



گروه علوم و صنایع غذایی (گرایش کنترل کیفی و بهداشتی)

بهبود ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی از طریق غنی‌سازی میکروبی

استاد راهنما: دکتر پرنیان پزشکی

ارائه دهندگان: مبینا سلیمیان، سیما معمرزاده، زهرا مظفری

تاریخ ارائه: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱





گروه علوم و صنایع غذایی (گرایش کنترل کیفی و بهداشتی)

Microbial biofortification for nutritional improvement of food

Supervisor:

Dr. Pezeshki

Presented by:

Mobina Salimian, Sima Moamerzadeh, Zahra
Mozaffari

Presentation Date: 2025/06/11



فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان	
۱-۱۰	مقدمه	-۱
۱۱-۱۴	پروتئین تک سلولی	-۲
۱۵-۲۰	جریان بالادستی	-۳
۲۱-۲۳	روش تخمیر	-۴
۲۴-۲۹	جریان پایین دستی	-۵
۳۰-۳۲	جمع بندی	-۶



تعریف سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) و اجلاس جهانی غذا (۱۹۹۶) از امنیت غذایی

مقدمه

امنیت غذایی زمانی برقرار است که همه مردم، در تمام اوقات، به غذای کافی، سالم و مغذی دسترسی فیزیکی و اقتصادی داشته باشند تا نیازهای غذایی خود و ترجیحات غذایی‌شان را برای یک زندگی فعال و سالم برآورده سازند.

چهار بُعد اصلی امنیت غذایی

FOOD SECURITY



۱- موجود بودن / Availability

۲- دسترسی / Access

۳- بهره برداری / Utilization

۴- ثبات و پایداری / Stability

چالش‌های غذایی پیش رو



۱- رشد بی وقفه جمعیت

۲- منابع محدود

۳- ضعف اقتصادی

۴- تغییر الگوی غذایی

غنی سازی مواد غذایی به عنوان یک راهکار

مزایای غنی سازی مواد غذایی

- یک روش اثبات شده، ایمن و مقرون به صرفه
- مبارزه با سوء تغذیه، ارتقای سلامت عمومی، کمک به رشد اقتصادی، کمک به پایداری سیستم غذایی جهانی

در مجموع، غنی سازی مواد غذایی گامی اساسی در مسیر دستیابی به امنیت غذایی پایدار برای همه است.



انواع غنی سازی براساس روش انجام



۱- غنی سازی صنعتی / Mass/Mandatory Fortification

۲- غنی سازی در نقطه مصرف / Point-of-Use Fortification

۳- بیوفورتیفیکاسیون / Biofortification

مقایسه انواع روش‌های غنی‌سازی

ویژگی/معیار	غنی‌سازی صنعتی	غنی‌سازی در نقطه مصرف	بیوفورتیفیکاسیون
روش انجام	افزودن مواد مغذی به غذا در کارخانه (طی فرآیند تولید)	افزودن مکمل به غذا توسط مصرف کننده (در منزل)	افزایش مواد مغذی در خود ارگانیسم زنده (گیاه یا میکروارگانیسم)
مکان انجام	در خط تولید کارخانه‌ها	در سطح فردی یا خانوار	در مزرعه (برای گیاهان) یا بیوراکتور (برای میکروارگانیسم‌ها)
گروه هدف	بخش وسیعی از جامعه	گروه‌های آسیب پذیر و خاص	جوامع کشاورز و روستایی یا هر مصرف کننده ای که به محصول دسترسی دارد.
مثال‌ها	غنی‌سازی آرد با آهن و فولیک اسید، نمک با ید	قطره آهن برای کودکان، پودرهای مکمل ریزمغذی	برنج طلایی (غنی شده با ویتامین A)، لوبیا غنی شده با آهن، SCP
کنترل بر مصرف	نسبتا بالا	برنامه (وابسته به آگاهی و مصرف کننده)	بالا (با مصرف محصول مغذی نیز دریافت می شوند.)
پایداری مواد مغذی	خوب	خوب	عالی
پذیرش مردمی	معمولا بالا	متوسط	بالا

انواع غنی سازی براساس ماده مغذی اضافه شده

FORTIFICATION

The addition of key vitamins and minerals to staple foods to improve their nutritional content.



۱- غنی سازی با ویتامین ها
ویتامین A، ویتامین D، ویتامین های گروه B، ویتامین C

۲- غنی سازی با مواد معدنی
آهن، ید، روی یا زینک، کلسیم، سلنیوم

۳- غنی سازی با فیبر

۴- غنی سازی با اسیدهای چرب ضروری مانند امگا ۳

۵- غنی سازی با پروتئین

انتخاب نوع ماده مغذی برای غنی سازی

منابع پروتئینی

منابع پروتئینی، از جمله ضروری ترین اجزای رژیم غذایی انسان برای ساخت، ترمیم و نگهداری بافت ها، تولید آنزیم ها و هورمون ها و حمایت از سیستم ایمنی بدن هستند. این منابع را می توان به دسته های اصلی زیر تقسیم کرد:

