مقاله مروری آنتی‌اکسیدان

ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجود در جلبک‌های دریایی و کاربرد آن‌ها در صنایع مختلف

سولماز سلیمانی[۱]، مرتضی یوسف‌زادی[۲]* و میترا آرمان[۳]

[۱] گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

[۲] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم، قم

[۳] گروه زیست‌شناسی دانشگاه پیام نور، تهران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۶/۰۳، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۲/۰۴)

چکیده

جلبک‌های دریایی دارای طیف گسترده‌ای از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی شناخته شده‌اند. آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی که در بسیاری از جلبک‌ها یافت می‌شوند، از ترکیبات مهم زیست‌فعال هستند که از طریق محافظت از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو، بیماری‌های مختلف و فرآیندهای پیری نقش مهمی دارند. در حال حاضر علاقه جهانی در یافتن آنتی‌اکسیدان‌های جدید و ایمن از منابع طبیعی وجود دارد. جلبک‌ها می‌توانند تولید، انباشتگی و ترشح متابولیت‌های اولیه و ثانویه متنوعی از جمله کاروتنوئیدها، ترکیبات فنلی، فیکوبیلین‌ها، ترکیبات سولفاته و ویتامین‌ها داشته باشند. همه ترکیبات نامبرده دارای ارزش فراوان در صنایع داروسازی، تغذیه و آرایشی و بهداشتی هستند. هدف از این مطالعه، معرفی جلبک‌ها به‌عنوان یک منبع ارزشمند غنی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی است که می‌توان در صنایع مختلف از آن استفاده نمود.

کلیدواژه: آنتی‌اکسیدان، جلبک‌های دریایی، فتوسنتز، فیکوسیانین، کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها

مقدمه

جلبک‌ها موجوداتی فتوسنتزی هستند که دارای اشکال بسیار متنوع (تک سلولی تا چند سلولی) هستند (Arica *et al.*, 2017) و به دو دسته میکروجلبک‌ها و ماکروجلبک‌ها تقسیم می‌شوند. گونه‌های میکروجلبک مانند فیتوپلانکتون به‌طور معلق در آب زنده می‌مانند، درحالی‌که ماکروجلبک‌ها (که معمولاً به آن جلبک دریایی گفته می‌شود) ارگانیسم‌هایی گیاه مانند هستند که ابعاد آن‌ها از چند سانتی‌متر تا چندین متر می‌رسد (Hernandez Farinas *et al.*, 2017). جلبک‌ها می‌توانند منبع طبیعی جالب توجهی از ترکیبات جدید با فعالیت آنتی‌اکسیدانی باشند. برخی از جلبک‌ها در زیستگاه‌های پیچیده‌ای زندگی می‌کنند که تحت شرایط شدید محیطی (شوری، دما، مواد مغذی، تابش اشعه ماورابنفش و غیره) قرار دارند. برای زنده ماندن در این شرایط نامطلوب، آن‌ها باید با تولید متابولیت‌های ثانویه متنوع، که در موجودات دیگر یافت نمی‌شوند، به سرعت سازگار شوند (Fawcett *et al.*, 2017; Welker *et al.*, 2012). در میان ترکیبات مختلف موجود در جلبک‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها احتمالاً موادی هستند که بیش‌تر مورد توجه صنایع مختلف به‌ویژه آرایشی و بهداشتی و داروسازی قرار گرفته است (جدول ۱).

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: morteza110110@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

جدول ۱- ترکیبات آنتی‌اکسیدان از جلبک‌ها و فواید آن‌ها برای سلامتی (Jimenez-Lopez *et al.*, 2021)

ردیف	ترکیبات آنتی‌اکسیدان	عملکرد
۱	بتاکاروتن، لوتئین	محافظت در مقابل سرطان سینه
۲	بروموفنل	مهار آلفاگلوکوزیداز
	کاراژینان	ضدتومور
	اولیگوساکاریدها	ضدویروس ایدز
	فوکوئیدان	ضدسرطان، محافظت در مقابل اختلال و تخریب عصب
۳	فوکوفلورتول	پیشگیری دارویی
۴	فوکوگزانتین	بازدارنده رگ‌زایی، اثرات محافظتی در برابر کمبود رتینول
۵	سولفات گالاکتان	ضدویروس
۶	عملکرد گروه‌های فنول و مایکوسپورین شبه آمینواسیدها (MAAs)	ضدتکثیر
۷	فلوروتانن‌ها	ضدالتهاب، ضدباکتری، مهار آسیب DNA ناشی از H_2O_2، مهار فشارخون، اثر پیشگیری در مقابل نور خورشید
۸	فیکواریترین	بهبود عوارض ناشی از دیابت
۹	پلی‌فنل‌ها	ضدمیکروب، مهار آلفا گلوکوزیداز، محافظت عروق
۱۰	پرفوران، شینورین	ضدپیری، محافظت در مقابل نور خورشید

از مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی تجاری مانند هیدروکسیل آنیزول بوتیله‌شده (Butylated Hydroxyl Anisole, BHA)، هیدروکسیل تولوئن بوتیله‌شده (Butylated Hydroxyl Toluene, BHT)، α-توکوفرول و پروپیل گالات برای کاهش آسیب‌های اکسیداتیو استفاده شده است (Gulcin *et al.*, 2002). با این حال، گمان می‌رود که این آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی مسئول برخی از عوارض جانبی مانند آسیب کبدی و سرطان‌زایی هستند. درنتیجه، مصرف‌کنندگان از سلامت بیشتری برخوردار شده‌اند و محققان به‌طور فزاینده‌ای به‌دنبال گزینه‌های طبیعی آنتی‌اکسیدانی برای استفاده در غذاها یا مواد دارویی هستند. اخیراً بسیاری از محققان، علاقه‌مند به یافتن آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی دارای ایمنی و اثربخشی هستند که می‌توانند جایگزین آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی از جمله BHA و BHT شوند. یکی از این منابع طبیعی برای تولید آنتی‌اکسیدان‌ها، می‌توان به جلبک‌ها اشاره کرد (El-Din and El-Ahwany, 2016; Ibraheem *et al.*, 2017; Rashad *et al.*, 2019).

آنتی‌اکسیدان‌های جلبکی

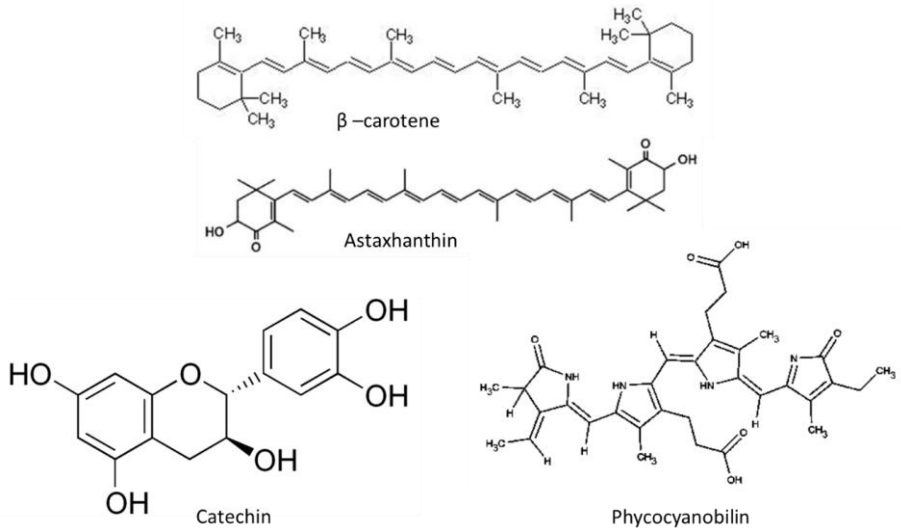
از آنجایی که جلبک‌ها موجودات فتوسنتزی هستند، هنگامی که در معرض غلظت‌های زیاد اکسیژن و نور قرار گیرند، رادیکال‌های آزاد و سایر معرف‌های اکسیداتیو را تولید می‌کنند. به‌دلیل عدم آسیب ساختاری، به‌نظر می‌رسد که این موجودات قادر به تولید ترکیبات لازم برای محافظت از خود در برابر اکسیداسیون هستند. از این‌رو، جلبک‌ها به‌عنوان یک منبع آنتی‌اکسیدانی قوی در نظر گرفته می‌شوند که می‌تواند برای محافظت از بدن ما در برابر اثرات مخرب گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر تولیدشده درنتیجه متابولیسم طبیعی بدن نیز مناسب باشد (Rastogi *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2018). آنتی‌اکسیدان‌های جلبکی ماهیت بسیار متفاوتی دارند مانند کاروتنوئیدها و ویتامین E (α- توکوفرول) که محلول در چربی هستند، درحالی‌که ویتامین‌ها، فیکوبیلی‌پروتئین‌ها و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

جدول ۲- ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجود در جلبک‌ها و منابع بالقوه جلبکی (Cikos *et al.*, 2018)

ردیف	طبقه‌بندی عمومی	ترکیبات	منبع جلبکی
۱	کاروتنوئیدها	بتاکاروتن	*Chondrus crispus Mastocarpus stellatus*
۲	ترکیبات فنلی	لیکوپن، ایزواپیتاوندیول، ترپنوئیدها	Taonia atomaria *Cystoseira* sp.
۳	رنگدانه فیکوبیلین	فیکواریترین، فیکوسیانین	جلبک قرمز
۴	پلی‌فنل‌ها	کاتچین، اپی‌کاتچین، گالات، فلاونوییدها، فلوروتانن‌ها	*Halimeda* sp.
۵	پلی‌ساکاریدهای سولفاته	فوکوییدان، الژنیک اسید، لامیناران	*Turbinaria conoides*
		فوکوییدان	Laminaria japonica
		گالاکتان‌های سولفاته	بیشتر در جلبک‌های قرمز
		گلیکوزآمینوگلیکان	Sargassum wightii
		پروفیران	.Porphyra sp
۶	ویتامین‌ها	آسکوربات	*Chondrus crispus*
		ویتامین A	*Mastocarpus stellatus Sargassum sp.*
			Kappaphycus alvarezii



شکل ۱- ساختار شیمیایی برخی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی

پلی‌فنل‌ها آنتی‌اکسیدان‌های محلول در آب هستند (Ismail *et al.*, 2020) (جدول ۲).

کاروتنوئیدها: کاروتنوئیدها از رایج‌ترین رنگدانه‌ها در طبیعت هستند. بیشتر کاروتنوئیدهای طبیعی، تتراترپنوئیدهای آبگریز هستند که حاوی یک زنجیره هیدروکربنی با استخلاف‌های متیل C_{40} هستند (شکل ۱). زنجیره‌های پلیین (polyene) کاروتنوئیدها، متشکل از پیوندهای دوتایی متصل، مسئول تولید رنگدانه کاروتنوئیدها و توانایی آن‌ها در جذب فوتون در طول-موج‌های مرئی هستند. کاروتنوئیدها توسط همه ارگانیسم‌های فتوسنتزی و همچنین توسط بسیاری از باکتری‌ها و قارچ‌های غیرفتوسنتزکننده نیز سنتز می‌شوند. بیش از ۶۰۰ کاروتنوئید شناخته‌شده در طبیعت گزارش شده که حدود ۵۰ مورد فعالیت پرویتامین A دارند (Peng *et al.*, 2011). کاروتنوئیدها که به-طور طبیعی وجود دارند، به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

کاروتن‌ها و گزانتوفیل‌ها. کاروتن‌ها، هیدروکربن‌های خطی هستند که در یک یا هر دو انتهای مولکول به‌صورت خطی یا چرخشی قرار دارند (مانند β- کاروتن، α- کاروتن). گزانتوفیل‌ها مشتقات اکسیژنه کاروتن هستند. تمام گزانتوفیل‌های تولیدشده توسط گیاهان بالاتر، به‌عنوان مثال ویولاگزانتین، آنتراکسانتین، زآگزانتین، نئوکسانتین و لوتئین نیز توسط جلبک‌های سبز سنتز می‌شوند. با این حال، برخلاف گیاهان خشکزی، جلبک‌های سبز خاص دارای گزانتوفیل‌های اضافی مانند astaxanthin loroxanthin و canthaxanthin هستند (Matos *et al*.; 2017, Shahidi, 2004). علاوه بر این، دیاتوکسانتین، دیادینوکسانتین و فوکوگزانتین در جلبک‌های قهوه‌ای و دینوفلاژلات‌ها تولید می‌شوند (Benico *et al*., 2019).

به‌نظر می‌رسد کاروتنوئیدها در جلبک‌ها به‌عنوان عوامل محافظت‌کننده نوری و برداشت نور (به‌عنوان رنگدانه جانبی) عمل می‌کنند، درنتیجه در فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرند و از تخریب کلروفیل در برابر آسیب نوری در مواقعی که شدت نور زیاد است محافظت می‌کنند. آن‌ها همچنین در فوتوتروپیسم و فوتوتاکسی نقش دارند. برخی از میکروجلبک‌ها، در پاسخ به تنش‌های مختلف محیطی و رشد (به‌عنوان مثال نور، دما، شوری و مواد مغذی)، می‌توانند تحت یک فرآیند کاروتنوژنز قرار گیرند، جایی که جلبک‌ها رشد را متوقف می‌کنند و متابولیسم کاروتنوئید خود را به طرز چشمگیری تغییر می‌دهند، کاروتنوئیدهای ثانویه را برای سازگاری با محیط‌های سخت جمع می‌کنند (Bhosale, 2004).

