

پروتئین های تک یاخته:

راهبردی اقتصادی

در استفاده از ضایعات کشاورزی و صنایع غذایی

۱. مقدمه

تولید غذا در جهان همواره به صورت تصاعد حسابی رو به افزایش است در حالی که این افزایش در جمعیت های انسانی و حیوانی از نرخ تصاعد هندسی پیروی می نماید. از این رو کمبود مواد غذایی یکی از مهمترین مسائلی است که اکثر جوامع به نوعی در پی یافتن راهی برای حل آن هستند. با افزایش جمعیت جهان، روز به روز نیاز به مواد غذایی به ویژه مواد پروتئینی افزوده می گردد. این در حالی است که تأمین پروتئین مورد نیاز جوامع بشری همواره یکی از مشکلات اساسی عصر حاضر است که ریشه اصلی این معزل در تأمین نیاز پروتئینی حیوانات مخصوصاً دام، طیور و آبزیان و تکمیل غذای مورد نیاز آنها می باشد. یکی از اصلی ترین علل این مشکلات را می توان کمبود منابع آب در سطح جهان و به تبع آن بروز خشکسالی و از بین رفتن منابع طبیعی دانست. همین امر منجر شده است که کمبود علوفه و غذای دام و از بین رفتن بسیاری از زیستگاه ها، به یکی از مهمترین دغدغه های صنعت دام، طیور و شیلات مبدل شود. با توجه به مشکلات فوق و از آنجایی که پروتئین ها در کنار کربوهیدرات ها و چربی ها سه گروه اصلی مواد غذایی را تشکیل می دهند، یافتن منابع گوناگون و جدید، بستر مناسبی را برای پژوهش در این زمینه فراهم آورده است و دانشمندان را بر آن داشته که در جستجوی منابع ارزان قیمت برای تأمین پروتئین انسان و دام باشند.

طی سالیان اخیر مطالعات گسترده ای به منظور استفاده از میکروارگانیسم هایی نظیر مخمرها و باکتری ها به عنوان منابع پروتئین میکروبی جهت تولید غذای انسان و دام (به جای منابع پروتئینی رایج) صورت گرفته است. در حال حاضر از اینگونه منابع پروتئینی تحت عنوان «پروتئین های تک یاخته»، در جیره غذایی دام و طیور به طور گسترده و به عنوان منبع مستقیم پروتئینی انسانی به شکل محدودتری استفاده می شود به طوری که اکثر کشورهای جهان شانس خود را برای تبدیل مواد اولیه ارزان قیمت و قابل دسترس به منابع پروتئین با ارزش مورد بررسی قرار می دهند. استفاده از ضایعات سلولزی، آب پنیر، فاضلاب شهری، ملاس، باگاس، متانول، گاز طبیعی، اتانول و... به عنوان بسترهایی برای تولید پروتئین های تک یاخته مورد بررسی قرار گرفته است. لیکن یکی از مقرون به صرفه ترین و امن ترین مواد اولیه مورد استفاده، ضایعات حاصل از محصولات کشاورزی و صنایع غذایی است. این امر در کشوری از جمله ایران که تقریباً نیمی از محصولات کشاورزی بدون اینکه به مصرف برسند در مراحل مختلف از بین می روند بسیار حائز اهمیت است. این در

حالی است که ضایعات و پسماندهای مزارع در دیگر کشورها منابع اصلی تأمین موادی با ارزش افزوده بالا از جمله انواع اسیدهای آمینه و آلی مثل لیزین، آلانین، لاکتیک، گلوتامیک و ... برای صادرات به ایران و کشورهای مشابه می‌باشند.

۲. پروتئین تک سلولی (SCP) Single Cell Protein

سابقه استفاده از میکروارگانیسم‌هایی نظیر مخمرها و باکتری‌ها در غذاهای خانگی انسان‌ها به هزاران سال می‌رسد لیکن در دهه‌های اخیر روش‌های نوینی برای استفاده از محصولات تخمیری میکروبی در غذای انسان و خوراک حیوانات ابداع شده است.

