گواهینامه پذیرش، ارائه مقاله و حضور در همایش

تاریخ صدور: ۱۴۰۱/۱۲/۱۱

کد احراز اصالت: HG1401_49569

بدینوسیله گواهی می گردد مقاله تحت عنوان:

مروری بر روش های تولید ریز جلبک ها در صنعت آبزی پروری با تاکید بر تولید ترکیبات غذایی فراسودمند

ارائه شده توسط: محمد جواد نورآبادی، امید صفری

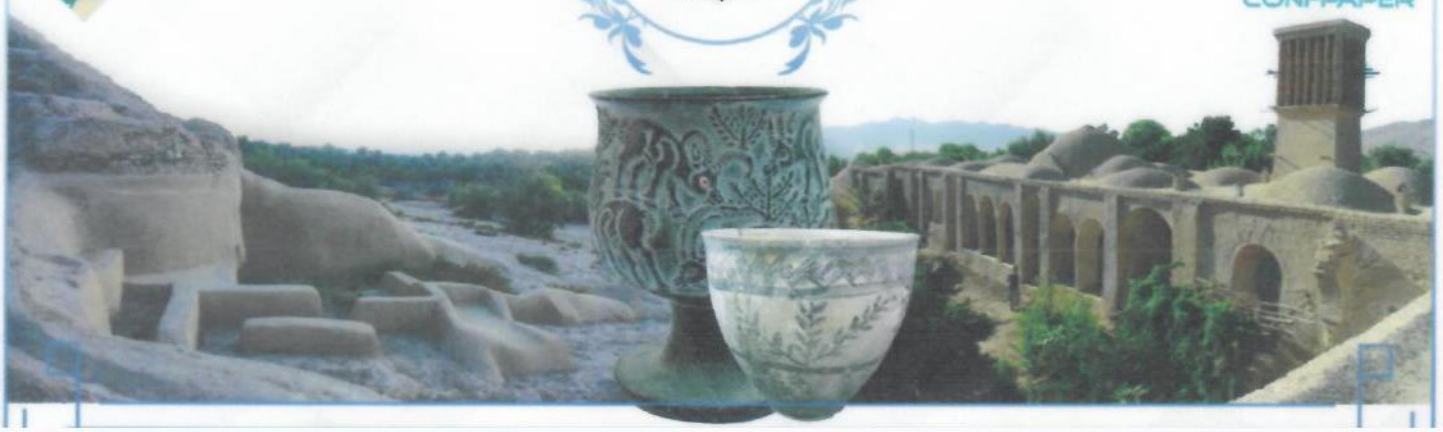
در هفتمین همایش ملی یافته های نوین در علوم کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار که در تاریخ ۱۱ اسفند ۱۴۰۱ در شهر جیرفت برگزار شد، مورد پذیرش کامل بوده و در مجلات علمی پژوهشی همایش به چاپ رسیده است.

در همین راستا، موفقیت و توفیق روز افزون نویسنده را در پیشبرد امور علمی کشور عزیزمان از خداوند متعال خواستاریم.

- کلیه مقالات تایید شده این همایش در کتاب الکترونیکی مجموعه مقالات به صورت تمام متن چاپ و نمایه می گردد.
- کلیه مقالات پذیرفته شده این همایش در پایگاه سیویلیکا نمایه می گردد.

مهندس امیر میرزائی
رئیس همایش

دکتر محمد نصری
دبیر علمی همایش



2 March 2023 ۱۱ اسفند ۱۴۰۱
hgconf6.ir
هفتمین همایش ملی یافته های نوین در
علوم کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار
Seventh National Conference on New Findings in
AGRICULTURE, ENVIRONMENT AND SUSTAINABLE NATURAL RESOURCES

مروری بر روش های تولید ریز جلبک ها در صنعت آبزی پروری با تاکید بر تولید ترکیبات غذایی فراسودمند

محمد جواد نورآبادی*، امید صفری

گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

(nourabadi.mohammadjavad@mail.um.ac.ir)

گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

(omidsafari@um.ac.ir)

نویسنده اول، نویسنده مسئول* می باشد.

