مروری بر ریزجلبک‌ها به عنوان مکمل‌های غذایی و دارویی فراسودمند

سید امیر علی انوار[a]، بهاره نوروزی[b] *

[a] استادیار گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[b] استادیار گروه زیست شناسی، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱
https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080123.1401.19.2.4.7 DOI:10.30495/JFTN.2022.19310

چکیده

مقدمه: ریز جلبک‌ها یکی از اجزای مهم در زنجیره غذایی اکوسیستم‌های آبی و خشکی به شمار می‌روند و به عنوان غذا یا دارو به مصرف انسان می‌رسند. امروزه ریز جلبک‌ها و سیانو باکتری‌ها، در فرایندهای کشت کنترل شده تولید می‌شوند و یا از زیستگاه‌های طبیعی برداشت می‌شوند و به عنوان مکمل هلی غذایی در سراسر جهان به بازار عرضه می‌شوند.

مواد و روش‌ها: نتایج و دستاوردهای ارائه شده در مقالات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است.

یافته‌ها: سیانوباکتری‌ها طیف وسیعی از ترکیبات فعال بیولوژیکی را تولید می‌کنند و انتظار می‌رود که از برخی از آن‌ها در صنایع غذایی و دارویی استفاده شود. برخی از ترکیبات فعال سیانوباکتری‌ها مانند اسیدهای چرب، استرول‌ها، ترکیبات فرار، ترکیبات ایزوتوپی پایدار، کاروتنوئیدها، پلی‌ساکاریدها، لکتین‌ها، اسیدهای آمینه شبه مایکوسپورین، امولسیون کننده‌های زیستی که بطور بالقوه دارای اثرات ضد سرطان، ضد میکروبی، ضد ویروسی، ضد التهابی و... هستند برای اهداف بازاریابی استفاده می‌شود.

نتیجه‌گیری: در این مقاله مروری کوشش شده است تا با معرفی ترکیبات فعال ریز جلبک‌ها و فعالیت‌های زیستی آن‌ها، به ارزش غذایی آن‌ها در رژیم غذایی و سلامت انسان‌ها، طیور، آبزیان و سایر حیوانات تاکید بیشتری گردد.

واژه‌های کلیدی: *ترکیبات فعال زیستی؛ ریزجلبک ها؛ سیانوباکتری ها؛ مکمل غذایی سالم*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: bahare77biol@gmail.com

مقدمه

جلبک ها، موجوداتی یک یا چند سلولی می‌باشند که با توجه به اندازه، به دو دسته ماکرو و میکرو جلبک تقسیم می‌شوند. ریز جلبک‌ها، یکی از اولین اشکال حیات روی زمین هستند که طی شکل‌گیری زمین در بیش از ۳ میلیارد سال پیش در اقیانوس‌ها به وجود آمده‌اند و تنوع زیادی از جلبک‌های پروکاریوتی و یوکاریوتی را تشکیل می‌دهند. بیش از ۵۰۰۰۰ گونه مختلف ریزجلبک در اقیانوس‌ها و آب‌های شیرین (دریاچه ها، حوضچه‌ها و رودخانه ها) وجود دارد که در این بین تنها ۳۰۰۰۰ گونه مورد مطالعه قرار گرفته است. هزاران سال است که ریزجلبک‌ها به عنوان غذا توسط انسان به مصرف می‌رسند (Gantar and Svirčev, 2008).

ریز جلبک‌ها با تثبیت CO_2 قادرند تا انرژی خورشیدی را به انرژی شیمیایی تبدیل کنند. راندمان آن‌ها ده برابر بیشتر از گیاهان خشکی‌زی می‌باشند. میزان تولید سالیانه آن‌ها به صورت ماده خشک، ۵۰۰۰ تن می‌باشد که به طور تجاری تولید می‌شود. تقریباً صد و ده تولید کننده تجاری ریز جلبک در مناطق آسیا و اقیانوسیه، با ظرفیت‌های ۳ تا ۵۰۰ تن در سال وجود دارد. حدود نه دهم کشت جهانی ریز جلبک، در آسیا و توسط تولید کنندگانی از کشورهای چین، تایوان و هند انجام می‌شود. گونه‌های بسیار کمی از ریز جلبک‌ها اهمیت تجاری دارند که شامل *Spirulina*، *Dunaliella*، *Haematococcus*، *Chlorella*، *Porphyridium*، *Botryococcus*، *Phaeodactylum*، *Crypthecodinium*، *Nitzschia*، *Chaetoceros*، *Schizochytrium*، *Isochrysis*، *Nannochloris*، *Skeletonema* و *Tetraselmis* می‌باشند. بسیاری از زیست توده‌های ریز جلبکی، منبع جذابی جهت تولید طیف گسترده‌ای از محصولات بسیار ارزشمند، از جمله اسیدهای چرب اشباع نشده (PUFA)[1]، کاروتنوئیدها، فیکوبیلی پروتئین‌ها[2]، پلی ساکاریدها و فیتوتوکسین به شمار می‌روند (Mysliwa-Kurdziel and Solymosi, 2017) و محصولات حاصل از آن‌ها به عنوان مکمل‌های غنی حاوی مقادیر فراوان پروتئین، استفاده زیادی در تغذیه انسان، آبزی پروری و اهداف تغذیه‌ای دارند (Encarnacao *et al*., 2015).

قیمت هر کیلوگرم زیست توده جلبک بسته به موارد مصرف آن متفاوت می‌باشد. مثلاً جهت مصارف تغذیه‌ای در انسان‌ها ۱۰۰یورو، به عنوان خوراک دام و ماهی ۵–۲۰ یورو، بصورت فله ائی ۱–۵ یورو و به عنوان سوخت‌های زیستی ۰/۴ یورو می‌باشد. فرآورده‌های تهیه شده از ریز جلبک‌ها از ۴۰٪ چربی، ۵۰٪ پروتئین و ۱۰٪ کربوهیدرات تشکیل شده است. یک چهارم چربی به دست آمده به قیمت ۲ یورو به صنایع غذایی و شیمیایی در هر کیلوگرم و سه چهارم آن به قیمت ۰/۵ یورو به عنوان بیودیزل به مصرف می‌رسد. ۲۰٪ محلول پروتئینی جهت تهیه غذا به قیمت ۵ یورو فروخته می‌شود و ۸۰٪ باقی مانده برای تهیه غذا به قیمت ۰/۷۵یورو فروخته می‌شود (Nowruzi *et al*., 2018).

