مجله ایمنی زیستی
دوره ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱
ISSN ۲۷۱۶-۹۸۰۴ الکترونیکی، ISSN ۲۷۱۷-۰۶۳۲ چاپی

کاربرد ماکرو و میکروجلبک‌ها و ترکیبات زیست‌فعال و فیتوشیمیایی آنها در صنعت غذا برای تهیهٔ غذاهای فراسودمند

نوع مقاله: مروری 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0

ندا فلاح[۱]، بهزاد محمدی[۲*]، سجاد پیرسا[۳]
۱- گروه علوم و فناوری غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم، قم، ایران
۲- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، موسسه آموزش عالی آفاق، ارومیه، آذربایجان غربی، ایران
۳- دانشیار، گروه علوم و فناوری غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی، ایران
behzadmohammadi722@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷
صفحه ۱۲۰-۹۷

چکیده

به دلیل پیشرفت جمعیت و مدرنیته شدن سبک زندگی، مصرف مواد غذایی پرکالری رایج شده که سبب مشکلاتی از قبیل چاقی، بیماری‌های قلبی و دیابت می‌شود. در این شرایط لزوم توجه به نیاز به غذاهای فراسودمند حاوی ویتامین‌ها، مواد معدنی و PUFA بیش از پیش ضروری به‌نظر می‌رسد. جلبک‌ها منابع مهمی از ترکیبات فیتوشیمیایی با خواص آنتی‌اکسیدانی هستند که در صنایع غذایی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم نقش دارند. بسیاری از ترکیبات مانند کاروتنوئیدها، فیکوبیلین‌ها، اسیدهای چرب غیراشباع، پلی‌ساکاریدها، ویتامین‌ها و مولکول‌های فعال زیستی که برای استفاده در سلامت انسان مهم هستند، در جلبک‌ها شناسایی شده است. اسیدهای چرب غیراشباع بلند زنجیرهٔ ایکوزاپنتانوییک اسید و دوکوزاهگزانوییک اسید، برای متابولیسم بدن انسان بسیار مهم هستند. جلبک‌های کلروفیت و بریوفیت برای استخراج این اسیدهای چرب ضروری مورد استفاده قرار می‌گیرند. ماکرو و میکروجلبک‌ها منابع ژنتیکی و تنوع زیستی وسیعی دارند که اهمیت آنها را افزایش می‌دهد و به دلیل ارزش غذایی بالا، داشتن مواد معدنی و کمیاب، پروتئین بالا و اسیدهای چرب غیراشباع در تغذیهٔ انسان، دام و آبزیان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از این رو، در مطالعهٔ حاضر، خواص، پتانسیل و کاربرد جلبک‌ها برای تهیهٔ مواد غذایی فراسودمند بحث شده است.

واژه‌های کلیدی: جلبک‌های خوراکی، ماکرو و میکروجلبک‌ها، ترکیبات فیتوشیمیایی، کاروتنوئید، غذاهای فراسومند.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

مقدمه

استفاده از منابع زیستی (بیولوژیکی) باعث تولید محصولات با ایمنی غذایی بالا می‌شود مانند استفاده از اسیدهای چرب غیر اشباع (polyunsaturated fatty acids; PUFA) و رنگدانه‌های آنتی‌اکسیدانی که وجود آنها در محصولات غذایی برای کاهش بیماری‌های مزمن ناشی از مصرف محصولات غذایی مهم است. کاربرد زیست‌توده‌های جلبکی و متابولیت‌های حاصل از آن‌ها، رویکردی نوآورانه برای تولید محصولات غذایی سالم‌تر است. کاربرد جلبک‌ها در محصولات غذایی یا به‌صورت تلفیقی در مرحله تولید بوده و یا در مراحل اولیه در زمین‌های کشاورزی است. غذاهای فراسودمند یا عملگرا، به آن دسته از مواد غذایی گفته می‌شود که علاوه‌بر خواص تغذیه‌ای پایه و تولید انرژی در بدن، باعث حفظ سلامتی و پیشگیری از بیماری شوند. این مفهوم اولین بار در ژاپن در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. در آن زمان در ژاپن سازمان‌های دولتی به‌منظور تلاش در جهت بهبود وضعیت سلامت مردم، فرآیند تأیید محصولات غذایی با منافع اثبات شده برای سلامتی را آغاز کردند. فراسودمندهای اصلاح شده، مواد غذایی هستند که به‌منظور افزایش منافع سلامت آنها با استفاده از افزودنی‌هایی مانند ویتامین‌ها، املاح معدنی، پروبیوتیک‌ها و فیبر غنی‌شده‌اند. آبمیوه‌های غنی‌شده، لبنیات غنی‌شده مانند شیر و ماست، جایگزین شیر غنی‌شده مانند شیر بادام و شیر نارگیل، غلات غنی‌شده، نان و ماکارونی غنی‌شده و تخم‌مرغ غنی‌شده، از نمونه‌های فراسودمند اصلاح شده هستند. داشتن رژیم غذایی حاوی ترکیبات مغذی جلبک‌ها در همهٔ سنین، ضروری بوده و سبک زندگی سالمی را مهیا می‌سازد، بنابراین تولید تجاری ریزجلبک‌ها برای تغذیهٔ انسان در سرتاسر جهان به چالشی مهم تبدیل شده است. علیرغم عدم تمایل به غذاهای جدید در گذشته، امروزه، تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات غذایی طبیعی بیشتر شده که سلامتی را به‌همراه دارد. غذاهای کاربردی تکمیل شده با زیست‌توده ریزجلبک‌ها از نظر حسی بسیار راحت‌تر و متغیرتر هستند، بنابراین فواید سلامتی را با جذابیت برای مصرف‌کنندگان ترکیب می‌کنند (Pulz and Gross, 2004). در مطالعهٔ حاضر، خواص غذایی و پتانسیل جلبک‌ها برای تولید غذاهای ایمن مورد بررسی و نقد قرار گرفته است.

جلبک

جلبک‌ها منابع زیستی عظیمی هستند که پتانسیل بالایی را برای تولید محصولات غذایی جدید از

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

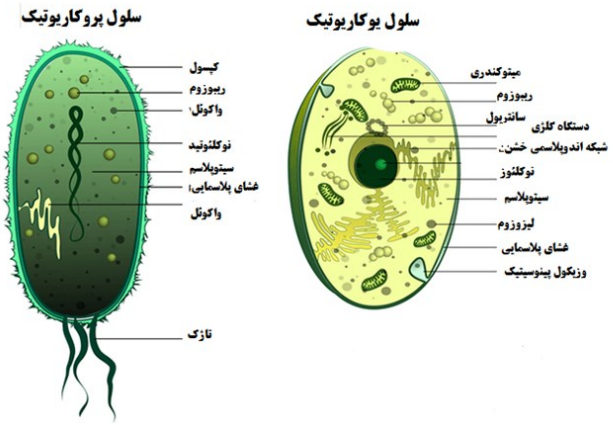
خود نشان داده‌اند. گروهی از موجودات هستند که همانند گیاهان از نور خورشید، آب، دی اکسید کربن، مواد مختلفی را می‌سازند و در اصطلاح علمی، به آنها فتوتروف گفته می‌شود. این موجودات برخلاف گیاهان ساختارهای بافتی و تمایز یافتهٔ پیشرفته نداشته و از انواع تک سلولی با اندازهٔ چند میکرومتر تا انواع پرسلولی تا اندازه بیش از ۵۰ متر متغیرند. جلبک‌ها موجودات بسیار ساده حاوی کلروفیل هستند که از یک یا چند گروه از سلول‌ها به‌صورت کلنی تشکیل می‌شوند که به‌طور عمده چندان وابسته به یکدیگر نیستند و به‌صورت پلی‌فیتیک در طبیعت یافت می‌شوند(Khanjani et al. 2009; Falkowski et al. 2004). علف‌های دریایی، فیتوپلانکتون‌ها و میکروجلبک‌های آب شیرین و دریایی و شکل‌های مختلف جلبک فتوسنتزکنندگان اصلی و تولیدکنندگان اولیه هستند که در تولید اکسیژن نقش مهمی ایفا می‌کنند (Bibak et al. 2020). جلبک‌ها به‌عنوان منابعی از آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها، ترکیبات ضدسرطان، آنتی‌بیوتیک، ترکیبات ضد ویروسی، اجزای مواد آرایشی، بهداشتی و نوشیدنی، مکمل‌های غذایی (حاوی اسیدهای چرب غیراشباع بلند زنجیرهٔ مفید برای انسان، دام و آبزیان)، ضد انگل و ضد تب نقش مهمی ایفا می‌کنند (Zhao et al. 2004). جلبک‌ها منابع غنی و متنوع از محصولات طبیعی، مواد مغذی و دارویی شامل فیبر، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها، رنگدانه‌ها، استروئیدها، لکتین‌ها، ترکیبات هالوژنی، پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، اسیدهای چرب اشباع نشده هستند، که از نظر دارویی بسیار اهمیت دارند. بسیاری از محصولات مانند کاروتنوئیدها، فیکوبیلین‌ها، اسیدهای چرب، پلی‌ساکاریدها، ویتامین‌ها و مولکول‌های فعال زیستی برای استفاده در سلامت انسان، دام و آبزیان تجویز می‌شوند (Ramirez et al. 2015). پروتئین جلبک تمام اسید آمینه‌های ضروری مورد نیاز بدن را دارا است و به همین دلیل در سازمان هوافضای آمریکا در سفرهای فضایی به‌عنوان یک غذای کامل برای فضانوردان مورد استفاده قرار می‌گیرد. رادیکال‌های آزاد نقش مهمی در ایجاد بیماری‌هایی چون سرطان، التهاب و گرفتگی عروق دارند و ترکیبات ضداکسیدانی می‌توانند در پیشگیری و درمان این بیماری‌ها مفید باشند، امروزه تلاش زیادی برای یافتن ترکیبات ضداکسیدان مؤثر و با عوارض جانبی کمتر انجام می‌پذیرد. جلبک‌های دریایی می‌توانند منبع جدیدی برای این ترکیبات باشند (Stoyneva and Uzunov, 2015).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