کاروتنوئیدهای اصلی تولیدشده توسط میکروجلبک‌ها، بتاکاروتن از *Dunaliella salina* و آستاگزانتین از *Haematococcus pluvialis* هستند. بتاکاروتن به‌عنوان یک ماده مغذی ضروری عمل می‌کند و تقاضای زیادی در بازار دارد به‌عنوان یک ماده رنگ‌کننده مواد غذایی طبیعی، به‌عنوان یک افزودنی به مواد آرایشی و همچنین به‌عنوان یک ماده غذایی سالم در پنیر و کره یا مارگارین استفاده می‌شود. بتاکاروتن به‌عنوان ماده ایمن شناخته شده است و اثرات مثبتی بر سلامتی به‌دلیل فعالیت پرووویتامین A به این کاروتنوئیدها نسبت داده می‌شود (Neagu *et al*., 2019).

لیکوپن یک رنگدانه قرمز است که به‌طور طبیعی در برخی میوه‌ها، سبزیجات، جلبک‌ها و قارچ‌ها وجود دارد. این ماده متعلق به گروه بزرگی از رنگدانه‌ها است که به کاروتنوئید معروف هستند. با این حال، هیچ فعالیت پرووویتامین A ندارد (Deng *et al*., 2020).

آستاگزانتین یک ماده رنگی قوی است و در حیوانات عملکردهای بسیاری مانند رشد، بینایی، تولیدمثل، عملکرد ایمنی و بازسازی دارد. این رنگدانه دارای فواید بسیار زیادی است از جمله افزایش سلامت چشم، بهبود قدرت و استقامت عضلات و محافظت از پوست در برابر پیری زودرس، التهاب و آسیب UVA است. برخی گزارش‌ها این فرض را تأیید می‌کنند که خوردن روزانه آستاگزانتین ممکن است از بافت‌های بدن در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت کند زیرا این یک استراتژی عملی و مفید در سلامت است. همچنین مطالعات نشان داده است که آستاگزانتین ۵۰۰ برابر ویتامین E دارای توانایی مهار رادیکال‌های آزاد است (Eren *et al*., 2019; Focsan *et al*., 2017).

رنگدانه‌های فیکوبیلین: علاوه بر کلروفیل‌ها، به‌عنوان رنگدانه فتوسنتزی اولیه، میکروجلبک‌ها رنگدانه‌های مختلف جانبی یا ثانویه، مانند فیکوبیلی‌پروتئین‌ها نیز تشکیل می‌دهند. این رنگدانه‌های طبیعی قادر به بهبود کارایی استفاده از انرژی نوری جلبکی و محافظت از آن‌ها در برابر تابش خورشید و اثرات مربوط به آن هستند. عملکرد این رنگدانه‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در گیاه، با نقش بالقوه آن‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در غذاها و بدن انسان قابل مقایسه است (Pereira *et al*., 2021; Shanab *et al*., 2012).

سیانوباکتری‌ها (جلبک‌های سبز آبی)، رودوفیتا (جلبک‌های قرمز) و جلبک‌های کریپتومونادس حاوی فیکوبیلی‌پروتئین‌ها هستند که اجزای اصلی یک مجموعه پیچیده فتوسنتزی فیکوبیلیزوم هستند. فیکوبیلی‌پروتئین‌ها از یک زنجیره پروتئینی تشکیل می‌شوند که با پیوندهای کووالانسی به گروه‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

تتراپیرول کروموفوریک متصل است، فیکوبیلین نامیده می‌شود (شکل ۱). منابع طبیعی اصلی فیکوبیلی‌پروتئین‌ها عبارتند از سیانوباکتری *Spirulina* برای فیکوسیانین (رنگ آبی) و رودوفیت *Porphyridium* برای فیکواریترین (رنگ قرمز). فیکوسیانین در حال حاضر در ژاپن و چین به‌عنوان یک رنگ طبیعی، در محصولات غذایی مانند آدامس، آب نبات، لبنیات، ژله، بستنی، نوشیدنی‌های غیرالکلی استفاده می‌شود (Ismail *et al*., 2021, Sonani *et al*., 2015).

ترکیبات فنلی و پلی‌فنل‌ها: متابولیت‌های ثانویه پلی‌فنلیک یک گروه بزرگ و متنوع از ترکیبات شیمیایی هستند که هم در گیاهان زمینی و هم در ماکروفیت‌های آب وجود دارد. ترکیبات فنلی می‌توانند با کلات یون‌های فلزی، جلوگیری از تشکیل رادیکال و بهبود سیستم درون‌زا آنتی‌اکسیدانی، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کنند (Bravo, 1998). اصطلاح "ترکیب فنلی" توصیف چندین مولکول موجود در گیاهان خوراکی است که بر روی ساختار خود یک حلقه بنزنی جایگزین‌شده توسط حداقل یک گروه هیدروکسیل دارند (Generalic Mekinic *et al*., 2019). این ترکیبات فنلی معمولاً در گیاهان از جمله جلبک‌های دریایی یافت می‌شوند (Fernando *et al*., 2016). پلی‌فنل‌ها یک گروه متنوعی از ترکیبات شامل فلاونوئیدها (به‌عنوان مثال فلاوون‌ها، فلاونول‌ها، فلاونون‌ها، فلاونونول‌ها، کالکون‌ها و فلاوان-۳-ال)، لیگنین، توکوفرول، تانن و اسیدهای فنلی هستند (Ibanez *et al*., 2012). فلورتانین‌های جلبک‌های قهوه‌ای تا هشت حلقه به هم پیوسته دارند. بنابراین آن‌ها نسبت به سایر پلی‌فنل‌های حاصل از گیاهان زمینی از جمله کاتچین‌های چای سبز که فقط دارای سه تا چهار حلقه هستند، توانایی بیشتری در مهار رادیکال‌های آزاد دارند (Lordan *et al*., 2011).

فلاونوئیدها، بزرگترین گروه ترکیبات فنلی، حاوی طیف وسیعی از فعالیت‌های شیمیایی و زیستی از جمله خواص آنتی‌اکسیدانی و مهار رادیکال‌های آزاد شناخته شده‌اند. فلاونوئیدها شامل فلاونول‌ها، فلاون‌ها، کاتچین‌ها، پروآنتوسیانیدین‌ها، آنتوسیانیدین‌ها و ایزوفلاونوئیدها هستند (Ibanez *et al*., 2012).

در جلبک‌های قهوه‌ای، تنها گروه تانن‌های موجود، فلورتانین‌ها هستند. آن‌ها پلیمرهای فلوگلوسینول (۱،۳،۵- تری هیدروکسی بنزن) هستند و ممکن است تا ۱۲-۲۵ ٪ از وزن خشک جلبک‌های قهوه‌ای را تشکیل دهند (Balboa *et al*., 2013; Catarino *et al*., 2018).

پلی‌ساکاریدها و کروبوهیدرات‌ها: پلی‌ساکاریدها فراوان‌ترین ترکیب در بین ترکیبات طبیعی تولیدشده توسط گیاهان هستند و به‌طور گسترده‌ای در گیاهان، جانوران، میکروارگانیسم‌ها و جلبک‌ها وجود دارد (Yang and Zhang, 2009). این ساختارهای کربوهیدرات پلیمری، معمولاً از مونوساکاریدهای مختلفی تشکیل شده‌اند که با پیوندهای مختلف گلوکوزیدی متصل هستند (Holdt and Kraan, 2011). خصوصیات عملکردی پلی‌ساکاریدها بستگی به عناصر سازنده آن‌ها دارد. پلی‌ساکاریدهای سولفاته از جمله پلی‌ساکاریدهای فراوان و مورد مطالعه گسترده از گیاهان هستند. بیشتر پلی‌ساکاریدهای سولفاته که به‌طور طبیعی وجود دارند، مخلوط‌های پیچیده‌ای از مولکول‌ها هستند که تغییرات گسترده‌ای در ساختار و فعالیت‌های آن‌ها را نشان می‌دهند (Alban *et al*., 2002). جلبک‌های دریایی به‌عنوان منبع اصلی پلی‌ساکاریدهای سولفاته با فعالیت‌های مختلف زیستی شناخته می‌شوند. بنابراین، پلی‌ساکاریدهای سولفاته مورد توجه ویژه‌ای در جستجوی ترکیبات طبیعی هستند (Menshova *et al*., 2014).

پلی‌ساکاریدها در جلبک‌های دریایی فراوان است و همچنین در میکروجلبک‌ها یافت می‌شود. آن‌ها به‌طورکلی حدود ۴٪ تا ۷۶٪ از کل وزن خشک جلبک را تشکیل می‌دهند. پلی‌ساکاریدها براساس ساختار شیمیایی خود طبقه‌بندی می‌شوند، مانند پلی‌ساکاریدهای اسید سولفوریک، زایلان‌های سولفاته و گالاکتان‌ها (که به‌طورکلی در جلبک‌های سبز وجود دارد). علاوه بر این، اسید آلژنیک، فوکوئیدان، لامینارین و سارگاسان در جلبک‌های قهوه‌ای یافت می‌شود (Menshova *et*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

al., 2014). آگار، کاراگینان، زایلان و فلوراید به‌طورکلی در جلبک‌های قرمز یافت می‌شوند. بسیاری از پلی‌ساکاریدهای جلبکی فعالیت زیستی دارند و می‌توانند به‌طور بالقوه در چندین ناسازگاری در سلامت انسان کاندیدای دارو شوند (Pereira *et al*., 2019).

کاراگینان‌ها کالاکتان‌های سولفاته هستند و به‌طور گسترده‌ای در صنایع غذایی و دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرند. فیبرهای محلول مانند فوکان‌ها، آلژینات‌ها و لامینارها در جلبک‌های دریایی قهوه‌ای یافت می‌شوند، درحالی‌که فیبرهای محلول مانند گالاکتان‌های سولفاته‌شده (آگارها و کاراگینان‌ها)، زایلان‌ها و نشاسته فلوراید به وفور در جلبک‌های دریایی قرمز یافت می‌شوند (Mohamed *et al*., 2012). جلبک‌های سبز حاوی زایلان، مانان، نشاسته و گروه سولفات یونی حاوی پلی‌ساکارید در ترکیب با اسیدهای اورونیک، رامنوز، زایلوز، گالاکتوز و آرابینوز هستند. بسیاری از پلی‌ساکاریدها را می‌توان به‌عنوان فیبرهای غذایی در نظر گرفت و به دو گروه تقسیم می‌شوند، یعنی فیبرهای محلول و نامحلول (Lahaye, 1991; Misurcova *et al*., 2012). جلبک‌های دریایی در مقایسه با وزن خشک آن‌ها حدود ۲۵٪ تا ۷۵٪ فیبرهای غذایی دارند، که در مقایسه با میوه و سبزیجات درصد بیشتری است (Jimenez-Escrig and Sanchez-Muniz, 2000). مصرف فیبر غذایی جلبکی فواید زیادی برای سلامتی دارد زیرا می‌تواند به‌عنوان ضدتومور، ضدسرطان، ضدانعقاد و ضدویروس مورد استفاده قرارگیرد.

فوکوئیدان نوعی پلی‌ساکارید سولفاته پیچیده است که عمدتاً در ماتریس دیواره سلولی انواع مختلف جلبک دریایی قهوه‌ای یافت می‌شود (Kim *et al*., 2010; O'Connell *et al*., 2007). این شامل درصد قابل‌توجهی از گروه‌های استر L–فوکوز و سولفات است (Jiang *et al*., 2010). فوکوز یک قند هیدوز دئوکسی با فرمول شیمیایی $C_6H_{12}O_5$ است و واحد اصلی پلی‌ساکاریدهای فوکوئیدان را تشکیل می‌دهد (Wijesinghe and Jeon, 2012). فوکوئیدان‌ها فعالیت‌های زیستی متعددی دارند و به‌عنوان عوامل آنتی‌اکسیدان، ضدتومور، ضدالتهاب، ضددیابت، ضدویروس، ضدانعقاد و ضدتورم عمل می‌کنند. علاوه بر این، آن‌ها همچنین سیستم ایمنی بدن انسان را تعدیل می‌کنند (Pradhan *et al*., 2020b). به‌علاوه، لامینارین دومین منبع اصلی گلوکان است که به وفور در جلبک‌های قهوه‌ای یافت می‌شود و به‌عنوان تسهیل‌کننده متابولیسم روده عمل می‌کند (Misurcova *et al*., 2012).