اصطلاح «پروتئین تک سلولی» به سلول‌های خشک شده میکروارگانیسم‌هایی چون باکتری، مخمر، کپک، جلبک و یا قارچ‌هایی اطلاق می‌شود که در مقیاس وسیع کشت شده و به عنوان منابع پروتئین مورد مصرف دام و یا انسان قرار می‌گیرند. در این حالت هم پروتئین سلولی استخراج شده و هم کل مواد سلولی ممکن است SCP نامیده شود. اصطلاح پروتئین SCP اولین بار توسط پروفیسور کارل ویلسون در سال ۱۹۴۴ در انستیتو تکنولوژی ماساچوست آمریکا ابداع گردید. اولین کنفرانس بین‌المللی در مورد SCP در سال ۱۹۶۷ در ماساچوست برگزار شد و در آن، کمپانی بریتیش پترولیوم (BP) تنها ارائه‌کننده تولید صنعتی SCP شناخته شد. از آن زمان تا کنون کارخانه‌های متعددی در نقاط مختلف جهان به تولید SCP بصورت صنعتی اقدام نموده‌اند که بطور عمده از دو منبع سوبسرایبی هیدروکربنی و قندی برای تغذیه میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌نمایند. منابع سوبسرای قندی عمدتاً شامل ضایعات کشاورزی، فاضلاب‌های کارخانجات صنایع غذایی و صنایع چوب و کاغذ هستند در حالی که سوبسرایهای هیدروکربنی عمدتاً شامل مشتقات نفتی، اتانول و متانول می‌باشند. تولید پروتئین از پساب‌های حاوی کربن دو هدف عمده را برآورده می‌سازد. یکی حذف آلودگی زیست محیطی و دیگری تولید محصولی پروتئینی با قیمت ارزان، کیفیت مناسب و ارزش تغذیه‌ای بسیار بالا. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر فعالیت‌ها در توسعه فرایند تولید SCP توسط شرکت‌های نفتی صورت گرفته است. از این رو تحولات تولید SCP با تحولات قیمت نفت همزمانی داشته است به طوری که افزایش قیمت نفت در رکود صنعت تولید SCP بسیار تأثیرگذار بوده است و این امر از آنجا ناشی می‌شود که ۶۰ الی ۸۰ درصد هزینه‌های یک واحد تولید SCP مربوط به به هزینه‌های ماده اولیه است. از دیگر سو وضعیت کشاورزی کشورها و میزان دسترسی به منابع پروتئین گیاهی و جانوری ارزان قیمت نیز در میزان علاقه‌مندی به گسترش واحدهای تولید SCP نقش آفرینی می‌کند. این مسأله زمانی اهمیت خود را نشان می‌دهد که هزینه‌های حمل و نقل و کاهش کیفیت منابع پروتئین گیاهی و جانوری وارداتی در حجم و مسافت زیاد از هزینه‌های تولید بیولوژیکی تجاوز کند.

۳. مزایای پروتئین‌های تک‌یاخته

پروتئین‌های تک‌یاخته حاوی انواع اسیدهای آمینه، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اسیدهای نوکلئیک، نمک‌های معدنی و ویتامین‌ها می‌باشد که از ارزش تغذیه‌ای بسیار بالایی برخوردارند. استفاده از میکروارگانیسم‌ها برای تولید پروتئین تک‌یاخته به جای استفاده از منابع پروتئین حیوانی و گیاهی دارای مزایای متعددی است که با توجه به این موارد چشم‌انداز روشنی برای تولید این نوع پروتئین تصور می‌شود. برخی از این مزایا عبارتند از:

- ۱- امکان اصلاح ژنتیکی میکروارگانیسم‌ها
- ۲- سرعت رشد و محتوای پروتئینی بالای میکروارگانیسم‌ها
- ۳- استفاده از طیف وسیعی از روش‌ها، سوبستراها و میکروارگانیسم‌ها برای تولید این پروتئین‌ها
- ۴- عدم وابستگی تولید به تغییرات آب و هوایی
- ۵- عدم نیاز به فضای زیاد برای تولید و فرآوری
- ۶- سرعت و راندمان تولید بالا که دلیل آن کوتاه بودن زمان تقسیم سلولی میکروارگانیسم‌ها می‌باشد.
- ۷- ثابت بودن کیفیت فرآورده در طول فرایندهای غذایی
- ۹- امکان تولید میکروارگانیسم‌هایی با تولید میزان پروتئین زیاد (براساس وزن خشک). مقدار پروتئین ممکن است نزدیک ۶۰ تا ۷۰ درصد وزن مولکول را تشکیل دهد.