چرخهٔ زیستی و ساختار جلبک‌ها

دو مرحلهٔ هاپلوئیدی و اسپروفیتی، مراحل چرخهٔ زندگی جلبک‌ها هستند. در مرحلهٔ هاپلوئیدی، دو گامت نر و ماده با هم ترکیب می‌شوند و سلول تخم حاصل می‌شود. اما در مرحلهٔ اسپروفیتی، بعد از تشکیل سلول تخم، دو راه برای رشد آن وجود دارد. در یک روش که تقسیم میوز داشته و تکرار مرحلهٔ هاپلوئیدی وجود خواهد داشت. اما در روش بعدی که تقسیم میوز ندارد، تعداد کروموزوم‌های گیاه جدیدی که به وجود می‌آید دو برابر گیاه اولی است. در روش با تقسیم میوز، مرحلهٔ اسپروفیتی، کوتاه‌تر از روش بدون تقسیم میوز است. تک سلول بیشتر جلبک‌ها دارای هستهٔ غشادار، میتوکندری و کلروپلاست است که مانند گیاهان عمل فتوسنتز انجام می‌دهند. بعضی از جلبک‌ها پوستهٔ ضخیم مارپیچی و برخی دیگر دارای دیوارهٔ سلولی هستند. جلبک‌ها یا دارای زندگی آزاد تکی هستند (مانند اوگلنا) و یا به‌صورت کلونی و چند سلولی زندگی می‌کنند. در زندگی به شکل کلونی، جلبک‌های لبهٔ کلونی دارای ستون‌هایی بوده و برای محافظت از جلبک‌ها شکل تخصصی یافته‌اند. جلبک‌های بزرگ می‌توانند ارتفاعی به اندازه چند صد متر داشته باشند (مانند جلبک‌های دریایی). جلبک‌ها جزء زیر دستهٔ گیاهان قرار می‌گیرند، اما چون دارای آوند یا راه دیگری برای انتقال آب نیستند، در آب‌ها زندگی می‌کنند تا آب مورد نیاز بدن خود را تأمین کنند. جلبک‌های بزرگ برای زندگی در اقیانوس‌ها دارای سازگاری‌های ویژه‌ای مانند هدایت‌کننده‌های نور هستند (Cock et al. 2014). ساختار سلولی جلبک‌های پروکاریوتی و یوکاریوتی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- ساختار جلبک‌ها (Falkowski et al. 2004)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

مهم‌ترین ترکیبات زیست‌فعال جلبک‌ها

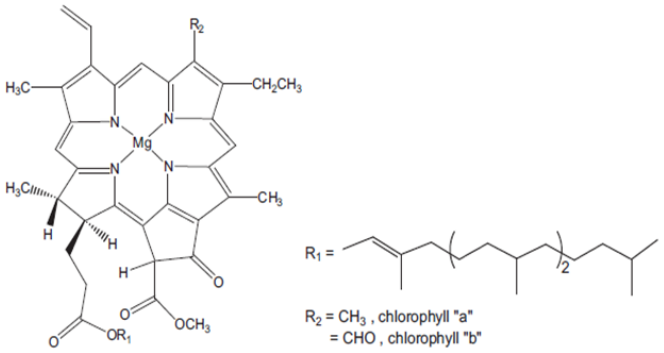
کلروفیل

کلروفیل‌ها، مولکول‌های شیمیایی هستند که نور خورشید را جذب کرده و از دی اکسید کربن و آب، اکسیژن و کربوهیدرات تولید می‌کنند و وظیفهٔ آنها، فتوسنتز کردن است. همهٔ جلبک‌ها دارای یک یا چند نوع کلروفیل هستند. کلروفیل a رنگدانه اولیهٔ فتوسنتزی در تمامی جلبک‌هاست و تنها کلروفیل موجود در سیانوباکتری‌ها (Cyanobacteria) (جلبک‌های سبز وآبی) و ردوفیتا (Rhodophyta) است. مقادیر کلروفیل در جلبک‌ها تقریباً برابر ۰/۵ تا ۱/۵ در صد وزن خشک است (Ferruzi and Blakeslee, 2007). جلبک‌های کلروفیتا (Chlorophyta) و اگلنوفیتا (Euglenophyta) مانند گیاهان عالی حاوی کلروفیل b هستند. کلروفیل‌های d و c را می‌توان در جلبک‌هایی که محل زندگی آنها آب‌های شیرین است یافت. کلروفیل a علاوه‌بر نقش داشتن در کمپلکس‌های برداشت نور، در واکنش های مرکزی هم ایفای نقش می‌کند. کلروفیلb هم به‌عنوان رنگیزهٔ مکمل آن، دارای عملکردی ۳ برابر بیشتر از کلروفیل a است. گیاهان سبز، جلبک‌ها و پروکلروفیت‌ها (prochlorophytes) (گروهی از باکتری‌های فتوسنتزکننده) نیز، دارای سبزینه هستند. در گیاهان و سایر موجوداتی که کلروفیل b دارند، این رنگدانه ۵۰ درصد رنگیزه‌ها را تشکیل داده و در آنتن کمپلکس‌های فتوسیستم II قرار دارد. کلروفیل d طیف انتهایی نور قرمز را جذب می‌کند. کلروفیل d در مقایسه با کلروفیلِ a، دارای گروه فرمیل است که در کلروفیلِ a به جای آن یک گروه C3–وینیل قرار دارد. برای موجوداتی مانند *Acariochloris marina*، امکان رشد در محیط‌های کم نور و جذب نور از طول موج‌های قرمز و آبی با وجود این رنگیزه میسر شده است. کلروفیل c در ۹ نوع از جلبک‌ها (جلبک‌های کروموفیت) و دو نوع از پروکاریوت‌ها یافت می شود و در حالت طبیعی به رنگ طلایی مایل به سبز است. کلروفیل c از جنس منیزیم فیتوپورفرین است ولی سایر رنگیزه‌ها منیزیم کلرین هستند. این سبزینه می‌تواند با سایر سبزینه‌ها و کاروتنوئیدها، بسته به نوع میکروارگانیسم همراه شود. ساختار این رنگدانه در حلقهٔ C-17 اسید پروپیونیک موجود در زنجیرهٔ جانبی کلروفیل‌های a و b با اسید پروپنوئیک (یک اسید ترانس اکرلیک) جا به جا می‌شود. پروتوکلروفیلیدها یا کلروفیل‌های قطبی، اشکالی از کلروفیل با ماهیت قطبی هستند و چون توانایی برداشت نور را دارند، کلروفیل در نظر گرفته می‌شوند. سبزینه‌های C_1، C_2 و C_3

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

انواع شناخته شده تا به امروز هستند. استفاده از مشتقات کلروفیل جلبک‌ها به‌عنوان رنگ‌دهنده در محصولات غذایی به‌عنوان مثال شیرینی و نوشیدنی‌ها می‌تواند عاملی برای افزایش سلامت محصول و مصرف‌کننده باشد، اما عمده‌ترین مشکل در کاربرد این رنگدانه‌ها، نامحلول بودن آنها در آب است (Becker. 1994). ساختار شیمیایی کلروفیل a و b در شکل۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- ساختارهای شیمیایی کلروفیل a و b (Pai et al. 2015).