چکیده

زیست توده ریز جلبک های تمام سلولی و متابولیت های خاص آنها منابع بسیار خوبی برای مواد اولیه تجدید پذیر و جایگزین برای محصولات مختلف هستند. در بیشتر موارد، محتوای و کیفیت زیست توده سلول کامل یا متابولیت‌های ریزجلبکی خاص می‌تواند توسط سویه‌های ریزجلبک تازه و دریایی تولید شود. با این حال، ردپای بزرگ آب برای سویه میکروجلبک آب شیرین یک نگرانی بزرگ است، به خصوص اگر زیست توده برای کاربردهای غیر غذایی در نظر گرفته شود. بنابراین، اگر هر ریزجلبک دریایی بتواند زیست توده با کیفیت مطلوب تولید کند، مزیت رقابتی نسبت به ریزجلبک‌های آب شیرین خواهد داشت. جدا از سوخت های زیستی، اخیراً زیست توده ریز جلبکی به عنوان مواد غذایی برای انسان و حیوانات و مواد اولیه برای مواد شیمیایی مختلف مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، چندین فناوری برای استفاده از ریزجلبک‌های دریایی در تولید غذا، خوراک و سوخت‌های زیستی در حال توسعه هستند. با این وجود، تولید مواد اولیه زیست توده مناسب و ارزان با استفاده از ریزجلبک‌های دریایی با چالش‌های متعدد مرتبط با کشت و فرآوری پایین دستی مواجه شده است. این بررسی مسیرهای بالقوه، چالش‌های مرتبط و مسیرهای آینده توسعه مواد غذایی، خوراک و سوخت‌های مبتنی بر زیست توده میکروجلبک‌های دریایی را بررسی خواهد کرد.

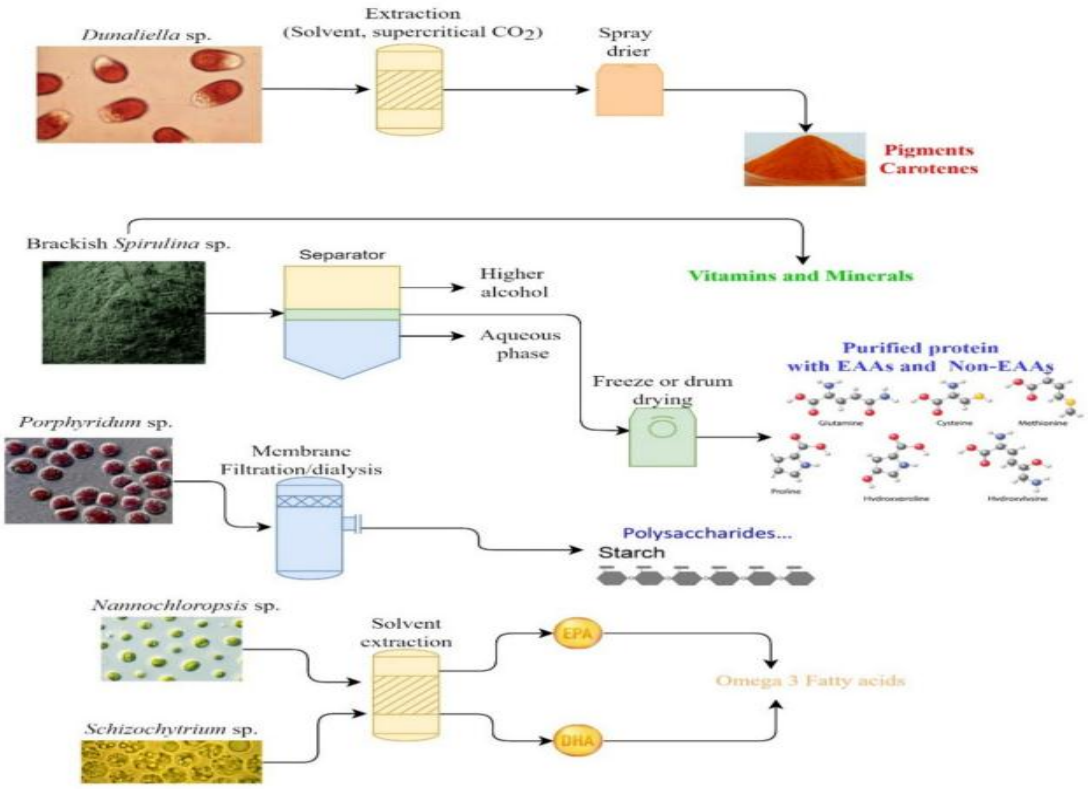
کلمات کلیدی: ریزجلبک، آبزی پروری، ترکیبات زیستی، رنگدانه

