



اسپیروکلینا، غذای آیندگان

ولید هوتی^۱، رامین مناففر^{*۱}

*r.manaffar@urmia.ac.ir

۱ - گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

اسپیروکلینا سیانوباکتر فتوسنتز کننده‌ای است که در بسیاری از کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری و مناطق معتدله به عنوان تغذیه انسان و حیوانات به صورت تجاری کشت داده می‌شود. این محصول تجاری به دلیل مواد مغذی با ارزش، منبعی غنی از پروتئین و ویتامین‌هاست که در صنعت داروسازی، مواد غذایی و شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در دو دهه اخیر، تولید ریز جلبک برای غذا بیش از پنج برابر افزایش یافته است و اکنون جلبک‌ها در حدود ۸۰ کشور جهان مصرف می‌شود. همچنین این جلبک در ۲۲ کشور تولید می‌شود که بازار اروپا به تنهایی ۳۲ درصد از کل تولید را مصرف می‌کند. بر اساس مشاهدات انجام شده، یکی از بالاترین نرخ‌های رشد سالانه ۱۵ درصد در این حوزه به ثبت رسیده است. سازمان فضایی آمریکا (ناسا) این ریز جلبک را به عنوان "سوپر فود" نامگذاری کرده است و در تلاش است تا به وسیله اسپیروکلینا برای فضانوردان جیره‌های غذایی مفید تهیه نماید. هدف از مطالعه حاضر بررسی و شناخت جلبک اسپیروکلینا به عنوان غذایی برای نسل آینده بشر می‌باشد.

کلمات کلیدی: جلبک اسپیروکلینا، آبزی پروری، آبزیان، غذا

مقدمه

اسپیرولینا^۱، جلبک سبز-آبی دارای ویژگی فتوسنتزکنندگی می باشد که در بسیاری از نواحی کره زمین به خصوص در آب و هوای گرمسیری و نیمه گرمسیری به صورت طبیعی وجود دارد یا به صورت مصنوعی به عنوان غذای انسان کشت داده می شود (Beyrer et al., 2020). این محصول تجاری به دلیل مواد مغذی با ارزش، به عنوان منبعی غنی از پروتئین و ویتامین هاست که در صنعت داروسازی، مواد غذایی و شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرد (Molino et al., 2019). مصرف *Spirulina* به عنوان یک ماده غذایی کاربردی اخیراً در کشورهای غربی افزایش یافته است. *Spirulina* منبع عالی متابولیت های ثانویه زیست فعال به جز کربوهیدرات ها، ویتامین ها، پروتئین، مواد معدنی، اسیدهای چرب ضروری و فیبرهای غذایی می باشد که به عنوان مکمل غذایی در صنایع غذایی به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد (Menegotto et al., 2019). این جلبک به دلیل داشتن ترکیبات مهم و تاثیرگذار و مزایای بهداشتی مرتبط با مصرف اسپیرولینا (یا ترکیبات مشتق شده از آن)، پتانسیل تبدیل شدن به یک غذای مهم در آینده و استفاده از آن به عنوان عنصری در توسعه غذاهای عملکردی را نشان می دهد (Lafaraga et al., 2020). همچنین این جلبک دارای کیفیت پروتئین تغذیه ای بالا با نسبت اسید آمینه های ضروری توصیه شده از سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) بوده و همچنین حاوی اسیدهای چرب ضروری و مواد معدنی غنی نیز می باشد (Menegotto et al., 2019).

از دیدگاه بیوتکنولوژیک، پروتئین های *Spirulina platensis* ممکن است جزء با ارزشمندترین پروتئین ها در غذاها باشند که می توانند به پردازش صنعت و ویژگی های تغذیه ای کمک بسیار کنند (Lupatini et al., 2017). ریز جلبک ها مانند *S. platensis* دارای ویژگی های شیمیایی مانند محتوای پروتئین بالا (۷۰٪)، چربی ها (۳-۹٪)، کربوهیدرات ها (۱۵-۳۰٪)، β کاروتن (برتر از هویج) و ویتامین ها (B_1 , B_2 , B_{12}) هستند. این زیست توده با ترکیبات عالی از کاربرد بسیار در تغذیه حیوانات و همچنین انسان برخوردار است (Cardoso et al., 2020). از این ریز جلبک (اسپیرولینا) به عنوان "غذایی برای

آینده" یاد شده است، زیرا از قابلیت سنتز به صورت مواد غذایی متراکم با کیفیت بالا برخوردار است و نسبت به سایر جلبک ها کارایی بیشتر و بهتری دارد (Costa et al., 2019). هدف از مطالعه حاضر بررسی و شناخت جلبک اسپیرولینا به عنوان غذایی برای نسل آینده بشر می باشد (شکل ۱).



شکل ۱: جلبک اسپیرولینا (بزرگنمایی ۴۰۰)

معرفی اسپیرولینا

اسپیرولینا، متعلق به خانواده اسیلاتوریاسه، با نام علمی *Arthrospira*

یک جنس از سیانوباکتری های فتوسنتزی میکروسکوپی و فیلامنتوس (جلبک های سبز-آبی) و غیر سمی می باشد. همچنین مواد غذایی بیشتر عمده تاز دو جنس *A. maxima* و *A. platensis* تولید می شوند که از دوران باستان به عنوان منبع غذایی مورد استفاده بشر قرار گرفته اند (Koukouraki et al., 2020). این میکرو جلبک تک رشته ای شناور آزاد است که به طور طبیعی در محیط های گرم آبی رشد می کند. در سراسر جهان، این گیاه در زیستگاه طبیعی، حوضچه ها و دریاچه های خود کشت می شود. به طور سنتی از ابتدای قرن شانزدهم در جوامع آسیایی، آفریقایی و مکزیکی، از این جلبک برای مصرف مستقیم انسان استفاده می شود (de Moraes et al., 2015). این محصول تجاری می باشد و به دلیل دارا بودن مواد مغذی با ارزش، به عنوان منبعی غنی از پروتئین و ویتامین ها است که در صنعت داروسازی، مواد غذایی به وفور استفاده می شود. همچنین جلبک اسپیرولینا گونه *platensis* بهترین جلبک آب شیرین

¹ *Spirulina*

مورد استفاده در رژیم آبی پروری می باشد (Teimouri *et al.*, 2019).