کاروتنوئیدها

کاروتنوئیدها رنگدانه‌های طبیعی هستند که مسئول رنگ‌های مختلف در میوه‌جات، سبزیجات و گیاهان هستند. رنگدانه‌های ایزوپرنوئیدی، زرد تا قرمز هستند که از لیکوپن به دست می‌آیند. در جلبک‌ها به‌عنوان رنگدانه‌های جمع‌آوری کنندهٔ نور اضافی عمل کرده و از دستگاه فتوسنتزی در مقابل نور محافظت می‌کنند. کاروتنوئیدها از نظر عملکرد به دو دستهٔ اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. کاروتنوئیدهای اولیه مثل بتاکاروتن، لیکوپن، لوتئین و زآگزانتین (zeaxanthin) هستند (Goodwin and Britton, 1988). که علاوه‌بر این که به‌عنوان کاروتنوئید نقش آنتی‌اکسیدانی دارند، در فتوسنتز و انتقال انرژی به مرکز واکنش نیز نقش داشته و در تیالکوئیدها حضور دارند. کاروتنوئیدهای ثانویه، نوع دیگری از کاروتنوئیدها هستند که برخلاف کاروتنوئیدهای اولیه، نقشی در فتوسنتز و انتقال انرژی ندارند و در خارج از تیالکوئید قرار دارند (Solovchenko. 2013).

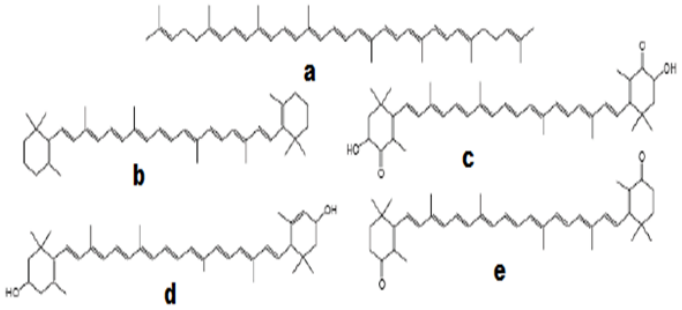
تجمع این ترکیبات به‌طور معمول تحت شرایط خاص اتفاق می‌افتد. از جمله کاروتنوئیدهای ثانویهٔ مهم، آستاگزانتین (astaxanthin) و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

کانتاگزانتین (canthaxanthin) را می‌توان نام برد. کاروتنوئیدها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کرده و یک رژیم غذایی غنی از کاروتنوئیدها به‌عنوان مهارکننده رادیکال‌های آزاد باعث کاهش بیماری‌هایی از جمله تصلب شرایین، آب مروارید، ام اس و سرطان می‌شود. کاروتنوئیدها به‌عنوان رنگ‌دانهٔ ویتامینی کاربردهای زیادی در صنعت غذا به‌عنوان رنگ‌دهندهٔ طبیعی و مواد افزودنی دارند. بتا کاروتن به‌طور معمول در فرمولاسیون نوشابه‌ها، پنیرها و کره و مارگارین‌ها استفاده می‌شود که مادهٔ افزودنی ایمن بوده و اثرات سلامتی‌بخش آن به دلیل فعالیت پرو ویتامین A است (Baker and Gunther, 2004).

آستاگزانتین یک کتوکاروتنوئید است که در تعداد محدودی از ریزجلبک‌ها، گیاهان، باکتری‌ها و قارچ‌ها ساخته می‌شود. در ریزجلبک‌ها آستاگزانتین در اجسام چربی سیتوزولی در شرایطی مثل نور زیاد، شوری زیاد و فقدان مواد غذایی تجمع می‌یابد، مصرف روزانهٔ آستاگزانتین‌ها در رژیم غذایی، سبب محافظت از بافت‌های بدن در برابر آسیب‌های اکسیداتیو می‌شود. قدرت مهار رادیکال‌های آزاد توسط آستاگزانتین‌ها ۵۰۰ برابر بیشتر از ویتامین E است (Dufossé et al. 2005). شکل ۳ ساختار شیمیایی کاروتنوئیدها را نشان می دهد.



شکل ۳- ساختار شیمیایی کاروتنوئیدها a) لیکوپن b) کاروتن c) آستاگزانتین d) لوتئین e)کانتاگزانتین (Gouveia et al. 2010).

اسیدهای چرب

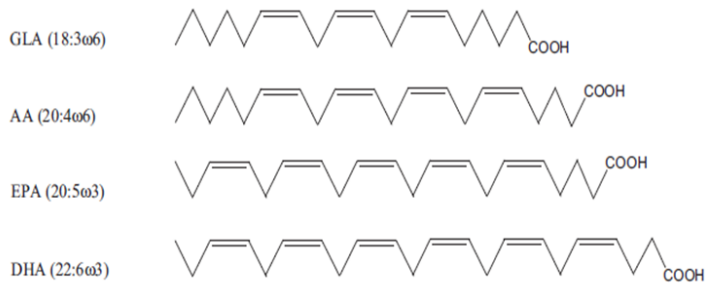
تمامی اسیدهای چرب امگا ۳ برای سوخت‌وساز معمولی بدن انسان مهم و اساسی هستند. اسیدهای چرب امگا ۳ نمی‌توانند توسط بدن انسان ساخته شوند. از مهم‌ترین اسیدهای چرب حاصله از جلبک‌ها می‌توان به اسید آراشیدونیک، اسید

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

لینولئیک، اسید ایکوزاپنتانوییک (eicosapentaenoic acid; EPA) اشاره کرد که: همگی از خانوادهٔ اسیدهای چرب n-3 (کربن سوم اشباع نشده) به‌شمار می‌روند که از نظر تغذیه‌ای بسیار مهم هستند، زیرا همگی دارای پیوندهای غیراشباع چندگانه هستند. وقتی رژیم غذایی انسان شامل اسید لینولنیک (∝، ۱۸ کربن و ۳ پیوند دوگانه) باشد، بدن انسان تا حد کمی قادر است که اسید چرب بلند زنجیرهٔ مهم‌تری همچون EPA (۲۰ کربن و ۵ پیوند دوگانه) را تولید کند و سپس از EPA، به تولید دوکوزاهگزانوییک اسید (docosahexaenoic acid; DHA) (۲۲ کربن و ۶ پیوند دوگانه) که اسید چرب بلند زنجیرهٔ بهتر و با کارایی بهتر است را تولید کند این در حالی است که در بسیاری از جلبک‌ها این قدرت وجود دارد که اسید لینولنیک را به راحتی به EPA و DHA تبدیل کنند. عملیات غنی‌سازی فرآورده‌های غذایی با استفاده از اسیدهای چرب جلبک‌ها بر روی محصولاتی نظیر شیر، تخم مرغ، مایونز، پیتزا، ماست، آب پرتقال اعمال شده است (Spolaore et al. 2006).

مصرف اسیدهای چرب با زنجیرهٔ طولانی n-3 با تنظیم تولید ایکوزانوئید (پروستاگلاندین‌ها، پروستاسیکلین‌ها، ترومبوکسان‌ها و لکوترین‌ها) مرتبط است که از نظر زیستی مواد فعالی هستند که بر عملکردهای مختلف در سلول‌ها و بافت‌ها تأثیر می‌گذارند. این فرآیند در پیشگیری و درمان بیماری‌های مزمن و دژنراتیو (نوعی بیماری است که باعث می‌شود بافت یا اندام در طول زمان فرسایش یابند) و همچنین کاهش کلسترول خون، محافظت در برابر بیماری‌های قلبی عروقی، عروق کرونر قلب، تصلب شرایین، دیابت، فشار خون بالا، آرتریت روماتوئید، روماتیسم، بیماری‌های پوستی، بیماری‌های گوارشی و متابولیک و همچنین سرطان نقش دارد. ساختار شیمیایی اسیدهای چرب در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴- ساختار شیمیایی اسیدهای چرب غیراشباع حاصله از جلبک‌ها (Lu et al. 2019).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

پروتئین‌ها و پپتیدها

ریزجلبک‌ها منبع غنی پروتئین هستند که می‌توانند تا ۷۰ درصد وزن خشک زیست‌تودهٔ برخی از گونه‌ها را تشکیل دهند. ریزجلبک‌های شناخته شده و غنی از پروتئین عبارتند از *Arthrospira*، *Chlorella* و *Aphanizomenon*. به‌طور کلی، پروتئین‌های ریزجلبک دارای مشخصات اسیدآمینه کل متعادل (TAA) و حاوی تمام اسیدهای آمینه ضروری (EAA) هستند. طبق گزارش FAO و WHO، پروفایل‌های آمینواسیدی پروتئین‌های استخراج‌شده از *Arthrospira* مطابق با مواردی است که برای مصرف انسان توصیه می‌شود (Caporgno and Mathys, 2018).