کربوهیدرات‌ها مانند گلوکز و نشاسته به‌وفور در میکروجلبک‌ها یافت می‌شود (Richmond, 2004). بسیاری از عملکردهای زیستی گونه‌های میکروجلبکی به‌دلیل وجود کربوهیدرات است. *Chlorella pyrenoidosa* و *Chlorella ellipsoidea* حاوی گلوکز و طیف گسترده‌ای از ترکیبات گالاکتوز، مانوز، رامنوز، ان– استیل گلوکوزامین، ان– استیل گالاکتوزامین و آرابینوز هستند که فعالیت‌های تعدیل‌کننده سیستم ایمنی و ضدتکثیر دارند (Pugh *et al*., 2001). مطالعات نشان می‌دهد که بتا–۱ و ۳ گلوکان‌های استخراج‌شده از کلرلا به‌عنوان تعدیل‌کننده سیستم ایمنی عمل می‌کنند که می‌توانند چربی خون را کاهش دهند (Shao *et al*., 2013).

ویتامین‌ها و مواد معدنی: ویتامین‌ها ریزمغذی‌هایی هستند که برای رشدونمو بدن انسان ضروری هستند. استخراج ویتامین‌ها از منابع طبیعی به‌دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی زیاد، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. علاوه بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی شناخته‌شده آن، مطالعات اخیر نشان داده است که ویتامین‌های مصنوعی از ویتامین‌های طبیعی کمتر مؤثر هستند (Kelman *et al*., 2012). محتوای ویتامین جلبک به ژنوتیپ، مرحله چرخه رشد، وضعیت تغذیه‌ای جلبک، شدت نور (میزان فتوسنتز) بستگی دارد. بنابراین محتوای ویتامین با تغییر در شرایط کشت و همچنین با انتخاب سویه یا مهندسی ژنتیک قابل دستکاری است. با این حال، محتوای سلول ویتامین‌ها با عوامل محیطی، تیمار برداشت و روش‌های خشک کردن جلبک در نوسان است (Garcia-Casal *et al*., 2008).

جلبک‌های دریایی و میکروجلبک‌ها به‌عنوان منبع خوبی از ویتامین B_1، B_2 و B_{12} شناخته شده‌اند. ویتامین B_{12} (کوبالامین) به‌طور گسترده‌ای در غلظت‌های بالاتر در جلبک‌های سبز و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

قرمز در مقایسه با جلبک‌های قهوه‌ای یافت می‌شود (Kim and Taylor, 2011). ویتامین B_{12} به‌طورکلی در جلبک‌های قرمز مانند *Palmaria longat* و *Porphyra tenera* یافت می‌شود. بیش‌ترین میزان ویتامین B_{12} در جلبک دریایی قرمز *Porphyra* sp. و جلبک‌های سبز مانند *Enteromorpha* sp. و اسپیرولینا مشاهده شد. کمبود کوبالامین می‌تواند باعث بیماری‌های سلامتی مانند اختلالات اعصاب و روان و کم خونی مگالوبلاستیک شود. ویتامین C (اسید آسکوربیک) در تمام جلبک‌های دریایی قرمز، قهوه‌ای و سبز وجود دارد. ویتامین C دارای چندین فواید سلامتی مانند فعالیت مهار رادیکال آزاد، ضدپیری و فعالیت تحریک‌کننده سیستم ایمنی بدن است. ویتامین E مخلوطی از توکوفرول است. α- توکوفرول در جلبک‌های دریایی سبز، قرمز و قهوه‌ای وجود دارد. جلبک‌های قهوه‌ای همچنین حاوی β- و γ- توکوفرول است و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برجسته‌ای از خود نشان می‌دهد. ویتامین‌های C و E نیز در *Laminaria digitata* و *U. pinnatifida* یافت شد (Lordan *et al*., 2011).

جلبک‌های دریایی و ماکروجلبک‌ها سرشار از مواد معدنی و عناصر کمیاب بوده و اتم‌های غیرآلی موجود در آب دریا را حفظ می‌کنند. مواد معدنی و عناصر کمیاب برای رژیم غذایی انسان لازم است (Circuncisao *et al*., 2018). جلبک‌های قهوه‌ای، مانند *U. pinnatifida* و Sargassum و جلبک‌های قرمز، مانند *Chondrus crispus* و Gracilariopsis، مکمل غذایی محسوب می‌شوند که مصرف روزانه برخی از مواد معدنی مهم مانند Na، K، Ca و Mg و عناصر معدنی کمیاب، مانند Fe، Zn، Mn و Cu را برآورده می‌کنند. علاوه بر این، جلبک‌های دریایی نیز منابع مهمی از کلسیم هستند و می‌تواند خطر کمبود کلسیم را در زنان باردار و بزرگسال کاهش دهد و از پیری قبل از بلوغ جلوگیری می‌کند (Ruperez, 2002).

فعالیت زیستی متابولیت‌های دریایی و کاربرد آن‌ها در صنایع مختلف: جلبک‌ها به‌عنوان یک منبع زیستی عظیم، یکی از امیدوارکننده‌ترین منابع برای محصولات جدید و کاربردهای صنعتی هستند (Pulz and Gross, 2004). به‌دلیل ترکیب شیمیایی مفید، می‌توان از آن‌ها برای افزایش ارزش غذایی و خوراک دام استفاده کرد. علاوه بر این، آن‌ها به‌عنوان منبع مولکول‌های بسیار ارزشمند مانند اسیدهای چرب اشباع‌نشده، رنگدانه‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها، سایر ترکیبات فعال زیستی کشت می‌شوند. استفاده از زیست‌توده میکروجلبکی یا متابولیت‌ها یک رویکرد جالب و ابتکاری برای توسعه محصولات غذایی سالم است. بیوتکنولوژی میکروجلبکی مشابه کشاورزی مرسوم است، اما در دهه‌های گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته است، زیرا آن‌ها می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از محصولات سنتی باشند و می‌توانند در مناطق با آب‌وهوایی نامناسب برای اهداف کشاورزی (به‌عنوان مثال بیابان و زمین‌های ساحلی) گسترش یابند. تولید میکروجلبک‌ها یک مکانیسم طبیعی مهم برای کاهش بیش از حد CO_2 اتمسفر، اطمینان از اثر گلخانه‌ای پایین‌تر، کاهش گرمای جهانی محیط زیست و تغییرات آب‌وهوایی است. همچنین کشت میکروجلبک‌ها وابسته به فصل نیست و به‌عنوان خوراک پرورش آبزیان مهم است و می‌تواند به‌طور مؤثری مواد مغذی (یا آلاینده‌ها) (به‌عنوان مثال نیتروژن و فسفر) را از آب حذف کند. سیستم‌های میکروجلبکی برای استفاده از محیط‌زیست و برنامه‌های تولیدی ناشی از نور خورشید به وضوح می‌توانند به توسعه پایدار و مدیریت بهتر منابع طبیعی کمک کنند. اخیراً، میکروجلبک‌ها به‌عنوان یک ماده اولیه پایدار برای تولید سوخت زیستی، در جایگزینی روغن گیاهی و همچنین برای تولید هیدروژن با پتانسیل زیادی دیده می‌شوند (Dutta *et al*., 2005; Spolaore *et al*., 2006).

صنایع پزشکی و داروسازی

اکوسیستم دریایی منبعی از متابولیت‌های ثانویه طبیعی جدید با کاربردهای زیست پزشکی امیدوارکننده است (Kini *et al*., 2020). تأثیر جلبک‌های دریایی در حوزه طب سنتی بسیار زیاد است و از آن‌ها به‌عنوان حکیم یونانی در بسیاری از کشورها مانند چین و مصر استفاده شده است. جلبک‌های دریایی متابولیت‌های ثانویه متنوعی تولید می‌کنند و ممکن است

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

امیدوارکننده‌ترین منبع پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، امگا ۳، کاروتنوئیدها، اسیدهای فنلیک و فلاونوئیدها و همچنین سایر آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی باشند (Shahidi, 2004). این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دریایی به‌عنوان پاک‌کننده‌های رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند و از تشکیل اکسی رادیکال جلوگیری می‌کنند بنابراین استرس اکسیداتیو را کاهش می‌دهند و به همین ترتیب از اهمیت زیادی در پیشگیری از سرطان، دیابت، پیری زودرس و بسیاری از بیماری‌های التهابی دیگر برخوردارند. ترکیبات فعال زیستی دریایی، مانند رنگدانه‌های فتوسنتز جلبکی، فیکوبیلی‌پروتئین‌ها، کاروتنوئیدها، پلی‌فنول‌ها، ترپن‌ها، گلوتانین‌ها و پلی‌ساکاریدها، فعالیت درمانی امیدوارکننده‌ای را در هر دو مدل *in vitro* و *in vivo* نشان داده‌اند (Sharma *et al*., 2017; Wijesinghe and Jeon, 2012).

متابولیت‌های فعال دریایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در محیط آزمایشگاهی (*in vitro*): گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر گروهی از یون‌های اکسیژن را تشکیل می‌دهند که بسیار واکنش‌پذیر بوده و تهدیدی جدی برای اجزای زیستی محسوب می‌شوند و درنهایت منجر به اختلالات جدی از جمله سرطان، دیابت شیرین، بیماری‌های تخریب‌کننده عصبی و التهابی می‌شوند (Bayr, 2005). رادیکال‌های حاوی اکسیژن شامل پراکسیل (ROO)، هیدروکسیل (OH)، هیدروپراکسیل (HO_2)، سوپراکسید (O_2)، الکوکسیل (RO)، تیل پراکسیل (RSOO)، سولفونیل (ROS)، و رادیکال اکسید نیتریک (NO)، و همچنین عوامل اکسیدکننده غیر رادیکال مانند اکسیژن واحد (O_2)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، اسید هیپوکلروس (HOCl) و هیدروپراکسیدهای آلی هستند (ROOH) (Bayr, 2005; Halliwell, 2001; Halliwell, 2006; Storz, 2005). سلول‌ها می‌توانند گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر را سم‌زدایی کنند زیرا با مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی برای حفظ تعادل سلولی مجهز شده‌اند. آنتی‌اکسیدان‌ها با محافظت از ماکرومولکول‌هایی مانند پروتئین‌ها، DNA و لیپیدهای غشایی با گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر می‌جنگند و تأثیر مثبتی بر سلامت انسان دارند (Gechev *et al*., 2006). استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی که به‌عنوان مواد افزودنی غذایی استفاده می‌شود، مانند هیدروکسی انیزول بوتیلاته، هیدروکسی تولوئن بوتیله، ترت-بوتیل هیدروکینون، و پروپیل گالات، به‌دلیل عوارض جانبی آن‌ها ممکن است تهدیدی برای سلامت انسان باشد (Ribeiro *et al*., 2019). از این‌رو، تولید آنتی‌اکسیدان‌های جدید از منابع طبیعی مانند فلور دریایی می‌تواند یک رویکرد امیدوارکننده باشد. جلبک‌های دریایی می‌توانند گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر را به‌دلیل ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند فیکوبیلین‌ها، فیکوسیانین، کاروتنوئیدها، آستاگزانتین، پلی‌فنول‌ها و ویتامین‌ها خنثی کنند که می‌توانند علیه سرطان، دیابت، التهاب، پیری و پاسخ‌های ایمنی بدن عمل کنند. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی جلبک‌های دریایی مختلف مانند جلبک‌های سبز، قرمز و قهوه‌ای، قبلاً به‌طور گسترده در مقالات گزارش شده است.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات جلبک‌های دریایی با روش‌های مختلفی از جمله مهار رادیکال ۲،۲- دی فنیل-۱ پیکریل هیدرازیل (DPPH)، قدرت آنتی‌اکسیدانی کاهش‌دهنده آهن (FRAP)، مهار پراکسید لیپید، مهار رادیکال ABTS، مهار اکسید نیتریک (NO) تعیین شده است. عصاره متانولی جلبک‌های سبز آبی فعالیت مهار رادیکال قوی DPPH را نشان داده است. به‌علاوه، فیکوسیانین استخراج‌شده از *Spirulina platensis* فعالیت مهار H_2O_2 قوی را نشان داد (Estrada *et al*., 2001). خواص آنتی‌اکسیدانی در جلبک‌های سبز *Ulva fasciata* و *Ulva reticulated* به‌دلیل وجود فلاونوئیدها با مهار رادیکال‌های آزاد مشخص می‌شود (Balaji Raghavendra Rao *et al*., 2004; Chakraborty and Paulraj, 2010; Meenakshi *et al*., 2009). در جلبک‌های قهوه‌ای مانند *Ecklonia cava*، *Eisenia bicyclis* و *Ecklonia kurome* فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی با مهار رادیکال DPPH مشخص شد (Shibata *et al*., 2007). عصاره‌های اتانولی *Gracilaria tenuistipitata* و *Callophyllis japonica* نیز فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی بالقوه‌ای را نشان داده‌اند (Kang *et al*., 2005; Yang *et al*., 2012).