- ۱- منابع پروتئینی حیوانی
- ۲- منابع پروتئینی گیاهی
- ۳- منابع پروتئینی میکروبی (SCP)



انواع منابع پروتئینی

۱- منابع پروتئینی حیوانی

گوشت‌ها، ماهی و غذاهای دریایی، پروتئین‌های حشرات، تخم مرغ، لبنیات

۲- منابع پروتئینی گیاهی

حبوبات، غلات کامل و شبه غلات، آجیل‌ها و دانه‌ها، سبزیجات خاص

۳- منابع پروتئینی میکروبی (SCP)

پروتئین تک سلولی (Single Cell Protein)، باکتری‌ها، مخمرها، قارچ‌ها

نکته: انتخاب منبع پروتئین بستگی به عوامل مختلفی از جمله ترجیحات غذایی، ملاحظات اخلاقی، دسترسی، هزینه و نیازهای تغذیه‌ای فردی دارد. رژیم غذایی متنوع شامل ترکیبی از منابع پروتئینی مختلف، بهترین راه برای اطمینان از تأمین تمام اسیدهای آمینه ضروری و سایر مواد مغذی است.

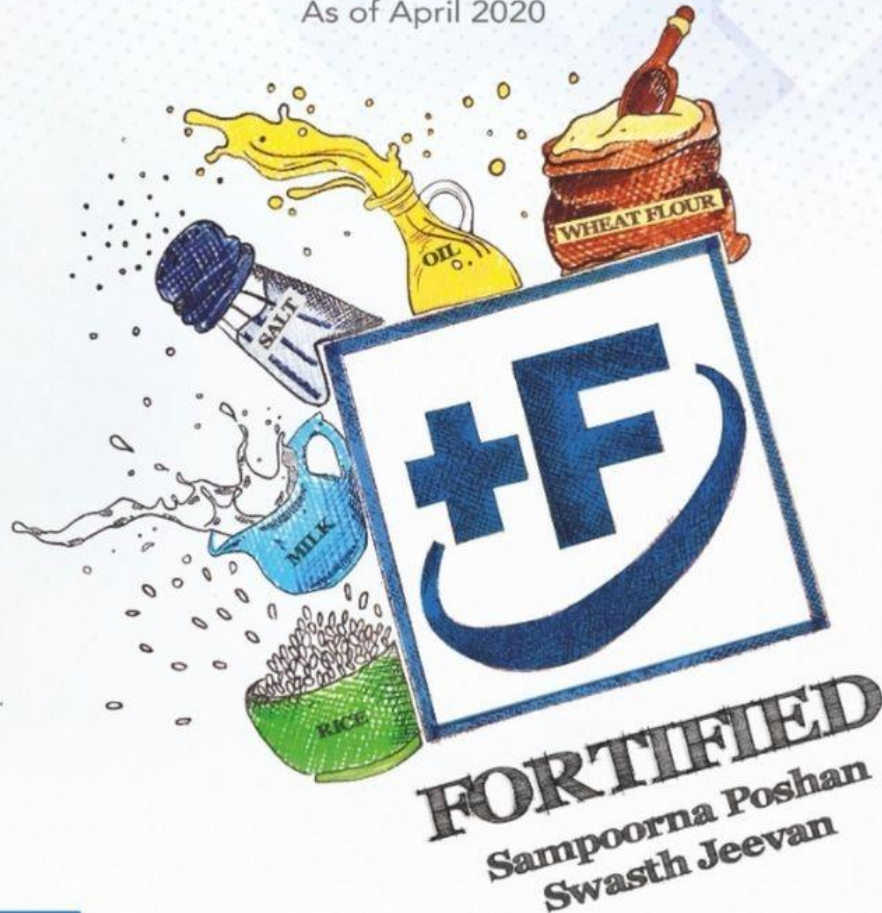


مقایسه انواع منابع پروتئینی

ویژگی	منابع پروتئین حیوانی	منابع پروتئین گیاهی	منابع پروتئین میکروبی
کامل بودن پروتئین	کامل	اغلب ناکامل	کامل
محتوای پروتئین	بالا	متوسط تا بالا	بسیار بالا
سرعت تولید	کند	متوسط	بسیار سریع
نیاز به انرژی	بسیار بالا	متوسط	متوسط تا کم
اثرات زیست محیطی	بالا	متوسط	پایین
هزینه تولید	بالا	متوسط	پتانسیل بسیار پایین تر در مقیاس صنعتی
دسترسی (جغرافیا)	متغیر	متغیر	بالا
ملاحظات اخلاقی	بالا	پایین	پایین

Food Fortification Resource Centre

As of April 2020



روش بیوفورتیفیکاسیون

چرا روش بیوفورتیفیکاسیون برای تولید SCP (پروتئین تک یاخته) مناسب تر است؟

۱- غنی سازی ذاتی (از درون به بیرون)