سوابق متعددی در تاریخ در مورد استفاده از سیانو باکتری‌ها و ریز جلبک‌ها در رژیم غذایی انسان‌ها وجود دارد. جمعیت محلی چاد برای قرن‌ها از محصول اسپیرولینا (که نام صحیح اش آرتروسپیرا است) برداشت و استفاده کرده‌اند که در زبان محلی به نام دیهه[3] بعنوان غذای محلی شناخته شده است. زنان کانمبو[4] بطور روزانه، زیست توده سبز آبی را از دریاچه کوسوروم[5] که در حاشیه‌ی شمال شرقی دریاچه چاد است، برداشت می‌کردند. زیست توده در معرض آفتاب خشک شده و برای تهیه ظروف مانند آبگوشت و سبزیجات مورد استفاده قرار می‌گرفت و در بازارهای محلی یا عمده فروشان فروخته می‌شد. وقایع نگاران اسپانیایی، ماهیگیران محلی‌ای را توصیف می‌کردند که توده‌های سبز– آبی را از دریاچه هایی که به صورت کیک خشک بودند جمع می‌کردند. سیانو باکتری‌های رشته‌ای دیگری بطور گسترده وجود دارند که به عنوان غذا در آسیا استفاده می‌شوند و متعلق به تیره‌ی *Nostoc* می‌باشند. *N. Commune* بصورت ورقه‌های بزرگ ژلاتینی رشد می‌کند. این سیانو باکتریوم‌ها را می‌توان بصورت خام، خشک، سرخ شده و یا در سوپ‌ها مصرف کرد و یا می‌توان از آن‌ها بعنوان غلیظ کننده مواد غذایی دیگر استفاده کرد (Gantar and Svirčev, 2008).

پوشش سبزی شبیه به موهای سیاه، معروف به

[1] Polyunsaturated Fatty Acids [2] Phycobiliproteins [3] Dihe [4] Kanembu [5] Kossorom

"فاکای[1]" که در چین در زمان فصل جشن سرو می‌شود، از رشته‌های خشک *N. flaglliform* تشکیل شده است. این سیانو باکتریوم خشکی‌زی، بصورت حصیری متصل به بستر، در مناطق استپی کویری شمال و شمال غرب چین بصورت بسیار آهسته رشد می‌کند. برداشت گسترده این سیانو باکتریوم منجر به فرسایش خاک شد، که دولت را ملزم کرد تا بهره‌برداری بیشتر از آن را محدود کند. اثرات بهداشتی این ارگانیسم به عنوان منبع غذایی انسان، در یک مطالعه مسمومیت حاد غذایی مورد مطالعه قرار گرفت، نتایج نشان داد که تجویز خوراکی پودر خشک *N. flagelliform* هیچ گونه عوارض جانبی در موش ایجاد نکرد. *N. flagelliform* بطور سنتی در رژیم‌های غذایی انسان در چین، مغولستان و آمریکای جنوبی استفاده می‌شد. کلنی‌های توپی شکل این سیانو باکتریوم خاکزی، توسط مردم محلی به عنوان "Lake form" شناخته می‌شوند و هنوز هم می‌توان آن‌ها را در بازارهای آمریکای جنوبی یافت. علاوه بر تنوع رشته‌ای، سیانوباکتری‌های تک سلولی نیز بخشی از رژیم غذایی انسان است. *Aphanotheca sacrum* سیانوباکتریوم خوراکی دیگری است که در ژاپن مصرف می‌شود و یک غذای خوشمزه خاص شناخته می‌شود که به عنوان "سویزنجی نوری"[2] شناخته می‌شود. برخی از جلبک‌های رشته‌ای سبز (*Spirogyra* و *Oedogonium*) نیز به عنوان یک ترکیب غذایی در برمه، تایلند، ویتنام و هند مورد استفاده قرار میگیرند. دوران مدرن بیوتکنولوژی ریزجلبکی و سیانوباکتریایی از اوایل دهه ۱۹۴۰ آغاز شد و در سال ۱۹۵۲ با اولین سمپوزیوم کشت بیومس جلبکی شتاب بیشتری به خود گرفت. از آن زمان به بعد، بسیاری از فنآوری‌ها و رویکردهای دیگری برای کشت انبوه پیشنهاد شده است. زیست توده سیانوباکتری‌ها و ریز جلبک‌ها، برای بهره‌برداری تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند، یا از محیطهای طبیعی برداشت می‌شوند و یا از طریق یک فرایند کشت کنترل شده در استخرهای باز یا راکتورهای زیستی ویژه به دست می‌آیند. این ارگانیسم‌ها در مقیاس وسیعی برای غذا و خوراک، آبزی پروری، مواد شیمیایی بیوشیمی با ارزش یا تصفیه کننده آب، پرورش داده می‌شوند (Martínez-Francés and Escudero-Oñate, 2018).

ارزش غذایی ریز جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها

در بیشتر کشورهای پیشرفته، مردم به دلیل سبک زندگی مدرنی که دارند از غذاهای پر کالری استفاده می‌کنند، که سلامت فرد را با عوارضی مانند چاقی، بیماری‌های قلبی و دیابت تهدید می‌کند. یک رژیم غذایی متعادل که برای حفظ سلامت فرد لازم است باید حاوی ویتامین‌ها، اسیدهای چرب غیر اشباع و مواد معدنی باشد (Martínez-Francés and Escudero-Oñate, 2018). برای رسیدن به چنین رژیم غذائی به کمک ریز جلبک‌ها باید ترکیبی از آن‌ها را استفاده نمود. ریز جلبک‌ها منبع غنی از کربوهیدرات، پروتئین و لیپیدها با ارزش غذایی هستند و جالب آنکه سیانوباکتری‌ها، فاقد پلی‌ساکارید در دیواره سلولی خود بوده لذا زیست توده آن‌ها قابل هضم برای انسان می‌باشد (Gantar and Svirčev, 2008).

در حال حاضر پر مصرف‌ترین گونه در میان این ریز جلبک‌ها را اسپیرولینا (*Arthrospira*) و کلرلا تشکیل می‌دهند. اسپیرولینا از محتوای پروتئینی و ارزش غذایی بالایی برخوردار است و در سراسر جهان به عنوان مکمل غذایی از محبوبیت زیادی برخوردار است، دارای ۶۲٪ آمینو اسید بوده و یک منبع طبیعی غنی از ویتامین های A، B_1 ، B_2، B_{12} و رنگدانه هایی از جمله کاروتنوئیدها و گزانتوفیل به شمار می‌رود. محتوای اسیدهای چرب ضروری و اسید لینولنیک آن، که آدمی قادر به سنتز آن‌ها نمی باشند، نیز زیاد می‌باشد. اسپیرولینا به منظور تقویت و تغذیه فلور روده از جمله لاکتوباسیلوس و بیفیدوس بسیار مفید است. در واقع یک گرم از کپسول اسپیرولینا نیمی از نیاز افراد بالغ به ویتامین را A تامین می‌کند. بر اساس مطالعات انسانی صورت گرفته مقدار تام کلسترول سرم با مصرف این کپسول کاهش می‌یابد. علاوه بر آن، اسیدهای چرب غیر اشباع تخلیص شده از اسپیرولینا را به فورمولاسیون شیر نوزادان در کشورهای اروپائی،جهت بهبود سلامتی اضافه می‌کنند (Encarnacao *et al*., 2015).