مشکلات تأمین منابع غذایی انسان در قرن حاضر

ایمنی مواد غذایی یک مسئله جهانی است و تأثیر قابل توجهی بر سلامت انسان دارد. سالانه بیش از ۲ میلیارد نفر تحت تأثیر بیماری‌های مربوط به غذا قرار دارند که شیوع ناشی از غذا را در سطح جهانی افزایش می‌دهد (Uyttendaele *et al.*, 2016). غذا به عنوان یک ماده حیاتی برای تأمین انرژی و مواد مغذی لازم به منظور حفظ زندگی و ادامه حیات و رشد محسوب می‌شود. نگاه بشر به مواد غذایی نه تنها برای سیر شدن، بلکه برآورده نمودن نیازهای روانی و ذهنی افراد است. روشن است که غذا تنها یک نیاز فیزیولوژیک نبوده بلکه به عنوان یک نیاز اجتماعی و نمادی برای تعلقات ذهنی، آداب و سنن، جایگاه اجتماعی و روابطی است که بین افراد جامعه حکم فرماست (Counihan and Van Esterik, 2012). غذا و تغذیه یکی از ضروری‌ترین نیازهای بشر می‌باشد که همواره از بدو پیدایش تا به امروز جوامع انسانی با آن روبه‌رو بوده‌اند. عواملی مانند رابطه غذا و سلامت، کمبودهای غذایی، اجرای سیاست‌های غذایی در سطوح مختلف محلی، ملی و جهانی، پیامدهای رفتارهای تغذیه‌ای تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل فرهنگی و محیطی شکل می‌گیرند، بسیاری از انتخاب‌ها نسبت به غذاها و عادات غذایی نه به دلیل آموزش‌های فردی بلکه تحت تأثیر فرهنگ، محیط، اقتصاد، سلامت و روابط اجتماعی ظهور یافته است (Kuhnlein *et al.*, 2006).

مهم‌ترین چالش‌های امنیت غذایی

الف) افزایش قیمت جهانی مواد غذایی: این گرانی که موجب کاهش دسترسی فقرا به غذا و پیدایش بیش از یکصد میلیون نفر فقیر جدید شده است "سونامی گرسنگی" نامیده شده است (اسفندیاری و میرعباسی، ۱۳۹۱). بر همین اساس در سالهای اخیر در کشورهای توسعه یافته میلیاردها دلار سوبسید به تولید عمده مواد غذایی اختصاص یافته است.

ب) تغییرات جوی و گرم شدن کره زمین: تغییر اقلیم و افزایش دما اثراتی بر چرخه آب و هوا و فرآیند کشاورزی دارد که از

عمده‌ترین آنها می‌توان به تأثیر افزایش دما بر عملکرد محصولات اشاره نمود. اطمینان از دسترسی و تحقق امنیت غذایی با شرایط مذکور با تردیدهای جدی مواجه بوده است و رفع آن مستلزم اتخاذ تصمیمات مناسب جهت حمایت‌های اصولی و سرمایه‌گذاری‌های کافی و مناسب در بخش کشاورزی کشورها می‌باشد (اسفندیاری و میرعباسی، ۱۳۹۱).

ج) تخریب منابع طبیعی: در نیم قرن گذشته حدود ۲ میلیارد از ۷/۸ میلیارد هکتار اراضی کشاورزی، مراتع دائمی و جنگل‌ها تخریب شده که بیش از ۸۰ کشور جهان را تحت تأثیر قرار داده است و بیش از ۳۰ کشور جهان با تخریب اراضی خشک و بیابان‌زایی مواجهند. تخمین زده می‌شود که ۱۰-۵ میلیون هکتار به طور سالانه از حیز انتفاع خارج شده و غیر قابل برگشت نیز می‌شود. طی چند سال گذشته به طور سالانه ۰/۸ درصد از جنگل‌های نواحی گرمسیری جهان برای سایر مصارف تبدیل شده است. کشاورزان فقیر از این اراضی برای کشاورزی استفاده می‌کنند تا غذای خود را تأمین کنند و این بدان معناست که دوم سوم جنگل‌زدایی جهانی در این محدوده زمانی اتفاق افتاده است (ملکوتی و شتایی جویباری، ۱۳۸۴).

د) کاهش اراضی زیر کشت: توزیع اراضی متعدد در جهان بسیار نامتوازن است. در هفت کشور آرژانتین، برزیل، کلمبیا، بولیوی، آنگولا، کنگو و سودان ۵۰ درصد از اراضی مستعد زیر کشت قرار دارد. در خاور نزدیک و شمال آفریقا ۷۸ درصد و در جنوب آسیا ۹۶ درصد اراضی مناسب زیر کشت رفته است. در چند کشور خاورمیانه و آفریقا بیلان اراضی منفی است. است. به علاوه، افزایش تولید نیاز به گسترش تحقیقات و فناوری‌های جدید دارد (کلانتری، ۱۳۸۹).

ه) جهانی شدن اقتصاد و نظام‌های تولید: جهانی شدن و گسترده‌گی وابستگی‌های اقتصادی باعث شده است که تصمیم‌گیری فعالیت‌های کشاورزی نه تنها در سطح ملی بلکه حتی در سطح یک مزرعه نیز متأثر از تحولات و تغییرات اقتصاد جهانی و روندهای آن باشد. نظام‌های تولید نیز به مقدار زیادی تحت تأثیر پدیده جهانی شدن قرار دارند (سلاطین و همکاران، ۱۳۹۶).

و) فرسایش منابع پایه و بحران‌های زیست محیطی: گذشته از صدمه‌های ناشی از تخریب محیط زیست بر حیات انسانی، از دیگر پیامدهای ناشی از تخریب منابع طبیعی در اثر به‌کارگیری الگوهای نامناسب تولیدی، می‌توان به ناپایداری نظام‌های تولید و بهره‌برداری کشاورزی و از بین رفتن منابع پایه و در نتیجه، تحدید امکانات تولیدی اشاره نمود (اسفندیاری و میرعباسی، ۱۳۹۱). تغییرات زیست محیطی، رشد جمعیت، توزیع نابرابر غذا و گرایش روزافزون به مصرف غذاهای با منبع حیوانی از عواقب و تعیین‌کننده‌های نظام ناپایدار غذا و تغذیه هستند (Godfray et al., 2010; Johnston et al., 2014). این تغییرات موجب شده است که بخش عظیمی از تنوع زیستی از دست رفته و زیست بوم تخریب شود که خود بر سیستم کشاورزی، معیشت و سلامت اثرگذارند (Johnston et al., 2014). بر اساس تعریف سازمان خوار و بار جهانی (FAO) مولفه‌های اصلی رژیم غذایی ایمن شامل: تندرستی و سلامت، تنوع زیستی، محیط زیست و آب و هوا، برابری و تجارت عادلانه، غذاهای منطبق با اکوسیستم، محلی و فصلی، مهارت و میراث فرهنگی، تأمین نیازهای تغذیه‌ای، امنیت غذایی و دسترسی به غذاست (Johnston et al., 2014). ریز جلبک / اسپروئینا به عنوان مکمل غذایی دریایی و دوستدار محیط زیست به طور کلی، به عنوان غذای امن و سرشار از پروتئین و سایر مواد معدنی ضروری بدن شناخته شده است و به دلیل سابقه طولانی در استفاده از این ریزجلبک، سازمان غذا و دارو (FDA) آن را در سبد مواد غذاهای جدید قرار داده است (Lafarga et al., 2020).