نقش ترکیبات فعال زیستی جلبک‌ها به‌عنوان عوامل ضدسرطان: رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

به‌طورکلی باعث ایجاد سرطان می‌شوند. داروهای شیمیایی پیشگیرانه مصنوعی اغلب به‌دلیل ویژگی ضعیف و توزیع زیستی عمومی، چندین عارضه جانبی منفی در مجاورت تومور و اندام‌های بدن ایجاد می‌کنند. به‌دلیل مهار تکثیر سلولی، تعدیل چرخه سلولی و القای آپوپتوز، چندین ترکیب زیست فعال جلبک‌های دریایی به‌عنوان پیشگیری‌کننده‌های شیمیایی قوی تعیین شده‌اند (Kalimuthu and Se-Kwon, 2013; Pradhan *et al*., 2020a). چندین مطالعه گزارش کرده‌اند که ترکیبات فعال زیستی جلبک دریایی دارای فعالیت ضدتکثیری و مهاری در برابر چندین زیرگروه سرطان در شرایط *in vitro* و همچنین *in vivo* هستند (Talero *et al*., 2015). پلی‌ساکاریدهای سولفاته خالص‌شده از جلبک‌های دریایی قهوه‌ای یک اثر ضدتکثیر بر روی لوسمی انسان و رده‌های سلولی لنفوم به نمایش گذاشتند. همچنین گزارش شده است که آن‌ها سلول‌های سرطانی پستان (MCF-7) و گردن رحم (HeLa) را مهار می‌کنند (Wijesinghe and Jeon, 2012). پلی‌ساکاریدهای سولفاته استخراج‌شده از جلبک دریایی قهوه‌ای *Sargassum vulgare* مهار تکثیر سلولی در سلول‌های HeLa و B16 بدون سمیت سلولی را در سلول‌های اندوتلیال آئورت خرگوش طبیعی نشان داد (Dore *et al*., 2013a).

نقش ترکیبات فعال زیستی جلبک‌ها به‌عنوان عوامل ضدالتهابی: التهاب به‌عنوان یک نشانگر مولکولی سرطان‌زایی شناخته می‌شود. ترکیبات طبیعی دریایی به‌دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی، عوامل ضدالتهابی شناخته‌شده‌ای هستند. چندین ترکیب ضدالتهابی با کاربردهای بالقوه دارویی از منابع جلبکی دریایی جدا شده است. ماکروجلبک‌ها حاوی چندین پلی‌ساکارید مانند فوکوئیدان، فوکان، آلژینات، لامینارین، آگار و کاراگینان هستند که به‌عنوان ترکیبات پری‌بیوتیک استفاده می‌شوند و می‌توانند به‌عنوان عوامل ضدالتهابی کاربرد بالقوه داشته باشند. کاروتنوئیدهای مشتق‌شده از دریا و آستاگزانتین دارای فعالیت ضدالتهابی قوی هستند (Abad *et al*., 2008; D'Orazio *et al*., 2012).

فعالیت ضدالتهابی جلبک‌های دریایی به‌دلیل وجود اسیدهای چرب اشباع‌نشده (به‌عنوان مثال، امگا ۳) است که مهار التهاب را تقویت می‌کند (Wall *et al*., 2010). چندین مطالعه نشان داده است که اسیدهای چرب امگا ۳ تا ۶ هنگامی که به‌عنوان مکمل‌های غذایی مصرف می‌شوند، التهاب را کاهش می‌دهند (Wall *et al*., 2010). پلی‌ساکارید استخراج شده از گیاه *Turbinaria ornate*، *Delesseria sanguinea* پتانسیل ضدالتهابی را در چندین سیستم *in vitro* به نمایش گذاشته است. پلی‌ساکارید سولفاته‌شده استخراج‌شده از *Gracilaria caudate*، یک گالاکتان استخراج‌شده از *Glidium crinale*، آگلوتینین اتصال آموسین استخراج‌شده از *Hypnea cervicornis*، لکتین استخراج‌شده از *Pterocladiella capillacea* و گالاکتوفوکان سولفاته استخراج‌شده از *Lobophora variegata* نیز قدرت ضدالتهابی را نشان دادند (Chaves *et al*., 2013). تجویز خوراکی پلی‌ساکارید دریایی در مدل موش در شرایط *in vivo* شروع التهاب را کاهش می‌دهد (Ananthi *et al*., 2010).

جلبک اسپیرولینا هنگام ارزیابی با استفاده از مدل استئو هپاتیت غیرالکلی، اثرات ضدالتهابی را نشان داده است (Ku *et al*., 2013). فیکوسیانین C استخراج‌شده از *Spirulina platensis* از طریق مهار بیان اکسید نیتریک سنتاز، سیکلواکسیژناز ۲ و تولید سایتوکاین‌های پیش‌التهاب، التهاب را مسدود می‌کند (Romay *et al*., 1998; Shih *et al*., 2009). عصاره‌های متانولی *Ulva lactuca* و *U. Conglobate* اثرات ضدالتهابی در سلول HT22 هیپوکامپ موش نشان داده‌اند (Jin *et al*., 2006). لیکوپن استخراج‌شده از *Chlorella marina* اثرات ضدالتهابی را در یک مدل موش آرتریتی نشان داد (Renju *et al*., 2013). فیتواسترول‌ها استخراج‌شده از *Dunaliella tertiolecta*، عصاره‌های آبی و متانولی *Caulerpa mexicana* و لکتین استخراج‌شده از *Caulerpa cupressoides* فعالیت‌های ضدالتهابی را در چندین مدل آزمایشگاهی به نمایش گذاشتند (Caroprese *et al*., 2012). عصاره اتانولی *Ecklonia cava* التهاب ناشی از LPS را در سلول‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

اندوتلیال انسان را مهار می‌کند (Shin *et al*., 2011). علاوه بر این، *Ishige okamurae* اثرات ضدالتهابی در چند مدل آزمایشگاهی را نشان داد (Kim *et al*., 2009). آستاگزانتین جداشده از *Haematococcus pluvialis* با کاهش تراکم باکتریایی، التهاب معده را در موش‌های آلوده به هلیکوباکتر پیلوری کاهش می‌دهد (Kim *et al*., 2018). علاوه بر این، آستاگزانتین تولید واسطه‌های پیش‌التهابی و سایتوکاین‌هایی مانند فاکتور هسته‌ای (NF-kB)kB، فاکتور نکروز تومور (TNF-α)α و اینترلوکین (IL-۶)۶ را کاهش داده و لنفوسیت T فعال در بیماران آسم را سرکوب می‌کند (Kim *et al*., 2018). فوکان‌های استخراج‌شده از *Sargassum vulgare*، *Lobophora variegata* و *Spatoglossum schroederi* نیز اثرات ضدالتهابی نشان دادند (Dore *et al*., 2013b). علاوه بر این، اسید آلژنیک استخراج‌شده از *Sargassum wightii* اثرات ضدالتهابی را در داخل بدن در یک مدل موش نشان داد (Dore *et al*., 2013b).

عصاره متانولی *Bryothamnion triquetrum* اثر ضدالتهابی را در موش‌های آلبینوی سوئیسی نشان داد (Cavalcante-Silva *et al*., 2012). دو اسید چرب استخراج‌شده از *Gracilaria verrucosa* مانند 10-oxooctadec-8- enoic acid و 9-oxooctadec-10-enoic acid تولید مارکرهای التهابی مانند اکسیدنیتریک، IL-6 و TNF-α می‌کند (Lee *et al*., 2009). سولفوگلیکولیپیدیک جداشده از جلبک قرمز *Porphyridium cruentum* به‌دلیل وجود AA (۶/۸ ٪)، اسید پالمیتیک (۲۶/۱ ٪) و EPA (۱۶/۶ ٪) و اسید چرب امگا ۹ (۱۰/۵ ٪) اثر ضدالتهابی را به نمایش گذاشت (Berge *et al*., 2002). فنوفیتین استخراج‌شده از *Enteromorpha prolifera* دارای سوپراکسید رادیکال ($O_2^{\bullet}$) است که پاسخ‌های التهابی را در موش کاهش می‌دهد (Pangestuti and Kim, 2011; Song *et al*., 2018). گلیکوپروتئین استخراج‌شده از *Porphyra yezoensis* دارای اثرات ضدالتهابی در ماکروفاژهای تحریک شده با LPS است (Shin *et al*., 2011). علاوه بر این، فلوروتانین‌ها (پلی‌فنول مشتق‌شده از *Eisenia bicyclis*، *Ecklonia cava* و *Ecklonia* kurome) و sargachromanol G (مشتق‌شده از *Sargassum siliquastrum*) فعالیت ضدالتهابی امیدوارکننده‌ای را از طریق مهار تولید واسطه‌های التهابی در سلول‌های LPS تحریک‌شده را نشان دادند (Kim and Kim, 2010; Yoon *et al*., 2012). علاوه بر این، عصاره متانولی *Neorhodomela aculeata* تولید ROS، پراکسیداسیون لیپید ناشی از H_2O_2 و سنتاز اکسید نیتریک قابل القا را در بیماری‌های عصبی از طریق مهار التهاب مهار می‌کند (Lim *et al*., 2006).

نقش و اهمیت ترکیبات فعال زیستی جلبک‌ها به‌عنوان داروهای ضددیابت: دیابت شیرین یک اختلال متابولیک مزمن است که با سطح بالای گلوکز خون مشخص می‌شود که منجر به اختلال عملکرد کلیه، بیماری‌های قلبی- عروقی و آسیب به شبکیه می‌شود (Pradhan *et al*., 2020a). مدیریت رژیم غذایی یک هدف جدید برای درمان دیابت از طریق حفظ غلظت صحیح گلوکز خون و چربی خون است (Riccardi and Rivellese, 1991). داروهای ضددیابت موجود در بازار در طول درمان، چندین عوارض جانبی ناخوشایند مرتبط با بیماری‌ها اعمال می‌کنند (Gupta *et al*., 2016). در این زمینه، شناسایی داروهای ضددیابت طبیعی با افزایش اثر دارو و عوارض جانبی کم‌تر مورد توجه محققان در چند دهه اخیر قرار گرفته است. ترکیبات فعال زیستی مشتق‌شده از جلبک‌های دریایی دارای خواص ضددیابتی است که با تنظیم مسیرهای مختلف سیگنالینگ ارائه شده است، مانند اثر مهاری بر آنزیم‌هایی مانند α-آمیلاز ، α-گلوکوزیداز، آلدوز ردوکتاز، دی‌پپتیدیل پپتیداز -۴ و پروتئین تیروزین فسفاتاز ۱B (PTP 1B) (Unnikrishnan and Jayasri, 2018). آنزیم‌هایی مانند آمیلاز و گلوکوزیداز نقش مهمی در هضم کربوهیدرات‌ها دارند که منجر به تأخیر در جذب گلوکز در خون و همچنین کاهش سطح گلوکز در پلاسمای خون می‌شود. متعاقباً، این ترکیبات ممکن است به‌عنوان اجزای بالقوه غذایی مفید برای جلوگیری یا کاهش مقاومت به انسولین و دیابت مورد استفاده قرار گیرند (Unnikrishnan and Jayasri, 2018).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

ترکیبات جلبک‌های دریایی مسیرهای سیگنالینگ GLUT-4 و AMPK را تعدیل کرده و تحمل گلوکز را تحریک می‌کنند (Pradhan *et al*., 2020b). تحقیقات اخیر نشان داد که فوکوئیدان به‌عنوان پری‌بیوتیک عمل می‌کند و متابولیسم بین سلولی و سطح قند خون را تنظیم می‌کند (Pradhan *et al*., 2020b). فوکوئیدان جداشده از *S. fusiforme* سطح گلوکز خون را کنترل کرد، عملکرد کبدی را بازیافت و استرس اکسیداتیو را در موش‌های دیابتی ناشی از STZ مهار کرد (Cheng *et al*., 2019). فوکوئیدان استخراج‌شده از *Ecklonia maxima* به‌عنوان یک مهارکننده گلوکوزیداز قوی با مقدار IC_{50} بسیار کم (۰/۲۷–۰/۳۱ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) و تنظیم‌کننده دیابت نوع دوم عمل می‌کند (Daub *et al*., 2020). فوکوئیدان استخراج‌شده از *Fucus vesiculosus* یک مهارکننده قوی گلوکوزیداز در درمان دیابت نشان داد (Kim *et al*., 2014). علاوه بر این، فوکوئیدان با وزن مولکولی کم استخراج شده از *S. hemiphyllum* در ترکیب با فوکوگزانتین در مدل موش دیابتی نوع دوم خواص ضددیابتی را نشان داد. تجویز خوراکی فوکوئیدان با وزن مولکولی کم در ترکیب با فوکوگزانتین باعث کاهش گلوکز خون و سطح قند خون ناشتا می‌شود (Kim *et al*., 2014). اثر دارویی هم‌افزایی در مدل *in vivo* از طریق کاهش سطح قند ادرار در مقایسه با درمان فوکوئیدان با وزن مولکولی کم به تنهایی مؤثرتر بود. فوکوئیدان با وزن مولکولی کم، غلظت گلیکوژن کبدی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را که به متابولیسم چربی کمک می‌کنند را افزایش داد. متابولیسم لیپیدها تنظیم‌کننده حمل‌ونقل گلوکز، گیرنده انسولین (IRS-1)، گیرنده گاما فعال‌شده توسط پراکسی‌زوم (PPAR) و سطح پروتئین اتصال‌دهنده (UCP-1) با درمان فوکوئیدان با وزن مولکولی کم در ترکیب با فوکوکسانتین را نشان می‌دهد (Kim *et al*., 2014). فوکوئیدان استخراج‌شده از *Cucumaria frondosa* بیان بستر گیرنده انسولین ۱، Glut-4 و PI3K / Akt، پروتئین حامل گلوکز را در موش‌های مقاوم به انسولین تقویت کرد (Pradhan *et al*., 2020b). فوکوئیدان استخراج‌شده از *Saccarina japonica* نیز سطح قند خون را کم کرد (Pradhan *et al*., 2020b; Wang *et al*., 2017).