۴. میکروارگانیسم‌های تولیدکننده SCP

نوع میکروارگانیسم در تولید SCP بسیار پر اهمیت می‌باشد. به طوری که حجم و نوع پروتئین به مقدار زیادی به میکروارگانیسم به کار رفته و نوع فرآیند تخمیر بستگی دارد. محدوده وسیعی از میکروارگانیسم‌ها توانایی تولید SCP را از منابع مختلف دارند. که از آن جمله می‌توان به جلبک‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌های رشته‌ای و مخمرها اشاره نمود.

۴-۱. SCP حاصل از باکتری‌ها

باکتری‌ها عمدتاً در شرایط مناسب سرعت رشد و تکثیر بالایی دارند و نسبت به مخمرها یا قارچ‌های رشته‌ای قادر به رشد در دماهای بالاتری می‌باشند و معمولاً حاوی پروتئین‌های بیشتری هستند. به طوری که مقدار پروتئین برای این نوع از پروتئین‌های تک‌سلولی حدود ۵۰ تا ۶۵ درصد گزارش شده است و حاوی اسید آمینه‌های ضروری معینی هستند. SCP باکتریایی غنی از متیونین می‌باشد به طوری که میزان متیونین آن نسبت به جلبک و قارچ بیشتر است. این میکروارگانیسم‌ها همچنین دارای بیشترین میزان اسیدهای نوکلئیک می‌باشند. به طوری که این میزان بالاتر از حد مجاز برای مصرف انسان است. این موضوع رسوب اسید اوریک در خون و ایجاد بیماری نقرس را به دنبال دارد. لذا از باکتری‌ها به عنوان غذای طیور و ماهی‌های پرورشی استفاده می‌شود زیرا این موجودات فاقد مشکلات ناشی از چرخه

اوره می‌باشند. از طرفی به منظور مصارف انسانی، میزان اسید نوکلئیک این میکروارگانیسم‌ها را با استفاده از روش‌های شیمیایی کاهش می‌دهند که این امر موجب افزایش قیمت نهایی محصول تولیدی می‌گردد.

۲-۴. SCP حاصل از قارچ‌ها

این نوع SCP ها حاوی ویتامین‌های گروه ب-کمپلکس، تیامین، ریبوفلاوین، بیوتین، نیاسین، پنتوتینک اسید، پیریدوکسین، کولین، گلوکاتینون و فولیک اسید هستند، دارای اسیدهای آمینه غنی از سولفور بوده و میزان پروتئین آن‌ها بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است. بسیاری از قارچ‌های رشته‌ای قادر به تجزیه طیف وسیعی از مواد هستند و می‌توانند pH پایین را تحمل نمایند. تولید مایکوپروتئین یا پروتئین قارچی با ویژگی‌های تغذیه‌ای، فیزیکی و شیمیایی جالب توجه به عنوان غذای انسان در سال‌های اخیر توسعه یافته است. فروش پروتئین قارچی برای مصرف انسان در سال ۱۹۸۵ در انگلستان و در سال‌های بعد در سایر کشورهای اروپایی (بلژیک ۱۹۹۲، هلند ۱۹۹۳، ایرلند ۱۹۹۴، سوئیس ۱۹۹۵ و سوئد ۱۹۹۸) مورد تأیید قرار گرفت. این پروتئین قارچی، با نام تجاری کورن (Quorn) به عنوان جایگزین گوشت در بسیاری از فرآورده‌های غذایی از قبیل سوسیس استفاده می‌شود. در سال ۱۹۹۸ اداره کل غذا و داروی آمریکا (FDA) استفاده از پروتئین قارچی را برای استفاده در تولید غذای انسان تأیید کرد.