کلرلا به عنوان غذای سالم در انسان و غنی‌سازی خوراک آبزیان مورد استفاده قرار می‌گیرد. مواد موثره حاصل از کلرلا موجب افزایش غلظت هموگلوبین، کاهش سطح قند خون و کاهش کلسترول خون می‌شود. در واقع

[1] Fa Cai

[2] suizenji-nori

مواد موثره کلرلا، تحریک کننده فعال سیستم ایمنی، پاک کننده رادیکال‌های آزاد و کاهنده چربی خون می‌باشند. سوپ پلانکتونی آماده شده از ریز جلبک گونه *Chlorella* sp. در بیماران جذامی به عنوان مکمل غذایی موجب افزایش انرژی، وزن و بهبود روند سلامتی آن‌ها می‌شود. محققان ژاپنی چندین فرآورده غذائی، چای سبز، سوپ، رشته فرنگی، نان و رول، کلوچه، بستنی و سس سویا را از *Chlorella ellipsoidea* به شکل پودر تهیه کرده اند. ریزجلبک *Scenedesmus* sp. نیز به عنوان یک ماده مغذی شناخته می‌شود، اگر چند تولید تجاری آن‌ها محدود است. ازعصاره آن در غذاهای معمولی مانند دسر، پودینگ میوه، راویولی، رشته فرنگی و سوپ استفاده می‌شود. در واقع کلرلا و اسپیرولینا حاوی محتوای پروتئین بالا (بیش از ۵۰٪ وزن خشک) هستند و بنابراین می‌توانند به عنوان منبع اسیدهای آمینه ضروری از جمله لیزین، لوسین، ایزولوسین، تریپتوفان و والین استفاده شوند. محتوای لیپید در زیست توده جلبک‌ها در تقسیمات مختلف جلبکی متفاوت است و به عوامل اکولوژیکی اعمال شده در طول رشد بستگی دارد. محتوای بالای چربی که می‌تواند تا ۵۳ درصد از وزن خشک نیز برسد، مشخصه مشتقات کلروفیتا (۵۳ درصد)، کرایسوفیتا (۳۹ درصد) و باسیلاریوفیزه (۳۹ درصد) است (Liu *et al*., 2021).

اسیدهای چرب اشباع نشده چند زنجیره‌ای تولید شده توسط ریزجلبک‌ها می‌توانند در صنایع غذایی به عنوان مکمل‌های غذایی مورد استفاده قرار گیرند، زیرا ریز جلبک‌ها با دارا بودن خانواده امگا ۶ که شامل اسید آراشیدونیک و خانواده امگا ۳ که شامل اسید ایکوزاپنتوئیک و اسید دوکوزاهگزانوئیک است در سلامت قلب و عروق، رشد عصبی و سلامت نوزادان، نقش بسیار مهمی دارند. دیواره جلبک‌های یوکاریوتی، حاوی ۱۰ درصد کربوهیدرات مانند سلولز، مانوز و زایلوز است. کمبود این پلی‌ساکاریدها در دیواره سلولی سیانو باکتری‌ها، محصول آن‌ها را به راحتی قابل هضم می‌کند و بنابراین برای مصرف انسان قابل قبول‌تر است. نشاسته و برخی دیگر از کربوهیدرات‌ها نیز بعنوان ماده‌ی ذخیره سلولی در غلظت‌های حداکثر۵۰ میلی گرم مشاهده می‌شوند. یکی از عوامل محدود کننده، استفاده زیاد از جلبک‌ها و سیانو باکتری‌ها برای مصرف انسان، محتوای زیاد اسیدهای نوکلوییک اسید است، زیرا معمولا، اجزای تشکیل دهنده اسیدهای نوکلئیک و پورین‌ها، به اسید اوریک متابولیزه می‌شوند و مقادیر بیش از حد اسید اوریک منجر به اثرات سو سلامتی مثل نقرس و سنگ کلیه می‌شود. طبق دستور العمل‌های گروه مشاوره‌ای پروتیین (PAG)[1] سازمان ملل، مصرف روزانه اسیدهای نوکلئیک برای یک بزرگسال سالم نباید بیش از دو گرم در روز باشد. ۱۵ گرم از *Scenedesmus* در روز در رژیم غذایی انسان، مشکلات اسید اوریک ایجاد نمی‌کند. مصرف حداکثر ۵۰ گرم کلرلا در روز، باعث افزایش سطح اسید اوریک در انسان نمی‌شود. از آنجا که اسپیرولینا بطور معمول دارای ۴ درصد اسید نوکلئیک است که کمتر از کلرلا و سایر ریز جلبک‌های یوکاریوتی است، به نظر می‌رسد که خوردن این سیانو باکتریوم به دلیل سطح اسید اوریک نگران کننده نباشد. ریز جلبک‌ها و سیانو باکتری‌ها منبعی غنی از ویتامین‌ها هستند. بعنوان مثال *S. platensis* دارای بالاترین میزان ویتامین B_{12} در مقایسه با هر منبع غذایی گیاهی تازه یا حیوانی است. علاوه بر این، در مقایسه با جلبک‌های سبز، اسفناج و کبد، اسپیرولینا منبع غنی‌تری از ویتامینA (بتاکاروتن)، ویتامین C، ویتامین E، تیامین (B1)، ریبوفلاوین (B2)، نیاسین (B3)، اسید پانتوتنیک (B5)، پیریدوکسین (B6)، اسید فولیک (B9) و کبالامین (B12) است. ترکیبات فنولیک یکی از مهم‌ترین گروه آنتی اکسیدان‌های طبیعی محسوب می‌شود که می‌توانند به عنوان مکمل‌های غذایی مورد استفاده قرار گیرد (Guerreiro *et al*., 2020). ترکیبات فنولیک تولید شده توسط ریز جلبک‌ها شامل اسید کافئیک و اسید فرولیک است. علاوه بر آن ترکیبات فرار، مانند کربونیل‌ها، الکل‌ها، آلدئیدها، استرها، ترپن‌ها و... به طور طبیعی توسط ریز جلبک‌ها تولید می‌شوند و می‌توانند به عنوان طعم دهنده استفاده شوند (Nowruzi *et al*., 2019b). استرول ها، از جمله فیتوسترول، براسیکاسترول، ارگوستنول، پوریفرسترل و کلیوناسترول، نقش اساسی در فیزیولوژی ریز جلبک ها، به ویژه از نظر یکپارچگی غشا دارند. فیتوسترول از نظر ساختاری مشابه کلسترول است و یکی از امیدوار کننده ترین استرول‌ها است، زیرا می‌تواند در رژیم‌های غذایی سالم به ویژه در مواردی که هدف آن‌ها

[1] Protein Advisory Group (PAG)