گرمایش کره زمین و تاثیر کشاورزی و دامداری مدرن بر آن

تغییرات اقلیمی^۱ فرآیند منحصر به زمان ما نبوده و براساس شواهد موجود، کره زمین در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی همواره با چنین تغییراتی مواجه بوده ولی آنچه تغییرات اقلیمی قرن حاضر به‌ویژه نیمه دوم قرن بیستم را از گذشته، متمایز

ساخته است، ماهیت و سرعت آن می‌باشد. عوامل بسیار زیادی بر گرم شدن کره زمین تاثیر دارند، ولی مهم‌ترین عامل، انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (مرادی و امینیان، ۱۳۹۱). منشأ انتشار گازهای گلخانه‌ای در این کره خاکی، بسیار متنوع بوده ولی بیشترین منبع انتشار این گازها، ناشی از کاربرد سوخت فسیلی، مزارع کشت برنج و مرداب‌ها و نیز تخمیر بی‌هوازی در دستگاه گوارش حیوانات اهلی می‌باشند. گاز متان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای جهان بوده که حدود ۷۰ درصد از تولید گاز متان در محیط زیست، با فعالیت‌های انسانی مرتبط است. جمعیت ۱/۵۷ میلیاردی حیوانات نشخوارکننده جهان حدود ۱۱۰-۸۰ میلیون مترمکعب گاز متان در هر سال تولید می‌کنند (صفایی و همکاران، ۱۳۹۷). متان پس از دی‌اکسیدکربن، مهم‌ترین عامل گرمایش زمین است و در پیمان کیوتو (۱۹۹۷)^۲ بر کاهش مقدار تولید آن تاکید شده است. اثر گلخانه‌ای، به عنوان یک صافی یک طرفه عمل می‌کند و موجب گرم شدن یکطرفه جو زمین می‌گردد. گازهای گلخانه‌ای شامل بخار آب، دی‌اکسیدکربن، متان، سولفید هیدروژن، هگزا فلورید گوگرد، اکسید نیتروژن، هیدروفلوراکربن و هالوکربن‌ها (فریون‌ها) می‌باشند (نوروزی و خسروی، ۱۳۸۹).

آلودگی محیط زیست به دلیل افزایش سریع صنعتی شدن و شهرنشینی یک مشکل نگران‌کننده در سراسر جهان بوده به‌ویژه استفاده گسترده از آفت‌کش‌های شیمیایی باعث مشکلات زیست‌محیطی متعددی در کشورهای متعدد شده است (Rashwan and Hammad, 2020). محققان در حال یافتن مقدار هنگفتی از منابع جایگزین برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی هستند. در بین این منابع، زیست‌توده ریز جلبک‌ها کاندید بالقوه‌ای جهت جایگزین سوخت فسیلی در آینده محسوب می‌شوند. سیانوباکتری‌ها (با نام جلبک‌های سبز - آبی نیز شناخته می‌شوند)، یک فیلوم از میکروارگانیسم‌ها بوده که مربوط به باکتری‌ها بوده، اما قادر به انجام فتوسنتز هستند. به همین دلیل، سیانوباکتری‌ها عموماً در گروه میکرو جلبک‌ها گنجانده می‌شوند (اگرچه پروکاریوت هستند و اصطلاح جلبک‌ها باید محدود به یوکاریوت‌ها باشد). به طور کلی، این میکروارگانیسم‌ها برای عموم ناشناخته هستند، اما انسان‌ها زندگی را مدیون میلیون‌ها سال فعالیت فتوسنتزی سیانوباکتری‌ها

^۲ کیوتو: پیمان بین‌المللی به منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای

^۱ Changes climate

هستند. سیانوباکترها اولین گروه میکروارگانیسم‌هایی بودند که برای رفع دی اکسید کربن جوی به کربن آلی تکامل یافتند (Beyer *et al.*, 2020). میکرو جلبک‌ها و سیانوباکترها می‌توانند بیوتوکسین‌های مختلف را کاهش داده و موجب کاهش گازهای گلخانه‌ای خصوصاً دی اکسید کربن شوند. بر همین اساس می‌توانیم بسیار امیدوار باشیم که میکروارگانیسم در آینده‌ای نه چندان دور می‌توانند برای تولید هیدروژن در مقیاس بزرگ مورد استفاده قرار گیرند. تولید هیدروژن از سیانوباکتری‌ها می‌تواند افق روشنی برای آیندگان باشد (Chang *et al.*, 2020). ریز جلبک‌ها به دلیل انطباق‌پذیری خوب، نرخ تبدیل بالا و زیست‌سازگاری آنها، به عنوان یک منبع تجدیدپذیر، پایدار و اقتصادی امیدوارکننده برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی و مواد شیمیایی در نظر گرفته می‌شوند (He *et al.*, 2020).

مزایای کشت جلبک

ریز جلبک‌ها به صورت تجاری برای تولید ترکیبات با ارزش از جمله پروتئین، رنگدانه‌ها، لیپیدها، کاروتنوئیدها، اسیدهای چرب چند اشباع نشده، استروئیدها، ویتامین‌ها، و ... کشت می‌شوند (Bhalamurugan *et al.*, 2018). بهره‌برداری بیوتکنولوژیک از منابع ریز جلبک برای مقاصد تغذیه انسانی با توجه به مقررات سخت‌گیرانه ایمنی مواد غذایی، عوامل تجاری، تقاضای بازار و آماده‌سازی خاص این گونه‌ها، به گونه‌های بسیار کمی محدود شده است (Pulz and Gross, 2004). ریز جلبک‌ها یکی از مهم‌ترین منابع زیست‌توده هستند زیرا می‌توان آنها را در سخت به‌راحتی کشت داد. ریز جلبک‌ها می‌توانند در بسیاری از زمینه‌ها (تولید سوخت زیستی، تصفیه فاضلاب و در مواد غذایی، لوازم آرایشی و صنایع دارویی) مورد استفاده قرار گیرند. همچنین زیست توده ریز جلبک‌ها که از کشت‌های ریز جلبک برداشت می‌شود، حاوی مقدار بالای متابولیت‌های اولیه (کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها)، و متابولیت‌های ثانویه (کاروتنوئیدها و اسیدهای فنلی) می‌باشد. این متابولیت‌ها خوراک مفیدی برای بخش مواد غذایی، خوراک، انرژی و محصولات با ارزش بالا هستند. کشت ریز جلبک‌ها (در فلاسک‌ها و در فتوبیوراکتورها^۱)، اولین گام به سمت کاهش

