر اساس مایکوپروتئین با تقاضای انرژی بالا همراه است. آن‌ها همچنین اشاره می‌کنند که محصول مبتنی بر مایکوپروتئین تأثیر زیست محیطی کمتری نسبت به گوشت آزمایشگاهی دارند، اما تأثیر بهتری نسبت به گوشت مرغ یا جایگزین‌های گوشت بر پایه لبنیات و گلوتن نشان می‌دهد [۱۲]که استدلالی جهت تحقیقات بیشتر برای بهینه‌سازی فرآیندهای تولید SCP است.

۳. محتوای مواد مغذی محیط کشت SCP

کمیت و کیفیت SCP به میکروارگانیسم مورد استفاده و شرایط کشت آن بستگی دارد. به عنوان مثال، بازده پروتئین ریزجلبک ها می‌تواند به طور گسترده ای از ۳۰ تا ۸۰ درصد متفاوت باشد SCP به طور کلی حاوی درصد بیشتری از پروتئین نسبت به: سویا (۳۸.۶٪)، ماهی (۱۷.۸٪)، گوشت (۲۱.۲٪) و شیر کامل (۳.۲۸٪) است.

SCP از هماتوکوکوس پلویالیس[۱۰] و ساکارومایسس سروزیه منبعی از ترئونین (تا ۷.۴۱٪) و تریپتوفان (تا ۱۴.۲۲٪) است که هر دو به ترتیب اسیدهای آمینه را در شیر و گوشت محدود می کنند SCP منبعی از اسیدهای آمینه ضروری متیونین، ترئونین و لیزین است که در غلات کمبودی وجود دارد که نشان می‌دهد می‌توان آنها را برای به دست آوردن یک غذای مغذی‌تر با هم ترکیب کرد. پروتئین SCP می تواند بالاتر از سایر منابع پروتئینی باشد که به طور بالقوه می‌تواند فوایدی را برای ارگانیسمی که آن را مصرف می‌کند اعمال کند. به عنوان مثال، افزودن یک متانوتروف *Methylococcus capsulatus*، به رژیم غذایی ماهی کپور به طور قابل توجهی میانگین وزن نهایی، سرعت افزایش وزن، سرعت رشد ویژه و ظرفیت آنتی اکسیدانی سرم را بهبود بخشید و در عین حال تولید مالون دی آلدئید[۱۱] را به طور قابل توجهی کاهش داد در مقایسه با ماهی تغذیه شده با کنجاله سویا [۱۴]

۴. ایمنی

SCP ممکن است حاوی موادی باشد که برای سلامتی انسان مضر باشد، مانند سموم، اسیدهای نوکلئیک RNA، آلرژن‌ها، پاتوژن‌ها، آفت‌کش‌ها و فلزات سنگین و .... محتوای اسیدهای نوکلئیک RNAدر SCP می‌تواند یک مشکل برای سلامت انسان باشد، زیرا مصرف زیاد پورین می‌تواند غلظت اسید اوریک (هیپراوریسمی)[۱۲] را که پیش ساز بیماری هایی مانند نقرس یا سنگ کلیه است، افزایش دهد [۱۰] یک استراتژی پیشگیرانه در مورد اسیدهای نوکلئیک، انتخاب یک میکروارگانیسم مناسب است که به طور معمول حاوی غلظت های پایین باشد، به عنوان مثال جلبک بیش از قارچ ها و باکتری ها. گزینه‌های دیگری نیز برای کاهش آن ارزیابی شده‌اند، از جمله آنزیم‌ها (ریبونوکلئازها) یا تیمارهای حرارتی یا افزودن نمک‌ها، اسیدها یا هیدروکسیدها . در این راستا، تیمارهای مختلفی برای کاهش غلظت اسید نوکلئیک استافیلوکوکوس سرویزیه تولید شده در