۲- فرآیند تولید پایدار و کارآمد

۳- بهره‌وری بالا در غنی سازی چندگانه

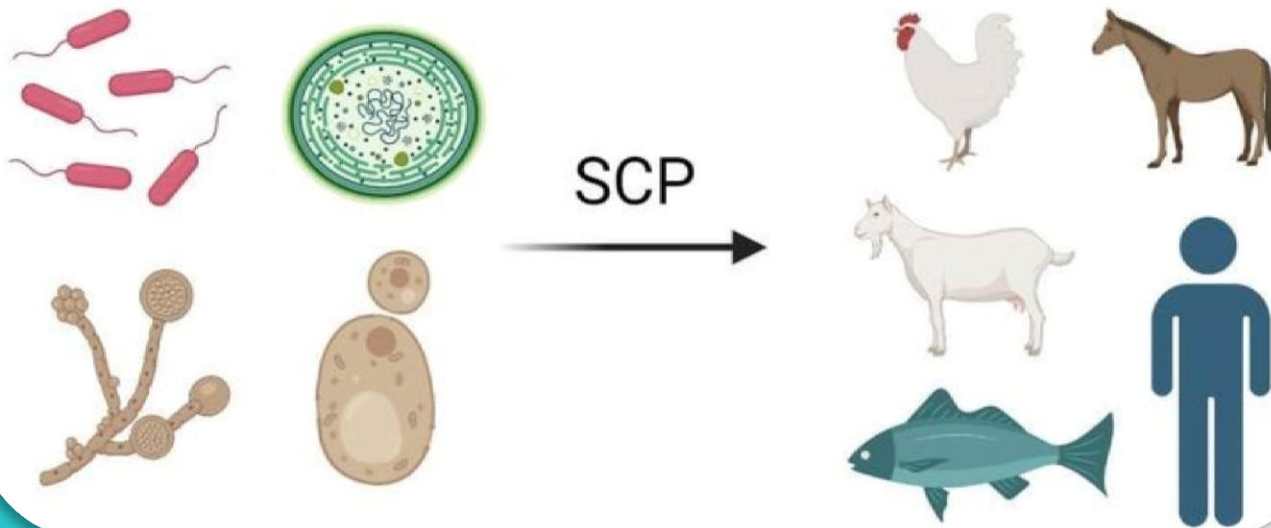
۴- پذیرش بهتر مصرف کننده در بلندمدت

در واقع، بیوفورتیفیکاسیون برای SCP نه تنها روشی برای غنی سازی است، بلکه تعریف خودِ تولید SCP را شامل می شود یعنی تولید پروتئین با کیفیت بالا توسط یک سیستم بیولوژیکی زنده. این یک رویکرد جامع و رو به جلو برای مقابله با چالش های امنیت غذایی جهانی است.

کاربردهای پروتئین تک‌یاخته

پروتئین تک‌یاخته (SCP) به دلیل ارزش غذایی بالا، پایداری در تولید و کارایی، کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف پیدا کرده است.

Single Cell Protein (SCP)