کربن و تولید زیست توده با ارزش اقتصادی بالا است (Tarhan *et al.*, 2020). کشت/اسپیرولینا مزایای بسیاری (زیست توده پروتئین بالا، عدم پردازش محصولات جنبی، مناسب بودن برای مناطق خشک یا نیمه خشک جهان و توانایی کشت آن در آب شور)، نسبت به کشاورزی سنتی ارائه می‌دهد. هزینه بالای تولید CO₂ مورد نیاز این جلبک یکی از موانع اصلی تولید زیست توده اسپیرولینا است به ویژه زمانیکه NaHCO₃ و Na₂CO₃ به عنوان یکی برای از پارامترهای اصلی کشت این جلبک مطرح می‌باشد. همچنین NaCl مورد نیاز در محیط زاروک (SOT) که یک عامل اصلی در جلوگیری از رشد *S. maxima* می‌باشد یکی از مشکلات عمده کشت این جلبک دریایی می‌باشد (Affan *et al.*, 2015). این ریز جلبک که یک میکروارگانیسم فتوسنتزی است، گاز دی اکسید کربن را به همراه نور خورشید و آب، به کربن آلی تبدیل می‌کند که در سلول‌های ریز جلبک ذخیره می‌شود. این فرایند تبدیل به "تثبیت کربن" معروف است. شایان ذکر است، تثبیت کربن یا دی‌اکسیدکربن روشی برای جذب کربن است جایی که توالی کربن ترکیب جذب کربن و ذخیره‌سازی بلند مدت است. سرعت رشد سریع ریز جلبک‌ها که در آن سلول‌ها می‌توانند هر ۲۴-۴۸ ساعت دو برابر شوند، یک مزیت رقابتیست. بدین ترتیب، میکرو جلبک‌ها ۱۰-۵۰ برابر کارآمدتر در تثبیت کربن در مقایسه با گیاهان زمینی می‌باشند (McGaughy and Reza, 2018). کشت انبوه جلبک‌های میکروسکوپی و استفاده از توده زنده آنها به عنوان منبع غذایی به اوایل دهه ۱۹۵۰ برمی‌گردد. در دهه اخیر، محققان در کشورهای مختلف گام‌های بلندی برای تولید و کاربرد جلبک و فراوری در مقیاس بزرگ آنها انجام داده‌اند. توده زنده جلبک مصارف مختلفی از جمله غذای حیوانات، کود زیستی، بهبود شرایط خاک و غذای آبزیان دارد. همچنین از طریق تصفیه زیستی آب و فاضلاب می‌تواند مشکلات سلامت عمومی را حل کند و به سرعت در جامعه توسعه یابد. امروزه حدود ۳۰ هزار گونه جلبک شناخته شده و طبقه‌بندی، تاکسونومی و ویژگی‌های میکروسکوپی آنها از سال‌ها قبل به‌خوبی شناخته شده است. اولین تولید/اسپیرولینا در مقیاس بزرگ در دهه ۱۹۷۰ در دریاچه Texcoco در نزدیکی مکزیکو سیتی (مکزیک) انجام شد. این کارخانه تا سال ۱۹۹۵، عملیاتی باقی

¹PBRs (photobioreactor)

مانند، اسپروولینا یکی از ریز جلبک‌های است که قادر است در انواع مختلف فاضلاب‌ها حاوی کربن، نیتروژن و فسفر پرورش یابد. این منابع آبی می‌توانند آبهای باقی مانده از کارخانجات تولید مواد غذایی، فاضلابهای شهری، آبهای حاصل از فرایندهای صنعتی، آب کارگاههای تولید محصولات لبنی، بقایای استخراج بیوپلیمرها باشند که با کاهش هزینه‌های کنترل آلودگیهای ثانویه عوامل اقتصادی و محیطی را بهبود ببخشند. تقریباً ۸۰ درصد از کل هزینه‌های تولید میکرو جلبک‌ها مربوط به مصرف بیش از حد مواد مغذی و آب است. در نتیجه، استفاده از فاضلاب برای جایگزینی کامل یا جزئی یک محیط رشد مصنوعی می‌تواند هزینه‌های تولید و نیاز به آب شیرین را کاهش دهد. علاوه بر این، ریز جلبک‌ها می‌توانند برای درمان آلودگیهای نوظهور محیط زیستی مانند مواد، رنگ و فلزات سنگین مورد استفاده قرار گیرند. مفهوم تولید سوخت‌های زیستی از میکرو جلبک‌ها در دهه ۱۹۶۰ سرچشمه گرفت. در حال حاضر، با توجه به قیمت بالای نفت، گرم شدن کره زمین و افزایش تعداد وسایل حمل و نقل، این مفهوم یک بار دیگر مورد توجه قرار گرفته است. در واقع، سالانه حدود صدها مقاله تحقیقاتی، تحلیل‌ها و مطالعات آزمایشگاهی در مورد سوخت‌های زیستی میکرو جلبک‌ها در حال انتشار است. میکرو جلبک‌ها انرژی خورشیدی را به وسیله مولکول‌های زیستی مورد استفاده به زیست‌توده غنی شده برای تولید سوخت‌های زیستی (لیپیدها، پروتئین‌ها، و کربوهیدرات‌ها) با نرخ‌های بالاتری نسبت به محصولات نفتی تبدیل می‌کنند. برای مثال میزان متوسط آب مورد نیاز و استفاده از زمین‌هایی با ارزش اقتصادی کمتر (نامناسب برای کشاورزی)، هزینه‌های تولید محصول را کاهش می‌دهد. سوخت‌های سازگار با طبیعت شامل بیودیزل، بیوگاز و بیواتانول، از میکرو جلبک‌ها می‌باشند (Costa et al., 2019).

ارزش غذایی جلبک

در دو دهه اخیر تولید میکرو جلبک‌ها برای غذا و خوراک بیش از پنج برابر افزایش یافته است. در حال حاضر، حدود ۸۰ کشور ریز جلبک‌ها را مصرف می‌کنند. اسپروولینا (*Spirulina*) در بیش از ۲۲ کشور تولید می‌شود که بازار اروپا ۳۲٪ کل تولید را