هنگام کشت بر روی پوست سیب زمینی گزارش شد که در آن تیمار شوک حرارتی (۷۰ درجه سانتیگراد برای ۸۰ ثانیه)، باز NaOH، ۱ نرمال، اسید (HCl)، ٪۲ و نمک (NaCl، ٪۲) آن را به ترتیب ۴۳٪، ۳۶٪، ۲۰٪ و ۱۷٪ کاهش دادند [۱۰]

وجود سموم تولید شده توسط میکروارگانیسم ها نیز نیازمند توجه است. با انتخاب دقیق گونه‌ها، بسترها و شرایط محیطی می‌توان از این امر جلوگیری کرد، برای مثال ترجیح دادن جلبک‌ها بر قارچ‌ها، زیرا برخی از گونه‌های قارچی می‌توانند مایکوتوکسین‌هایی با پتانسیل آلرژی‌زا یا سرطان‌زا تولید کنند. برخی از میکروارگانیسم‌ها همچنین قادر به تولید سموم (اگزوتوکسین‌ها[۱۳] و اندوتوکسین‌ها[۱۴]) از جمله مایکوتوکسین‌ها، اکراتوکسین‌ها و آفلاتوکسین‌ها هستند که اثرات آنها بر سلامت انسان می‌تواند قابل توجه باشد. حدود ۵۰ گونه از فوزاریوم تولید کننده مایکوتوکسین ها (فومونیزین ها) هستند که می توانند به سیستم عصبی مرکزی آسیب وارد کنند ، بنابراین این استدلال را تقویت می‌کند که انتخاب مناسب ترین میکروارگانیسم از اهمیت بالایی برخوردار است. .[۲]

وقایع آلرژیک یا مشابه در انسان نیز به دلیل مصرف غذاها یا مکمل های مبتنی بر میکروارگانیسم ها گزارش شده است.به عنوان مثال، مصرف قرص اسپیرولینا باعث ایجاد آنافیلاکتیک[۱۵] در یک نوجوان می‌شود که در آن وجود فیکوسیانین به عنوان عامل آن شناسایی شد. موردی نیز ثبت شد که در آن پسری قرص کلرلا را به مدت ۳ ماه مصرف کرد که منجر به نفریت توبولو اینترستیشیال حاد شد. بنابراین، آلرژی یا حساسیت به میکروارگانیسم ها نیز باید در نظر گرفته شود.

سایر آلرژن‌ها، آلاینده‌ها یا مواد مضر از بستر را می‌توان با یک فرآیند غربالگری دقیق کاهش داد. بنابراین، بسترهای منفرد مانند گلوکز، دکستروز یا ساکارز نیز ممکن است به عنوان مکمل های ممکن برای این فرآیند در نظر گرفته شوند. این‌ها مواد مضر موجود در بستر را به حداقل می‌رسانند و در نتیجه سطح بالایی از ایمنی را برای محصولاتی که برای مصرف انسان یا حیوان در نظر گرفته شده‌اند، ارتقا می‌دهند. اگر اقدامات احتیاطی قبلی در نظر گرفته شود، مانند انتخاب دقیق میکروارگانیسم و استفاده از بسترهای بی ضرر، به طور ایده آل، برای از بین بردن مواد سمی یا آلاینده های بالقوه باید انجام شود. در غیر این صورت، مراحل پردازش اضافی می تواند باعث کاهش بازده و یا افزایش هزینه شود.[۲]

۵- کاربردها و چالش های پروتئین تک سلولی

SCP به دست آمده از تخمیر بقایای مواد غذایی به عنوان یک منبع پروتئینی مناسب پیشنهاد شده است که می تواند در فرمولاسیون های مختلف (مانند مکمل های پروتئینی) برای تغذیه انسان و حیوان استفاده شود.