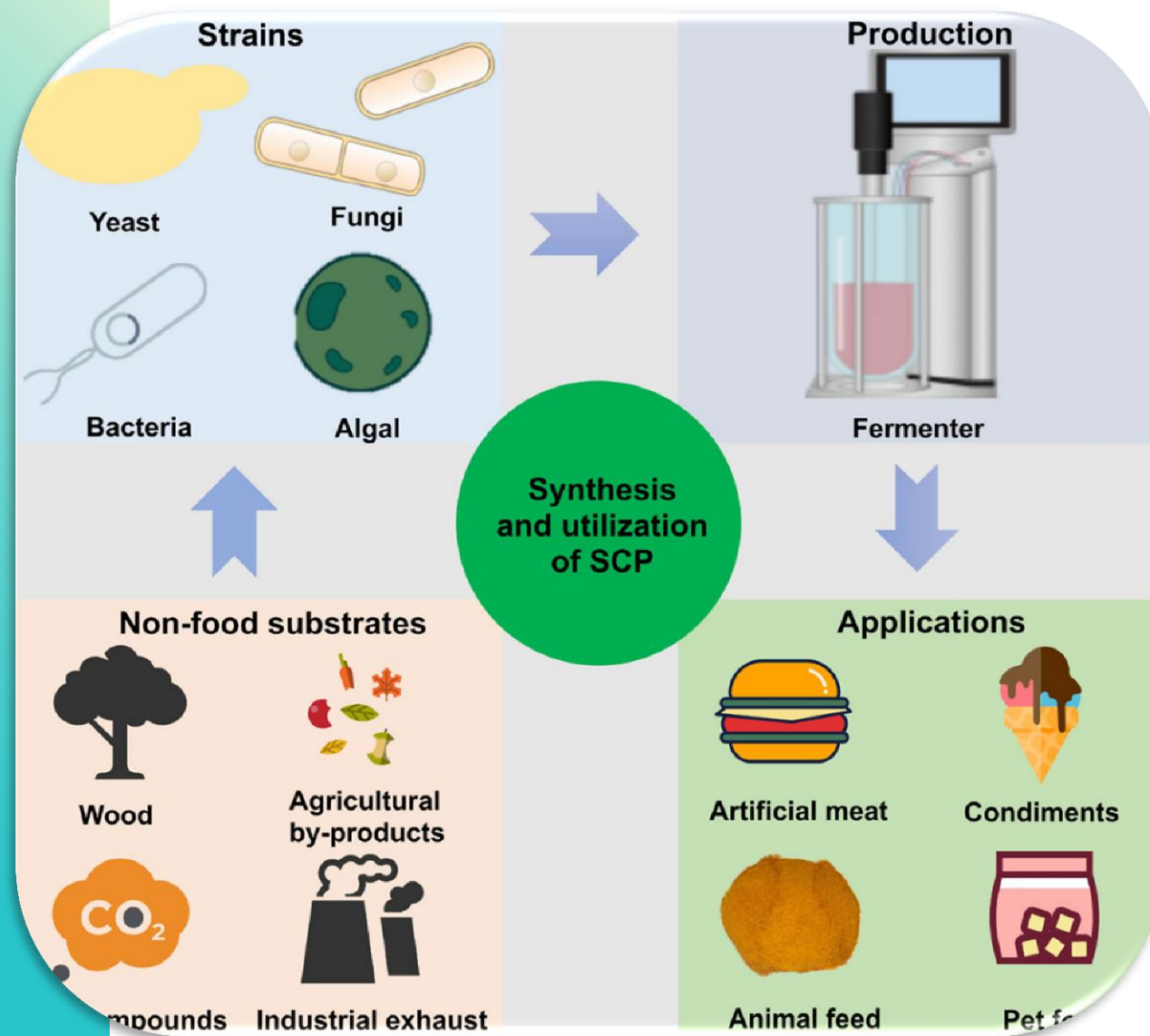


۱- خوراک دام و آبزیان (بزرگترین سهم بازار)
جایگزین پروتئین‌های سنتی، افزایش بازدهی و سلامت

۲- مصرف انسانی
مکمل‌های غذایی، غنی‌سازی مواد غذایی، جایگزین‌های گوشت

۳- کاربردهای تخصصی و نوظهور
غذای فشانوردان، محصولات درمانی و دارویی، مقابله با بحران‌های غذایی

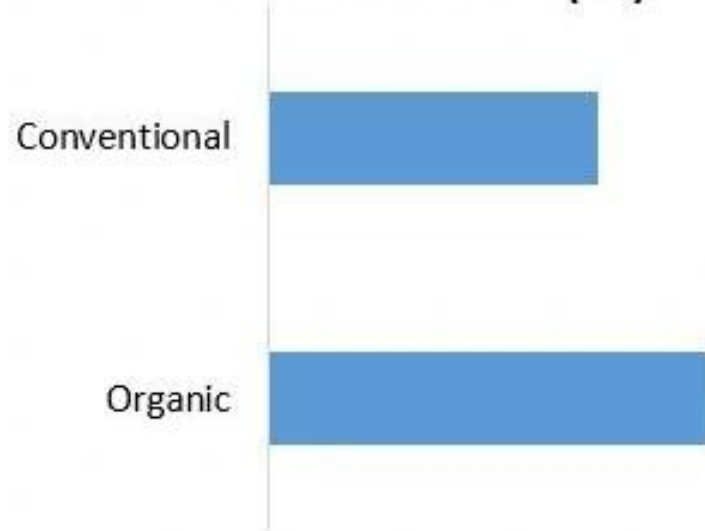
روش تولید پروتئین تک یاخته



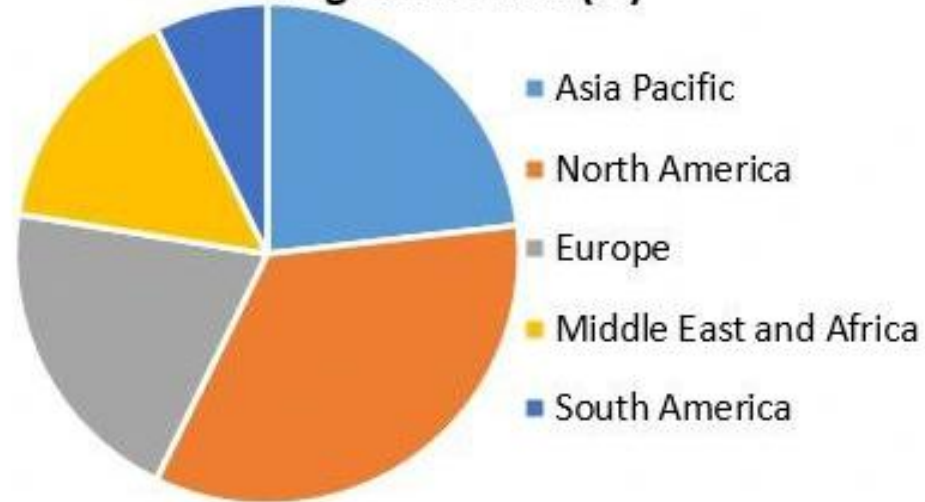
بازار جهانی پروتئین تک یاخته



Global Single Cell Protein Market by Feedstock in 2024 (Bn)