مصرف می‌کند و منطقه آسیا و اقیانوسیه از سریع‌ترین بازار رو به رشد، با نرخ رشد سالانه ۱۵٪ برخوردار است (Moons et al., 2018). با این حال، این منبع ارزشمند نیز منبع غنی از سایر ترکیبات با ارزش افزوده بالا (کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها، و فیکوبیلیپروتئین‌ها) می‌باشد که همگی از این ترکیبات رنگی می‌باشند. کاروتنوئیدها که دارای فعالیت Provitamin A^۱ می‌باشند و می‌توانند با تقویت سیستم ایمنی بدن، انسان را در مقابل بیماری‌های مزمن دژنراتیو، بیماریهای قلبی عروقی و برخی از انواع سرطان را مقاوم کنند (Lafrage et al., 2020). گونه‌هایی از جنس اسپروولینا پلاتنسیس و ماکسیما به دلیل داشتن غلظت پروتئین بالا که به طور معمول در غذای انسان مورد استفاده قرار می‌گیرند، حدود ۶۰ درصد وزن خشک این ریز جلبک‌ها را پروتئین تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، از دیدگاه ارزش غذایی، این سیانوباکترها دارای محتوای بالای آهن، اسیدهای چرب اشباع نشده ضروری (لینولئیک اسید)، انواع ویتامین‌ها و کارتن‌های طبیعی با قدرت هضم‌پذیری بالا می‌باشند (Costa et al., 2019). جلبک‌ها موجوداتی گیاهی مانند هستند که حاوی رنگدانه‌های فتوسنتزی در سلول‌های خود هستند که عمدتاً در زیستگاه‌های آبی از جمله زیستگاه‌های تازه، دریایی و فاضلاب یافت می‌شوند. اندازه آنها از ریز جلبک‌ها تا ماکرو جلبک‌ها متفاوت می‌باشد. جلبک‌ها منبع غنی از مجموعه گسترده‌ای از ترکیبات فعال بیولوژیک در نظر گرفته می‌شوند (Rashwan and Hammad, 2020). اسپروولینا همچنین به عنوان جایگزین وعده غذایی ماهی و عنصر عملکردی در رژیم‌های غذایی برای گونه‌های متعدد آبی ارزیابی شده است (Twibell et al., 2020). توسعه سریع آبی‌پروری همراه با تولید غذاهای دریایی (FM)^۲ در حال حاضر، تقاضا برای منابع پروتئینی جایگزین را در رژیم‌های غذایی افزایش داده است. در این راستا و پیش از این پروتئین دانه‌ها و حبوبات با موفقیت ارزیابی شده‌اند تا جایگزین FM شوند، اما افزایش بهره‌برداری از این محصولات به عنوان غذای انسان و سایر خوراک دام‌ها، در دسترس بودن آنها را کاهش داده است. به تازگی، و به منظور رفع این مشکل، توجه به استفاده از میکرو جلبک‌هایی متمرکز شده است که با رشد

^۱ Provitamin A: بتاکاروتن [پیش‌سازهای ویتامین A (کاروتنوئیدها) که

در بدن به ویتامین A تبدیل می‌شوند.]

^۲ MF (Marine Food)

PC مستخرج از *Spirulina platensis* به عنوان رنگ طبیعی مورد استفاده در مواد غذایی، نوشیدنی‌ها و بستنی، آدامس و آبنبات مورد استفاده قرار می‌گیرد (Niccolai et al., 2020). همچنین اسپیرولینا شامل تمام اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد و این ریز جلبک می‌تواند ظرفیت آنتی اکسیدانی بدن را نیز بهبود بخشد و لذا، نقش ویژه‌ای در عملکرد ایمنی بدن ایفاء می‌کند (Liang et al., 2020). در عمل، *S. platensis* به عنوان تنها تولید کننده فایکوسیانین شناخته شده و توجه زیادی را به خود جلب کرده است زیرا فایکوسیانین به عنوان یکی از محبوب‌ترین افزودنی‌های سلامت در سراسر جهان ثابت شده است (Ge et al., 2020). همچنین به عنوان یک جایگزین ایده‌آل برای گوشت ماهی در خوراک ماهی به اثبات رسیده (Man et al., 2020) و به عنوان عنصر جدیدی برای تولید نوشیدنی‌ها پیشنهاد شده است. همچنین در غذاهایی مانند برگ ماهی، انواع پنیرها و ماکارونی‌های بدون گلوتن، نانواپان برای بالا بردن کیفیت نان و به عنوان طعم‌دهنده جدید و نوآورانه از این میکرو جلبک‌ها استفاده می‌کنند (Niccolai et al., 2020). نتیجه، یک ماده غذایی سرشار از منابع پروتئینی را برای مصرف انسان فراهم می‌کند (Grahl et al., 2020). سیانوباکتریوم آرتروسپیرا پلاتنسیس که از نظر تجاری با نام «اسپیرولینا» شناخته می‌شود، یک «منبع غذایی امن» محسوب می‌شود و به عنوان غذا در چندین کشور مجاز شناخته شده است (Niccolai et al., 2020).

بر اساس همین ویژگی‌ها و سابقه طولانی استفاده از این جلبک انجمن بین المللی میکروبیولوژی کاربردی، اسپیرولینا را به عنوان منبع غذایی برای آینده شناخت (Costa et al., 2019). امروزه، ریز جلبک‌ها در بسیاری از فرمولاسیون‌های غذایی گنجانده می‌شوند که منجر به افزایش قابل توجهی در تعداد محصولات غذایی حاوی میکرو جلبک‌هایی می‌شود که به بازار معرفی شده‌اند. اگرچه بیشتر اینها از ریز جلبک‌ها به عنوان یک عامل رنگ‌آمیزی یا استراتژی بازاریابی استفاده می‌کنند (Lafaraga et al., 2020). این ویژگی‌ها محققان را تشویق کرده است که به عنوان غذا و منبع سوخت برای آیندگان بیشتر در مورد ریز جلبک‌ها برای پتانسیل کاوش کنند. واضح است که

سریع آنها مشخص می‌شود. ریز جلبک‌ها به عنوان مواد افزودنی در آبزی رژیم غذایی به منظور افزایش رشد و سلامت ماهی میزبان استفاده می‌شوند (Van Vo et al., 2020). به عنوان یک مکمل خوراک، نشان داده شده است که اثرات مثبتی بر رشد، تولید مثل، ترکیب لاشه، پاسخ‌های ایمنی و مقاومت به بیماری گونه‌های مختلف ماهی، از جمله قزل‌آلای رنگین کمان (*Smykiss Oncorhynchus*) اعمال می‌کند (Man et al., 2020). همچنین پارامترهای رشد و آنزیم‌های گوارشی روده ماهی گویی (*Poecilia reticulata*) با افزودن فیکوسیانین استخراجی از *Spirulina platensis* افزایش می‌یابد (Hassaan et al., 2020). ارزش ریز جلبک‌ها برای تولید غذای حیوانات بسیار متغیر است، با این حال، بستگی به گونه‌های میکرو جلبک‌ها، ترکیب شیمیایی (عمدتاً پروتئین‌ها، لیپیدها، پلی ساکاریدها، ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد معدنی) و نیز سازگاری حیوان برای تغذیه از زیست توده ریز جلبک به عنوان یک ماده غذایی دارد. ارزش غذایی بالای ریز جلبک‌ها در رژیم غذایی برای خوک، گاو، گوسفند، مرغ، حیوانات خانگی و حیوان خانگی و در آبزی پروری نشان داده شده است (Costa et al., 2019). اسپیرولینا ممکن است مغذی‌ترین ابرغذاهای جهان باشد که منبع غنی از ویتامین‌ها، بکاروتن، مواد معدنی، کلروفیل، گاما لینولنیک اسید (GLA) و پروتئین‌ها را فراهم می‌کند. مطالعات متعدد نشان داده است که مصرف اسپیرولینا بیماری‌های عفونی ضد التهاب و درد را کاهش می‌دهد و می‌تواند سیستم ایمنی بدن را متعادل کند، انرژی را بازگرداند، فشار خون را متعادل و کلسترول را کاهش دهد (Essid et al., 2020). *Spirulina platensis* منبع مهمی از فیکوبیلیپروتئین‌ها (PBs) به ویژه C-phycocyanin و آلفیکوسیانین (APC) می‌باشد (Liu et al., 2020 Chia et al., 2019). آنها به طور گسترده‌ای به عنوان یک نشانگر فلورسنت در تشخیص بالینی و به عنوان یک رنگ در صنایع دارویی و آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شوند (Liu et al., 2020). در گونه‌های اسپیرولینا، اجزای مختلف بیوشیمیایی از جمله پروتئین‌ها، پلی ساکاریدها و اسیدهای چرب می‌توانند برای استفاده به عنوان نشانگر زیستی سودمند باشند. برای مثال، کلروفیل‌ها و فیکوسیانین‌ها نشانگرهای زیستی نماینده با ضد سرطان و فعالیت‌های ضد باکتری هستند (Jin et al., 2020).