یکی از مشکلات مربوط به پروتئین قارچی، میزان بالای RNA آن است که در انسان به اسید اوریک نامحلول متابولیزه شده و موجب بیماری‌های سنگ کلیه، نقرس و درد مفاصل می‌شود. مقدار مجاز مصرف روزانه اسید ریبونوکلئیک در انسان، حداکثر ۲ گرم است. به همین دلیل، ضروری است RNA توده زیستی حاصل از تخمیر، توسط فرایند حرارتی کاهش یابد. در اثر حرارت، آنزیم‌های تجزیه کننده RNA داخل سلولی، فعال می‌شوند.

۳-۴. SCP حاصل از جلبک

SCP های تولید شده از طریق میکروارگانیسم جلبک‌ها حاوی ۴۰ تا ۶۰ درصد پروتئین، چربی، ویتامین‌های A،B،C،D،E و در حدود ۷ درصد نمک‌های معدنی، کلروفیل و فیبر هستند. همچنین این نوع SCP ها دارای کمترین مقدار اسیدهای نوکلئیک می‌باشند.

جدول شماره ۱: ترکیبات موجود در SCP حاصل از میکروارگانیسم‌های مختلف

ترکیبات	قارچ	جلبک	مخمر	باکتری
پروتئین	۳۰-۴۰ درصد	۴۰-۶۰ درصد	۴۵-۵۵ درصد	۵۰-۶۵ درصد
اسید چرب	۹-۱۴ درصد	۸-۱۰ درصد	۵-۱۰ درصد	۳-۷ درصد
نوکلئیک اسید	۷-۱۰ درصد	۳-۸ درصد	۶-۱۲ درصد	۸-۱۲ درصد

۵. ضایعات محصولات کشاورزی و صنایع غذایی: سوبسترای مناسب برای تولید SCP

افزایش روز افزون آلودگی‌های ناشی از تجمع ضایعات کشاورزی و صنعتی مخصوصاً در سال‌های اخیر همواره نگرانی‌های زیست محیطی را به دنبال داشته است. لذا چاره اندیشی در راستای کاهش مضرات حاصل از این ضایعات از طریق تبدیل آنها به محصولاتی با ارزش تجاری بالا در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با رشد صنایع تبدیلی می‌توان از تمام اجزای یک محصول کشاورزی بهره مناسب و کامل برده شود. در تمامی فرایندهای کشاورزی و صنایع مربوطه علاوه بر تولید محصولات اصلی، حجم وسیعی از محصولات جانبی نیز تولید می‌گردد که با توجه به محدوده گسترده به کارگیری این محصولات، بسیاری از کشورهای پیشرفته و در حال توسعه ارزش بالاتری را برای آنها در نظر می‌گیرند، به گونه ای که در برخی موارد از محصول اصلی نیز بسیار با ارزش تر می‌باشد. تولید پروتئین‌های تک یاخته در بستر حاصل از این ضایعات یکی از مقرون بصرفه‌ترین روش‌هاست. به طوری که علاوه بر کاهش مشکلات آلودگی و کمک به حل معضل دفع زباله به صورت مدرن، گامی بلند در راستای دستیابی به توسعه پایدار از طریق استفاده از منابع تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست خواهد بود. نکته‌ای که بایستی مد نظر قرار گیرد این است که در مورد روند تحولات SCP در دنیا، وجود سه پارامتر عمده: ماده اولیه قابل اطمینان، رقابت با منابع پروتئین متداول، وجود تکنولوژی بالا (چه در زمینه فرایند و چه در زمینه فراهم نمودن میکروارگانیسم‌های متناسب) عوامل اصلی و عمده می‌باشند. اصولاً کشورهای دارای منابع کشاورزی غنی معمولاً با تقویت و سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی سعی در برطرف نمودن نیازهای پروتئینی خود دارند در حالی که کشورهایی که از منابع سوبسترای ارزان قیمت برخوردار بوده و از شرایط مناسبی برای رشد کشاورزی برخوردار نیستند پتانسیل بالایی برای استفاده از شیوه‌های مدرن تولید پروتئین‌های تک سلولی جهت تأمین پروتئین مورد نیاز خود برخوردارند.