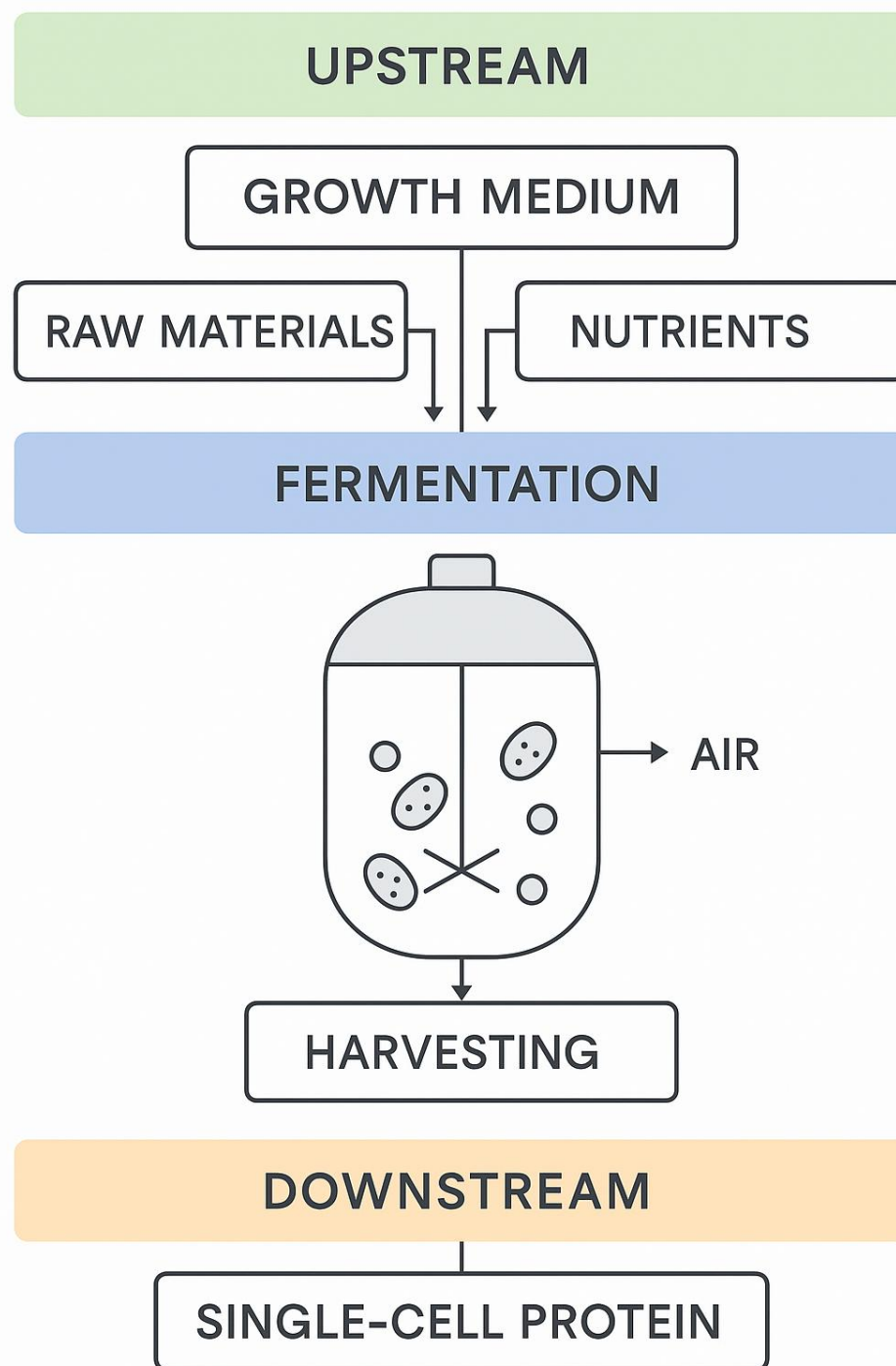
Global Single Cell Protein Market, by Region In 2024 (%)



Global Single Cell Protein Market size in USD Billion (2019-2032)



شمای کلی فرآیند تولید SCP





انتخاب
میکروارگانیزم
مناسب



در این تحقیق، سه گونه مخمر برای
بررسی و مقایسه انتخاب شدند:

Cyberlindnera

jadinii

(نام قدیمی: *Candida*)

(utilis

Wickerhamomyces

anomalus

Blastobotrys

adeninivorans

upstream



C. jadinii W. anomalus

انتخاب میکروارگانیسم مناسب

ویژگی	W. anomalus	C. jadinii	B. adenivorans
بازده زیستی	۳۱/۴-۲۸/۹	۲۱/۱-۲۰/۱	۲۷/۶-۱۴/۶
درصد پروتئین	٪۴۷/۸	٪۴۴/۹-۴۰/۹	٪۴۴/۵-۴۱/۹
قابلیت مصرف قند	کامل	کامل	ناقص
توان مصرف در ترکیب اوره/پروتئین	خوب	متوسط	ضعیف
عملکرد در تخمیر fed-batch تکرار شونده	بهترین گزینه برای تولید زیست توده و پروتئین؛ کمترین اتلاف سوبسترا و بالاترین بازده	عملکرد پایدار ولی پروتئین کمتر؛ رشد مناسب اما بهره وری متوسط	مصرف گلوکز ضعیف، عملکرد ناپایدار اما در برخی شرایط بهبود می یابد.