مطالعات نشان داد که محتوای ترکیبات ارزشمند درون ریز جلبک‌ها قابل توجه می‌باشد (Abdel-Warith et al., 2020).

طریقه مصرف جلبک‌ها

نگرش و درک مصرف‌کنندگان نسبت به شناسایی و مصرف محصولات جدید برای نوآوری‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Grahl et al., 2020) در نتیجه، چندین شرکت در حال حاضر، ریز جلبک/اسپیرولینا را به صورت تجاری تولید می‌کنند و محصولات آن به عنوان مکمل‌های غذایی (بصورت قرص، پولکی و پودر)، خوراک دام، سوخت‌های زیستی و داروسازی به بازار عرضه می‌شوند. سایر محصولات/اسپیرولینا برای کاهش وزن و داروهای ترک اعتیاد به صورت فرموله شده درآمده است (Costa et al., 2019). امروزه از *Spirulina* به عنوان یک مکمل تغذیه‌ای با اثرات بالقوه بالا به عنوان یک "غذای فوق‌العاده" یاد می‌کنند که بصورت پولکی و یا پودری و کپسول بفروش می‌رسد (Lafarga et al., 2020). پودر/اسپیرولینا یک منبع امیدوارکننده به عنوان یک مکمل برای دام و خوراک دام می‌باشد (Al-Qahtani, 2020). اثر *S. platensis* بر باکتری پروبیوتیک‌ها در شیر تخمیر شده در سراسر تخمیر و ذخیره‌سازی، یکی دیگر از مسائل مهم است. بنابراین، افزودن *S. platensis* به محصولات شیر تخمیر شده حاوی پروبیوتیک‌ها، توانایی پروبیوتیک‌ها را تشدید خواهد کرد. تحقیقات نشان داده است که غیر از ارزش غذایی بالا، افزودن این جلبک نه تنها توانایی باکتری‌های پروبیوتیک را تقویت می‌کند بلکه سطح فعالیت آنها را نیز افزایش می‌دهد (Terpou et al., 2020). بنابراین، می‌توان از ریز جلبک‌ها برای بالا بردن ارزش غذایی محصولات غذایی به دلیل ترکیب شیمیایی متعادل آنها و منبعی از مولکول‌های بسیار با ارزش مانند اسیدهای چرب غیر اشباع، رنگدانه‌ها (کاروتنوئیدها، فیکوبیلین‌ها)، استرولز، ویتامین‌ها، هیدروکلوئیدها و سایر ترکیبات فعال بیولوژیک استفاده کرد. برخی از گونه‌های ریز جلبک مانند کلرلا و اسپیرولینا قرن‌ها است که به عنوان یک غذای متراکم مواد مغذی در آسیا، آفریقا و مکزیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، تولید تجاری در مقیاس بزرگ میکرو جلبک‌ها تنها از اوایل دهه ۱۹۶۰ در ژاپن آغاز شد و امروزه میکرو جلبک‌ها عمدتاً به عنوان مکمل‌های غذایی به بازار عرضه می‌شوند که

معمولاً به صورت قرص، کپسول یا مایعات به فروش می‌رسند. علاوه بر این، محصولات غذایی جدیدی بر پایه میکرو جلبک‌ها و یا دارای ترکیبات غنی کننده‌ای از جلبک‌ها مانند پاستا، بیسکویت، نان، میان وعده‌ها، آب نبات، ماست، انواع نوشیدنی‌ها، نوشابه‌ها و غیره، به عنوان مکمل غذایی در حال افزایش می‌باشند. در حال حاضر، در برخی از کشورها مانند آلمان، فرانسه، ژاپن، ایالات متحده آمریکا، چین یا تایلند، شرکت‌های تولید و توزیع مواد غذایی فعالیت‌های جدیدی را برای تولید غذاهای کاربردی با میکرو جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها آغاز کرده‌اند (Batista et al., 2012).

نتیجه‌گیری

به دنبال تغییراتی که در ابعاد مختلف سیستم اجتماعی جوامع طی سده‌ها و دهه‌های اخیر اتفاق افتاده است و جوامع از شکل سنتی به مدرن تغییر شکل یافته‌اند، نظام غذا و تغذیه سنتی مبتنی بر کشاورزی معیشتی نیز با تغییر بنیادی به نظام غذا و تغذیه مبتنی بر سرمایه تبدیل شده است. نظام مدرن با اینکه در تولید و عرضه غذا تا حدی موفق عمل کرده است ولی با این حال، نه تنها مشکلات غذا و تغذیه به صورت کامل برطرف نشده بلکه تأثیرات زیست‌محیطی زیادی را نیز تحمیل کرده است. عواملی مانند گسترش حمل و نقل، تجاری و کالایی شدن غذا، ورود سرمایه به بخش کشاورزی، جهانی شدن تولیدات غذایی، در گسترش نظام غذا و تغذیه مدرن نقش داشته‌اند. با این حال، به دلیل تأثیرات عمیق و غیر قابل بازگشت زیست‌محیطی، بدون اصلاح این نظام، امکان ادامه حیات و تأمین پایدار غذا از بین می‌رود. رژیم‌های غذایی پایدار به عنوان شاخصی در جهت اصلاح نظام غذا و تغذیه بکار می‌روند. استفاده ریز جلبک‌ها به عنوان منابعی سرشار از پروتئین و سایر مواد معدنی ضروری لازم در بدن انسان و نیز برای تغذیه بشر و حیوانات پرورشی بسیار مفید و حائز اهمیت می‌باشد. این میکرو جلبک‌ها کاملاً سازگار با محیط زیست و طبیعت هستند که جوامع بشری می‌توانند در آینده نزدیک از این شاخص در سیاست‌گذاری غذا و تغذیه به توسعه پایدار جوامع و استفاده بهینه از منابع انسانی و طبیعی کمک شایانی کنند.