کاهش بیماری عروق کرونر قلب است، مورد استفاده قرار گیرد. کاروتنوئیدها و فیکوبیلی پروتئین‌ها از گروه‌های اصلی رنگدانه‌های ریز جلبک‌ها هستند (Mysliwa-Kurdziel and Solymosi, 2017). ریز جلبک هایی که کاروتینوئید تولید می‌کنند، گزینه مناسبی برای جایگزینی گل‌های گل همیشه بهار می‌باشند (De Amarante *et al*., 2020). میزان قدرت بقا، رشد، بهره وری و باروری حیوان بستگی به خوراک آن‌ها دارد. ریز جلبک ها، نقش مهمی در افزایش درجه کیفیت غذای حیوانات به منظور استفاده جهت پرورش آبزیان و حیوانات مزرعه دارند و باعث بهبود سیستم ایمنی بدن، متابولیسم چربی، عملکرد روده و ایجاد مقاومت در برابر استرس و نیز سبب افزایش اشتها، وزن، تعداد تخم مرغ و عملکرد تولید مثل و کاهش سطح کلسترول می‌شوند. بسیاری از مطالعات انجام شده جلبک‌ها را به عنوان منبع مکمل خوراکی یا جایگزین بالقوه سایر منابع پروتئینی معمولی، مانند کنجاله سویا و پودر ماهی مطرح می‌کند. بیشتر ریز جلبک‌های تولید شده در جهان جهت مصرف خوراک دام به فروش می‌رسد، بیش از ۵۰٪ از تولید اسپیرولینا در جهان در سال ۱۹۹۹ به عنوان مکمل خوراک به مصرف می‌رسد و میزان تولید ریز جلبک به منظور استفاده در آبزی پروری ۱۰۰۰ تن است که به تفکیک، ۶۲٪ در نرم تنان، ۲۲٪ برای میگو و ۱۶٪ در ماهی استفاده می‌شود که معادل تولید جهانی ۴۳×۱۰^{۶} تن است (Encarnacao *et al*., 2015).

تولید و بازاریابی ریزجلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها برای استفاده در رژیم غذایی انسان

طبق گفته سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) و سازمان ایمنی غذایی اروپا (EFSA)، محصولات غذایی مبتنی بر *Spirulina* sp به عنوان غذای سلام طبقه بندی می‌شوند. علاوه بر این، مطالعات بالینی نشان داد که مصرف اسپیرولینا می‌تواند منجر به کاهش کلسترول، محافظت در برابر برخی از انواع سرطان ها، افزایش پاسخ ایمنی، افزایش لاکتوباسیل روده (پروبیوتیک ها)، محافظت در برابر اشعه (لوسیون ضد آفتاب) شود. *Spirulina* sp. به مدت طولانی توسط مردم به عنوان غذای قابل مصرف در مکزیک (آزتک‌ها و سایر مزوآمریکایی ها) و چاد (آفریقا) مورد استفاده قرار گرفته است. بسیاری از محصولات غذایی به عنوان مثال سوپ‌های فوری، پودینگ، مخلوط پودر کیک و بیسکویت را می‌توان با استفاده از ریز جلبک‌ها یا ترکیبات زیستی آن‌ها غنی کرد. از این نظر، *Spirulina platensis* می‌تواند به عنوان منبع پروتئین برای افراد سو تغذیه، با محتوای پروتئین بالاتر و قابلیت هضم بیشتر بسیار مفید باشد. به طور مشابه، محتوای پروتئین نان به دلیل افزودن اسپیرولینا پلاتنسیس خشک افزایش یافت. علاوه بر این، غلظت ۱۱ اسید آمینه، بالاخص ۴ آمینو ضروری ترئونین، متیونین، لوسین و ایزولوسین به طور قابل توجهی افزایش یافت (Gantar and Svirčev, 2008). تولید دونات با استفاده از ترکیبات مختلف آرد گندم، آرد کاساوا و زیست توده *Spirulina platensis* باعث افزایش کیفیت غذایی دونات از نظر پروتئین، مواد معدنی ، فیبر و لیپید می‌شود. در مطالعه دیگری اسپاگتی غنی شده با کلرلا ولگاریس و اسپیرولینا ماکسیما، با اسپاگتی سمولینا استاندارد (ترکیب شیمیایی، زمان پخت بهینه، تلفات پخت و پز، شاخص تورم و جذب آب و غیره) مقایسه شد. در واقع وجود ریز جلبک ها، کیفیت تغذیه‌ای و حسی ماکارونی را افزایش داد، با این حال هیچ تغییری در خصوصیات پخت و پز و بافت مشاهده نشد. کلرلا، *Scendesmus*، اسپیرولینا و *Dunaleilla* شایع ترین ریزجلبک‌ها و سیانو باکتری‌ها برای استفاده در رژیم غذایی انسان هستند. زیست توده این جلبک ها، یا در استخرهای باز و یا در سیستم‌های بسته – راکتورهای زیستی تولید می‌شود. بعنوان مثال، سیستم‌های کشت استخر باز، یک روش ارزان قیمت برای تولید زیست توده موجودات فتوسنتزی است. با این حال، یکی از نقطه ضعف‌های این فناوری، آلودگی احتمالی با گونه‌های جلبک علف‌های هرز و موجودات دیگر است. یک روش پیشرفته تر برای رشد سیانو باکتری‌ها و ریز جلبک ها، استفاده از سیستم‌های بسته و کنترل شده متشکل از لوله‌ها و سیم پیچ‌ها یا صفحات عمودی است که به عنوان جمع کننده‌های خورشیدی عمل می‌کنند. این سیستم ها، تراکم سلولی بسیار بالاتری را نسبت به استخرهای آزاد تولید می‌کنند، با این حال نگهداری آن‌ها بسیار گران‌تر است (Singh *et al*., 2005).

زیست توده برداشته شده از ریز جلبک‌ها و سیانو باکتری ها، در فرایند خشک کردن خشک می‌شوند. شرکت ژاپنی Cholorella sun روشی را برای خشک کردن و

پودر کردن زیست توده کلرلا به گونه‌ای ثبت کرده است که دیواره سلول پاره شده و باعث می‌شود جلبک‌ها به راحتی هضم شوند. این پودر، فرآوری شده، بسته بندی شده و معمولا بصورت قرص، پودر و خمیر فروخته می‌شود. امروزه، روند افزایشی در استفاده از محصول (زیست توده) ریز جلبک‌ها و سیانو باکتری‌ها بعنوان مواد افزودنی در محصولات غذایی مختلف مانند ماکارونی، نان، ماست، پنیرو در نوشیدنی‌هایی مانند آبجو ایجاد شده است (Zahra *et al.*, 2020). بیش از ۷۰ شرکت در کشت کلرلا مشغول فعالیت هستند و بزرگترین تولید کننده آن شرکت کلرلا در کشور (تایپه، تایوان) است و ۴۰۰ تن زیست توده خشک در سال تولید می‌کند. مقادیر قابل توجه‌ای (۱۳۰–۱۵۰ تن زیست توده خشک در سال) ازکلرلا توسط شرکت آلمانی (Klotze، آلمان) در یک راکتور زیستی لوله ائی تولید می‌شود. میزان فروش سالانه کلرلا در جهان به بیش از ۳۸ میلیارد دلار آمریکا می‌رسد. ابتدا در کشور چین و سپس در ژاپن، تایوان و مکزیک ریز جلبک‌های *Chlorella* sp. و *Spirulina* sp. بصورت تجاری به عنوان غذا مورد مصرف قرار گرفتند. در حال حاضر، بیشتر محصولات تجاری خوراکی تهیه شده از ریز جلبک‌ها، به شکل قرص،کپسول و مایع به فروش می‌رسند و همراه با خمیر، تنقلات، آب نبات، آدامس، رشته فرنگی، شراب، نوشیدنی و غلات صبحانه مخلوط می‌شوند. میزان تولید سالیانه اسپیرولینا در جهان جهت مصارف انسانی به بیش از ۱۰۰۰ تن می‌رسد و تولید کننده آن در جهان شرکت هاینان سیمای کشور چین است که سالیانه ۲۰۰ تن پودر جلبک تولید می‌کند. ۲۰ کشور در جهان محصولات مبتنی بر اسپیرولینا مانند قرص و پودر را تولید می‌کنند که ایالات متحده رتبه اول و سایر کشورهای چین، ژاپن، مکزیک، تایوان و تایلند در مراتب بعدی قرار دارند. مواد مغذی گوناگونی از ریز جلبک تهیه و به بازار عرضه می‌شود. عنوان مثال، کارخانه میانمار–اسپیرولینا (یانگون، میانمار) قرص، چیپس، ماکارونی و عصاره مایع از ریز جلبک تولید می‌کند. فیکوسیانین، استخراج شده از اسپیرولینا به نام تجاری "آبی لیما" شناخته و به عنوان رنگ دهنده آبی از آن در صنایع غذائی و آرایشی استفاده می‌شود (Mysliwa-Kurdziel and Solymosi, 2017، Nowruzi *et al.*, 2020a).