عواملی که برای ارزیابی مناسب بودن پروتئین‌های ریزجلبک برای مصرف انسان باید در نظر گرفته شوند عبارتند از محتوای TAA و EAA و قابلیت هضم پروتئین، زیست دسترسی و فراهمی زیستی. دیوارهٔ سلولزی اکثر گونه‌های ریزجلبک ممکن است در صورت مصرف در جذب مواد مغذی اختلال ایجاد کند. برای ارزیابی کیفیت پروتئین، چندین روش توصیه می‌شود، از جمله روش‌های امتیاز اسیدآمینه تصحیح شده با قابلیت هضم پروتئین (PDCAAS) امتیاز اسیدآمینه ضروری قابل هضم (DIAAS). پروتئین‌های گوشت و آب پنیر دارای مقادیر PDCAAS نزدیک‌تر به ۱ هستند و به دلیل محتوای اسیدآمینه و قابلیت هضم آنها منابع پروتئین کاملی در نظر گرفته می‌شوند. اما این میزان برای پروتئین جلبک‌ها کمتر از ۱ است و این ممکن است ناشی از عوامل ضد تغذیه‌ای موجود در ریزجلبک‌ها، از جمله اجزای تشکیل‌دهندهٔ دیوارهٔ سلولی جلبک باشد، که ممکن است در هنگام مصرف جلبک‌ها به پروتئین موجود در ریزجلبک‌ها متصل شود و از هضم کامل آنها جلوگیری کند. پروتئین‌ها همچنین به خواص رئولوژیکی (rheology) و پایداری ریزجلبک‌ها در طول ساخت و ذخیره‌سازی کمک می‌کنند. از نظر سلامتی، این پروتئین‌ها منبعی از پپتیدهای فعال زیستی با طیف گسترده‌ای از اثرات مختلف سلامتی در هنگام مصرف هستند. بسیاری از گونه‌های ریزجلبک نیز آنزیم‌های جذاب تجاری با طیف وسیعی از کاربردهای بالقوه تولید می‌کنند، برای مثال، آنزیم‌هایی با فعالیت آنتی اکسیدانی از جمله فعالیت‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز (Roy et al. 2021).

پپتیدها توالی کوتاهی از اسیدهای آمینه بین دو تا ۳۰ در طول با مقادیر جرمی کمتر از ۱۰ کیلو

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

دالتون هستند و مزایای سلامتی زیادی را برای مصرف‌کننده فراهم می‌کنند که فراتر از تغذیهٔ اولیه است. پپتیدهای ریزجلبک می‌توانند با استفاده از آنزیم‌ها تولید شوند یا اینکه بومی هستند و از ژنوم جلبک رمزگذاری می‌شوند. هر دو نوع پپتید با طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های زیستی شبه هورمونی مرتبط هستند (Sathya et al. 2021). استفاده از پپتیدهای فعال زیستی در فارماکولوژی برای اولین‌بار در سال ۱۹۵۰ توصیف شد، زمانی که پپتیدهای با منشأ لبنی برای تقویت کلسیفیکاسیون (جمع شدن کلسیم) دراستخوان نوزادان موثر واقع شد (Sathya et al. 2021).

اهمیت جلبک‌های خوراکی در تغذیه

جلبک‌ها به‌عنوان مکمل غذایی قرن ۲۱ در نظر گرفته می‌شوند. زیرا حاوی پروتئین، لیپید، پلی‌ساکارید، مواد معدنی از جمله کلسیم، آهن، منیزیوم، سلنیوم، روی، مس، پتاسیم و سدیم هستند. به‌طور معمول جلبک‌های دریایی سرشار از ویتامین‌های B12، B2، B9، C، A و E به شکل بتاکاروتن، نیکوتینات، بیوتین، اسید فولیک و اسید پانتوتنیک هستند. البته میزان ویتامین جلبک بستگی به نحوهٔ تغذیه و شدت نور در چرخهٔ رشد جلبک دارد. جلبک‌های دریایی از نظر کربوهیدرات و پروتئین همانند جو دوسر هستند. تمام جلبک‌ها در ساختار بیوشیمیایی خود حاوی پلی‌ساکارید هستند که یک مادهٔ کلوئیدی غیرسمی است که موسیلاژ یا ژل نامیده می‌شود. جلبک‌های دریایی به‌طورسنتی توسط صنایع غذایی برای استخراج مواد پلی‌ساکاریدی مانند آلژینات، کاراگینان وآگار استفاده می‌شوند و حاوی ترکیباتی با مزایای بالقوه تغذیه‌ای هستند (Cardozo et al. 2007).

طی پژوهشی ارزش تغذیه‌ای جلبک‌ها از نظر گروه‌های مواد غذایی مورد ارزیابی قرار گرفت. مشخص شد ترکیب شیمیایی جلبک‌های مختلف برحسب در صد ماده خشک بیشترین درصد پروتئین مربوط به *اسپیرولینا* (۶۵٪) و بیشترین درصدکربوهیدرات مربوط به *دونالیلا سالینا* (*Dunaliella salina*) است. بیشترین مقدار ویتامین (آ، ب ۱۲ و بیوتین) را *اسپیرولینا ماکزیما* (*Spirulina maxima*) دارا بود. در مقایسه مقدار آمینواسیدهای ضروری مشخص است که تعداد دفعاتی که هر جلبک دارای مقدار ماکزیمم است جلبک *اسپرولینا ماکزیما* حاوی بیشترین درصد آمینواسیدهای ضروری است و بعد از آن *کلرلا الوسپیدیا* (*Chlorella ellipsoidea*) و *دونالیلا بارداوی* (*Dunaliella bardawil*) بیشترین آمینو اسیدها را دارا هستند (Jha et al. 2017).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

طی پژوهشی اثرات افزودن پودر سیانوباکتر *اسپیرولینا پلاتنسیس* (*Spirulina platensis*) بر برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اسیدیته قابل تیتر، میزان آهن، پروتئین، ویسکوزیته و دوفاز شدن) و خواص حسی (نظیر رنگ، طعم، بو، قوام، پذیرش کلی) دوغ گرمادیده حاوی باکتری پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* (*Lactobacillus acidophilus*) و پودر نعناع بررسی شد. نتایج نشان دادند که غلظت‌های مختلف جلبک ضمن جلوگیری از تغییر سریع در pH، اسیدیته دوغ را افزایش می‌دهند. بنابراین با توجه به نتایج و از نظر جنبه‌های اقتصادی تیمارهای حاوی ۰/۳ درصد پودر ریزجلبک به‌عنوان تیمار برتر انتخاب شدند (Meshkanani et al. 2015).

طی پژوهشی زیست‌توده جلبک *کلرلا سورو کینیانا* (*Chlorella sorokiniana*) را در ترکیب پاستا برای غنی‌سازی آن مورد بررسی قرار دادند. افزودن ریزجلبک *کلرلا* به ماکارونی به افزایش محتوای اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه، کلروفیل و کاروتنوئیدها کمک کرده است که برای پیشگیری از بیماری‌های ناشی از غذا ضروری هستند (Bazarnova et al. 2021).

عمده‌ترین کاربرد جلبک‌ها در صنعت غذا

به‌عنوان افزودنی‌های خوراکی

بیشتر محصولاتی که در آنها از ریزجلبک‌ها به‌عنوان مکمل‌های خوراکی استفاده می‌شود، به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ در دستهٔ اول از ریزجلبک‌ها به‌عنوان رنگ‌دهندهٔ طبیعی استفاده می‌شود و دستهٔ دوم که از ریزجلبک‌ها در آنها به‌عنوان اهرمی برای افزایش محتوای مغذی در محصولات نهایی استفاده می‌شود. فرآورده‌های صنعتی متنوعی از ماکروجلبک‌ها تهیه می‌شود از جمله آلژینات که از دیوارهٔ سلولی جلبک‌های قهوه‌ای استخراج می‌شود که در صنایع غذایی و داروسازی به‌عنوان افزودنی‌های خوراکی جهت تثبیت امولسیون‌ها کاربرد دارند (Torres-Duran et al. 2007).

دیوارهٔ سلولی علف‌های دریایی حاوی فیکوکلوئیدها هستند که مخلوطی ناهمگن و حالتی بین محلول و سوسپانسیون است که ذرات حل‌شونده در آن بزرگتر از ذرات محلول هستند، اما در عین‌حال ریزتر از ذرات سوسپانسیون‌ها هستند و ته‌نشین نمی‌شوند که در تهیه غذاهای آماده به وفور استفاده می‌شوند. سه فیکوکلوئید (آلژینات استخراج‌شده از جلبک‌های قهوه‌ای، آگار و کارجینان استخراج‌شده از جلبک‌های قرمز) به‌طور گسترده توسط انسان مورد استفاده قرار

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

می‌گیرند. آلژینات یا اسید آلژنیک بطور تجاری از جلبک‌های قهوه‌ای به‌ویژه *Macrocystis*، *Laminaria* و *Ascophyllum* تولید می‌شود. آلژینات به‌عنوان افزودنی خوراکی در بستنی‌سازی کاربرد دارد تا تشکیل کریستال‌های یخ را محدود و در نتیجه، یک بافت نرم و صاف را تولید کنند. همچنین به‌عنوان مادهٔ امولسیون‌کننده و غلیظ‌ساز در شربت‌ها و به‌عنوان پرکننده در آبنبات استفاده می‌شود (Radmer. 1996).