منابع

- Affan, M.A., Lee, D.W., Jeon, S.M., Noh, J.H., Heo, S.J., Oh, C., Park, H.S., Khomayis, H.S.A. and Kang, D.H., 2015. Bituminous coal and sodium hydroxide-pretreated seawater stimulates *Spirulina* (Arthrospira) maxima growth with decreased production costs. *Aquaculture*, 436, 121–126. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.036>
- Al-Qahtani, W.H., 2020. Assessing *Spirulina platensis* as a dietary supplement and for toxicity to *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Dryophthoridae). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3). <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.024>
- Batista, A.P., Nunes, M.C., Fradinho, P., Gouveia, L., Sousa, I., Raymundo, A. and Franco, J.M., 2012. Novel foods with microalgal ingredients—Effect of gel setting conditions on the linear viscoelasticity of *Spirulina* and *Haematococcus* gels. *Journal of Food Engineering*, 110(2), 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.044>
- Beyrer, M., Pina-Perez, M.C., Martinet, D. and Andlauer, W., 2020. Cold plasma processing of powdered *Spirulina* algae for spore inactivation and preservation of bioactive compounds. *Food Control*, 118, 107378. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107378>
- Bhalamurugan, G.L., Valerie, O. and Mark, L., 2018. Valuable bioproducts obtained from microalgal biomass and their commercial applications: A review. *Environmental Engineering Research*, 23(3), 229–241. <https://doi.org/10.4491/eer.2017.220>
- Cardoso, L.G., Duarte, J.H., Andrade, B.B., Lemos, P.V.F., Costa, J.A.V., Druzian, J.I. سلاطین، پ.، اسدی لمراسکی، م.، کریمی مشکانی، م.، ۱۳۹۶. تاثیر آزادسازی تجاری برارزش افزوده بخش کشاورزی. مطالعات مدیریت و کار آفرینی، ۱۹(۳). صص ۶۱ تا ۷۲.
- صفایی، ا. ر.، آقاشاهی، ع. و رضایی، م.، ۱۳۹۷. تدوین راهبردهای استراتژیک کاهش انتشار گازهای گلخانه ای با منشاء علوم دامی. مجله محیط زیست جانوری. دوره دهم، شماره سوم. صص ۵۹ تا ۶۴. <https://doi.org/20.1001.1.27171388.1397.10.3.8.5>
- مرادی، ا. و امینیان، م.، ۱۳۹۱. میزان نشر گازهای گلخانه ایران در سال ۱۳۸۹. نشریه نشاء علم. سال سوم، شماره اول. صص ۵۵ تا ۵۹.
- ملکوتی، ج.، شتایی جویباری، ش.، ۱۳۸۴. بررسی تغییرات سیمای طبیعی و کاربردی اراضی سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از عکسهای هوایی و GIS (مطالعه موردی: سواحل شهرستان نور). پژوهشهای جغرافیایی، ۵۱(۳۷). ۹۵ تا ۱۰۶.
- اسفندیاری، چ.، میرعباسی، س.ب.، ۱۳۹۱. نقش سازمان ملل در تحقق امنیت غذایی در جامعه جهانی. مجله علوم غذایی و تغذیه. سال نهم، شماره ۲. صص ۹۱ تا ۱۰۳.
- نوروزی، ر. و خسروی، م.، ۱۳۸۹. چشمه ها و چاهکهای انتشار گاز گلخانه‌های متان و نقش آن در پدیده گرمایش جهانی. چهارمین کنگره بین المللی جغرافی دانان جهان اسلام. زاهدان. ایران. ۱۵ ص.
- Abdel-Warith, A.W.A., Fath El-Bab, A.F., Younis, E.S.M.I., Al-Asghah, N.A., Allam, H.Y., Abd-Elghany, M.F., Shata, Y.H.M. and Shamlol, F.S., 2020. Using of chitosan nanoparticles (CsNPs), *Spirulina* as a feed additives under intensive culture system for black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Journal of King Saud University - Science*, 32(8), 3359–3363. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.09.022>

- and Chinalia, F.A., 2020. Spirulina sp. LEB 18 cultivation in outdoor pilot scale using aquaculture wastewater: High biomass, carotenoid, lipid and carbohydrate production. *Aquaculture*, 735272. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735272>
- Chang, K.L., Lin, Y.C., Shangdiar, S., Chen, S.C. and Hsiao, Y.H., 2020. Hydrogen production from dry spirulina algae with downstream feeding in microwave plasma reactor assisted under atmospheric pressure. *Journal of the Energy Institute*, 93(4): 1597-1601. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2020.01.021>
- Chia, S.R., Chew, K.W., Show, P.L., Xia, A., Ho, S.H. and Lim, J.W., 2019. *Spirulina platensis* based biorefinery for the production of value-added products for food and pharmaceutical applications. *Bioresource Technology*, 289, 121727. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121727>
- Costa, J.A.V., Freitas, B.C.B., Rosa, G.M., Moraes, L., Morais, M.G. and Mitchell, B.G., 2019. Operational and economic aspects of Spirulina-based biorefinery. *Bioresource Technology*, 292, 121946. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121946>
- Counihan, C. and Van Esterik, P., 2012. *Food and culture: A reader*. Routledge. 648. <https://doi.org/10.4324/9780203079751>
- De Morais, M.G., Vaz, B. da S., de Morais, E.G. and Costa, J.A.V., 2015. Biologically active metabolites synthesized by microalgae. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2015/835761>
- Essid, N., Gharbi, R., Harrath, A.H., Mansour, L., Mahmoudi, E., Beyrem, H., Ansari, K.G.M.T. and Boufahja, F., 2020. Toxicity of a chromium-enriched superfood, *Spirulina platensis*, assessed by taxonomic and morpho-functional diversity of marine meiofauna. *Environmental Pollution*, 114350. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114350>
- Ge, Y., Zhu, S., Chang, J.S., Jin, C., and Ho, S.H., 2020. Immobilization of Hg (II) on high-salinity *Spirulina* residue-induced biochar from aqueous solutions: Sorption and transformation mechanisms by the dual-mode isotherms. *Environmental Pollution*, 265, 115087. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115087>
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. and Toulmin, C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Grahl, S., Strack, M., Mensching, A. and Mörlein, D., 2020. Alternative protein sources in Western diets: Food product development and consumer acceptance of spirulina-filled pasta. *Food Quality and Preference*, 103933. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103933>
- Hassaan, M.S., Mohammady, E.Y., Soady, M.R., Sabae, S.A., Mahmoud, A.M.A. and El-Haroun, E.R., 2020. Comparative study on the effect of dietary β -carotene and phycocyanin extracted from *Spirulina platensis* on immune-oxidative stress biomarkers, genes expression and intestinal enzymes, serum biochemical in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish and Shellfish Immunology*, 108,