این ویژگی‌ها نشان دادند که W. Anomalus از لحاظ صنعتی بهترین انتخاب برای تولید SCP است.

- منابع کربن

هیدرولیزات چوب صنوبر (BALI™ hydrolysate)، حاوی ۷۶٪ گلوکز

سایر قندهای موجود: زایلوز، مانوز

- منابع ازت

هیدرولیزات پروتئینی مرغ (پروتئین خالص: ۸۸٪ ماده خشک)
اوره: ازت آلی ارزان، قابل جذب توسط مخمر

نسبت بهینه ازت؛

آزمایش‌ها با نسبت‌های مختلف انجام شد :

۱۰۰٪ پروتئین حیوانی

۲۰:۸۰، ۴۰:۶۰، ۶۰:۴۰، ۸۰:۲۰ پروتئین / اوره

۱۰۰٪ اوره

بهترین عملکرد در نسبت ۸۰٪ پروتئین + ۲۰٪ اوره به دست آمد؛
تعادل خوب بین رشد سریع، تولید پروتئین بالا، و بهره‌وری اقتصادی

upstream



طراحی محیط کشت

- فاکتور رشد

اگرچه افزودن بیوتین تأثیر معناداری بر افزایش رشد نشان نداد، اما از نظر متابولیکی برای استفاده از اوره در داخل سلول ضروری است زیرا آنزیم Urea amidolyase که مسئول تجزیه اوره به آمونیاک است، برای فعالیت خود به بیوتین به عنوان کوآنزیم نیاز دارد. بنابراین، بیوتین مستقیماً بر جذب اوره تأثیر نمی‌گذارد، اما نقش حیاتی در متابولیسم و بهره‌برداری از آن دارد.



طراحی محیط کشت



شرایط فیزیوشیمیایی رشد

فاکتور	مقدار
pH کنترل شده	۵ (تنظیم شده با NaOH یا H_2SO_4)
دما	۳۰ درجه سانتی گراد
سرعت همزن	در شیک فلکس: بین ۳۰۰ تا ۱۲۵۰ rpm
اکسیژن محلول (DO)	۳۰٪ تنظیم شده با همزن
اثر نسبت ازت بر pH نهایی	نسبت بالای اوره باعث افت ظرفیت بافری و کاهش pH محیط می شود (تا ۳/۳)