آگار از جلبک‌های قرمز *مانند* *Gelidium*، *Gracilaria*، *Pterocladia*، *Acanthopeltis* و *Ahnfeltia* استخراج می‌شود، که به‌عنوان پرکننده فوری در گوشت یا ماهی کنسرو شده و در شیرینی‌سازی کاربرد دارد. کاراگینان (Carrageenan) از گونه‌های مختلف جلبک قرمز جداسازی و به‌عنوان عامل تثبیت‌کننده در محصولات لبنی، کرم‌ها، پودرها و فرآورده‌های کنسروی استفاده می‌شود (Fenoradosoa et al. 2010).

به‌عنوان مکمل‌های غذایی

در چند دههٔ گذشته، متخصصان تغذیه و دانشمندان مواد غذایی تمرکز بسیار بیشتری بر ارزیابی تغذیه‌ای جلبک‌های دریایی خوراکی داده‌اند. بیشتر مطالعات بر روی جلبک‌های دریایی قرمز به دلیل ارزش غذایی بالاتر آنها در مقایسه با سایر جلبک‌های خوراکی متمرکز بود (Wong and Cheung, 2000). جلبک دریایی به‌عنوان بخشی از رژیم غذایی انسان در چین، ژاپن، تایلند و کره جنوبی استفاده می‌شود. بسته به گونه، برخی از جلبک‌های دریایی به‌طور کلی برای تهیهٔ غذاهای خنک و ژلاتینی یا معجون مناسب هستند. به‌طور کلی، جلبک دریایی به‌عنوان یک مادهٔ غذایی کم کالری، اما سرشار از ویتامین، مواد معدنی و فیبر غذایی در نظر گرفته می‌شود. جلبک دریایی همچنین به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده خوراک دام، مواد اولیه برای کود و همچنین کاربردهای مختلف صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جلبک‌ها به دلیل داشتن پروتئین، لیپید، کربوهیدرات، ویتامین، رنگدانه و آنزیم‌های طبیعی به‌عنوان مکمل‌های غذایی در سطوح تجاری استفاده می‌شوند برخی از جلبک‌های قرمز، قهوه‌ای و سبز توسط انسان مصرف می‌شوند. تقریبا ۵۰۰ گونه جلبکی مصرف خوراکی دارند و تقریبا ۱۶۰ گونه بصورت تجاری تولید و مصرف می‌شود. جلبک قرمز *پورفیرا* (*Porphyra*)، اهمیت بالایی در مصارف تجاری دارد، جلبک‌های سبز *اولوا* (*Ulva*) و قهوه‌ای *لامیناریا* (*Laminaria*) در

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

سالاد و سوپ به همراه ماهی مصرف می‌شوند. جلبک‌های سبز *کلرلا* (*Chlorella*) حاوی مقادیر بالایی پروتئین (۵۳-۶۵٪) و به‌عنوان منبع غذایی مناسب در طی مسافرت‌ها بویژه در کشورهای تایوان، مالزی و فیلیپین استفاده می‌شود (Sharma and Arya, 2017).

اسیدهای چرب استخراج‌شده از جلبک‌ها به‌عنوان مکمل های غذایی مناسب و ضروری برای تغذیهٔ انسان شناخته شده‌اند. *اسپیرولینا* منبع غنی از مواد معدنی و ویتامین‌ها است که در صنعت غذا استفاده می‌شود. جلبک‌های قرمز و قهوه‌ای به‌عنوان غذای سالم جهت تغذیه انسان مورد تأیید قرار گرفته‌اند (Nakano et al. 2005).

تولید جهانی جلبک‌های خوراکی

در سطح جهان، علاقهٔ فزاینده‌ای به جلبک‌ها به‌عنوان ارگانیسم‌های تولیدی وجود دارد. جلبک‌ها حاوی لیپیدها (روغن)، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها (قند) هستند و به‌ویژه جلبک‌های دریایی قرن‌هاست که به‌عنوان غذا، خوراک و کود مورد استفاده قرار می‌گیرند. کشت تجاری جلبک‌های دریایی سابقهٔ طولانی دارد، به‌ویژه در آسیا، کشت‌های تجاری در مقیاس بزرگ گونه‌های ریزجلبک *کلرلا* در اوایل دهه ۱۹۶۰ آغاز شد و سپس در سال ۱۹۷۰ کشت *اسپیرولینا* شروع شد. جلبک‌های دریایی و گیاهان آبزی به‌طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند جلبک‌های دریایی قهوه‌ای، قرمز، سبز و گیاهان متفرقه. جلبک دریایی قرمز و قهوه‌ای از نظر تجاری مهم‌ترین هستند. در سال ۱۹۸۸، کل تولید جلبک دریایی حدود ۴ میلیون تن (وزن تر) بود. گروه‌های اصلی جلبک به ترتیب زیر تولید شدند: جلبک دریایی قهوه‌ای (۲/۵ میلیون تن، ۶۶/۵٪)، جلبک دریایی قرمز (۱/۲۵ میلیون تن، ۳۳٪) و جلبک دریایی سبز (۱۵٪) (JMcHugh. 2003). در حالی که به‌طور سنتی جلبک دریایی از طبیعت جمع‌آوری می‌شد، تقریباً تمام جلبک‌های دریایی قهوه‌ای، ۶۳ درصد از جلبک دریایی قرمز و ۶۸ درصد از جلبک دریایی سبز در حال حاضر پرورش داده می‌شوند. (Akhoundian and Mirhasannia, 2017).

انواع ماکروجلبک‌ها و میکروجلبک‌های کاربردی در صنایع غذایی

اسپیرولینا

مخلوط بی‌شماری از ریزجلبک‌ها را در فروشگاه‌ها به شکل‌های قرص، پودر، کپسول، پاستیل‌ها و مایعات به‌عنوان مکمل‌های غذایی می‌توان یافت. آنها همچنین می‌توانند با

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

محصولات غذایی مثل پاستا، بیسکوئیت‌ها، نان، اسنک‌ها، آبنبات، ماست و نوشیدنی‌های غیرالکلی ترکیب شوند و اثرات سلامتی‌بخش نشان دهند. در کشورهای آلمان، فرانسه، ژاپن، آمریکا، چین و تایلند شرکت‌های تولید و توزیع‌کنندهٔ غذا فعالیت های جدی در زمینهٔ فروش غذاهای عملگر با ریزجلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها انجام داده‌اند (Ghaeni and Roomiani, 2016). قابلیت ترکیب تودهٔ زیستی ریزجلبک‌ها با سامانه‌های غذایی مشروط به نوع فرآیند به کار برده شده و شدت آن، مثل فرآیندهای حرارتی و مکانیکی و طبیعت غذا مثل امولسیون، ژل، سامانه‌های خمیری هوادهی شده و همچنین واکنش‌های بین ترکیبات غذایی پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها، قند و نمک‌ها است (Anwar et al. 2022). علاوه‌بر خواص رنگی و تغذیه‌ای، ترکیب ریزجلبک‌ها با غذاها ممکن است تغییرات معنی‌داری در خواص ریزساختاری و رئولوژیکی غذاها ایجاد کند (Sousa et al. 2008). افزودن تودهٔ زیستی جلبک به فرآورده‌های غذایی سبب فراسودمند شدن آنها می‌شود. علت اصلی تحریک و تقویت رشد باکتری‌ها پس از افزودن زیست تودهٔ سیانوباکتر، غنی‌سازی تغذیه‌ای محیط پایهٔ فرآورده با اسیدهای آمینه ضروری و ویتامین‌ها گزارش شده است (Ku et al. 2013).

اسپیرولینا یکی از نوید بخش‌ترین ریزجلبک‌ها است که از سوی سازمان بهداشت جهانی، به‌عنوان بهترین راه حل برای آینده و همچنین به‌عنوان غذای برتر اعلام شده است. فواید و برتری این ریزجلبک نسبت به سایر منابع غذایی گیاهی و دیگر جلبک‌ها بسیار زیاد و قابل توجه است (Ali and Saleh, 2012).