مقدمه

تغییرات آب و هوایی، افزایش جمعیت و بهبود مستمر استاندارد زندگی در دهه‌های گذشته منجر به مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی، آب شیرین و محصولات مبتنی بر زمین و آب به عنوان مواد غذایی و خوراک شده است. به دلیل اکتشاف و استفاده گسترده از ذخایر نفت فسیلی، برای اکثر کشورها، ظرفیت تولید افزایش یافته یا به حداکثر ظرفیت خود نزدیک شده است (Lenferna, 2018.). مصرف بیش از حد سوخت های فسیلی تجدید ناپذیر باعث آلودگی محیط زیست، گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی شده است. بنابراین، منابع انرژی جایگزین تجدیدپذیر که از طریق مسیرهای بیولوژیکی (سوخت‌های زیستی) به دست می‌آیند در حال حاضر برای کاهش میزان مصرف سوخت فسیلی و جداسازی گاز دی اکسید کربن از محیط مورد نیاز هستند. در طول چند دهه گذشته، سوخت های زیستی در سراسر جهان به عنوان جایگزینی برای محصولات نفتی مشتق شده از سوخت های فسیلی مورد بررسی قرار گرفته اند. به طور مشابه، طیف گسترده ای از محصولات مبتنی برعناصر زیستی در حال استفاده هستند و توسعه یافته اند. با این حال، چالش های متعددی برای فناوری های تولید آنها وجود داشته است. برخی از این چالش ها عبارتند از:

(1) انتخاب مواد اولیه مناسب که می تواند به طور مستقیم با محصولات حاوی مواد غذایی رقابت کند،
(2) نیاز به زمین زراعی و آب شیرین برای کشت گیاهان و محصولات زمینی
3- بهره وری فصلی و زیست توده کم،
4- هزینه های پردازش بالادستی و پایین دستی مربوط به تولید غذا، خوراک و سوخت.

ریزجلبک‌های دریایی انواع مختلفی از ترکیبات زیست فعال را تولید می‌کنند که کاربردهای گسترده‌ای از جمله به عنوان مکمل‌های غذایی و مواد فعال زیستی برای درمان پزشکی اشاره نمود. استخراج کاروتنوئید ازجلبک *Dunaliella salina* می تواند توسط دی اکسید کربن به روش فوق بحرانی انجام شود. به همین ترتیب، روش‌های استخراج اتانولی را می‌توان برای استخراج همزمان با حلال و تفکیک اسید چربEPA (20:5n-3) از *Nannochloropsis* استفاده کرد. پروتئین ها می‌توانند از ریز جلبک ها از طریق روش جداسازی 3 مرحله ایی استخراج شوند.پلی ساکارید های خارج سلولی از جلبک پورفیدریوم و سیانوتس با استفاده از روش ترسیب اتانولی استخراج شوند (شکل1).



شکل1. ترکیبات زیست فعال تجاری مشتق شده از ریزجلبک های دریایی

اجزای اصلی و ترکیبات زیست فعال کلیدی تولید شده توسط ریزجلبک های دریایی در بخش های فرعی زیر مورد بحث قرار می گیرند:

1- اسید های آمینه

ریزجلبک ها می توانند انواع مختلفی از اسیدهای آمینه را که به عنوان واحد های های سازنده پروتئین های مولکولی هستند، تولید کنند. با توجه به محتوای پروتئین بالای آن تا 40 تا 60 درصد (وزن / وزن)، ریزجلبک ها می توانند به عنوان یک منبع پروتئین در صنایع غذایی استفاده شوند (جدول 1) (Bleakley and Hayes, 2017).