نقش ریزجلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها در سلامت انسان

هم محققان و هم تولیدکنندگان محصولات سیانوباکتریایی و ریزجلبکی، اثرات مفید بی شماری را بر سلامت انسان گزارش می‌دهند. این محصولات "غذایی فوق العاده برای سلامتی" با اثرات ضد ویروسی، ضدسرطانی، ضددیابتی، آنتی بیوتیک، تقویت کننده سیستم ایمنی، هیپوکلسترولمیک و کاهش وزن هستند. در تعدادی از مطالعات مجلات معتبر، اثرات مختلف ترکیبات فعال بیولوژیکی به دست آمده از سیانوباکتری‌ها تایید شده است. یکی از کشفیات جالب توجه در مورد فعالیت بیولوژیکی سیانوباکتری ها، خاصیت ضدسرطانی آن‌ها است. یکی از مهم‌ترین ترکیبات ضد توموری که تا کنون از سیانوباکتری‌ها شناسایی شده است، کریپتوفایسین است. کریپتوفایسین در اصل از *Nostoc* sp. جدا شده است. این ترکیب یک عامل ضد پلیمریزاسیون میکروتوبول با یک فعالیت ضد توموری است. دولوستاتین یکی دیگر از ترکیبات ضدسرطانی است که از سیانوباکتری‌های *Lyngbya* و *Symoloca* استخراج شده است. امروزه، آنالوگ‌های دولوستاتین برای استفاده در درمان سرطان‌های پستان، کبد و سرطان خون، تحت آزمایش‌های بالینی قرار دارند (Gantar and Svirčev, 2008).

رنگدانه‌ی آبی C-Phycocyanin، اصلی ترین فیکوبیلی پروتئین در تمام سیانوباکتری‌ها است. گزارشاتی از C-phycocyanin به عنوان آغازکننده‌ی مرگ آپوپتیک سلول‌های تومور وجود دارد Mysliwa-Kurdziel and (Solymosi, 2017). فایکوسیانین با ترشح سیتوکروم از میتوکندری، با تجزیه پلی (ADP) ریبوز پلیمراز و با تنظیم آنتی آپوپتوز[1] باعث آپوپتوز می‌شود. در واقع فایکوسیانین دارای خواص آنتی اکسیدانی، ضد التهابی و محافظت در برابر نورون است و ممکن است به عنوان یک آنتی‌اکسیدان کارآمد در بدن انسان عمل کند (Guerreiro *et al.*, 2020). علاوه بر این، فعالیت محافظتی کبدی فیکوسیانین جدا شده از *S. platensis* در آزمایشی که در آن رنگدانه قبل از درمان با هپاتوتوکسین به موش‌ها تجویز می‌شد، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که فعالیت

[1] Antiapoptotic

آنتی‌اکسیدانی و مهارکننده رادیکال‌های قوی فایکوسیانین با کروموفورفایکوسیانوبیلین مرتبط بود (De Amarante *et al*., 2020). ترکیبات آنتی‌بیوتیکی سیانو باکتری‌ها، شامل اسیدهای چرب، بروموفنول‌ها، پپتیدها، پلی‌ساکاریدها و الکل‌ها است. با این حال ترکیبات شیمیایی دقیق اکثر آن‌ها ناشناخته مانده است. اثرات ضد باکتریایی بر روی باکتری‌های گرم منفی، با اثرات بارزتری بر روی باکتری‌های گرم مثبت نیز نشان داده شد (Rajabpour *et al*., 2019).

بر خلاف فعالیت ضد باکتریایی، تاثیر مثبت اسپیرولینا بر باکتری‌های روده با افزایش سرعت لاکتوباسیل که حمایت کننده عملکرد دستگاه گوارش است، گزارش گردید. سیانو باکتری‌ها، هموپلی ساکاریدهای سولفاته و هتروساکاریدهایی تولید می‌کنند که به صورت فعال در برابر رترو ویروس‌هایی مانند HIV و هرپس ویروس شناخته می‌شوند. عصاره متانولی سیانو باکتریوم *Microcystis*، یک فعالیت ضد ویروسی قوی علیه ویروس آنفولانزا دارد. فعالیت ضد ویروسی فقط به سیانوباکتری محدود نمی‌شود، در واقع پلی ساکاریدهای جدا شده از یک ریز جلبک قرمز در برابر هرپس[1] و ویروس وارسیلا زوستر[2] بسیار موثر است (Řezanka and Dembitsky, 2006). سطح کلسترول سرم، با تغذیه با پودر یا عصاره‌های اسپیرولینا، در موش‌ها کاهش یافته است. اثرات هیپوکلسترولمیک[3] کنسانتره *S.platenis* به C-phycocyanin و تاثیر آن بر مهار جذب کلسترول نسبت داده شد. اسپیرولینا همچنین با تحریک عملکرد ماکروفاژها، فاگوسیتوز و ایمنی را در موش‌ها افزایش داد. ترکیبی بنه ام نوستوکاربولین جدا شده از سیانوباکتریوم *Nostoc* 18-12A، یک مهارکننده قوی بوتیریل کولین استراز است. مهارکننده کولین استراز قبلا برای درمان آلزایمر تایید شده است و بنابراین نوستوکربولین به عنوان یک سرنخ بالقوه برای توسعه مواد شیمیایی عصبی جدید معرفی شد (Guedes *et al*., 2011، Nowruzi *et al*., 2020b).