نوع فرآیند تخمیر



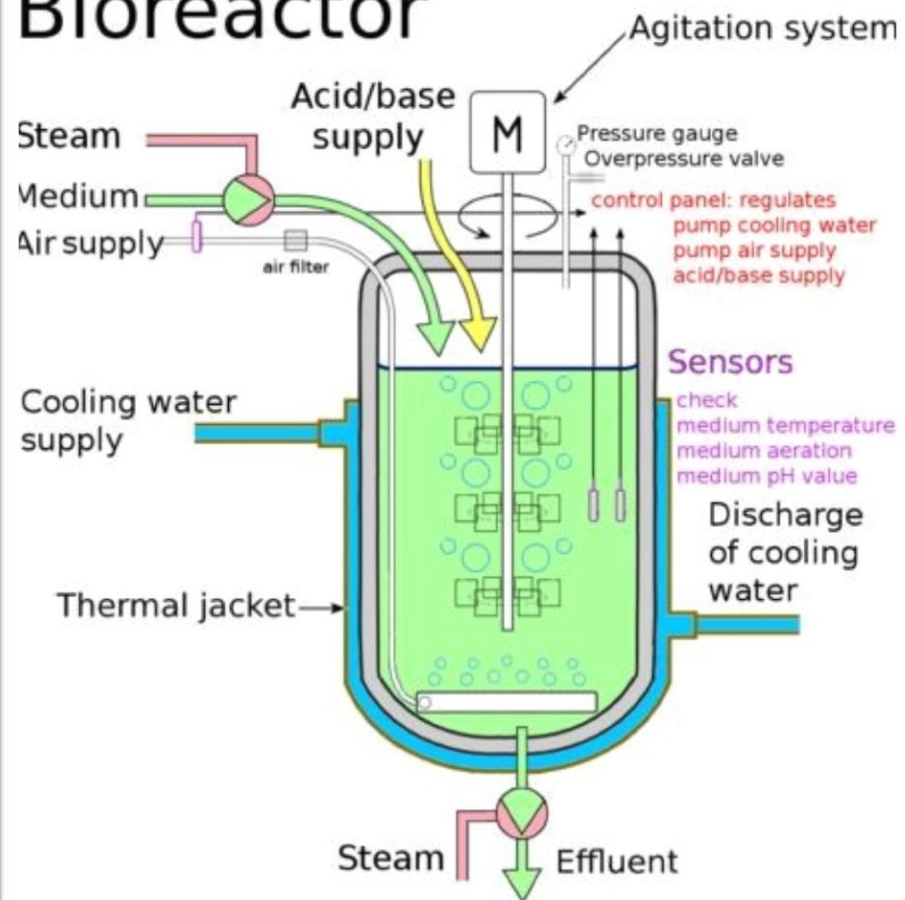
انتخاب روش

تخمیر نیمه پیوسته تکرار شونده
(Repeated Fed-Batch Fermentation)
که در فواصل مشخص (هر ۸ ساعت)
حدود ۷۵٪ از محیط برداشت و با محیط
تازه جایگزین می‌شود.

این روش:

- رشد سلولی را در مدت زمان طولانی
حفظ می‌کند
- باعث حفظ سطوح بالای اکسیژن محلول
می‌شود
- تولید تجمع بالاتری از بیومس و
پروتئین نسبت به حالت batch دارد

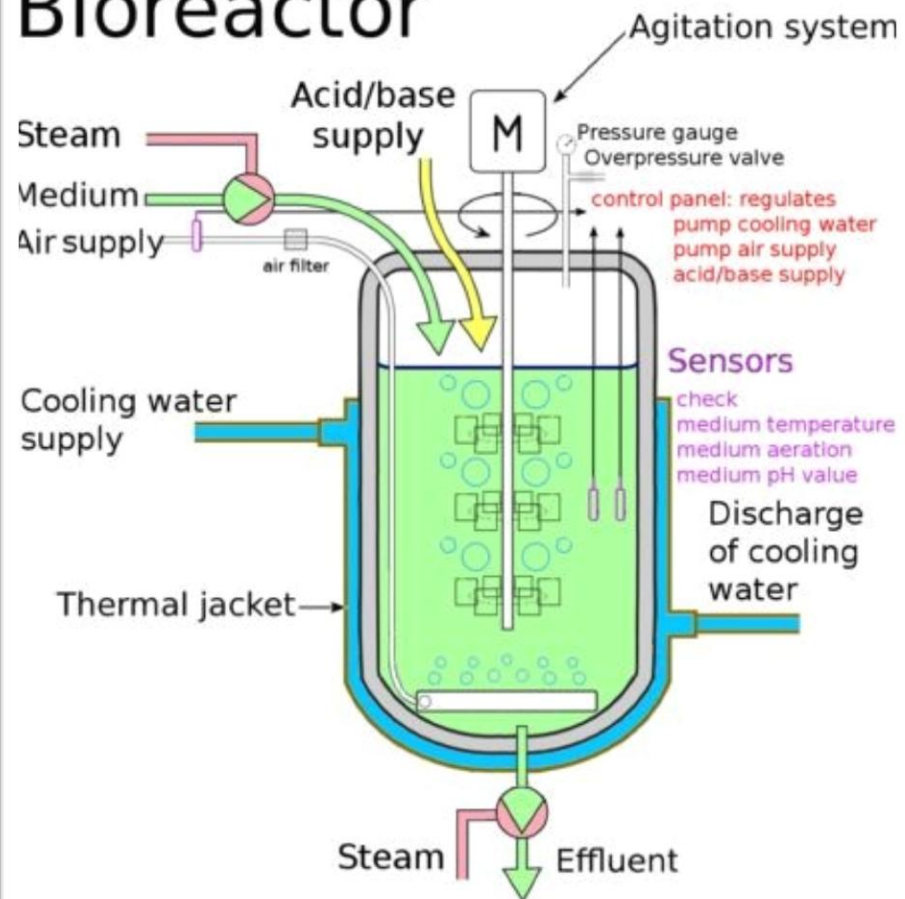
Bioreactor



پارامتر	مقدار
نوع راکتور	تانک تخمیر همزن دار (Stirred Tank Bioreactor) شیشه ای ۲/۵ لیتر برای مقیاس آزمایشگاهی - فولادی ۴۲ لیتر برای مقیاس صنعتی
حجم کاری	۱/۵ لیتر آزمایشگاه - ۲۵ لیتر صنعتی
ضد کف	Silicone antifoam
هوادهی	۱ تا ۲ VVM
چرخه برداشت و تزریق	هر ۸ ساعت ۷۵ درصد از محیط تخلیه و محیط جدید تزریق می شود.
مدت زمان کل تخمیر	۷۲ ساعت
اولین برداشت	پس از ۱۶ ساعت (پایان فاز Batch)