جدول1- مقدار پروتئین اسیدهای آمینه ضروری در ریز جلبک های دریایی مختلف

گونه	پروتئین خام (٪)	اسیدهای آمینه ضروری (٪)
Nannochloropsis salina	40	48.14
Navicula incerta	50.38	63.5
Phaeodactylum tricornutum	28.6	57.7
Isochrysis galbana	36.4	48.7
Phaeodactylum tricornutum	70	N.A.
Tetraselmis sp.	27.86	36.86
Nannochloropsis granulate	34	17.58
Pavlova sp.	66	21.25

بر خلاف سایر رژیم های غذایی غنی از پروتئین، اسیدهای آمینه مشتق شده از جلبک ها ترجیح داده می شوند زیرا ریزجلبک ها می توانند تقریباً تمام مولکول های اسید آمینه را سنتز کنند. علاوه بر این، ریزجلبک های اصلاح شده ژنتیکی می توانند پروتئین های مختلف را به طور موثر سنتز کنند. اسیدهای آمینه ضروری (EAAs) مانند ترئونین، لوسین، والین، ایزولوسین، لیزین، متیونین و هیستیدین توسط بدن انسان تولید نمی شوند و بنابراین باید از طریق جیره غذایی تامین شوند. ریزجلبک های دریایی به دلیل توانایی آنها در تامین اسید های آمینه ضروری میتوانند جایگزین مناسبی برای پروتئین های گیاهی باشند. ریزجلبک ها همچنین حاوی اسیدهای آمینه غیر ضروری مانند پرولین، آرژنین، آسپارتیک، سرین، گلیسین، سیستئین، تیروزین و اسید گلوتامیک هستند که دارای مزایای سلامتی متعددی هستند.

این مواد با تعدیل بیان ژن،به پاسخ های آنتی اکسیدانی و سیگنال دهی سلول های سیستم ایمنی کمک می کنند. سلنومتیونین،شناخته شده به عنوان سلنیوم آلی، یک پروتئین حاوی سلنیوم است که دارای مزایای سلامتی متعددی است. فقط تعداد کمی از گیاهان خشک زی (مانند آجیل، غلات، دانه‌های سویا) می‌توانند این ترکیب را تولید کنند، اگرچه غلظت آن در این گیاهان نسبتاً کم است. چندین گونه ریز جلبک دریایی مانند *Nannochloropsis oceanica* و *Chlorella sp*. می توانند غلظت زیادی از سلنومتیونین راجذب خود کنند. برخی از ریزجلبک ها مانند *Phaeodactylum tricornutum*) می توانند به عنوان کارخانه زیستی برای تولید پروتئین های درمانی استفاده شوند.

2- اسیدهای چرب

لیپیدهای موجود در ریز جلبک ها می توانند جایگزین روغن ماهی شوند تا نیازهای آبزی پروری و مصارف انسانی را برآورده کنند زیرا محتوای چربی بالایی دارند. لیپیدهای موجود در ریز جلبک ها غنی از اسیدهای چرب بسیار غیراشباع بلند زنجیره ضروری (HUFA) از جمله روغن امگا 3 هستند که باید در برنامه غذایی بصورت منظم گنجانده شوند زیرا انسان و بسیاری از حیوانات نمی توانند آنها را به طور طبیعی تولید کنند.

اسیدهای چرب بسیار غیراشباع بلند زنجیره ضروری ها مانند دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) و ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA)فواید سلامتی متعددی برای انسان و حیوانات دارند. DHA با کمک به نورون ها، تقویت حافظه کوتاه مدت و بلند مدت و تسهیل درمان اختلالات مرتبط با مغز، عملکرد مغز را بهبود می بخشد، در حالی که EPA و DHA با هم به رشد جنین، در پیشگیری از التهاب و درمان بیماری های قلبی عروقی کمک می کنند. امروزه ماهی های دریایی مانند ماهی آزاد و ماهی کاد مهمترین منبع این ترکیبات زیست فعال برای استفاده انسان هستند.با این حال، با توجه به ذخایر محدود روغن مبتنی بر ماهی، محققان ترغیب شده اند تا منبع جایگزینی برای این HUFA های ضروری پیدا کنند . جلبک *Schizochytrium sp* منبع سرشار از DHA است که می تواند تا 30 درصد DHA کل اسیدهای چرب را به خود اختصاص دهد. همچنین *Phaeodactylum tricornutum*، به عنوان یک دیاتوم دریایی، حاوی 46-52درصد EPA از کل اسیدهای چرب است.