تأثیر ریز جلبک‌ها در پرورش آبزیان و طیور

در سال‌های اخیر، به دلیل افزایش تولید ماهی، ریز جلبک‌ها به عنوان یک گزینه اقتصادی و سازگار با محیط زیست به نظر می‌رسند و تقریباً حاوی تمام مواد مغذی مورد نیاز ماهی هستند. تأثیر کلرلا در رژیم غذایی بر رشد و پارامترهای فیزیولوژیکی (پارامترهای خون و آنزیم گوارشی) ماهی کپور گیبل (*Carassius auratus gibelio*) بررسی شد. نتایج نشان داد که افزودن ۰/۸ –۱/۲ درصد کلرلا موجب رشد بهتر و محتوای بالاتر لیزوزیم شد که در نهایت بر متابولیسم پروتئین / لیپید و ایمنی کپور گیبل بسیار تأثیرگزار بود و همچنین مقدار بیشتری پروتئین گوارشی (آمیلاز، لیپاز و پروتئاز) نسبت به کنترل (بدون مکمل کلرلا) را تولید کرد (Liu *et al*., 2014).

علاوه بر این، کلسترول ماهی هایی که با کلرلا تغذیه می‌شوند کمتر از گروه شاهد گزارش گردید. اثرات کلرلا ولگاریس (مکمل غذایی) را بر روی خون و پارامترهای ایمونولوژیک ماهی قزل آلا خزر در معرض ویروس بررسی کردند و مشاهده کردند که وجود کلرلا در رژیم غذایی ماهی می‌تواند به عنوان یک ضد ایمنی طبیعی عمل کند. بیش از ۴۰ گونه ریز جلبک در پرورش آبزیان به طور مستقیم یا غیرمستقیم استفاده می‌شود. به کارگیری برخی گونه‌ها در رژیم غذایی منجر به کاهش ۵۰٪ در قیمت ماهی تولیدی و افزایش ارزش غذایی آن می‌شود. بدین منظور اغلب ترکیبی از دو یا چند گونه در تغذیه استفاده می‌شود. در حال حاضر از ریز جلبک‌ها در تغذیه ماهیان استخوانی و پرورش زئوپلانکتونهای مورد نیاز برای تغذیه حیوانات استفاده می‌شود. *Nannochloropsis*، *Chaetoceros*، *Isochrysis*، *Phaeodactylum*، *Chlorella*، *Pavlova*، *Spirulina* و *Skeletonema* پرکاربردترین جنس‌های استفاده شده در آبزی پروری هستند و در بین آن‌ها اسپیرولینا بیشترین کاربرد را در تهیه خوراک آبزیان، به ویژه ماهی‌های گرمسیری دارد، زیرا واجد مقادیر زیاد رنگدانه می‌باشد (Martínez-Francés and Escudero-Oñate, 2018).

مطالعات نشان می‌دهد که ماهی‌های تغذیه شده با اسپیرولینا از چربی شکمی کمتر، عطر و طعم بهتر، گوشتی سفت و روشن‌تر و رشد بهتری برخوردارند. گونه‌های *Spirulina* sp. حاوی فیکوسیانین و یا *Dunaliella* حاوی کاروتنوئید، سبب افزایش رنگ در ماهیان زینتی می‌شود. (Mysliwa-Kurdziel and Solymosi,

[1] Hypocholesterolemic
[2] Varicella Zoster Vvirus
[1] Herpes Virus

2017). استفاده توام از اسپیرولینا و کلرلا در غذای ماهیان، سبب تحریک خون‌سازی و تنظیم اثر هورمون‌ها، تولید سلول‌های سفید خون به دنبال آسیب وارده به سلول‌های بنیادی مغز استخوان می‌شود. کاروتنوئید توسط گونه‌های *Dunaliella* sp. و هماتوکوکوس و لوتئین در گونه‌های *Muriellopsis* sp. تولید می‌شوند و نقش مهمی در رشد لارو ماهی‌ها دارند (Guedes *et al*., 2011).

آستاگزانتین برای رشد و بقاء میگو، ماهی قزل آلا و سالمون در دوره تغذیه ضروری است. رژیم غذایی مکمل حاوی آستاگزانتین، کانتاگزانتین و بتا کاروتن باعث افزایش رنگدانه در میگو پرورشی، ماهی دریای سرخ، ماهی قزل آلا، سالمون، جوجه تیغی دریایی، خرچنگ دریایی و ماهیان زینتی و افزایش سرعت رشد آرتمیا می‌شود. رابطه مستقیم و مثبتی بین میزان بقا و غلظت رنگدانه موجود در بافت میگو وجود دارد که بیانگر نقش حیاتی رنگدانه در افزایش نرخ بقاء میگو است. تغذیه روتیفرها طی یک دوره کوتاه غنی سازی با ریز جلبک *Tetraselmis* sp.، میزان اسید دوکوزاهگزانوئیک (DHA) و اسید icosapentaenoic acid (EPA) را افزایش می‌دهد. سیانوباکتریوم دریایی *Phormidium valderianum* غیر سمی بوده، با موفقیت در تغذیه آبزیان به عنوان خوراک به کار برده می‌شود. گونه‌های *Tetraselmis* sp.، *Pyramimonas* sp و *Micromonas* sp. جهت کشت لارو نرم تنان دوکفه‌ائی به کار برده می‌شوند. به تازگی گونه‌های *Isochrysis galbana* و *Diacronema vlkianum* به عنوان مکمل خوراک، اهمیت زیادی یافته اند، زیرا قادر به تولید و تجمع قطرات اسیدهای چرب غیر اشباع با زنجیره بلند، عمدتا EPA و DHA در درون خود می‌باشند. ۳۰٪ از جلبک‌های تولید شده در سرتاسر جهان در حال حاضر در تغذیه طیور استفاده می‌شود؛ به عنوان مثال محتوای اسید لینولنیک و اسید دوکوزاهگزانوئیک در زرده تخم مرغ تغذیه شده با ریز جلبک‌های کلرلا، افزایش یافت. استفاده از ریز جلبک‌های اسپیرولینا به جای ریز جلبک‌های کلرلا، نیز نتایج مشابهی یافت شد. همچنین طیور تغذیه شده با گونه‌های پورفیریدیوم، زرده تخم مرغ تیره‌تری به دلیل وجود کاروتنوئید و با سطح کلسترول کمتر (۱۰٪) داشتند Liu *et al*., 2021).

معرفی متابولیت‌های ثانویه تولید شده در ریزجلبک‌ها

سیانوباکتری‌ها به دلیل وجود فرآورده‌های جدید طبیعی که از نظر بیوشیمیائی فعال هستند، موجوداتی بسیار مهم شناخته می‌شوند. بیشتر سیانوباکتری‌ها مانند اسپیرولینا، آنابنا، نوستوک واسیلاتوریا، انواع مختلفی از متابولیت‌های ثانویه و ترکیبات فعال زیستی را تولید می‌کنند. وجود آنزیم پپتید سنتتاز در سیانوباکتری‌ها شایع بوده و موجب بیوسنتز برخی ترکیبات فعال مانند میکروسیستین در آن‌ها می‌شود. گونه‌های *Chlorella* spp و *Scenedesmus quadricauda* قادر به تولید پلی ساکاریدهایی هستند که به عنوان عوامل محافظتی در برابر استرس اکسیداتیو عمل می‌کنند (Kultschar and Llewellyn, 2018).