هاشم و همکاران از ملاس خرما (یک محصول جانبی حاصل از ساخت آنها) استفاده کرد که قادر به حمایت از رشد یک زیست توده مخمر بزرگ و SCP است. نویسندگان غلظت بالایی از قندهای کاهنده (۷۳.۱۲٪) را گزارش کردند که آن را برای ترکیب

در محیط رشد مخمر مناسب کرد، و پارامترهای تخمیر را بهبود بخشید. از آنجا که این محصولات فرعی خرما را می‌توان با موفقیت به SCP تبدیل کرد، گزارش شد که می‌توان از آنها به عنوان بستری برای تامین کربن و مواد معدنی برای تولید آن استفاده کرد. آنها نشان می دهند که SCP می تواند به صورت صنعتی به عنوان مکمل برای خوراک دام استفاده شود[۵]

فرآوری صنعتی قهوه مقادیر زیادی فاضلاب تولید می کند که به عنوان یک جایگزین بیوتکنولوژیکی برای به دست آوردن عصاره مغذی غنی حاوی مقادیر زیادی قند، پروتئین و نمک استفاده شده است. پیلاکا پولو و همکاران مشاهده کردند که مخمر کاندیدا سوربوکسیلوسا[۱۶]قادر به جذب موفقیت‌آمیز گلوکز، مانوز و فروکتوز (قندهای احیا کننده) از این بستر است که منجر به بازده SCP بالای ۳۷.۴٪ تا ۳۹٪ می شود که می تواند به عنوان یک پروتئین جایگزین اقتصادی استفاده شود. منبع مکمل های خوراک دام ، فاضلاب حاصل از پوست سیب زمینی (به همراه ۵٪ گلیسرول) به عنوان منبع کربن استفاده شد که مشاهده کردند کاندیدا یوتیلیس قادر به تبدیل آن به SCP با بازده ۳۰ دسی گرم در لیتر و بازدهی در بیوسنتز پروتئین ۱۲/۲ گرم در لیتر بود. آنها استدلال می کنند که از آنجایی که این مخمر توسط FDA ایمن برای مصرف تایید شده است، زیست توده و متابولیت‌های آن می‌توانند هم در صنایع غذایی و هم در تولید خوراک دام استفاده شوند. با توجه به این شواهد، پساب صنایع مختلف می تواند به SCP تبدیل شود. [۶]

فرآوری صنعتی قهوه مقادیر زیادی فاضلاب تولید می کند که به عنوان یک جایگزین بیوتکنولوژیکی برای به دست آوردن عصاره مغذی غنی حاوی مقادیر زیادی قند، پروتئین و نمک استفاده شده است. پیلاکا پولو و همکاران مشاهده کردند که یک مخمر کاندیداسوربوکسیلاسا قادر به جذب موفقیت آمیز گلوکز، مانوز و فروکتوز (قندهای احیا کننده) از این بستر است که منجر به بازده SCP بالای ۳۷.۴٪ تا ۳۹٪ می شود که می تواند به عنوان یک پروتئین اقتصادی جایگزین استفاده شود. منبع مکمل های خوراک دام به طور مشابه، فاضلاب حاصل از پوست سیب زمینی (به همراه ۵٪ گلیسرول) به عنوان منبع کربن استفاده شد. که مشاهده کردند کاندیدا یوتیلیس قادر به تبدیل آن به SCP با بازده ۳۰ دسی گرم در لیتر و بازدهی در بیوسنتز پروتئین ۱۲/۲ گرم در لیتر بود. آنها استدلال می کنند که از آنجایی که این مخمر توسط FDA به عنوان ایمن برای مصرف تایید شده است، زیست توده و متابولیت های آن می توانند هم در صنایع غذایی و هم در تولید خوراک دام استفاده شوند. با توجه به این شواهد، پساب صنایع مختلف می تواند به SCP تبدیل شود. [۹]