جدول2- مقادیر تشکیل دهنده اسیدهای چرب گونه های مختلف ریز جلبک ها

گونه ریز جلبک دریایی	لیپید(درصد)	اسیدهای چرب ضروری	
		DHA(%)	EPA(%)
Nannochloropsis salina	35	N.A	28
Pavlova lutheri	34-36	5.69	12.10
Prorocentrum triestinum	3.69	20.06	3.66
Isochrysis aff. Galbana	51	15.2	0.57%
Schizochytrium sp.	17.83	58.25	<1
.Schizochytrium sp	50.35	48.95	N.A.
Nannochloropsis oceanica	35.3	-	28.9
Pavlova sp.	16-17	8.2	26.6

از جمله کاربرد ریز جلک ها میتوان به استفاده گسترده در صنایع آرایشی و بهداشتی به عنوان لیپوزوم ها، امولسی فایرها، حل کننده ها و عوامل مرطوب کننده بدلیل اشباع بودن از فسفولیپید ها اشاره کرد. علاوه بر این، آنها به دلیل فعالیت های ضد التهابی و ضد ترومبوتیک ارزش دارویی دارند. فسفولیپیدهایی مانند فسفاتیدیل سرین (PS)، فسفاتیدیل کولین (PC)، فسفاتیدیلینوزیتول (PI) و فسفاتیدیل اتانول آمین (PE) معمولاً در ریزجلبک ها موجود هستند. فسفولیپیدها می توانند 10 تا 50 درصد کل لیپیدها را در ریزجلبک های دریایی تشکیل دهند.

3- رنگدانه ها

ریزجلبک ها رنگ های متمایزی دارند که با حضور رنگدانه ها در سلول هایشان مشخص می شود. رنگدانه ها به طور کلی به دو دسته محلول در چربی و محلول در آب طبقه بندی می شوند. رنگدانه های محلول در چربی کاروتنوئیدها و کلروفیل ها هستند، در حالی که فیکوبیلین یک رنگدانه محلول در آب است. این محصولات فرآوری شده از ریزجلبک ها می توانند در کاربردهای بهداشتی، از جمله به عنوان عوامل ضد اکسید کننده، تقویت کننده های ایمنی، محافظت کننده عصبی و پیش ساز ویتامین ها مفید باشند (جدول 3).

گونه ریز جلبک	نوع رنگدانه ها	مزایا
Tetraselmis suecica	لوتئین، بتاکاروتن	آنتی اکسیدان، جلوگیری از بیماری های چشمی و سرطان، بهبود دهنده پوست
Chlorella salina	لوتئین، بتاکاروتن	
Dunaliella salina	بتاکاروتن،	آنتی اکسیدان، محافظت از اشعه فرابنفش
Navicula incerta	کاروتن	آنتی اکسیدان
Tetraselmis sp.	آستاگزانتین	درمان تورم، بهبود جریان خون
Picochlorum maculatum	آستاگزانتین	
Rhodomonas salina	فیکواریترین	درمان سرطان و آنتی اکسیدان،رنگ دانه غذایی
Porphyridium purpureum	فیکواریترین	
Spirulina platensis	فیکوسیانین	آنتی اکسیدان، رنگدانه طبیعی
Phormidium sp.	فیکوسیانین	
Odontella aurita	فوکوگزانتین	آنتی اکسیدان، درمان بیماری های مزمن