اسپیرولینا پلاتنسیس غنی از مواد مغذی است. پروتئین‌های آن کیفیت بالایی داشته و حاوی ۱۸ نوع اسیدآمینه است و همچنین شامل انواع ویتامین‌های B12، B8، B2، B6 بیشتر از جگر گاو، E، K، A و عناصری مانند پتاسیم و آهن است (Spolaore et al. 2006). اهمیت استفاده از *اسپیرولینا* به‌طور عمده، به علت ویژگی‌های تغذیه‌ای همچون میزان بالای پروتئین بر حسب ۶۰ تا ۷۰ درصد وزن خشک، ویتامین‌ها به‌ویژه ویتامین B12 و پیش‌ساز ویتامین A، اسیدهای آمینه ضروری، مواد معدنی به‌ویژه آهن، رنگدانه‌های فایلکوسیانین و اسیدهای چرب ضروری به‌ویژه گامالینولینیک GLA است (Chen et al. 2009).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

اسپیرولینا پلاتنسیس به دلیل محتوای پروتئین و رنگدانه‌های فیکوسیانین و فیکواریترین زیاد برای غنی‌سازی مواد غذایی استفاده دارد (Regunathan and Wesley. 2006). کاربرد بالقوهٔ *اسپیرولینا* به‌عنوان اجزاء تشکیل‌دهندهٔ غذایی برای بهبود خواص سلامتی بخش محصولاتی مانند مکمل‌های غذایی، نوشیدنی‌ها و شیرهای تخمیرشده، غلات و محصولات نانوایی، دسرها، کیک‌ها و محصولات قنادی، بیسکویت‌ها، اسنک‌ها، سوپ‌ها، سس‌های سالاد و محصولات لبنی مانند بستنی، ماست، نوشیدنی‌های بر پایهٔ لبنی به کار رفته است (Spolaore et al. 2006). از این جلبک به‌عنوان غذایی برای آینده یاد شده است زیرا قابلیت تولید مواد غذایی متراکم با کیفیت بالا در مقایسه با سایر جلبک‌ها دارد (Soheili et al. 2006).

نداشتن دیوارهٔ سلولزی باعث می‌شود جذب مواد مغذی بسیار راحت انجام شود. کم بودن میزان اسید نوکلئیک (کمتر از ۴٪) *اسپیرولینا* یکی از برتری‌های این جلبک نسبت به سایر منابع پروتئینی مشابه است (Fradique et al. 2010). شکل ۵ تصویر جلبک *اسپیرولینا* را نشان می‌دهد.

شکل ۵- تصویر جلبک اسپیرولینا (Grosshagauer et al. 2020).

گراسیلاریا

جنس *گراسیلاریا* به علت رنگدانهٔ فیکواریترین و فیکوسیانین از شاخهٔ جلبک‌های قرمز است. این دو رنگدانه، دیگر رنگدانه‌ها را پوشش می‌دهند که شامل کلروفیل، بتاکاروتن و تعدادی از گزانتوفیل های منحصر به فرد هستند. این جنس از جلبک‌ها دارای مقادیر قابل توجهی از بعضی اسیدآمینه‌های ضروری، اسیدهای چرب، مواد معدنی و تمام ویتامین‌های موردنیاز برای مصارف انسانی و حیوانی هستند. در آب‌های دریای خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران تاکنون ۱۳ گونه *گراسیلاریا* شناسایی شده که اغلب آنها در سواحل

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

جزر و مدّی پراکنش دارند. مهمترین منابع تأمین آگار در جهان محسوب می‌شوند و بیش از ۵۳ درصد آگار تولید شده در جهان از این جنس است (Dos et al. 2008).

آگار، شامل دو پلی‌ساکارید به نام آگارز و آگارو پکتین است که خاصیت ژلاتینی آن به سبب ترکیب آگارز بوده درحالی که آگارو پکتین، چسبندگی ایجاد می‌کند. آگار به‌عنوان محیط کشت باکتری‌ها و تهیهٔ قرص و کپسول و آگارز برای تهیه ژل‌های الکتروفورتیک بکار می‌رود (De et al. 2011). شکل ۶ تصویر جلبک *گراسیلاریا* را نشان می‌دهد.

شکل ۶- تصویر جلبک *گراسیلاریا* (Santelices and Doty, 1989).

سارگاسوم

سارگاسوم، جلبک قهوه‌ای پرسلولی دریایی است و برخی گونه‌های آن در سواحل جنوبی ایران رشد می‌کنند. تولیدمثل در این جلبک‌ها با تولید گامت یا اسپور انجام می‌شود. این ماکروجلبک دارای رنگدانه‌های بتاکاروتن و فوکوگزانتین، فیکوسیانین، پلی‌ساکارید، آهن، روی و اسیدهای آمینهٔ ضروری است که سبب ارتقاء سیستم ایمنی می‌شود. این جلبک به دلیل داشتن مقدار زیادی رنگدانه‌های گزانتوفیل و فوکوگزانتین، دارای رنگ قهوه‌ای است و به همین دلیل در گروه جلبک‌های قهوه‌ای قرار گرفته یکی از مهم‌ترین جنس‌های پیچیده از نظر سیستماتیک محسوب می‌شود. گونهٔ *سارگاسوم*، منبع مهم کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها، بتاکاروتن و برخی اسیدهای آمینهٔ ضروری مانند آرژنین، تریپتوفان و فنیل‌آلانین است. همچنین این جلبک‌ها حاوی ترکیباتی از فوکوئیدان‌ها، فلاونوئیدها، ترپنوئیدها، آلژینات‌ها، پلی‌فنول‌ها، انواع اسیدهای آمینه با اثرات زیستی مختلف نظیر آنتی‌اکسیدان، ضدالتهاب، آنتی‌باکتریایی، ضدقارچی و ضدسرطانی هستند (Baleta et al. 2017).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

شکل ۷ تصویر جلبک *سارگاسوم* را نشان می دهد.

شکل ۷- تصویر جلبک *سارگاسوم* (Marín et al. 2009).

***اولوا پرولیفرا* (*Ulva prolifera*)**

جلبک‌های سبز *اولوا* به سبب دارا بودن رنگدانه سبز رنگ به نام کلروفیل A و B اغلب به رنگ سبز دیده می‌شوند. کربوهیدرات ذخیره‌شده در سلول‌های *اولوا*، نشاسته است. در آسیا به علت پی بردن به ارزش تغذیه‌ای آنها در بسیاری از سوپ‌ها و سالادها استفاده می‌شوند. دارای مواد مغذی فراوانی همچون پروتئین‌ها، چربی‌ها، مواد معدنی و ویتامین‌ها هستند. گونهٔ *اولوا* جلبکی از نوع دریایی بوده که بر روی سنگ‌ها و صخره‌های ساحل می‌روید و به کاهوی دریایی نیز معروف است. جلبک *اولوا* به دو صورت گامتوفیت و اسپوروفیت وجود دارد. هر دو از نظر شکل ظاهری و اندازه، به هم شبیه هستند و تنها تفاوت آنها در تعداد کروموزوم‌هاست. هر دو دارای ساقه ها و برگ‌های سبز و باریک و نیمه شفاف هستند. این جلبک‌ها پیکره‌ای صفحه‌ای داشته و به‌طور معمول لبه‌دار و مواج هستند و حداکثر رشد طولی آنها ۴۰ سانتیمتر و عرض پهنای آنها به ۳۰ سانتیمتر می‌رسد. این جلبک می‌تواند محیط بیرون از آب را تا حدودی تحمل کند زیرا سلول‌های آن دارای دیواره‌ای سخت هستند. سلول‌های این جلبک دارای کلروپلاست و چند پیرنوئید (pyrenoid) است. به‌طور معمول اکثر سلول‌های آن تک هسته‌ای است (Liu et al. 2019).

شکل ۸ تصویر جلبک *اولوا پرولیفرا* را نشان می دهد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

شکل ۸- تصویر جلبک *اولوا پرولیفرا* (Zhang et al. 2018).

کلرلا

کلرلا از گونهٔ جلبک‌های سبز است و از نظر ارزش غذایی مفیدتر از *پورفیرا* است. ارزش غذایی آن با مخلوط سویا و اسفناج قابل مقایسه است. این جلبک‌ها را می‌توان به راحتی در حضور نور، دی اکسید کربن و مواد مغذی معدنی کشت داد. آنها به سرعت رشد می‌کنند از این رو محصول زیادی را می‌توان در یک دورهٔ محدود به دست آورد. چندین گونه از *کلرلا* تولیدکنندگان بالایی از لیپیدها و پروتئین‌ها هستند. حدود ۳۰ درصد کربوهیدرات، ۳۰ درصد پروتئین و ۱۵ درصد لیپید دارد. *کلرلا* از ریزجلبک‌های محبوب است که ارزش غذایی مشابه *اسپیرولینا* دارد. *کلرلا* در ژاپن بسیار محبوب است، همچنین از آن به‌عنوان مکمل غذایی با اثرات احتمالی بر میزان متابولیسم استفاده می‌شود. برخی ادعا می‌کنند که *کلرلا* می‌تواند سطح جیوه را در انسان کاهش دهد که ظاهراً از طریق کیلاسیون (chelation) جیوه (تشکیل کمپلکس با جیوه) به دیوارهٔ سلولی ارگانیسم است (Manivannan et al. 2009).