استفاده از فاضلاب و بقایای مواد غذایی و ضایعات مختلف به عنوان بسترهای کم هزینه برای تولید SCP می تواند اثرات زیست محیطی آنها را کاهش دهد. اگرچه شواهد امیدوارکننده هستند، اما این یک حوزه مطالعه نسبتاً جدید است که هنوز به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. بسیاری از کاربردهای بالقوه توسط نویسندگانی که SCP را از منابع مختلف تولید کرده‌اند پیشنهاد شده‌اند، اما بیشتر آنها به‌طور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته‌اند. تأثیر آن‌ها بر خواص فیزیکوشیمیایی

و ارگانولپتیکی محصولی که در آن افزوده می‌شود. بنابراین، آزمایش‌های تکمیلی مختلفی در این زمینه وسیع مورد نیاز است تا به طور کامل کاربردهای دنیای واقعی آن را بررسی کنیم، که به عنوان چالش‌های دهه‌های آینده باقی می‌مانند. گزارش شده است که تقاضا برای پروتئین در دهه های آینده به میزان قابل توجهی افزایش خواهد یافت. این تجزیه و تحلیل ها در مورد استفاده ها و فعالیت های زیستی SCP باید انجام شود زیرا نیاز به منابع پروتئین جایگزین و نوآوری در این زمینه به طور مداوم در حال افزایش است. این امر مستلزم تلاش‌های هماهنگ توسط کسب‌وکارها و سرمایه‌گذاران مختلف است که ظرفیت اقتصادی و یا تکنولوژیکی آنها می‌تواند بر حل چالش‌های مختلفی که این صنعت در حال توسعه با آن مواجه است متمرکز شود . چالش اصلی دیگر این است که چگونه می توان SCP را در رژیم غذایی روزمره گنجاند. در حال حاضر محصولات مختلف مبتنی بر SCP در بازار وجود دارد، با این حال، آنها یک محصول خاص باقی می مانند که به طور گسترده قابل دسترس جهت مصرف نیستند. این موضوع می‌تواند با ارائه غذاهای مبتنی بر SCP در رستوران‌ها برای محبوبیت آن‌ها در بخش وسیع‌تری از بازار تولید غذاهای کاربردی با خواص تغذیه‌ای افزایش یافته حل شود .به منظور به حداکثر رساندن پذیرش بالقوه بازار، و مصرف کننده ممکن است با برجسته کردن مزایای سلامتی بالقوه SCP ارتقا یابد.اگرچه گزارش‌های متعددی در مورد ارزش غذایی و اثرات ارتقاء سلامت SCP وجود دارد، تحقیقات بیشتری مورد نیاز است، به‌ویژه برای تأیید خواص محصولاتی که از منابع صنعتی در مقیاس بزرگ بدست می‌آیند، زیرا بیشتر داده‌ها از نمونه‌هایی به دست آمده از سطح آزمایشگاهی هستند.در نهایت، کارایی استفاده از کربن و نیتروژن از ضایعات مواد غذایی باید به وضوح با روشی استاندارد تجزیه و تحلیل شود تا بتوان بین بسترهای مختلف و با منابع سنتی این عناصر مقایسه کرد. چنین داده‌هایی معرف جدید تعیین کننده مزیت های اقتصادی زیست توده به زنجیره فرآوری مواد غذایی را ممکن می‌سازد تا برای سرمایه‌گذاران، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان جذاب‌تر شود و در عین حال داده‌های مشخصی را در اختیار سیاست‌گذاران قرار دهد. [۲]

۶ . مزایای استفاده از SCP

- ✓ امکان استفاده از مواد غذایی که برای انسان قابل استفاده نیستند و به عنوان سوستبرا برای تولید SCPبه کار می روند.
- ✓ تولید میکروارگانیسم هایی که پروتئین زیادی (براساس وزن خشک) دارند.
- ✓ مقدار پروتئین ممکن است نزدیک ۷۰-۶۰ درصد وزن سلول را تشکیل دهد.
- ✓ افزایش سریع سلول ها (پروتئین) که علت آن کوتاه بودن فوق العاده زمان تقسیم است.
- ✓ فرآیند تولید به شرایط اقلیمی بستگی ندارد.
- ✓ تولید مواد جانبی مفید مثل اسید های ارگانیک در طول تولید SCP
- ✓ امکان بهینه سازی توالی اسید های آمینه موجود در پروتئین تولیدی به کمک مهندسی ژنتیک [۱]