- 63–72.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.11.012>
- He, Z., Wang, B., Zhang, B., Feng, H., Kandasamy, S. and Chen, H., 2020.** Synergistic effect of hydrothermal Co-liquefaction of *Spirulina platensis* and Lignin: Optimization of operating parameters by response surface methodology. *Energy*, 117550.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117550>
- Jin, S.E., Lee, S.J. and Park, C.Y., 2020.** Mass-production and biomarker-based characterization of high-value *Spirulina* powder for nutritional supplements. *Food Chemistry*, 126751.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126751>
- Johnston, J.L., Fanzo, J.C. and Cogill, B., 2014.** Understanding sustainable diets: a descriptive analysis of the determinants and processes that influence diets and their impact on health, food security, and environmental sustainability. *Advances in Nutrition*, 5(4), 418–429.
<https://doi.org/10.3945/an.113.005553>
- Koukouraki, P., Tsoupras, A., Sotiroudis, G., Demopoulos, C.A. and Sotiroudis, T.G., 2020.** Antithrombotic properties of *Spirulina* extracts against platelet-activating factor and thrombin. *Food Bioscience*, 37, 100686.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100686>
- Kuhnlein, H., Erasmus, B., Creed-Kanashiro, H., Englberger, L., Okeke, C., Turner, N., Allen, L. and Bhattacharjee, L., 2006.** Indigenous peoples' food systems for health: finding interventions that work. *Public Health Nutrition*, 9(8), 1013–1019.
<https://doi.org/10.1017/PHN2006987>
- Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J.M., González-López, C. and Acién-Fernández, F.G., 2020.** *Spirulina* for the food and functional food industries. *Food Research International*, 137, 109356.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109356>
- Liang, Y., Bao, Y., Gao, X., Deng, K., An, S., Wang, Z., Huang, X., Liu, D., Liu, Z. and Wang, F., 2020.** Effects of spirulina supplementation on lipid metabolism disorder, oxidative stress caused by high-energy dietary in Hu sheep. *Meat Science*, 108094.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108094>
- Liu, B.L., Chai, W.S., Show, P.L., Chen, J.Y., and Chang, Y.K., 2020.** Evaluation of dynamic binding performance of C-phycocyanin and allophycocyanin in *Spirulina platensis* algae by aminated polyacrylonitrile nanofiber membrane. *Biochemical Engineering Journal*, 161, 107686.
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107686>
- Lupatini, A.L., Colla, L.M., Canan, C. and Colla, E., 2017.** Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3), 724–732.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.7987>
- Man, Y.B., Zhang, F., Ma, K.L., Mo, W.Y., Kwan, H.S., Chow, K.L., Man, K.Y., Tsang, Y.F., Li, W.C. and Wong, M.H., 2020.** Growth and intestinal microbiota of Sabah giant grouper reared on food waste-based pellets supplemented with *spirulina* as a growth promoter and alternative protein source. *Aquaculture Reports*, 18, 100553.

- <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100553>
- McGaughy, K. and Reza, M.T., 2018.** Recovery of macro and micro-nutrients by hydrothermal carbonization of septage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(8), 1854–1862. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05667>
- Menegotto, A.L.L., de Souza, L.E.S., Colla, L.M., Costa, J.A.V., Sehn, E., Bittencourt, P.R.S., de Moraes Flores, É.L., Canan, C. and Colla, E., 2019.** Investigation of techno-functional and physicochemical properties of *Spirulina platensis* protein concentrate for food enrichment. *LWT*, 114, 108267. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108267>
- Molino, A., Mehariya, S., Karatza, D., Chianese, S., Iovine, A., Casella, P., Marino, T. and Musmarra, D., 2019.** Bench-scale cultivation of microalgae *Scenedesmus almeriensis* for CO₂ capture and lutein production. *Energies*, 12(14), 2806. <https://doi.org/10.3390/en12142806>
- Moons, I., Barbarossa, C. and De Pelsmacker, P., 2018.** The determinants of the adoption intention of eco-friendly functional food in different market segments. *Ecological Economics*, 151, 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.05.012>
- Niccolai, A., Venturi, M., Galli, V., Pini, N., Rodolfi, L., Biondi, N., Granchi, L. and Tredici, M.R., 2020.** Vegetable oils protect phycocyanin from thermal degradation during cooking of spirulina-based “crostini.” *LWT*, 110776. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110776>
- Pulz, O. and Gross, W., 2004.** Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65(6), 635–648. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x>
- Rashwan, R.S. and Hammad, D.M., 2020.** Toxic effect of *Spirulina platensis* and sargassum vulgar as natural pesticides on survival and biological characteristics of cotton leaf worm *spodoptera littoralis*. *Scientific African*, e00323. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00323>
- Tarhan, S.Z., Koçer, A.T., Özçimen, D. and Gökalp, İ., 2020.** Cultivation of green microalgae by recovering aqueous nutrients in hydrothermal carbonization process water of biomass wastes. *Journal of Water Process Engineering*, 101783. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101783>
- Teimouri, M., Yeganeh, S., Mianji, G.R., Najafi, M. and Mahjoub, S., 2019.** The effect of *Spirulina platensis* meal on antioxidant gene expression, total antioxidant capacity, and lipid peroxidation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 45(3), 977–986. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-0608-3>
- Terpou, A., Bosnea, L., Mataragkas, M. and Markou, G., 2020.** Influence of Incorporated *Spirulina platensis* on the growth of microflora and physicochemical properties of feta-type cheese as functional Food. *Proceedings*, 70(1), 97. https://doi.org/10.3390/foods_2020-07659
- Twibell, R., Johnson, R., Hyde, N. and Gannam, A., 2020.** Evaluation of *Spirulina* and plant oil in diets for juvenile steelhead (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 735598. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735598>
- Uyttendaele, M., Franz, E. and Schlüter, O.,**

2016. *Food safety, a global challenge*.

Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

Van Vo, B., Siddik, M.A.B., Fotedar, R., Chaklader, M.R., Hanif, M.A., Foysal, M.J. and Nguyen, H.Q., 2020. Progressive replacement of fishmeal by raw and enzyme-treated alga, *Spirulina platensis* influences growth, intestinal micromorphology and stress response in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 529, 735741. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735741>

***Spirulina*; the food for future**

Hooti V.¹; Manaffar R.^{2*}.

*r.manaffar@urmia.ic.ir

1- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran.

Abstract:

Spirulina is a cyanobacterial photosynthesis that is grown commercially in many tropical and subtropical countries and temperate regions for human and animal nutrition. This commercial product is used as a rich source of protein and vitamins in the pharmaceutical, food and chemical industries due to its valuable nutrients. In the last two decades, the production of microalgae for food has increased more than five times and now algae are consumed in about 80 countries. Also they are produced in 22 countries, where the European market consumes lonely 32% of total production. Based on the observations made, one of the highest growth rates the fastest growing market, with an annual growth rate of 15%, has been recorded in this area. The algae has been introduced by the US space agency (NASA) as a superfood and tries to provide a healthy diet for astronauts with the help of *Spirulina*. The aim of this study was to investigate and identify *spirulina* algae as food for the next generation of humans.

Keywords: *Spirulina* algae, aquaculture, aquatic, food.