***لامیناریا* (کمبو)**

کمبو نام ژاپنی جلبک دریایی خشک شده است که از مخلوطی از گونه‌های *لامیناریا* به دست می آید. گونه‌های این جنس عبارتند از *L. longissima*، *L. japonica*، *L. angustata*، *L. coriacea* و *L. ochotensis*. همهٔ اینها از منابع طبیعی، به‌طور عمده در جزیرهٔ شمالی هوکایدو از سواحل شمالی هونشو برداشت می‌شوند. سه مورد اول از موارد فوق، اجزای اصلی برداشت هستند. گیاهان روی صخره‌های ناحیهٔ ساحلی از عمق ۲ تا ۱۵ متر رشد می‌کنند. آنها آب آرام را در دمای بین ۳ تا ۲۰ درجه سلسیوس ترجیح می‌دهند. گونه‌های *لامیناریا* حاوی حدود ۱۰ درصد پروتئین، ۲ درصد چربی و مقادیر مفید مواد

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

معدنی و ویتامین‌ها هستند، اگرچه به‌طور کلی مقدار این ترکیبات کمتر از جلبک‌هایی است که در شرایط نوری یافت می‌شوند. به‌طور مثال یک دهم ویتامین و نیاسین، نصف مقدار B1 و اما سه برابر آهن در مقایسه با جلبک‌های رشدیافته در شرایط نوری دارد. جلبک‌های دریایی قهوه‌ای همچنین حاوی ید هستند (Kolb et al. 2004).

کلپ (Kelp)

در بین پرمصرف‌ترین جلبک‌های دریایی، کلپ در انواع مختلفی وجود دارد. به‌طور معمول به‌صورت ورقه‌هایی خشک می‌شود که در طول پخت و پز به‌طور مستقیم به ظرف اضافه می‌شود یا در آب خیس می‌شود تا برای خوردن قابل انعطاف باشد. کمبو، نوعی کلپ قهوه‌ای است که به‌عنوان طعم‌دهنده‌ای دلچسب و غنی از مواد معدنی برای آبگوشت‌ها و سوپ‌ها استفاده می‌شود و در ژاپن گاهی اوقات آن را تازه مصرف می‌کنند (Irving et al. 2004).

آرامه (Arameh)، یکی دیگر از گونه‌های کلپ است که رشته‌های قهوه‌ای تیره، دارای طعم ملایم شیرین و بافت سفت است که آن را به یک افزودنی جذاب برای بسیاری از غذاها، از سوپ و کاسرول گرفته تا محصولات پخته تبدیل می‌کند. در کره و ژاپن، سرآشپزها آرامه تازه را با ریختن روغن کنجد و سرو آن روی کاهوی خرد شده آماده می‌کنند. کلپ همچنین به شکل پوسته پوسته یا دانه‌بندی شده است و به‌عنوان یک جایگزین نمک و یک مکمل معدنی قابل استفاده می‌شود. رشته فرنگی کلپ، که نیازی به پختن ندارد، خوشمزه است و حاوی شکر یا چربی نیست. یک وعدهٔ ۱ فنجانی کمتر از ۱۰ کالری دارد. آنها فاقد کلسترول و گلوتن هستند و حاوی ۱۵ درصد کلسیم مورد نیاز روزانه هستند. کلپ سرشار از ید است. یک چهارم قاشق چای‌خوری کلپ حاوی ۲۰۰۰ درصد RDA (recommended dietary allowance) است. در صورت نیاز به ید بیشتر، می‌تواند یک مکمل خوشایند باشد (Irving et al. 2004).

دولس (Dulce) یک جلبک دریایی قرمز است که به وفور در امتداد صخره‌های اقیانوس اطلس شمالی و سواحل شمال غربی اقیانوس آرام رشد می‌کند. دولس دارای بافت نرم و جویدنی است. دولس ید بسیار کمتری نسبت به کامبو دارد و منبع خوبی از منیزیم و کلسیم است. تنقلات جلبک دریایی، مانند جلبک دریایی بوداده، جایگزینی سالم برای چیپس با ارائهٔ یک ترد نمکی کم کالری و کم چربی است (Novelo and Tavera, 2011).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

نتیجه‌گیری

جلبک‌های دریایی علاوه‌بر اهمیت اکولوژیکی خود، خواص تغذیه‌ای اصیل و جالبی را از خود نشان می‌دهند. از نقطه‌نظر تغذیه، خواص اصلی جلبک‌های دریایی شامل مواد معدنی بالا (ید، کلسیم) و فیبرهای محلول در رژیم غذایی، وجود ویتامین B12 و اجزای خاصی مانند فوکوگزانتین، فوکوسترول و فلوروتانین است. پتانسیل تجاری سازی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مبتنی بر جلبک دریایی به‌عنوان مکمل‌های غذایی یا مواد مغذی، تداوم نهایت تلاش‌های اختصاصی توسعه را تضمین می‌کند. جلبک‌ها برداشت‌کننده‌های کارآمد و مدیران ماهر انرژی الکترومغناطیسی هستند و به‌عنوان مواد غذایی بسیار مغذی می‌توانند به‌طور منظم و بدون ترس از سمیت‌های متابولیک در تغذیه انسان مصرف شوند. به‌عنوان بخشی از یک رژیم غذایی متعادل، جلبک‌های دریایی می‌توانند فیبر، پروتئین، مواد معدنی، ویتامین‌ها و محتوای کربوهیدرات کم چربی را فراهم کنند. تطبیق پذیری جلبک‌ها به‌عنوان غذا امکان مصرف در اشکال تازه، خشک، ترشی یا پخته و به‌عنوان جزئی در مجموعهٔ وسیعی از محصولات دیگر را فراهم می‌کند. اما استفاده از ریزجلبک‌ها در صنایع غذایی نیازمند دو تحول اساسی در سیستم‌های کشت بهداشتی جدید برای تولید کشت‌های خالص در شرایط کنترل‌شده برای دستیابی به غلظت بالای محصول و سیستم‌های کشت بهبودیافته برای تولید صنعتی گونه‌های منتخب با ارزش غذایی بالا است.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

References فهرست منابع

Anwar SAA, Nowrozi B. 2022. A review of microalgae as beneficial food and medicinal supplements. Food Science and Nutrition. 19(2 (serial 74)): 55-74.

Akhoundian M, Mirhasannia SD. 2017. Microalgal Biodiversity as a Biotechnology and Environmental Potential. Human and Environment. 15(2): 39-70.

Ali SK, Saleh AM. 2012. Spirulina-an overview. International journal of Pharmacy and Pharmaceutical sciences. 4(3): 9-15.

Baker R, Gunther C. 2004. The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption. Trends in Food Science and Technology. 15: 484-488.

Baleta FN, Bolaños JM, Ruma OC, Baleta AN, Cairel JD. 2017. Phytochemicals screening and antimicrobial properties of *Sargassum oligocystum* and *Sargassum crassifolium* Extracts. Journal of Medicinal Plants. 5(1): 382-387.

Becker EW. 1994. Microalgae: biotechnology and microbiology. Cambridge University Press.

Bibak M, Sattari M, Tahmasebi S, Agharokh A, Namin JI. 2020. Marine macro-algae as a bio-indicator of heavy metal pollution in the marine environments, Persian Gulf. (In Farsi with English abstract)

Cardozo KH, Guaratini T, Barros MP, Falcão VR, Tonon AP, Lopes NP, Campos S, Torres MA, Souza AO, Colepicolo P, Pinto E. 2007. Metabolites from algae with economical impact. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology. 146(1-2): 60-78.

Caporgno MP, Mathys A. 2018. Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. Frontiers in nutrition. 5: 58.

Chen T, Wong YS, Zheng W. 2009. WITHDRAWN: Induction of G1 cell cycle arrest and mitochondria-mediated apoptosis in MCF-7 human breast carcinoma cells by selenium-enriched *Spirulina* extract. Biomed Pharmacother. DOI: 10.1016/j.biopha.2009.09.006.

Cock JM, Godfroy O, Macaisne N, Peters A, Coelho S. 2014. Evolution and regulation of complex life cycles: a brown algal perspective. Current Opinion in Plant Biology, Elsevier. 17: 1-6.

De Almeida CLF, Falcão DS, Lima DM, Gedson R, Montenegro DA, Lira NS, de Athayde-Filho PF, Rodrigues LC, de Fátima V de Souza M, Barbosa-Filho JM, Batista LM. 2001. Bioactivities from marine algae of the genus Gracilaria. International Journal of Molecular Sciences. 12(7): 4550-4573.

Dos Reis Falcão V, Pedroso Tonon A, Cabral Oliveira M, Colepicolo P. 2008. RNA Isolation method for polysaccharide rich algae: agar producing *Gracilaria tenuistipitata* (Rhodophyta). Journal of Applied Phycology. 20: 9-12.

Dufossé L, Galaup P, Yaron A, Arad SM, Blanc P, Murthy KNC, Ravishankar GA. 2005. Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: a scientific oddity or an industrial reality? Trends in Food Science and Technology. 16: 389-406.

Falkowski PG, Katz ME, Knoll AH, Quigg A, Raven JA, Schofield O, Taylor FJR. 2004. The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. Science. 305(5682): 354-360.

Fenoradosoa TA, Ali G, Delattre C, Laroche C, Petit E, Wadouachi A, Michaud P. 2010. Extraction and characterization of an alginate from the brown seaweed *Sargassum turbinarioides* Grunow. Journal of Applied Phycology. 22(2): 131-137.