بیوراکتور و تنظیمات آن

Bioreactor



نتایج عملکرد در
بیوراکتور صنعتی

مقدار	شاخص
g/L ۳۱/۴	وزن خشک سلولی (CDW)
%۴۷/۸	درصد پروتئین
g/L/h ۳/۹۲	بهره‌وری زیستی (Q _x)
g/L/h ۱/۸۷	بهره‌وری پروتئینی (Q _p)
g/g ۰/۶۶	بازده (X/Glucose)
g/g ۰/۳۱	بازده (P/Glucose)

Mainstream

جداسازی و پردازش بیومس مخمر



استخراج مخمر

برای جدا کردن مخمر از محیط
کشت، از سانتریفیوژ صنعتی
GEA Easyscale
S. 10 استفاده شد:

دبی جریان: ۷۰ L/h

زمان تخلیه: هر ۱۲۰ ثانیه

بیومس پس از سانتریفیوژ به
صورت خمیر مخمر با ۱۵٪ ماده
خشک ذخیره شد

Downstream

خالص سازی مخمر

سلول‌های جمع‌آوری‌شده در آب (نسبت ۱:۱) معلق و یک بار با آب شسته می‌شوند تا ناخالصی‌های محیط کشت حذف شود.

مجدداً سانتریفیوژ انجام می‌شود تا سلول‌ها جمع شوند.

زیست‌توده به صورت خمیر مخمر (۱۵٪ ماده خشک) در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا مرحله بعدی نگهداری می‌شود.

دبی شست‌وشو: ۵۰ L/h

زمان تخلیه: هر ۹۰ ثانیه

Downstream



جداسازی و پردازش
بیومس مخمر

جداسازی و پردازش بیومس مخمر



پالایش مخمر

پروتئین در درون سلول‌های مخمر
(intracellular) ذخیره
می‌شود.

برای استخراج آن باید دیواره سلولی
شکسته شود. (اتولیز، تیمار آنزیمی،
روش مکانیکی)

Downstream

مقایسه انواع روش‌های تخریب سلولی



روش	شرایط	اثر
اتولیز	۵۵ درجه سانتی‌گراد برای ۲۰ ساعت بدون کنترل pH	اثر ملایم، دیواره تا حدی آسیب دید.
آنزیمی	افزودن آنزیم Glucanex، انکوباسیون در pH=۶، دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۲۴ ساعت	دیواره به شکل قابل توجهی شکسته شد.
مکانیکی	فشار ۳۰۰۰۰ psi، تکرار ۳ بار	بیشترین آسیب به دیواره سلولی، تایید شده با SEM.

جداسازی و پردازش
بیومس مخمر

مشاهدات SEM تأیید کرد که روش مکانیکی بالاترین کارایی در آزادسازی محتویات سلول را دارد.

خشک کردن نهایی

نمونه‌ها پس از تیمار ، در دمای -80°C درجه سانتی‌گراد منجمد و سپس با دستگاه Freeze Dryer در دمای -60°C درجه و فشار 0.01 mbar به مدت حداقل ۲۴ ساعت خشک می‌شوند تا پودر SCP خالص به دست آید.

محصول نهایی به صورت پودر پروتئین خشک‌شده، آماده مصرف در غذای دام یا آبزی است.

Downstream



جداسازی و پردازش
بیومس مخمر

نمونه تجاری



نتیجه‌گیری



چرا این تحقیق مهم است؟

با بحران‌های جهانی پیش آمده در حوزه تأمین منابع پروتئینی، به‌ویژه برای دام و آبزیان، استفاده از مخمرهای خاص در تولید پروتئین تک‌سلولی یک راهکار قابل اتکا، پایدار و ارزان است.

نتیجه گیری



گونه *W. anomalous* با داشتن :

راندمان رشد بالا، بهره‌وری پروتئینی چشمگیر، پروفایل آمینواسیدی مناسب و توانایی استفاده از منابع ارزان، به‌عنوان یک گزینه بسیار ارزشمند برای تولید SCP مطرح می‌شود.

از نظر بهره‌وری زیستی و بهره‌وری پروتئینی، این فرایند جزو بهترین‌ها در مقایسه با *C. Jadinii* و دیگر منابع سنتی است.

منابع

1. Wheeler T, von Braun J. Climate change impacts on global food security. Science. 2013;341(6145):508-13. doi:10.1126/science.1239402.
2. Spalvins A, Jansons J, Blumberga D. Microbial protein sources: A comprehensive review on the potential usage of fungi and cyanobacteria in sustainable food systems. Current Research in Food Science. 2024;7:100241. doi:10.1016/j.crfs.2024.100241
3. Lapeña D, Olsen PM, Arntzen MØ, Kosa G, Passoth V, Eijsink VGH, Horn SJ. Spruce sugars and poultry hydrolysate as growth medium in repeated fed-batch fermentation processes for production of yeast biomass. Bioprocess Biosyst Eng. 2020;43(5):723-736. Doi:10.1007/s00449-019-02271-x.
4. Perplexity AI
5. Gpt AI





با تشکر از توجه شما