۷-انتخاب میکروارگانیسم مناسب

محدوده وسیعی از میکرو ارگانیسم ها توانایی تولید SCP را از منابع مختلف دارند که جزء دسته جلبک ها ، باکتری ها ، قارچ های رشته ای و یا مخمر ها قرار می گیرند. حجم و نوع پروتئین به مقدار زیادی به میکروارگانیسم به کار رفته و نوع فرایند تخمیر بستگی دارد. باکتری ها عمدتا سرعت رشد بالاتری داشته و نسبت به مخمر ها یا قارچ های رشته ای قادر به رشد در دماهای بالاتری می باشند و معمولا حاوی پروتئین بیشتری هستند. مخمر ها نسبتا سریع رشد می‌نمایند و همانند باکتری‌ها تک سلولی بودن آن ها باعث شده است که نسیت به ارگانیسم های رشته‌ای مشکلات تخمیری کمتری را ایجاد نمایند. البته ، بسیاری از قارچ های رشته ای قادر به تجزیه طیف وسیعی از مواد هستند و همانند مخمر ها می توانند pH پایین را تحمل نمایند. این ارگانیسم ها نسبت به مخمر ها یا باکتری ها در انتها ی دوره تخمیر به سادگی برداشت می‌شوند. [۲]

۸-.منابع مناسب جهت تولید پروتئین تک یاخته

هزینه بستره کربنی حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد از هزینه نهایی تولید را شامل می شود. البته هزینه نهایی تولید به عوامل متعددی چون : عملکرد زیست توده به ازای واحد بستره مصرف شده ، کارایی (مقدار کیلوگرم زیست توده تولید شده به ازای واحد حجم راکتور در واحد زمان) و هزینه های بستره‌های ، فراوری و هر فرایند اضافی دیگر ، نیروی انسانی و سرمایه گذاری اولیه بستگی دارد. بستره های عمده ای که در تولید تجاری پروتئین تک یاخته به کار می روند. الکل ها ، n - الکان ها ، ملاس ،لیکور سولفیت و آب پنیر می باشد [۱]

جدول۲: منابع مناسب جهت تولید پروتئین تک یاخته

Table 2: Suitable sources for single cell protein production

Carbon substrate	Microorganism
Carbon dioxide	*Spirulina* species *Chlorella* species
Liquid hydrocarbons (n-alkans)	*Saccharomycopsis lipolytica* *Candida tropicalis*
Methane	*Methylomonas methanica* *Methylococcus capsulatus*
Methanol	*Methylophilus methylotrophus* *Hyphomicrobium* species *Candida biodinii* *Pichia angusta*
Ethanol	*Candida utilis*
Glucose (hydrolysed starch)	*Fusarium venenatum*
Inulin (a polyfructan)	*Candida species* *Kluyveromyces* species
Molasses	*Candida utilis* *Saccharomyces cerevisiae*
Spent sulphite waste liquor	*Paecilomyces variotii*
Whey	*Kluyveromyces marxianus* *Kluyveromyces lactis* *Penicillium cyclopium*
Lignocellulosic wastes (solid substrate)	*Chyaetomium* species *Agaricus bisporus* *Cellulomonas* species