Ferruzi MG, Blakeslee J. 2007. Digestion, absorption, and cancer preventive activity of dietary chlorophyll derivatives. Nutrition Research. 27: 1-12.

Fradique M, Batista AP, Nunes MC, Gouveia L, Bandarra NM, Raymundo A. 2010. Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation. Journal of the Science of Food and Agriculture. 90(10): 1656-1664.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

Ghaeni M, Roomiani L. 2016. Review for application and medicine effects of *Spirulina*, microalgae. Journal of Advanced Agricultural Technologies. 3(2).

Gouveia L, Marques AE, Sousa JM, Moura P, Bandarra NM. 2010. Microalgae–source of natural bioactive molecules as functional ingredients. Food Sci Technol Bull Funct Foods. 7(2): 21.

Goodwin T, Britton G. 1988. Distribution and analysis of carotenoids. In: Goodwin TW. (Ed.). Plant Pigments. Academic Press, Cornwall. 61–132.

Grosshagauer S, Kraemer K, Somoza V. 2020. The true value of Spirulina. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 68(14): 4109-4115.

Ho KK, Redan BW. 2020. Impact of thermal processing on the nutrients, phytochemicals, and metal contaminants in edible algae. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1-19.

Irving AD, Connell SD, Elsdon TS. (2004). Effects of kelp canopies on bleaching and photosynthetic activity of encrusting coralline algae. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 310(1): 1-12.

Jha D, Jain V, Sharma B, Kant A, Garlapati VK. 2017. Microalgae-based pharmaceuticals and nutraceuticals: an emerging field with immense market potential. ChemBioEng Reviews. 4(4): 257-272.

JMcHugh D. 2003. A guide to the seaweed industry. Food and Agriculture organisation of the United Nations Rome.

Khanjani MH, Heidari P. 2009. Importance and application of seaweed in biotechnology. Sixth National Conference on Biotechnology of the Islamic Republic of Iran. 22 to 24 August. Milad Tower Conference Hall, Tehran, Iran. 10 pages. (In Farsi with English abstract).

Ku CS, Yang Y, Park Y, Lee J. 2013. Health benefits of blue-green algae: prevention of cardiovascular disease and nonalcoholic fatty liver disease. Journal of Medicinal Food. 16(2): 103-111.

Kolb N, Vallorani L, Milanovic N, Stocchi V. 2004. Evaluation of marine algae wakame (*Undaria pinnatifida*) and Kombu (*Laminaria digitata japonica*) as food supplements. Food Technology and Biotechnology. 42(1): 57-62.

Liu XY, Liu D, Lin GP, Wu YJ, Gao LY, Ai C, Huang YF, Wang MF, El-Seedi HR, Chen XH, Zhao C. 2019. Anti-ageing and antioxidant effects of sulfate oligosaccharides from green algae *Ulva lactuca* and *Enteromorpha prolifera* in SAMP8 mice. International Journal of Biological Macromolecules. 139: 342-351.

Lu Y, Chen Y, Wu Y, Hao H, Liang W, Liu J, Huang R. 2019. Marine unsaturated fatty acids: structures, bioactivities, biosynthesis and benefits. RSC advances. 9(61): 35312-35327.

Marín A, Casas-Valdez M, Carrillo S, Hernández H, Monroy A, Sanginés L, Pérez-Gil F. 2009. The marine algae *Sargassum* spp.(Sargassaceae) as feed for sheep in tropical and subtropical regions. Revista de biología tropical. 57(4): 1271-1281.

Nakano S, Noguchi T, Takekoshi H, Suzuki G, Nakano M. 2005. Maternal-fetal distribution and transfer of dioxins in pregnant women in Japan, and attempts to reduce maternal transfer with *Chlorella* (*Chlorella pyrenoidosa*) supplements. Chemosphere. 61(9): 1244-1255.

Novelo E, Tavera R. 2011. Un panorama gráfico de las algas de agua dulce de México. Hidrobiológica. 21(3): 333-341.

Pulz O, Gross W. 2004. Valuable products from biotechnology of microalgae. Applied Microbiology and Biotechnology. 65: 635-648.

Ramirez-Merida LG, Zepka LQ, de Menezes CR, Jacob-Lopes E. 2015. Microalgae as nanofactory for production of antimicrobial molecules. Journal of Nanomedicine and Nanotechnology. (S6): 1.

Radmer RJ. 1996. Algal diversity and commercial algal products. Bioscience. 46(4): 263-270.

Roy UK, Nielsen BV, Milledge JJ. 2021. Antioxidant production in Dunaliella. Applied Sciences. 11(9): 3959.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

Regunathan C, Wesley SG, 2006. Pigment deficiency correction in shrimp broodstock using Spirulina as a carotenoid source. Aquaculture Nutrition. 12: 425-432.

Sathya R, MubarakAli D, MohamedSaalis J, Kim JW. 2021. A systemic review on microalgal peptides: Bioprocess and sustainable applications. Sustainability. 13: 3262.

Santelices B, Doty MS. 1989. A review of Gracilaria farming. Aquaculture. 78(2): 95-133.

Sharma A, Arya SK. 2017. Hydrogen from algal biomass: a review of production process. Biotechnology reports. 15: 63-69.

Solovchenko AE. 2013. Physiology and adaptive significance of secondary carotenogenesis. Russian Journal of Plant Physiology. 60(1): 1–13.

Sousa I, Gouveia L, Batista AP, Raymundo A, Bandarra NM. 2008. Microalgae in novel food products. Food Chemistry Research Developments. 75-112.

Soheili M, Khosravi-Darani K. 2011. The potential health benefits of algae and micro algae in medicine: a review on *Spirulina platensis*. Current Nutrition & Food Science. 7(4): 279-285.

Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A. 2006. Commercial applications of Microalgae-review. Journal of Bioscience and Bioengineering. 101: 87-96.

Stoyneva-Gärtner MP, Uzunov BA. 2015. An ethnobiological glance on globalization impact on the traditional use of algae and fungi as food in Bulgaria. Journal of Nutrition and Food Sciences. 5(5): 1.

Torres-Duran PV, Ferreira-Hermosillo A, Juarez-Oropeza MA. 2007. Antihyperlipemic and antihypertensive effects of *Spirulina maxima* in an open sample of Mexican population: a preliminary report. Lipids in Health and Disease. 6(1): 1-8.

Wong K, Cheung P. 2000. Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds Part I - proximate composition, amino acid profiles and some physico-chemical properties. Food Chem. 71: 475-482.

Zhao X, Xue CH, Li ZJ, Cai YP, Liu HY, Qi HT. 2004. Antioxidant and hepatoprotective activities of low molecular weight sulfated polysaccharide from *Laminaria japonica*. Journal of Applied Phycology. 16(2): 111-115.

Zhang QC, Yu RC, Chen ZF, Qiu LM, Wang YF, Kong FZ, Geng HX, Zhao Y, Jiang P, Yan T, Zhou MJ. 2018. Genetic evidence in tracking the origin of *Ulva prolifera* blooms in the Yellow Sea, China. Harmful Algae. 78: 86-94.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]

The Use of Macro and Microalgae and Their Bioactive and Phytochemical Compounds in the Food Industry to Prepare Perishable Foods

Neda Fallah[1], Behzad Mohammadi[2*], Sajad Pirsa[3]
1- Department of food Science and Technology, Qom branch, Islamic Azad University, Qom, Iran.
2- Department of Food Science and Technology, Afagh Higher Education Institute, Urmia, Iran
3- Associate Proffesor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

behzadmohammadi722@gmail.com

Abstract

Microalgae-based products are an emerging class in food and nutrients. Due to population growth and modernization of lifestyle, consumption of high-calorie foods has become common, which causes the problems such as obesity, heart disease and diabetes, which require the use of healthy foods containing vitamins, minerals, PUFA. For this reason, there has recently been a great deal of interest in separating new compounds from marine resources because of their health benefits. Among marine resources, algae are valuable resources with diverse structures of bioactive substances. Algae are important sources of phytochemicals with antioxidant properties that are directly and indirectly involved in the food industry. Many compounds such as carotenoids, phycobilin, unsaturated fatty acids, polysaccharides, vitamins and biologically active molecules that are important for use in human health have been identified in algae. Long-chain unsaturated fatty acids eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid are very important for the body's metabolism in humans. Chorophylll and bryophyte algae are used to extract these essential fatty acids. Macro and microalgae have a wide range of genetic and biodiversity sources that increase their importance due to their high nutritional value, trace minerals, high protein content and unsaturated fatty acids have been used in human, animal and aquatic nutrition. Therefore, in the present study, the properties, that potential and application of algae for the preparation of beneficial foods are discussed.

Keywords: Edible Algae, Macro and Micro Algae, Phytochemical Compounds, Carotenoids, Healthy Foods.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.6.0]