علاوه بر این، فوکوئیدان سولفاته استخراج‌شده از *Undaria pinnatifida* با استفاده از حساسیت انسولین در موش دیابتی (C57BL / KSJ / db / db) هیپرگلایسمی را مهار می‌کند (Kim *et al*., 2012). فوکوئیدان استخراج‌شده از *Sargassum wightii* باعث مهار آلفا–D–گلوکوزیداز می‌شود که گلوکز را به خون منتقل می‌کند و سطح گلوکز را در خون کاهش می‌دهد (Kumar *et al*., 2015). Dieckol، fucodiphloroethol G، 6، 60-Bieckol، 7- phloroeckol، phlorofucofuroeckol A استخراج‌شده از *E. cava* و phloroglucinol، dioxinodehydroeckol، eckol استخراج‌شده از *E. stolonifera* و *E. bicyclis* فعالیت قوی گلوکوزیداز را نشان می‌دهد و سطح قندخون را کاهش می‌دهد (Kang *et al*., 2010; Moon *et al*., 2011). به‌علاوه، عصاره غنی از dieckol استخراج‌شده از *E. cava* حساسیت به انسولین را بهبود بخشید (Lee *et al*., 2012). عصاره غنی از پلی‌فنولیک استخراج‌شده از *I. okamurae* حساسیت به انسولین را بهبود بخشید (Min *et al*., 2011). علاوه بر این، عصاره غنی از پلی‌فنولیک استخراج‌شده از *E. cava* اثر جذب گلوکز را در عضله اسکلتی مهار می‌کند (Kang *et al*., 2010). فوکسترول استخراج‌شده از *Pelvetia siliquosa* باعث کاهش غلظت گلوکز سرم و مهار تجمع سوربیتول در لنزها در موش‌های دیابتی Sprague-Dawley شد. اجزای فلوروتانین استخراج‌شده از *Ascophyllum nodosum* مهار بالقوه فعالیت‌های α–آمیلاز و α–گلوکوزیداز را در مدل‌های *in vitro* نمایش می‌دهند (Nwosu *et al*., 2011). آلژینات سدیم استخراج‌شده از *Laminaria angustata* افزایش قند خون و سطح انسولین را در موش‌های صحرایی ویستار (Wistar) مهار کرد (Kimura *et al*., 1996). فوکوگزانتین و فوکسترول استخراج‌شده از *Undaria pinnatifida* و *Ecklonia stolonifera* مهار آلدوز ردوکتاز را نشان دادند (Jung *et al*., 2008; Peng *et al*.,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

2011). همچنین، pheophorbide-A، pheophytin-A مهار آلدوز ردوکتاز را نشان می‌دهند (Jung *et al*., 2013).

صنایع غذایی

در سال‌های اخیر، توجه به غذاهای به اصطلاح کاربردی افزایش یافته است، زیرا آن‌ها می‌توانند مزایای فیزیولوژیکی مضاعفی را برای مواد مغذی فراهم کنند، به‌عنوان مثال، کاهنده فشار خون، آنتی‌اکسیدان یا ضدالتهاب. در جستجوی منابع جدید آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی که می‌توانند در صنایع غذایی استفاده شوند، جلبک‌ها به‌عنوان مواد اولیه احتمالی پیشنهاد شده‌اند. این ارگانیسم‌ها به‌طور گسترده‌ای در کشورهای خاص شناخته شده و مصرف می‌شوند و استفاده از آن‌ها فواید بی‌شماری برای سلامتی همراه دارد. بنابراین، جلبک‌ها به‌طور بالقوه منبع بزرگی از ترکیبات طبیعی هستند که می‌توانند به‌عنوان موادی برای تهیه غذاهای کاربردی مورد استفاده قرار گیرند. ترکیبات مختلفی با فعالیت ضدباکتری، ضدویروس و ضدقارچ را می‌توان در این نوع ارگانیسم‌ها به‌همراه ترکیباتی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده کرد (Christaki *et al*., 2011; Lee *et al*., 2013). آنتی‌اکسیدان‌ها به‌دلیل مفیدبودن در برابر پراکسیداسیون لیپیدها می‌توانند نقش مهمی در فناوری غذایی داشته باشند (Mendiola Leon *et al*., 2008). امروزه از جلبک‌ها در تغذیه انسان و همچنین آبزیان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در سراسر جهان تولید تجاری ریزجلبک‌ها برای تغذیه انسان در حال حاضر رو به توسعه است. ترکیبی از ریزجلبک‌ها یا مخلوط با سایر منابع غذایی سالم را می‌توان به صورت قرص، پودر، کپسول، پاستیل و مایعات به‌عنوان مکمل‌های غذایی در بازار یافت (جدول ۲). همچنین می‌توان آن‌ها را در محصولات غذایی گنجانید (به‌عنوان مثال پاستا، بیسکویت، نان، غذاهای میان وعده، آب نبات، ماست، نوشابه)، که دارای اثرات مفیدی برای سلامتی هستند. برخلاف عدم تمایلات به غذاهای جدید در گذشته، امروزه تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات غذایی طبیعی افزایش یافته است، که مزایای سلامتی بسیاری نشان می‌دهد. غذاهای کاربردی همراه با زیست‌توده ریزجلبکی بسیار راحت‌تر و متنوع هستند، بنابراین علاوه بر مزایای سلامتی و جذابیت مصرف‌کنندگان را به‌همراه دارد (Mendiola Leon *et al*., 2008).

استفاده از جلبک به‌عنوان افزودنی غذایی فواید زیادی از جمله: افزایش کیفیت، سلامت، افزایش رشد و ایمنی در آبزیان، بهبود فلور طبیعی معده و روده را دارد (Breithaupt, 2007). از جمله فواید جلبک‌های دریایی می‌توان، مهار رشد تومورها، منابع مهمی از ترکیبات فعال زیستی، پیشگیری و درمان بیماری‌های باکتریایی ماهی‌ها، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مورد استفاده در غذای ماهیان به‌دلیل منابعی غنی از پروتئین‌ها و سایر ترکیبات از قبیل آلژینات‌ها، رنگدانه‌ها، اسیدهای چرب، ویتامین‌ها و مواد معدنی را نام برد. جلبک‌های دریایی به‌دلیل داشتن مقدار زیادی از ترکیبات نیتروژن‌دار به‌عنوان منبع غنی از پروتئین‌ها شناخته می‌شوند، همچنین دارای مقدار کمی از ترکیبات نیتروژنی غیرپروتئینی هستند که منبع آمینواسیدهای آزاد، کلروفیل، نیترات، نیتریت، یون‌های آمونیوم و اسیدهای نوکلئیک محسوب می‌گردند. تاکنون گونه‌های مختلفی از جلبک دریایی مثل *Ascophyllum nodosum* (Taha *et al*., 2012)، *Porphyra purpurea* (Nakagawa *et al*., 1997)، *Hizikia fusiformis* (Casas *et al*., 2006)، *Gracilaria bursa-pastoris*، *Gracilaria cornea*، *Ulva rigida* (Pham *et al*., 2006)، *Padina arborescens* و *Sargassum siliquastrum* (Valente *et al*., 2006) به‌عنوان ترکیب غذای ماهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بسیاری از این مطالعات نتایج امیدوارکننده‌ای برای استفاده از جلبک دریایی به‌عنوان جایگزین بخشی از پودر ماهی گزارش کرده‌اند. اما روشن است که تأثیر استفاده از جلبک دریایی در غذای آبزیان به گونه جلبک دریایی، میزان استفاده از آن و همچنین به گونه ماهی مورد آزمایش با جلبک دریایی بستگی دارد (Ma *et al*., 2005). جلبک‌ها به‌ویژه ریزجلبک‌ها منبع غذایی برای تغذیه دوره لاروی ماهی، میگو و نرم‌تنان محسوب می‌شوند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

صنایع آرایشی و بهداشتی

مواد آرایشی و بهداشتی، محصولاتی هستند با فواید دارویی که ظاهر یا بدن انسان را محافظت یا بهبود می‌بخشند. این‌ها شامل کرم‌های ضدپیری و مرطوب‌کننده‌ها هستند. مواد آرایشی و بهداشتی، حاوی افزودنی‌هایی از قبیل ویتامین‌ها، آنزیم‌ها، ضداکسیدان‌ها و اسانس‌هایی است که می‌توانند برای تولید محصولاتی چون کرم‌ها، لوسیون‌ها و پمادها استفاده شوند (Kim *et al.*, 2007). بیشتر ترکیباتی که تاکنون در زمینه مواد آرایشی و بهداشتی از ارگانیسم‌های دریایی استخراج شده‌اند مربوط به جلبک‌ها است.

در طول سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ تلاش‌های عمده‌ای برای یافتن ترکیبات فعال زیستی در ماکروجلبک‌ها صورت گرفت. تخمین زده می‌شود که در بین سال‌های ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۷، ۳۵ درصد کل ترکیبات طبیعی کشف‌شده از جلبک‌ها بوده است. امروزه نیز این تلاش‌ها ادامه دارد و توجه ویژه‌ای به سمت میکروارگانیسم‌های دریایی معطوف شده است. بدون شک این تحقیقات در آینده منجر به شناخت ترکیبات فعال زیستی در ماکروجلبک‌ها با خواص دارویی و بهداشتی خواهد شد. البته این موضوع هنوز مشخص نیست که این خواص مربوط به یک یا تعداد محدودی از ترکیبات موجود در آن‌هاست و یا ترکیب خاص آن‌ها با یکدیگر، که در ماکروجلبک‌ها باعث نوعی رابطه سینرژیک می‌شود (Mouritsen *et al.*, 2013).

در مجموع، آشکار است که ماکروجلبک‌ها با تمام ترکیبات تشکیل‌دهنده خود اثر بسیار مثبتی در سلامت انسان دارند. بدون شک، آن‌ها در بین مهم‌ترین کاندیدها برای مصارف آرایشی، بهداشتی، تغذیه‌ای و دارویی قرار دارند. یکی از نمونه‌های توسعه بیوتکنولوژی دریا در صنعت مواد آرایشی و بهداشتی، کشف و کاربرد ترکیبات جاذب UV طبیعی از ارگانیسم‌های دریایی است. آنچه مسلم است، یک ارتباط منطقی بین دفاع طبیعی ارگانیسم‌های دریایی علیه تابش‌های فرابنفش و ممانعت از آسیب ناشی از UV بر پوست انسان وجود دارد (Dey and Attele, 2003). نور خورشید که منشأ حیات بر روی کره زمین است دارای طول‌موج‌های مختلفی است که بخشی از آن را پرتوهای فرابنفش تشکیل می‌دهند. مهم‌ترین اثر مثبتی که پرتو UVB برای سلامت انسان دارد، تولید ویتامین D در پوست است. با این حال اشعه ماوراءبنفش، در گزارش مربوط به سرطان‌ها در سازمان بین‌المللی علوم سلامت و محیط‌زیست ذکر شده است و اعتقاد بر این است که مهم‌ترین عامل برای بسیاری از سرطان‌های پوستی، سوختگی‌ها و استرس‌های اکسیداتیو است (Radice *et al.*, 2016).

عصاره جلبک قرمز *Chondrus cripsus*، غنی از پلی‌ساکاریدها و مواد معدنی شامل منگنز، روی، کلسیم و منیزیم است که در آبرسانی، تسکین، بهبود و مرطوب‌کنندگی نقش دارد (da Silva *et al.*, 2020). عصاره جلبک سبز *Codium tomentosum*، منبع خوبی برای اسید گلوکورونیک است که پراکنش آب را داخل پوست تنظیم می‌کند و پوست را از اثرات مخرب محیط خشک محافظت می‌نماید (Synytsya *et al.*, 2015). عصاره جلبک قهوه‌ای *Laminaria saccharina*، حاوی پروتئین، ویتامین، مواد معدنی و کربوهیدرات‌هایی است که فعالیت غدد چربی را تنظیم می‌کند و ویژگی‌های ضدتورم و التیام‌بخشی دارد (Ramanan and Rorrer, 2021). عصاره جلبک سبز *Chlorella vulgaris*، سنتز کلاژن را در پوست تحریک می‌کند و می‌تواند برای تولید محصولات ترمیم‌کننده بافت و کاهنده چین و چروک استفاده شود (de Albuquerque Wanderley *et al.*, 2020). کلاژن که از گونه‌های مختلف بی‌مهرگان از جمله عروس‌دریایی، اسفنج‌ها، نرمتنان، سخت‌پوستان و همچنین پوست خیاردریایی جداسازی می‌شود، قابلیت جوانسازی و ترمیم چین و چروک پوست را دارد. Marestil که از عصاره جلبک‌های دریایی بدست می‌آید، مرطوب‌کننده قوی به‌شمار می‌رود. فوکوسترول، یک ترپنوئید استروئیدی است که از جلبک‌های دریایی استخراج می‌شود و خواص قوی ضداکسیدانی و مرطوب‌کنندگی دارد. فوکوئیدن که یک پلی‌ساکارید سولفاته موجود در جلبک‌های قهوه‌ای است؛ دارای برخی خواص

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

حفاظتی برای پوست بوده و نیز خواص ضداکسیدانی و ضدپیری دارد. در حال حاضر، فوکوئیدن به‌عنوان افزودنی طبیعی در ساخت فرمول‌های جدید مواد آرایشی مورد توجه و استقبال قرار گرفته است. انواع مختلف فوکوئیدن‌ها مانند sulfated fucan، sulfated fucoglucuronomannann، sulfated fucogalactan در مواد آرایشی مختلف استفاده می‌شوند (January *et al*., 2019).