لازم به ذکر است که در تولید SCP از سوبستراهای مختلف از قبیل ترکیبات نفتی، گازوئیل، متان (گاز طبیعی) و متانول نیز استفاده نمود که بجز متانول سایر منابع ذکر شده نیازمند طراحی پیچیده و ایمنی بالا می‌باشند از طرفی سالم بودن این سوبستراها نیز بسیار مورد سؤال است. به طوری که استفاده از فرآورده‌های نفت و گاز برای تولید SCP در حال حاضر در دنیا منسوخ شده است. این در حالی است که ضایعات حاصل از محصولات کشاورزی و صنایع وابسته از لحاظ ایمنی و سلامت غذایی بسیار حائز توجه هستند. با توجه به اینکه توانایی اصلاح محصولات مختلف کشاورزی خصوصاً اصلاح ژنتیکی وجود دارد، ضایعات کشاورزی و محصولات کشاورزی تجدید پذیر در مقیاس وسیعی قابل استفاده هستند.

استفاده از مواد لیگنوسلولزی به عنوان منبع کربن برای تولید پروتئین تک یاخته افزودنی به خوراک دام، طیور و آبزیان توجه زیادی را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است. تفاله نیشکر که اصطلاحاً به آن باگاس نیشکر گفته می‌شود از جمله مواد لیگنوسلولزی است که به عنوان یک دور ریز کشاورزی به هدر می‌رود. سالانه مقادیر بسیار زیادی از آن بدون استفاده مانده و یا سوزانده می‌شود که این خود از معضلات آلودگی محیط زیست به شمار می‌آید. از آنجا که ایران در

شمار بیست کشور اول تولید کننده نیشکر قرار دارد، می‌تواند از باگاس به عنوان بستر ارزشمند و در دسترس برای تولید SCP بهره‌جوید. به علاوه استفاده از سبوس گندم، تفاله چغندر قند، نشاسته موجود در پساب کارخانجات فرآوری سیب‌زمینی، ضایعات صنایع چوب، آب پنیر و ضایعات حاصل از خانواده تون ماهیان نیز بعنوان خوراک واحد تولیدی SCP بسیار حائز اهمیت می‌باشند. در زیر به ۲ مورد اشاره خواهد شد:

الف) تولید SCP از آب پنیر

تولید SCP از آب پنیر از دهه‌ی ۶۰ میلادی رایج شد و به تولید صنعتی رسید. بازار اصلی مصرف آن تغذیه دام و طیور است ولی پس از آن به عنوان مکمل برخی غذاهای انسان نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور کلی، اگر میزان تولید به دست آمده از آب پنیر به‌عنوان پروتئین در کشورهای دیگر در مورد یکی از کارخانه‌ها بزرگ کشورمان به‌عنوان مبنای محاسبه قرار داده شود، به این نتیجه خواهیم رسید که هر کارخانه قادر است روزانه ۵۰۰ کیلوگرم پروتئین خالص طبیعی و ۳ تن پروتئین مخمر تولید نماید. این ملاحظات نشان می‌دهد که برای کشوری مانند ایران که واردکننده انواع پروتئین است تا چه حد استفاده از این منابع می‌تواند میزان وابستگی را کاهش دهد. تا کنون به علت پراکندگی واحدهای تولید پنیر و نازل بودن میزان تولید این واحدها، تولید پروتئین تک یاخته نمی‌توانسته مطرح باشد. مخارج سرد کردن، نگه‌داری و حمل مقادیر کم آب پنیر آن قدر زیاد است که توجه اقتصادی چنین محصولی را زیر سؤال برده است و کل صنعت مربوطه را با شکست مواجه کرده است؛ اما با فعال شدن واحدهای بزرگ با ظرفیت بسیار زیاد امکان تولید مقادیر قابل توجه این محصول وجود دارد.