۹-.نتیجه گیری

SCP را می توان از تعداد زیادی از میکروارگانیسم ها به دست آورد، اما زمانی که مصرف انسان در میان باشد، تولید آنها محدود هستند. انتخاب مناسب ترین گونه تحت تأثیر سرعت رشد، بستر و شرایط بهینه رشد، مانند دما، pH و نیازهای مواد مغذی (به ویژه کربوهیدرات ها، ویتامین ها و مواد معدنی)است. میکروارگانیسم انتخاب شده همچنین باید غیر بیماریزا باشد، حاوی درصد کمی اسیدهای نوکلئیک باشد و باید بی ضرر باشد. محدوده وسیعی از میکرو ارگانیسم ها توانایی تولید SCP را از منابع مختلف دارند. باکتری ها عمدتا سرعت رشد بالاتری داشته نسبت به مخمر ها یا قارچ های رشته ای که قادر به رشد در دماهای بالاتری می باشند و معمولا حاوی پروتئین بیشتری هستند. مخمر ها نسبتا سریع رشد می نمایند و همانند باکتری ها تک سلولی بودن آن ها باعث شده است که نسیت به ارگانیسم های رشته ای مشکلات تخمیری کمتری را ایجاد نمایند. البته ، بسیاری از قارچ های رشته ای قادر به تجزیه طیف وسیعی از مواد هستند و همانند مخمر ها می توانند pH پایین را تحمل نمایند. این ارگانیسم ها نسبت به مخمر ها یا باکتری ها در انتهای دوره تخمیر به سادگی برداشت می شوند.

گنجاندن SCP در غذاها مقبولیت حسی را نشان داده است، که حتی جایگزین بهتری از گوشت های آزمایشگاهی و پروتئین های گیاهی است. SCP یک منبع پروتئین جایگزین امیدوارکننده است، اما هنوز چالش‌هایی در تولید آن وجود دارد، مانند طبقه‌بندی صنعتی با بازدهی سودآور، بهینه‌سازی فرآیندهای جداسازی، خالص‌سازی و حذف مواد سمی، علاوه بر این آزمایش‌های دیگر مورد نیاز برای تایید استفاده از آن در تغذیه حیوان و انسان (یا سایر اهداف) می باشد. نوآوری‌ها در مورد منابع پروتئینی جدید نیازمند تشویق کسب‌وکارها، سرمایه‌گذاران، دانشگاهیان و دولت‌ها است که حمایت اقتصادی، علمی، فناوری یا قانونی می‌تواند تغییرات قابل‌توجهی ایجاد کند. رشد در این زمینه به نفع همه جوامع مدرن است زیرا امروزه امنیت غذایی به یک موضوع حیاتی تبدیل شده. مهندسی زیستی ضایعات غذایی و محصولات جانبی کشاورزی در صنایع غذایی می تواند جایگزین امیدوارکننده ای برای به دست آوردن پروتئین در یک طرح تولید باشد که می تواند مزایای تغذیه ای، زیست محیطی و اقتصادی مختلفی داشته باشد.

منابع: **References**

۱- **سیف زاده،ن.موسوی نسب،م۱۳۹۰**..بیوسنتز پروتیین تک یاخته از ضایعات مود غذایی..بیستمین کنگره علوم و صنایع غذای ۰.صفحه۲۰۸۵-۲۰۹۱.

2- **Gabriel A. Barco-Mendoza, B. Shain Zuñiga-Martínez, J. Abraham Domínguez-Avila , R. Maribel Robles-Sánchez, Monica A. Villegas Ochoa. 2022**. Single-Cell Protein Production as a Strategy to Reincorporate Food Waste and Agro By-Products Back into the Processing Chain. Bioengineering. 9, 623.

3- **Amorim, M.L.; Soares, J.; Coimbra, J.S.D.R.; Leite, M.D.O.; Albino, L.F.T.; Martins, M.A. Microalgae proteins: 2021** Production, separation, isolation, quantification, and application in food and feed. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 1976–2002.

4- **Böcker, L.; Bertsch, P.; Wenner, D.; Teixeira, S.; Bergfreund, J.; Eder, S.; Fischer, P.; Mathys, 2021,** A. Effect of Arthrospira platensis microalgae protein purification on emulsification mechanism and efficiency. *J. Colloid Interface* Sci. 584, 344–353.