B-phycoerythrin (B-PE)، یک فیکوبیلی پروتئین مهم در جمع‌آوری نور در جلبک‌های دریایی از قبیل *Porphyridium cruentum* است و می‌تواند به‌عنوان رنگ طبیعی در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی استفاده شود. رنگ‌های طبیعی جداشده از جلبک‌های قرمز و سبز- آبی، برای استفاده در محصولات آرایشی و بهداشتی مناسب هستند. به‌عنوان مثال، نوعی فیکوسیانین با وزن مولکولی کم و مقاوم به دما و pH، از نوعی سیانوباکتری گرمادوست به‌عنوان سایه چشم، ساخته و فرموله شده است. رنگ‌های صورتی و بنفش که از رنگیزه‌های طبیعی انواع میکروجلبک‌های قرمز استخراج و فرموله شده‌اند در مواد آرایشی استفاده می‌شوند (Tran *et al*., 2019). تعدادی از بیومولکول‌های ثانویه ضدآفتاب از قبیل آمینواسیدهای مایکوسپورین و سایتونمین از سیانوباکتری‌های مختلف گزارش شده‌اند که نقش حیاتی در مقابله با پرتوهای مضر خورشیدی دارند. آمینواسیدهای شبه‌مایکوسپورین ترکیبات آب‌دوست کوچکی هستند که از گروه‌های مختلف تاکسونومیکی گزارش شده‌اند. ویژگی‌هایی همچون: قابلیت بالای جذب اشعه UV، مقاومت به انواع فاکتورهای غیرزنده و پایداری نوری باعث افزایش پتانسیل آن‌ها به‌عنوان محافظت‌کنندگان نوری طبیعی شده است (Radice *et al*., 2016).

نتیجه‌گیری

ترکیبات طبیعی از زمان‌های بسیار قدیم برای درمان بیماری‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گرفته است. این ترکیبات اخیراً در تهیه تعداد زیادی از داروها یا ماده‌های اولیه آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در میان بسیاری از منابع زیستی، جلبک‌ها به‌دلیل نیاز به کاندیداهای جدید دارو هنوز هم می‌توانند نقش محوری در سلامت و درمان داشته باشند. آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی که در جلبک‌ها یافت می‌شوند، ترکیبات مهم فعال زیستی هستند که از طریق محافظت از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو نقش مهمی در سلامت انسان‌ها بازی می‌کنند. از این‌رو، جلبک‌ها یک جایگزین مفید برای مواد مصنوعی هستند. علاوه بر این، وجود ترکیباتی با ارزش غذایی استثنایی در جلبک‌ها، همراه با افزایش تقاضای ترکیبات طبیعی، باعث می‌شود که جلبک‌ها برای استفاده گسترده‌تر در آینده در صنایع غذایی، آرایشی و دارویی ارزش تحقیقات بیشتر را داشته باشند.

منابع

Abad, M. J., Bedoya, L. M. and Bermejo, P. (2008) Natural marine anti-inflammatory products. Mini Reviews in Medicinal Chemistry 8: 740-754.

Alam, T., Najam, L. and AL-harrasi, A. (2018) Extraction of natural pigments from marine algae. Journal of Agricultural and Marine Sciences 23: 81-91.

Alban, S., Schauerte, A. and Franz, G. (2002) Anticoagulant sulfated polysaccharides: Part I. Synthesis and structure–activity relationships of new pullulan sulfates. Carbohydrate Polymers 47: 267-276.

Ananthi, S., Raghavendran, H. R. B., Sunil, A. G., Gayathri, V., Ramakrishnan, G. and Vasanthi, H. R. (2010) In vitro antioxidant and in vivo anti-inflammatory potential of crude polysaccharide from Turbinaria ornata (Marine Brown Alga). Food and Chemical Toxicology 48: 187-192.

Arica, S. C., Ozyilmaz, A. and Demirci, S. (2017) A study on the rich compounds and potential benefits of algae: A review. Journal of Pharmaceutical Innovation 6: 42-51.

Balaji Raghavendra Rao, H., Sathivel, A. and Devaki, T. (2004) Antihepatotoxic nature of *Ulva reticulata* (Chlorophyceae) on acetaminophen-induced hepatoxicity in experimental rats. Journal of Medicinal Food 7: 495-497.

Balboa, E. M., Conde, E., Moure, A., Falque, E. and Dominguez, H. (2013) In vitro antioxidant properties of crude extracts and compounds from brown algae. Food Chemistry 138: 1764-1785.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

Bayr, H. (2005) Reactive oxygen species. Critical Care Medicine 33: S498-S501.
Benico, G., Takahashi, K., Lum, W. M. and Iwataki, M. (2019) Morphological variation, ultrastructure, pigment composition and phylogeny of the star-shaped dinoflagellate *Asterodinium gracile* (Kareniaceae, Dinophyceae). Phycologia 58: 405-418.
Berge, J., Debiton, E., Dumay, J., Durand, P. and Barthomeuf, C. (2002) In vitro anti-inflammatory and anti-proliferative activity of sulfolipids from the red alga *Porphyridium cruentum*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 6227-6232.
Bravo, L. (1998) Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. Nutrition Reviews 56: 317-333.
Bhosale, P. (2004) Environmental and cultural stimulants in the production of carotenoids from microorganisms. Applied Microbiology and Biotechnology 63: 351-61.
Breithaupt, D. (2007) Modern application of xanthophylls in animal feeding–a review. Trends in Food Science and Technology 18: 501-506.
Cai, Q., Zhang, B., Chen, B., Zhu, Z., Lin, W. and Cao, T. (2014) Screening of biosurfactant producers from petroleum hydrocarbon contaminated sources in cold marine environments. Marine Pollution Bulletin 86: 402-410.
Caroprese, M., Albenzio, M., Ciliberti, M. G., Francavilla, M. and Sevi, A. (2012) A mixture of phytosterols from *Dunaliella tertiolecta* affects proliferation of peripheral blood mononuclear cells and cytokine production in sheep. Veterinary Immunology and Immunopathology 150: 27-35.
Casas, M., Portillo, G., Aguila, N., Rodriguez, S., Sanchez, I. and Carrillo, S. (2006) Effect of the marine algae Sargassum sp. on the productive parameters and cholesterol content of the brown shrimp. Farfantepenaeus californiensis. Revista de Biologia Marina y Oceanografia 41: 97-105.
Catarino, M. D., Silva, A. and Cardoso, S. M. (2018) Phycochemical constituents and biological activities of Fucus spp. Marine Drugs 16: 249.
Cavalcante-Silva, L. H. A., Barbosa Brito da Matta, C., de Araujo, M. V., Barbosa-Filho, J. M., Pereira de Lira, D., de Oliveira Santos, B. V., de Miranda, G. E. C. and Alexandre-Moreira, M. S. (2012) Antinociceptive and anti-inflammatory activities of crude methanolic extract of red alga *Bryothamnion triquetrum*. Marine Drugs 10: 1977-1992.
Chakraborty, K. and Paulraj, R. (2010) Sesquiterpenoids with free-radical-scavenging properties from marine macroalga *Ulva fasciata* Delile. Food Chemistry 122: 31-41.
Chaves, L. D. S., Nicolau, L. A. D., Silva, R. O., Barros, F. C. N., Freitas, A. L. P., Aragao, K. S., Ribeiro, R. D. A., Souza, M. H. L. P., Barbosa, A. L. D. R. and Medeiros, J. V. R. (2013) Antiinflammatory and antinociceptive effects in mice of a sulfated polysaccharide fraction extracted from the marine red algae *Gracilaria caudata*. Immunopharmacology and immunotoxicology 35: 93-100.
Cheng, Y., Sibusiso, L., Hou, L., Jiang, H., Chen, P., Zhang, X., Wu, M. and Tong, H. (2019) *Sargassum fusiforme* fucoidan modifies the gut microbiota during alleviation of streptozotocin-induced hyperglycemia in mice. International Journal of Biological Macromolecules 131: 1162-1170.
Christaki, E., Florou-Paneri, P. and Bonos, E. (2011) Microalgae: A novel ingredient in nutrition. International Journal of Food Sciences and Nutrition 62: 794-799.
Cikos, A. M., Jokic, S., Subaric, D. and Jerkovic, I. (2018) Overview on the application of modern methods for the extraction of bioactive compounds from marine macroalgae. Marine Drugs 16: 348.
Circuncisao, A. R., Catarino, M. D., Cardoso, S. M. and Silva, A. (2018) Minerals from macroalgae origin: Health benefits and risks for consumers. Marine Drugs 16: 400.
D'orazio, N., Gammone, M. A., Gemello, E., de Girolamo, M., Cusenza, S. and Riccioni, G. (2012) Marine bioactives: Pharmacological properties and potential applications against inflammatory diseases. Marine Drugs 10: 812-833.
da Silva, A. C. R., Pereira, K. K. G., Critchley, A. T., Sanchez, E. F. and Fuly, A. L. (2020) Potential utilization of a lambda carrageenan polysaccharide, derived from a cultivated, clonal strain of the red seaweed *Chondrus crispus* (Irish moss) against toxic actions of venom of *Bothrops jararaca* and *B. jararacussu* snakes. Journal of Applied Phycology 32: 4309-4320.
Daub, C. D., Mabate, B., Malgas, S. and Pletschke, B. I. (2020) Fucoidan from *Ecklonia maxima* is a powerful inhibitor of the diabetes-related enzyme, α-glucosidase. International Journal of Biological Macromolecules 151: 412-420.
de Albuquerque Wanderley, M. C., Neto, J. M. W. D., de Andrade, A. F., de Melo, R. G., de Araujo Viana-Marques, D., Bezerra, R. P. and Porto, A. L. F. (2020) First report on *Chlorella vulgaris* collagenase production and purification by aqueous two-phase system. Sustainable Chemistry and Pharmacy 15: 100202.
Deng, Y. Y., Cheng, L., Wang, Q., Ge, Z. H., Zheng, H., Cao, T. J., Lu, Q. Q., Yang, L. E. and Lu, S. (2020) Functional characterization of lycopene cyclases illustrates the metabolic pathway toward lutein in red algal seaweeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry 68: 1354-1363.
Dey, L. and Attele, A. (2003) Alternative Therapies for Type 2. Textbook of Complementary and Alternative Medicine.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

Dore, C. M. P. G., Alves, M. G. C. F., Santos, N. D., Cruz, A. K. M., Camara, R. B. G., Castro, A. J. G., Alves, L. G., Nader, H. B. and Leite, E. L. (2013a) Antiangiogenic activity and direct antitumor effect from a sulfated polysaccharide isolated from seaweed. Microvascular Research 88: 12-18.

Dore, C. M. P. G., Alves, M. G. D. C. F., Will, L. S. E. P., Costa, T. G., Sabry, D. A., de Souza Rego, L. A. R., Accardo, C. M., Rocha, H. A. O., Filgueira, L. G. A. and Leite, E. L. (2013b) A sulfated polysaccharide, fucans, isolated from brown algae Sargassum vulgare with anticoagulant, antithrombotic, antioxidant and anti-inflammatory effects. Carbohydrate Polymers 91: 467-475.

Dutta, D., De, D., Chaudhuri, S. and Bhattacharya, S. K. (2005) Hydrogen production by cyanobacteria. Microbial Cell Factories 4: 1-11.

El-Din, S. M. M. and El-Ahwany, A. M. (2016) Bioactivity and phytochemical constituents of marine red seaweeds (*Jania rubens*, *Corallina mediterranea* and *Pterocladia capillacea*). Journal of Taibah University for Science 10: 471-484.

Eren, B., Tuncay Tanrıverdi, S., Aydın Kose, F. and Ozer, O. (2019) Antioxidant properties evaluation of topical astaxanthin formulations as anti-aging products. Journal of Cosmetic Dermatology 18: 242-250.

Estrada, J. P., Bescos, P. B. and Del Fresno, A. V. (2001) Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. Il Farmaco 56: 497-500.

Fawcett, D., Verduin, J. J., Shah, M., Sharma, S. B. and Poinern, G. E. J. (2017) A review of current research into the biogenic synthesis of metal and metal oxide nanoparticles via marine algae and seagrasses. Journal of Nanoscience 15: 1-15.