ب) تولید SCP از احشاء تون ماهیان

تون ماهیان نیز از دیگر سوبستراهای تولید پروتئین‌های تک سلولی می‌باشد. ضایعات مربوط به این خانواده حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد در نظر گرفته شده است. اگر ضایعات تولید شده بطور صحیح مدیریت شده و پس از آماده‌سازی اولیه و هضم شیمیایی و یا آنزیمی به یک بیوراکتور بیولوژیک هدایت گردد می‌توان محصولات متنوع با پایه میکروبی تولید و با اهداف گوناگون نیز مورد استفاده قرار داد. این پروتئین به عنوان ماده افزودنی کاربرد فراوانی در جیره غذایی دام، طیور و آبزیان دارد.

۶. سخن پایانی

دستیابی به امنیت غذایی پایدار از طریق دسترسی فیزیکی و اقتصادی به منابع غذایی سالم و کافی برای همگان حاصل می‌آید. در دوران اخیر پذیرش غذاهای بیوتکنولوژیکی غنی از پروتئین به جای منابع متداول از سوی مردم افزایش یافته

است. با این حال، هنوز قبول SCP به عنوان غذا با تردیدهایی روبروست. نگرانی‌های موجود از تغییرات ژن‌های میکروبی تولیدکننده این محصولات ناشی می‌شود. لذا برای مقابله با این تردیدها اقدامات کنترلی و ارزیابی ایمنی محصولات SCP بسیار ضروری است. ترکیب شیمیایی هر محصول SCP از نظر مشخصه‌های درصد پروتئین، نوع اسید آمینه، اسید نوکلئیک، لیپیدها، چربی‌ها، سموم و ویتامین‌ها بایستی به وضوح روشن گردد. به علاوه خواصی مانند چگالی، اندازه ذرات، بافت، رنگ و ... نیز باید بررسی گردد. همچنین محصولات نهایی بایستی عاری از هر گونه ترکیبات سمی، سرطان‌زا و فلزات سنگین باشند.

از دیگر سو در راستای کاربرد ضایعات از جمله ضایعات کشاورزی و صنایع غذایی برای تولید SCP نیاز به تحلیل‌های اقتصادی دقیقی می‌باشد تا در رقابت با سایر کاربردهای ضایعات، الویت استفاده از آنها بعنوان خوراک تولید SCP محرز گردد.

۷. منابع

- سیف‌زاده، ن. و موسوی نسب، م. ۱۳۹۰. بیوسنتز پروتئین تک یاخته از ضایعات صنایع غذایی. بیستمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی.
- شفقی، ک. مافولی، ن. ۱۳۹۲. میزان پروتئین تک یاخته با توجه به نوع میکروارگانیسم‌ها. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی.
- صفری، ر. یعقوب‌زاده، ز. ۱۳۹۳. استفاده از مخمرها به منظور تولید پروتئین تک یاخته از امعاء و احشاء تون ماهیان. مجله پژوهش‌های جانوری (مجله پژوهش‌های زیست‌شناسی ایران). ۴:۲۷.
- نحوی، ا. و شفقی، ر. ۱۳۸۶. تولید پروتئین تک یاخته از نشاسته خام به روش کشت ناپیوسته تغذیه‌شونده با استفاده از کشت توأم مخمر *Saccharomyces cerevisiae* و *Cryptococcus aerius* امور دام و آبزیان. ۷۵.
- Bacha, U., Nasir, M., Khaliq, A., Anjum, A.A., Jabbar, M.A. 2011. Comparative assessment of various agro-industrial wastes for *Saccharomyces cerevisiae* biomass production and its quality production: as a single cell protein. J. Anim. Plant Sci., 21(4): 844-849.
- Yousuf, M.K. 2012. To determine protein content of single cell protein produced by using various combinations of fruit wastes in the production of SCP by using two standard food fungi *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oligospora*. Int. J. Adv. Biotechnol. Res., 3(1): 533-536