5- **Hashem, M.; Al-Qahtani, M.S.; Alamri, S.A.; Moustafa, Y.S.; Lyberatos, G.; Ntaikou, I. . 2022** Valorizing food wastes: Assessment of novel yeast strains for enhanced production of single-cell protein from wasted date molasses. Biomass Convers. Biorefin, 12, 4491–4502.

6- **Kurcz, A.; Błazejak, S.; Kot, A.M.; Bzducha-Wr˙ óbel, A.; Kieliszek, M. 2018**.Application of Industrial Wastes for the Production of Microbial Single-Cell Protein by Fodder Yeast Candida utilis. Waste Biomass Valorization, 9, 57

7- **Lukjanenko, J.; Kovtuna, K.; Grube, M.; Vigants, A. 2015**. Enhancement of protein content in "('Kluyveromyces marxianus')" biomass produced on cheese whey lactose. J. Biotechnol., 208, S76

8- **Molnár, J.; Pal, M. 2021**.Saccharomyces cerevisiae and Kluyveromyces marxianus: Possibilities and Role of the Most Popular Yeasts in Food Industry. Acta Sci. Microbiol., 4, 7–9.

9- **Pillaca-Pullo, O.S.; Lopes, A.M.; Rodriguez-Portilla, L.M.I.; Estela-Escalante, W . 2022.**Optimizing medium composition with wastewater from Coffea arabica processing to produce single-cell protein using Candida sorboxylosa. J. Chem. Technol. Biotechnol, jctb.7219.

10- **Ritala, A.; Häkkinen, S.T.; Toivari, M.; Wiebe, M.G. 2017**.Single Cell Protein—State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001–2016. Front. Microbiol, 8, 2009.

11-**Sharif, M.; Zafar, M.H.; Aqib, A.I.; Saeed, M.; Farag, M.R.; Alagawany, M. 2021**. Single cell protein: Sources, mechanism of production, nutritional value and its uses in aquaculture nutrition. Aquaculture, 531, 735885.

12- **Smetana, S.; Mathys, A.; Knoch, A.; Heinz, V. Meat alternatives. 2015**. Life cycle assessment of most known meat substitutes. Int. J. Life Cycle Assess, 20, 1254–1267.

13- **Thiviya, P.; Gamage, A.; Kapilan, R.; Merah, O.; Madhujith, T. 2022**. Single Cell Protein Production Using Different Fruit Waste: A Review. Separations, 9, 178.

14- **Yu, H.; Liang, H.; Longshaw, M.; Wang, J.; Ge, X.; Ren, M.; Zhang. 2022** . Methanotroph ..(Methylococcus capsulatus, Bath) bacteria meal (FeedKind®) could effectively improve the growth, apparent digestibility coefficient, blood biochemical parameters, antioxidant indices of juvenile Jian carp (Cyprinus carpio var. Jian). Anim. Feed. Sci. Technol., 288, 115293.

An overview of single cell protein production from waste products

Nahayeh Najafi[17], Peyman Rajaei[18]

Received:2021/12/22 Accepted: 2022/05/05

ABSTRACT:

Food waste is a serious problem with negative environmental and economic consequences. Unused food (whether as waste or by-products referred to as food residue) is a source of carbohydrates, lipids, proteins, vitamins, minerals and bioactive compounds. which can be used to prevent them from being thrown away in an alternative or secondary cycle. Current investigations in the direction of using food residues for single cell protein bioengineering, addressing aspects of production, nutrition and safety, are the main perspectives of SCP production. SCP are obtained from various microorganisms, including fungi, bacteria, yeasts and algae, in pure form or a mixture of these. SCPs generally contain a high percentage of protein and are a source of essential amino acids including methionine, threonine and lysine. Using food residues as a substrate for SCP production reduces production costs. However, the challenges of optimization on an industrial scale remain strong. The use of food waste and agricultural by-products can be a promising alternative for protein production.

Keywords: food waste, protozoan protein, bioengineering

[17] PhD student, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

[18] Assistant Professor, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

Corresponding author: prajaei@gmail.com