جدول3- خواص رنگدانه های موجود در ریز جلبک ها

4- ریزجلبک های دریایی به عنوان غذای انسان

در سال‌های اخیر، افزایش نگرانی‌ها در مورد سلامت و ایمنی غذایی محصولات غذایی فرآوری‌شده، آژانس‌های ملی مانند سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) و سازمان ایمنی غذای اروپا (EFSA) را بر آن داشته است تا استفاده از رنگ‌های مصنوعی را در رژیم های غذایی به دلیل افزایش انکوژن یا پاسخ های آلرژیک محدود کند. . بنابراین، مواد طبیعی، به عنوان مثال، ترکیبات مبتنی بر جلبک، در صنایع غذایی قابل قبول تر خواهد بود. رایج ترین ریزجلبک های دریایی (مانند Spirulina sp. و Dunaliella sp. و غیره) به شکل قرص، کپسول و پودر خشک شده به عنوان منبع غذاهای کاربردی مصرف می شوند. علاوه بر این، آنها ممکن است به عنوان یک ماده تشکیل دهنده در غذاهای مختلف از جمله کلوچه، شیرینی، تنقلات، رشته فرنگی و نوشابه های گازدار استفاده شوند. کاربرد ریزجلبک ها (به عنوان مثال *Dunaliella salina*، *Isochrysis galbana* و غیره) در ماکارونی برای افزایش کیفیت توسط چندین محقق مورد بررسی قرار گرفت.

5- انتخاب سویه مناسب

انتخاب یک سویه و شرایط کشت آن برای تولید زیست توده با کیفیت مطلوب بسیار مهم و حیاتی است. در غربالگری گسترده سویه‌ها، شناسایی سویه‌های مناسب وتوجه به شرایط رشد آن‌ها از نکات مهم و ضروری به شمار میرود. غلظت سلولی N نیتروژن وفسفر P در ریزجلبک‌ها از سویه‌ای به سویه دیگر متفاوت است.
کودهای تجاری به عنوان منابع N (اوره، نیترات آمونیوم، نیترات اوره آمونیوم و غیره) و P (فسفات مونوآمونیم، فسفات دی آمونیوم، NPK و غیره) از جمله منابع مورد استفاده در تکثیر و پرورش ریز جلبک ها به شمار می‌روند. بنابراین، سوخت های زیستی ساخته شده از زیست توده ریز جلبکی غنی از نیتروژن و فسفر می تواند تبدیل انرژی فتوسنتزی توسط سلول های ریزجلبکی را خنثی کند. بنابر این سوخت های زیستی حاصل از زیتوده جلبک های غنی از نیتروژن و فسفر میتواند تبدیل انرژی حاصل از عمل فتوسنتز توسط ریز جلبک ها را خنثی کند.

6- کشت و پرورش

پرورش ریز جلبک ها در محیط های کشت باز بسته و نیمه بسته صورت می‌گیرد. اگرچه بهره وری زیست توده بالاتری را می توان در سیستم های کشت بسته به دست آورداما هزینه ساخت و انرژی عملیاتی در سیستم های بسته می تواند برای تولید سوخت زیستی میکروجلبکی بسیار هزینه بر باشد. به عنوان مثال، متوسط هزینه تولید بیودیزل در یک فتوبیوراکتور تجاری می تواند تا 2.5 برابر بیشتر از یک حوضچه باز باشد . برعکس، یک سیستم کشت باز می تواند ریزجلبکی مقرون به صرفه را ارائه دهد هرچند عوامل تهدید کننده محیط پرورش مانند افزایش مقدار تبخیر آب و

گسترش آلودگی میتواند بر کیفیت محصول نهایی تاثیر گذار باشند.با این وجود، یک سیستم کشت کنترل شده به منظور استفاده در صنعت خوراک و غذا توصیه می شود. از دست دادن آب در اثر تبخیر در حوضچه های باز یکی از مشکلات عمده در کشت ریزجلبک های دریایی است. بسته به موقعیت محل کشت و شرایط آب و هوایی، نرخ تبخیر می تواند از 0.1 تا 2.0 سانتی متر در روز متفاوت باشد (Rogers *et al.*, 2014). تامین آب شیرین برای جبران تلفات تبخیر، مزایای انتخاب سویه های دریایی برای تولید مواد اولیه مختلف را تضعیف می کند. به جای اضافه کردن آب شیرین، می توان از آب دریا وسویه های مقتوم به شوری استفاده کرد.