Lyngbya lagerheimii و *Phormidium tenue* از عوامل فعال سولفولیپیدی همراه با اسیدهای چرب مختلف تشکیل شده اند. استر کریپتوفیسین یک محصول طبیعی است که در ابتدا از جلبک‌های سبز آبی *Nostoc* sp. جدا شده است و از فعالیت ضد توموری بسیار بالا تحت شرایط داخل و خارج آزمایشگاه برخوردار است (Guedes *et al*., 2011). همچنین در مایع رویی کشت کلرلا ولگاریس، نوعی گلیکوپروتئین یافت شده است که فعالیت محافظتی در برابر متاستاز تومور و سرکوب سیستم ایمنی ناشی از شیمی درمانی در موش‌ها دارد. چندین پپتید حلقوی یا خطی و دپسی پپتید از سیانوباکتری‌ها به دست آمده که خاصیت مهار پروتئاز را دارند که در درمان بیماری‌هایی مانند سکته مغزی و انسداد عروق کرونر استفاده می‌شود. (Liu *et al*., 2014). به عنوان مثال، آروژینوزین‌های جدا شده از *Microcystis* دارای خواص بازدارندگی در برابر آنزیمهای ترومبین، پلاسمین و تریپسین می‌باشند. سایر دپسی پپتیدها مانند میکروپپتین، میکروسیستیلید، سیانوپپتولین، اوسیلاپپتین و نوستوسیکلین، مهارکننده‌های آنزیم‌هایی مانند تریپسین، پلاسمین، ترومبین و کیموتریپسین می‌باشند (Encarnacao *et al*., 2015).

فیکوبیلی پروتئین‌ها

فیکوبیلی پروتئین ها، گروهی از پروتئین‌های رنگی با گروه‌های خطی تتراپیرولی هستند. معمولاً، فیکوبیلی

پروتئین‌ها به سه گروه فیکواریترین، فیکوسیانین و آلوفیکوسیانین تقسیم می‌شوند. C-Phycocyanin توسط *Spirulina* sp. تولید می‌شود که رنگدانه حساس (نور، pH، دما و اکسیژن) است Mysliwa-Kurdziel and (Solymosi, 2017). بنابراین، استراتژی‌هایی لازم است تا کاربردهای صنعتی C-Phycocyanin عملی شود. نویسندگان نتیجه گرفتند که غلظت بالای قندها ثبات C-Phycocyanin را افزایش می‌دهد، که منجر به استفاده از آن به عنوان شیرینی و شیرینی می‌شود. عمده ترین کاربردهای فیکوبیلی پروتئین‌ها عبارتند از: آنتی اکسیدان، ضد التهاب، ضد تومور، تعدیل سیستم ایمنی، مهار رادیکال، ضد ویروس و ضد قارچ (Guerreiro *et al*., 2020، c, d Nowruzi, 2020).

از فیکوبیلی پروتئین‌ها می‌توان در تولید محصولات شیر تخمیر شده، بستنی، نوشابه، تزیین کیک شیرین، شیک شیر و غیره استفاده کرد De Amarante *et al*., (2020). شرایط مطلوب تولید فیکوبیلی پروتئین‌ها، بستگی به شرایط تنش محیطی، به ویژه نور دارد. منابع نور، کربن و نیتروژن باعث تحریک سنتز فیکوبیلی پروتئین‌ها می‌شود. در مقایسه با کاروتنوئیدها، بیوسنتز فیکوبیلی پروتئین ها، به دلیل رونویسی، مسیرهای ترجمه و پس از ترجمه و سنتز اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و فیکوبیلین‌ها، پیچیده‌تر است (Eriksen., 2008).

کاروتنوئیدها

کاروتنوئیدها در دو گروه کاروتن‌ها و گزانتوفیل‌ها (مشتقات اکسیژنه کاروتن‌ها) طبقه‌بندی می‌شوند. علاوه بر این، کاروتنوئیدها عمدتا توسط صنایع غذایی به عنوان مکمل‌های غذایی، غذاهای غنی شده و رنگ‌های غذایی و خوراک دام استفاده می‌شود. کاروتنوئیدها، رنگدانه‌های چربی دوست با ساختار ایزوپروئید تولید شده در ریز جلبک‌ها می‌باشند. بیشتر کاروتنوئیدها دارای ارزش درمانی، از جمله فعالیت ضد التهابی و ضد سرطانی هستند که این امر ناشی از اثر آنتی اکسیدانی قوی آن‌ها می‌باشد که سبب حافظت موجودات زنده در برابر استرس اکسیداتیو می‌شود (Guerreiro *et al*., 2020). ارزش بازار کاروتنوئیدها در سال ۲۰۱۰، تقریباً ۱/۲ میلیارد دلار بود. کاروتنوئیدها توسط سنتز شیمیایی تولید می‌شوند. کاروتنوئیدهای تولید شده در جلبک‌ها بعنوان رنگ دانه‌های جانبی در فتوسنتز عمل می‌کنند (Guedes *et al*., 2011).

کاروتنوئیدها، ترکیبات آبگریز هستند که دارای رنگ نارنجی، قرمز و زرد هستند. معمولاً دارای ساختار ستون ۴۰ کربنه از واحدهای ایزوپرن تشکیل شدند. در حال حاضر، عمده کاروتنوئیدهای تولید شده در مقیاس صنعتی β-کاروتن، آستاگزانتین، لوتئین، لیکوپن و کانتاگزانتین هستند. ترکیباتی که فقط از هیدروکربن‌ها تشکیل شده باشند، کاروتن هستند و ترکیبات حاوی دارای گروه‌های هیدروکسیل یا اپوکسی را گزانتوفیل می‌نامند. بیش از ۴۰۰ کاروتنوئید در موجودات زنده شناسایی شده است و در بین آنها، بتاکاروتن و آستاگزانتین به‌طور گسترده‌ای و اما لوتئین، زآگزانتین و لیکوپن به مقدار کمتری کاربرد تجاری یافته‌اند (Eriksen., 2008).

بتاکاروتن

بتا کاروتن، یکی از مهمترین کاروتنوئیدها می‌باشد که فرم فعال آن پرویتامین A، به عنوان ماده افزودنی به داروهای مولتی ویتامین و محصولات غذایی سالم طبیعی اضافه می‌گردد. شکل طبیعی این رنگدانه اثر قوی‌تری داشته و راحت تر از فرم مصنوعی توسط بدن جذب می‌شود. بتا کارتن در صنایع غذائی، داروئی و آرایشی کاربرد زیادی دارد (Nowruzi *et al*., 2020a). افزایش تقاضا برای کاروتنوئیدهای طبیعی منجر به افزایش تمایل جهت استخراج بتا کاروتن از منابع طبیعی مختلف شده است. ریز جلبک سبز *Dunaliella bardawil*، هالوفیلیک و دارای دو فلاژل می‌باشد. میزان تولید بتا کاروتن در آن‌ها بالا و غلظت ۱۰-۱۴٪ از وزن خشک جلبک را شامل می‌شود. شدت نور، شوری زیاد و دمای شدید، نقش مهمی را در افزایش تولید بتاکاروتن در این جلبک دارد. برای تولید تجاری ایزومرهای سیس و ترانس بتاکاروتن باید شرایط محیطی و محیط کشت مناسب باشد. این ایزومرها، نقش مهمی در جذب رادیکال‌های اکسیژن آزاد و حافظت از سلول در برابر آسیب اکسیداتیو دارد. شکل ترانس بتا کاروتن دو برابر فرم سیس فعال است و بسیاری از صنایع در استرالیا، ایالات متحده آمریکا و چین در حال تولید این متابولیت هستند. در میان این کشورها، مقدار زیادی بتاکاروتن در استرالیا تولید می‌شود. (Mysliwa-Kurdziel