Fernando, I. S., Kim, M., Son, K. T., Jeong, Y. and Jeon, Y. J. (2016) Antioxidant activity of marine algal polyphenolic compounds: A mechanistic approach. Journal of Medicinal Food 19: 615-628.

Focsan, A. L., Polyakov, N. E. and Kispert, L. D. (2017) Photo protection of *Haematococcus pluvialis* algae by astaxanthin: Unique properties of astaxanthin deduced by EPR, optical and electrochemical studies. Antioxidants 6: 80-92.

Garcia-Casal, M. N., Ramirez, J., Leets, I., Pereira, A. C. and Quiroga, M. F. (2008) Antioxidant capacity, polyphenol content and iron bioavailability from algae (*Ulva* sp., *Sargassum* sp. and *Porphyra* sp.) in human subjects. British Journal of Nutrition 101: 79-85.

Gechev, T. S., Van Breusegem, F., Stone, J. M., Denev, I. and Laloi, C. (2006) Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. Bioessays 28: 1091-1101.

Generalic Mekinic, I., Skroza, D., Simat, V., Hamed, I., Cagalj, M. and Popovic Perkovic, Z. (2019) Phenolic content of brown algae (Pheophyceae) species: Extraction, identification, and quantification. Biomolecules 9: 244.

Gulcin, I., Oktay, M., Kufrevioglu, O. I. and Aslan, A. (2002) Determination of antioxidant activity of lichen *Cetraria islandica* (L) Ach. Journal of Ethnopharmacology 79: 325-329.

Gupta, P., Bala, M., Gupta, S., Dua, A., Dabur, R., Injeti, E. and Mittal, A. (2016) Efficacy and risk profile of anti-diabetic therapies: Conventional vs traditional drugs—A mechanistic revisit to understand their mode of action. Pharmacological Research 113: 636-674.

Halliwell, B. (2001) Free Radicals and Other Reactive Species in Disease. e LS.

Halliwell, B. (2006) Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. Plant Physiology 141: 312-322.

Hernandez Farinas, T., Ribeiro, L., Soudant, D., Belin, C., Bacher, C., Lampert, L. and Barille, L. (2017) Contribution of benthic microalgae to the temporal variation in phytoplankton assemblages in a macrotidal system. Journal of Phycology 53: 1020-1034.

Holdt, S. L. and Kraan, S. (2011) Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. Journal of Applied Phycology 23: 543-597.

Ibanez, E., Herrero, M., Mendiola, J. A. and Castro-Puyana, M. (2012) Extraction and characterization of bioactive compounds with health benefits from marine resources: Macro and micro algae, cyanobacteria, and invertebrates. Marine Bioactive Compounds, Springer 55-98.

Ibraheem, I. B., Abd Elaziz, B. E., Moawad, A., Hassan, H. M., Mohamed, W. A. and Abdel-Raouf, N. (2017) Antimicrobial and anti-inflammatory effects of two different marine red algae species collected from Quseir, the Red Sea Egypt. Asian Journal of Biology 1-10.

Ismail, G. A., El-Sheekh, M. M., Samy, R. M. and Gheda, S. F. (2021) antimicrobial, antioxidant, and antiviral activities of biosynthesized silver nanoparticles by phycobiliprotein crude extract of the cyanobacteria *Spirulina platensis* and *Nostoc linckia*. Bio Nano Science 1-16.

Ismail, M. M., Alotaibi, B. S. and El-Sheekh, M. M. (2020) Therapeutic uses of red macroalgae. Molecules 25: 4411.

January, G., Naidoo, R., Kirby-Mccullough, B. and Bauer, R. (2019) Assessing methodologies for fucoidan extraction from South African brown algae. Algal Research 40: 101517.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

Jiang, Z., Okimura, T ,.Yokose, T., Yamasaki, Y., Yamaguchi, K. and Oda, T. (2010) Effects of sulfated fucan, ascophyllan, from the brown Alga *Ascophyllum nodosum* on various cell lines: A comparative study on ascophyllan and fucoidan. Journal of Bioscience and Bioengineering 110: 113-117.

Jimenez-Escrig, A. and Sanchez-Muniz, F. (2000) Dietary fibre from edible seaweeds: Chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. Nutrition Research 20: 585-598.

Jimenez-Lopez, C., Pereira, A., Lourenço-Lopes, C., Garcia-Oliveira, P., Cassani, L., Fraga-Corral, M., Prieto, M. and Simal-Gandara, J. (2021) Main bioactive phenolic compounds in marine algae and their mechanisms of action supporting potential health benefits. Food Chemistry 341: 128262.

Jin, D. Q,. Lim, C. S., Sung, J. Y., Choi, H. G., Ha, I. and Han, J. S. (2006) *Ulva conglobata*, a marine algae, has neuroprotective and anti-inflammatory effects in murine hippocampal and microglial cells. Neuroscience Letters 402: 154-158.

Jung, H. A., Islam, M. N., Lee, C. M., Oh, S. H., Lee, S., Jung, J. H. and Choi, J. S. (2013) Kinetics and molecular docking studies of an anti-diabetic complication inhibitor fucosterol from edible brown algae *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia stolonifera*. Chemico-Biological Interactions 206: 55-62.

Jung, H. A., Yoon, N. Y., Woo, M. H. and Choi, J. S. (2008) Inhibitory activities of extracts from several kinds of seaweeds and phlorotannins from the brown alga *Ecklonia stolonifera* on glucose-mediated protein damage and rat lens aldose reductase. Fisheries Science 74: 1363-1365.

Kalimuthu, S. and Se-kwon, K. (2013) Cell survival and apoptosis signaling as therapeutic target for cancer: Marine bioactive compounds. International Journal of Molecular Sciences 14: 2334-2354.

Kang, C., Jin, Y. B., Lee, H., Cha, M., Sohn, E. T., Moon, J., Park, C., Chun, S., Jung, E. S. and Hong, J. S. (2010) Brown alga *Ecklonia cava* attenuates type 1 diabetes by activating AMPK and Akt signaling pathways. Food and Chemical Toxicology 48: 509-516.

Kang, K. A., Bu, H. D., Park, D. S., Go, G. M., Jee, Y., Shin, T. and Hyun, J. W. (2005) Antioxidant activity of ethanol extract of *Callophyllis japonica*. Phytotherapy Research 19: 506-510.

Kelman, D., Posner, E. K., Mcdermid, K. J., Tabandera, N. K., Wright, P. R. and Wright, A. D. (2012) Antioxidant activity of *Hawaiian marine* algae. Marine Drugs 10: 403-416.

Kim, K. J., Lee, O. H. and Lee, B. Y. (2010) Fucoidan, a sulfated polysaccharide, inhibits adipogenesis through the mitogen-activated protein kinase pathway in 3T3-L1 preadipocytes. Life Sciences 86: 791-797.

Kim, K. J., Yoon, K. Y. and Lee, B. Y. (2012) Fucoidan regulate blood glucose homeostasis in C57BL/KSJ m+/+ db and C57BL/KSJ db/db mice. Fitoterapia 83: 1105-1109.

Kim, K. T., Rioux, L. E. and Turgeon, S. L. (2014) Alpha-amylase and alpha-glucosidase inhibition is differentially modulated by fucoidan obtained from *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum*. Phytochemistry 98: 27-33.

Kim, M. M. and Kim, S. K. (2010) Effect of phloroglucinol on oxidative stress and inflammation. Food and Chemical Toxicology 48: 2925-2933.

Kim, M. M., Rajapakse, N. and Kim, S. K. (2009) Anti-inflammatory effect of *Ishige okamurae* ethanolic extract via inhibition of NF-κB transcription factor in RAW 264.7 cells. Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives 23: 628-634.

Kim, S. K. and Taylor, S. (2011) Marine Medicinal Foods: Implications and Applications, Macro and Microalgae. Academic Press.

Kim, S. H., Lim, J .W. & Kim, H. (2018). Astaxanthin inhibits mitochondrial dysfunction and interleukin-8 expression in Helicobacter pylori-infected gastric epithelial cells. Nutrients, 10: 1320.

Kim, Y. H., Duvic, M., Obitz, E., Gniadecki, R., Iversen, L., Osterborg, A., Whittaker, S., Illidge, T. M., Schwarz, T. and Kaufmann, R. (2007) Clinical efficacy of zanolimumab (HuMax-CD4): two phase 2 studies in refractory cutaneous T-cell lymphoma. Blood 109: 4655-4662.

Kimura, Y., Watanabe, K. and Okuda, H. (1996) Effects of soluble sodium alginate on cholesterol excretion and glucose tolerance in rats. Journal of Ethnopharmacology 54: 47-54.

Kini, S., Divyashree, M., Mani, M. K. and Mamatha, B. S. (2020) Algae and cyanobacteria as a source of novel bioactive compounds for biomedical applications. Advances in Cyanobacterial Biology, Elsevier 173-194.

Ku, C. S., Pham, T. X., Park, Y., Kim, B., Shin, M. S., Kang, I. and Lee, J. (2013) Edible blue-green algae reduce the production of pro-inflammatory cytokines by inhibiting NF-κB pathway in macrophages and splenocytes. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects 1830: 2981-2988.

Kumar, T. V., Lakshmanasenthil, S., Geetharamani, D., Marudhupandi, T., Suja, G. and Suganya, P. (2015) Fucoidan–A α-d-glucosidase inhibitor from *Sargassum wightii* with relevance to type 2 diabetes mellitus therapy. International Journal of Biological Macromolecules 72: 1044-1047.

Lahaye, M. 1991. Marine algae as sources of fibres: determination of soluble and insoluble dietary fibre contents in some 'sea vegetables .'Journal of the Science of Food and Agriculture, 54: 587-594.

Lee, H. J., Kang, G. J., Yang, E. J., Park, S. S., Yoon, W. J., Jung, J. H., Kang, H. K. and Yoo, E. S. (2009) Two enone fatty acids isolated from *Gracilaria verrucosa* suppress the production of inflammatory mediators by down-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

regulating NF-κB and STAT1 activity in lipopolysaccharide-stimulated Raw 264.7 cells. Archives of Pharmacal Research 32: 453-462.

Lee, K. Y., Jeong, M. R., Choi, S. M., Na, S. S. and Cha, J. D. (2013) Synergistic effect of fucoidan with antibiotics against oral pathogenic bacteria. Archives of Oral Biology 58: 482-492.

Lee, S. H., Min, K. H., Han, J. S., Lee, D. H., Park, D. B., Jung, W. K., Park, P. J., Jeon, B. T., Kim, S. K. ans Jeon, Y. J. (2012) Effects of brown alga, *Ecklonia cava* on glucose and lipid metabolism in C57BL/KsJ-db/db mice, a model of type 2 diabetes mellitus. Food and Chemical Toxicology 50: 575-582.

Lim, C. S., Jin, D. Q., Sung, J. Y., Lee, J. H., Choi, H. G., Ha, I. and Han, J. S. (2006) Antioxidant and anti-inflammatory activities of the methanolic extract of *Neorhodomela aculeate* in hippocampal and microglial cells. Biological and Pharmaceutical Bulletin 29: 1212-1216.

Lordan, S., Ross, R. P. and Stanton, C. (2011) Marine bioactives as functional food ingredients: Potential to reduce the incidence of chronic diseases. Marine Drugs 9: 1056-1100.

Ma, W. C. J., Chung, H. Y., Ang, P. O. and Kim, J. S. (2005) Enhancement of bromophenol levels in aquacultured silver seabream (*Sparus sarba*). Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 2133-2139.

Matos, J., Cardoso, C., Bandarra, N. and Afonso, C. (2017) Microalgae as healthy ingredients for functional food: A review. Food and Function 8: 2672-2685.

Meenakshi, S., Gnanambigai, D. M., Mozhi, S. T., Arumugam, M. and Balasubramanian, T. (2009) Total flavanoid and in vitro antioxidant activity of two seaweeds of *Rameshwaram coast*. Global Journal of Pharmacology 3: 59-62.

Mendiola Leon, J. A., Rodriguez Meizoso, I., Senorans, F. J., Reglero, G., Cifuentes, A. and Ibanez, E. (2008) Antioxidants in plant foods and microalgae extracted using compressed fluids. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry 7.

Menshova, R. V., Ermakova, S. P., Anastyuk, S. D., Isakov, V. V., Dubrovskaya, Y. V., Kusaykin, M. I., Um, B. H. and Zvyagintseva, T. N. (2014) Structure, enzymatic transformation and anticancer activity of branched high molecular weight laminaran from brown alga *Eisenia bicyclis*. Carbohydrate Polymers 99: 101-109.

Min, K. H., Kim, H. J., Jeon, Y. J. and Han, J. S. (2011) Ishige okamurae ameliorates hyperglycemia and insulin resistance in C57BL/KsJ-db/db mice. Diabetes Research and Clinical Practice 93: 70-76.

Misurcova, L., Skrovankova, S., Samek, D., Ambrozova, J. and Machu, L. (2012) Health benefits of algal polysaccharides in human nutrition. Advances in Food and Nutrition Research 66: 75-145.