انتشارگاز دی اکسید کربن جهت افزایش عملکرد محصول تولیدی ریز جلبک ها بسیار ضعیف بوده و لذا باید از جریان مداوم گاز دی اکسید کربن استفاده نمود. نیاز دی اکسید کربن برای تولید زیست توده ریزجلبکی حدود 1/83 کیلوگرم گاز دی اکسید کربن به ازای هر کیلوگرم زیتوده تولیدی برآورد میشود.

7- برداشت

جداسازی زیتوده معمولاً در دو مرحله انجام می‌شود: مرحله مقدماتی ریزجلبک‌ها را از بخش عمده کشت به شکل دوغاب زیتوده با محتوای جامد تا 4 درصد تغلیظ می‌کند و در مرحله دوم، می توان از سانتریفیوژ یا یک زلال کننده جهت حصول خمیر زیتوده با محتوای جامد 25 درصد استفاده کرد. برخی از سلول‌های جلبک بزرگ و سنگین هستند و این سلول‌ها زمانی که کشت برای مدتی دست‌نخورده نگه داشته شود، رسوب می‌کنند. چندین سیانوباکتری رشته‌ای یک شبکه درهم را تشکیل می‌دهند که می‌تواند در پایین قرار گیرد یا به سمت بالا شناور شوند و جداسازی زیتوده را نسبتاً آسان‌تر می‌کند. برخی دیگر از ریزجلبک ها و سیانوباکتری ها پلی ساکارید های خارج سلولی تولید می کنند که به تشکیل لخته های سلولی کمک می‌کنند. این لخته ها می توانند بصورت خود به خودی در پایین ته نشین شوند.

جمع بندی نهایی

نیاز فوری به شناسایی منابع جایگزین مواد اولیه با مواد مغذی بالا برای تولید دام و طیور داخلی، نه تنها برای حمایت از نیازهای غذایی در حال رشد، بلکه برای تولید غذاهای کاربردی با منبع ریزجلبک با فواید سلامتی متعدد، امری ضروری به شمار می‌رود. ریزجلبک‌ها به دلیل فراوانی پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، مواد معدنی، ویتامین‌ها و سایر محصولات با ارزش غذایی بالا، به عنوان یک جزء غذایی بالقوه در مصارف جیره غذایی حیوانات به خصوص آبزیان به شمار می‌رود. با توجه به کشت ریز جلبک ها در مقیاس بزرگ برای استفاده به عنوان خوراک در جیره غذایی حیوانات و تاثیر آن بر سلامت غذایی انسان، بسیاری از معاوضه های اقتصادی مانند انتخاب سویه هایی با خواص تغذیه

ای مطلوب، سیستم های کشت و مراحل پردازش پایین دستی باید به دقت در نظرگرفته شود. این عوامل با بررسی های بیشتر مورد نیاز برای کاهش هزینه های کلی کشت برجسته می شوند.

مراجع

1. Bleakley, S., Hayes, M. 2017. Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. Foods. 6, 33.
2. Lenferna, G.A. 2018. Can we equitably manage the end of the fossil fuel era? Energy Res. Soc. Sci. 35, 217–223.
3. Mahata, Ch., Das, P., Khan, Sh., Thaher, M. I. A, Abdul Quadir, M., Nagappan Annamali, S., Al Jabri, H. 2022. The Potential of marine microalgae for the production of food, feed, and fuel (3F). 8, 316. https://doi.org/10.3390/fermentation8070316.
4. Rogers, J. N., Rosenberg, J. N., Guzman, B. J., Oh, V. H., Mimbela, L. E., Ghassemi, A., Betenbaugh, M. J., Oyler, G. A., Donohue, M. D. 2014. A critical analysis of paddlewheel-driven raceway ponds for algal biofuel production at commercial scales. Algal Res. 4, 76–88.