Mohamed, S., Hashim, S. N. and Rahman, H. A. (2012) Seaweeds: A sustainable functional food for complementary and alternative therapy. Trends in Food Science and Technology 23: 83-96.

Moon, H. E., Islam, M. N., Ahn, B. R., Chowdhury, S. S., Sohn, H. S., Jung, H. A. and Choi, J. S. (2011) Protein tyrosine phosphatase 1B and α-glucosidase inhibitory phlorotannins from edible brown algae, *Ecklonia stolonifera* and *Eisenia bicyclis*. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 75: 1472-1480.

Mouritsen ,O. G., Dawczynski, C., Duelund, L., Jahreis, G., Vetter, W. and Schroder, M. (2013) On the human consumption of the red seaweed dulse (*Palmaria palmata* (L.) Weber and Mohr). Journal of Applied Phycology 25: 1777-1791.

Nakagawa, H., Umino, T. and Tasaka, Y. (1997) Usefulness of *Ascophyllum meal* as a feed additive for red sea bream, *Pagrus major*. Aquaculture 151: 275-281.

Neagu, S., Cojoc, R., Enache, M., Mocioiu, O. C., Precupas, A., Popa, V. T., Gomoiu, I. and Enache, M. (2019) Biotransformation of waste glycerol from biodiesel industry in carotenoids compounds by halophilic microorganisms. Waste and Biomass Valorization 10: 45-52.

Nwosu, F., Morris, J., Lund, V. A., Stewart, D., Ross, H. A. and Mcdougall, G. J. (2011) Anti-proliferative and potential anti-diabetic effects of phenolic-rich extracts from edible marine algae. Food Chemistry 126: 1006-1012.

O'connell, E., Murray, P., Piggott, C., Hennequart, F. and Tuohy, M. (2007) Purification and characterization of a N-acetylglucosaminidase produced by *Talaromyces emersonii* during growth on algal fucoidan. Nineteenth International Seaweed Symposium, Springer 107-115.

Pangestuti, R. and Kim, S. K. (2011) Biological activities and health benefit effects of natural pigments derived from marine algae. Journal of Functional Foods 3: 255-266.

Peng, J., Yuan, J. P., Wu, C. F. and Wang, J. H. (2011) Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: Metabolism and bioactivities relevant to human health. Marine Drugs 9: 1806-1828.

Pereira, A. G., Otero, P., Echave, J., Carreira-Casais, A., Chamorro, F., Collazo, N., Jaboui, A., Lourenco-Lopes, C., Simal-Gandara, J. and Prieto, M. A. (2021) Xanthophylls from the sea: Algae as source of bioactive carotenoids. Marine Drugs 19: 188.

Pereira, L., Bahcevandziev, K. .and Joshi, N. H. (2019) Seaweeds as Plant Fertilizer, Agricultural Biostimulants and Animal Fodder, CRC Press.

Pham, M. A., Lee, K. J., Lee, B. J., Lim, S. J., Kim, S. S., Lee, Y. D., Heo, M. S. and Lee, K. W. (2006) Effects of dietary *Hizikia fusiformis* on growth and immune responses in juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 19: 1769-1775.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

Pradhan, B., Patra, S., Behera, C., Nayak, R., Patil, S., Bhutia, S. K. and Jena, M. (2020a) Enteromorpha compressa extract induces anticancer activity through apoptosis and autophagy in oral cancer. Molecular Biology Reports 47: 9567-9578.

Pradhan, B., Patra, S., Nayak, R., Behera, C., Dash, S. R., Nayak, S., Sahu, B. B., Bhutia, S. K. and Jena, M. (2020b) Multifunctional role of fucoidan, sulfated polysaccharides in human health and disease: A journey under the sea in pursuit of potent therapeutic agents. International Journal of Biological Macromolecules.

Pugh, N., Ross, S. A., Elsohly, H. N., Elsohly, M. A. and Pasco, D. S. (2001) Isolation of three high molecular weight polysaccharide preparations with potent immunostimulatory activity from *Spirulina platensis*, Aphanizomenon flos-aquae and *Chlorella pyrenoidosa*. Planta Medica 67: 737-742.

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

Radice, M., Manfredini, S., Ziosi, P., Dissette, V., Buso, P., Fallacara, A. and Vertuani, S. (2016) Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters. A Systematic Review. Fitoterapia 114: 144-162.

Ramanan, S. and Rorrer, G. L. (2021) Limits to biomass productivity during fed-batch cultivation of *Laminaria saccharina* female gametophyte cells in a stirred-tank photobioreactor. Journal of Applied Phycology 33: 1011-1019.

Rashad, S., El-chaghaby, G. and Aelchaghaby, M. (2019) Antibacterial activity of silver nanoparticles biosynthesized using *Spirulina platensis* microalgae extract against oral pathogens. Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries 23: 261-266.

Rastogi, R. P., Sinha, R. P., Singh, S. P. and Hader, D. P. (2010) Photoprotective compounds from marine organisms. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology 37: 537-558.

Renju, G., Muraleedhara Kurup, G. and Saritha Kumari, C. (2013) Anti-inflammatory activity of lycopene isolated from *Chlorella marina* on Type II Collagen induced arthritis in Sprague Dawley rats. Immunopharmacology and Immunotoxicology 35: 282-291.

Ribeiro, J. S., Santos, M. J. M. C., Silva, L. K. R., Pereira, L. C. L., Santos, I. A., da Silva Lannes, S. C. and da Silva, M. V. (2019) Natural antioxidants used in meat products: A brief review. Meat Science 148: 181-188.

Riccardi, G. and Rivellese, A. A. (1991) Effects of dietary fiber and carbohydrate on glucose and lipoprotein metabolism in diabetic patients. Diabetes Care 14: 1115-1125.

Richmond, A. (2004) Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Wiley Online Library.

Romay, C., Armesto, J., Remirez, D., Gonzalez, R., Ledon, N. and Garcia, I. (1998) Antioxidant and anti-inflammatory properties of C-phycocyanin from blue-green algae. Inflammation Research 47: 36-41.

Ruperez, P. (2002) Mineral content of edible marine seaweeds. Food Chemistry 79: 23-26.

Shahidi, F. (2004) Functional foods: Their role in health promotion and disease prevention. Journal of Food Science 69: R146-R149.

Shanab, S. M., Mostafa, S. S., Shalaby, E. A. and Mahmoud, G. I. (2012) Aqueous extracts of microalgae exhibit antioxidant and anticancer activities. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine 2: 608-615.

Shao, B., Wang, Z., Liu, X., Yu, J., Lan, J., Wang, J., Ma, L. and Chen, Z. (2013) Breeding of a *Chlorella strain* with high yield of polysaccharide and its effect on growth and immunoregulation of *Litopenaeus vannamei*. Journal of Nuclear Agricultural Sciences 27: 168-172.

Sharma, N., Khanra, A. and Rai, M. P. (2017) Potential Applications of Antioxidants from Algae in Human Health. Oxidative Stress: Diagnostic Methods and Applications in Medical Science. Springer.

Shibata, T., Ishimaru, K., Kawaguchi, S., Yoshikawa, H. and Hama, Y. (2007) Antioxidant activities of phlorotannins isolated from Japanese Laminariaceae. Nineteenth International Seaweed Symposium, Springer 255-261.

Shih, C. M., Cheng, S. N., Wong, C. S., Kuo, Y. L. and Chou, T. C. (2009) Antiinflammatory and antihyperalgesic activity of C-phycocyanin. Anesthesia and Analgesia 108: 1303-1310.

Shin, E. S., Hwang, H. J., Kim, I. H. and Nam, T. J. (2011) A glycoprotein from Porphyra yezoensis produces anti-inflammatory effects in liposaccharide-stimulated macrophages via the TLR4 signaling pathway. International Journal of Molecular Medicine 28: 809-815.

Sonani, R., Rastogi, R. and Madamwar, D. (2015) Antioxidant potential of phycobiliproteins: Role in anti-aging research. Biochem Anal Biochem 4: 2161-1009.

Song, W., Wang, Z., Zhang, X. and Li, Y. (2018) Ethanol extract from *Ulva prolifera* prevents high-fat diet-induced insulin resistance, oxidative stress, and inflammation response in mice. Biomed Research International.

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

Storz, P. (2005) Reactive oxygen species in tumor progression. Frontiers in Bioscience 10: 1881-1896.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

Synytsya, A., Choi, D. J., Pohl, R., Na, Y. S., Capek, P., Lattova, E., Taubner, T., Choi, J. W., Lee, C. W. and Park, J. K. (2015) Structural features and anti-coagulant activity of the sulphated polysaccharide SPS-CF from a green alga *Capsosiphon fulvescens*. Marine Biotechnology 17: 718-735.

Taha, O., Abo EL-Kheir, W., Hammouda, F. and Abd EL-Hady, H. (2012) Production of ß-carotene and glycerol from *Dunaliella bardawil* and *D. salina* isolated from the Egyptian wet-lands Qarun and Bardawil. International Conference on Ecological, Environmental and Biological Sciences (ICEEBS'2012) 369-373.

Talero, E., Garcia-Maurino, S., Avila-Roman, J., Rodriguez-Luna, A., Alcaide, A. and Motilva, V. (2015) Bioactive compounds isolated from microalgae in chronic inflammation and cancer. Marine Drugs 13: 6152-6209.

Tran, T., Denimal, E., Lafarge, C., Journaux, L., Lee, J. A., Winckler, P., Perrier-Cornet, J. M., Pradelles, R., Loupiac, C. and Cayot, N. (2019) Effect of high hydrostatic pressure on extraction of B-phycoerythrin from *Porphyridium cruentum*: Use of confocal microscopy and image processing. Algal Research 38: 101394.

Unnikrishnan, P. S. and Jayasri, M. A. (2018) Marine algae as a prospective source for antidiabetic compounds–a brief review. Current Diabetes Reviews 14: 237-245.

Valente, L., Gouveia, A., Rema, P., Matos, J., Gomes, E. and Pinto, I. (2006) Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquaculture 252: 85-91.

Wall, R., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F. and Stanton, C. (2010) Fatty acids from fish: The anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids. Nutrition Reviews 68: 280-289.

Wang, D., Zhao, X. and Liu, Y. (2017) Hypoglycemic and hypolipidemic effects of a polysaccharide from flower buds of *Lonicera japonica* in streptozotocin-induced diabetic rats. International Journal of Biological Macromolecules 102: 396-404.

Welker, M., Dittmann, E. and Von Doehren, H. (2012) Cyanobacteria as a source of natural products. Methods in Enzymology 517: 23-46.

Wijesinghe, W. and Jeon, Y. J. (2012) Biological activities and potential industrial applications of fucose rich sulfated polysaccharides and fucoidans isolated from brown seaweeds: A review. Carbohydrate Polymers 88: 13-20.

Yang, G., Cozad, M. A., Holland, D. A., Zhang, Y., Luesch, H. and Ding, Y. (2018) Photosynthetic production of sunscreen shinorine using an engineered cyanobacterium. ACS Synthetic Biology 7: 664-671.

Yang, J. I., Yeh, C. C., Lee, J. C., Yi, S. C., Huang, H. W., Tseng, C. N. and Chang, H. W. (2012) Aqueous extracts of the edible *Gracilaria tenuistipitata* are protective against H_2O_2-induced DNA damage, growth inhibition, and cell cycle arrest. Molecules 17: 7241-7254.

Yang, L. and Zhang, L. M. (2009) Chemical structural and chain conformational characterization of some bioactive polysaccharides isolated from natural sources. Carbohydrate Polymers 76: 349-361.

Yoon, W. J., Heo, S. J., Han, S. C., Lee, H. J., Kang, G. J., Kang, H. K., Hyun, J. W., Koh, Y. S. and Yoo, E. S. (2012) Anti-inflammatory effect of sargachromanol G isolated from *Sargassum siliquastrum* in RAW 264.7 cells. Archives of Pharmacal Research 35: 1421-1430.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]

Antioxidant compounds with antioxidant properties in seaweed and their application in various industries

Soolmaz Soleimani[1], Morteza Yousefzadi[2,*], Mitra Arman[3]

[1] Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas
[2] Department of Biology, Faculty of Science, University of Qom, Qom
[3] Department of Biology, Payame Noor University, Tehran
(Received: 25/08/2021, Accepted: 24/04/2022)

Abstract

Marine algae are known to contain a wide variety of antioxidant compounds. Natural antioxidants, found in many algae, are important bioactive compounds that play an important role against various diseases and aging processes through protection of cells from oxidative damage. At present, there is a global interest in finding new and safe antioxidants from natural sources. Algae can have a variety of primary and secondary metabolites including biosynthesis, metabolism, accumulation and secretion, including carotenoids, phenolic compounds, phycobilins, sulfated compounds, as well as vitamins. All of these compounds are of great value in the medical, pharmaceutical, nutritional, and cosmetic industries. The purpose of this study is to introduce algae as a valuable rich antioxidant natural resource that can be used in various industries.

Keyword: Algae, Antioxidants, Carotenoids, Photosynthesis, Phycocyanin, Vitamins

Corresponding author, Email: Morteza110110@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.0.1.6.0]