and Solymosi, 2017). بتا کاروتن تولید شده در جلبک از ایجاد تصلب شرایین در موش و انسان محافظت به عمل می‌آورد. تجویز *Dunaliella bardawil* غنی از کاروتن مانع اکسیداسیون لیپوپروتئین با چگالی کم (LDL) می‌شود و روی سطح مقدار تری گلیسیریدهای پلاسما، کلسترول و سطح لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا (HDL) اثر می‌گذارد. محققان نشان دادند که مکمل بتا کارتن تولید شده در *Dunaliella bardawil* مانع اکسیداسیون LDL در بیماران دیابتی و به تأخیر انداختن آرترواسکلروزیز می‌شود. بسیاری از مطالعات اپیدمیولوژیک نشان می‌دهد انسانهایی که از رژیم غذایی غنی از بتاکاروتن استفاده می‌کنند، متوسط سطح سرمی آن‌ها حفظ و احتمال وقوع چندین نوع سرطان در آن‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر بتا کاروتن، سایر کاروتنوئیدهای موجود در *Dunaliella*، مانند فیتوئن و فیتوفلن، نیز برای سلامتی مفید بوده و فرد را در برابر آسیب‌های ناشی از UV و اکسیداتیو، که منجر به پیری زودرس و سایر اختلالات می‌شود، محافظت می‌کند. این جلبک یک آنتی اکسیدان قوی برای از بین بردن اکسی رادیکال‌های مضر دارد که معمولاً موجب القاء سرطان‌های خاصی می‌شود (Guerreiro *et al*., 2020). مصرف خوراکی بتا کاروتن تولید شده در *Dunaliella* sp. مانع ایجاد اریتما ناشی از UV در انسان می‌شود (De Amarante *et al*., 2020).

آستاگزانتین

دومین کاروتنوئید مهم سنتزشده در ریز جلبک ها، آستاگزانتین می‌باشد که یک رنگدانه کتو کاروتنوئید در جلبک سبز آب شیرین *Haematococcus pluvialis* (*H. pluvialis*) می‌باشد. این جلبک معمولاً در دو مرحله کشت می‌شود. در مرحله اول که مرحله تولید "سبز" نامیده می‌شود. فرم متحرک زیست توده جلبک ایجاد می‌شود و در مرحله دوم، آستاگزانتین تولید و در آپلانوسپورها تجمع می‌یابد. این رنگدانه در شرایط استرس زای محیط تولید می‌شود و جلبک دیواره نازک و تاژک خود را از دست می‌دهد و وارد فاز دوم یعنی استراحت می‌شود، در آن هنگام واجد دیواره ضخیم به دلیل تجمع آستاگزانتین (۵-۴٪) می‌شود. آستاگزانتین در آبزی پروری، صنایع غذایی و خوراکی به عنوان منبع رنگدانه استفاده می‌شود. میزان مصرف سالیانه جهانی آستاگزانتین، در صنایع آبزی پروری ۲۰۰ میلیون دلار آمریکا و متوسط قیمت در هر کیلوگرم ۲۵۰۰ دلار آمریکا می‌باشد. در بازار، آستاگزانتین به صورت یک کپسول هماتوکوکوس غنی از آستاگزانتین به عنوان مکمل غذایی برای مصرف در انسان عرضه می‌شود. این محصول دارای فعالیت آنتی اکسیدانی قوی ۱۰۰ برابر آلفا توکوفرول می‌باشد (Eriksen., 2008; Guerreiro *et al*., 2020).

میکرو جلبک دیگری که برای تولید آستاگزانتین استفاده می‌شود کلرلا است. البته میزان تولید آن کمتر از *H. pluvialis* می‌باشد. زمانی که این ریز جلبک در محدودیت‌های ازت و تنش نوری قرار می‌گیرد، میزان تولید آستاگزانتین درآن افزایش می‌یابد. تحت شرایط استرس زا در کلرلا، رادیکال‌های هیدروکسیل ایجاد می‌شود که منجر به افزایش تولید آستاگزانتین می‌شود. نقش اصلی آستاگزانتین، ایجاد محافظت از جلبک در برابر UV و اکسیداسیون نوری به دلیل مهار رادیکال‌های آزاد است. نقش محافظتی این رنگدانه در ممانعت از بروز بیماری‌هایی مانند سرطان، بیماری‌های التهابی، دیابت و بیماری‌های تخریب کننده اعصاب و چشم می‌باشد. طی چندین مطالعه به وضوح نشان داده شده است که آستاگزانتین بر سلولهای سرطانی موش و رت تأثیر دارد. به عنوان مثال، آستاگزانتین بر سرطان روده بزرگ در موش‌های صحرایی نر اثر دارد و سبب افزایش ایمونوگلوبولین در شرایط آزمایشگاهی در سلول‌های طحال موش تحریک شده با گلبول‌های قرمز خون گوسفند به کمک سلول‌های T، به ویژه سلولهای T-helper می‌شود (Encarnacao *et al*., 2015). مطالعات انجام شده بر روی سلول‌های خونی انسان در شرایط آزمایشگاهی نیز بیانگر افزایش تولید ایمونوگلوبولین توسط آستاگزانتین در پاسخ به محرک‌های وابسته به سلول‌های T می‌باشد. محققان نشان دادند که آستاگزانتین در بهبود آسیب شبکیه چشم و محافظت از گیرنده‌های نوری در برابر تخریب در موش صحرایی موثر می‌باشد. آستاگزانتین به راحتی از سد خونی مغزی عبور می‌کند و هیچ کریستالی در چشم ایجاد نمی کند. اثرحافظتی آستاگزانتین ناشی از توانائی آن درجلوگیری از ایجاد آسیب اکسیداتیو و نکروز سلولی یا آپوپتوز ناشی از استرس اکسیداتیو می‌باشد. مثلاً تجویز آستاگزانتین درموش‌های مبتلا به دیابت ناشی از

آلوکسان، منجر به معکوس شدن روند استرس اکسیداتیو در نوتروفیل‌ها گردد. مصرف آستاگزانتین، اثر محافظتی در برابر زخم‌های معده ناشی از اتانول و هلیکوباکتر پیلوری دارد و بر روی سطح کلسترول خون و بهبود بیماری‌های قلبی مفید باشد ومانع از چاقی در انسان می‌شود (Guedes *et al*., 2011).

کانتاگزانتین

کانتاگزانتین نوعی کاروتنوئید است که به عنوان رنگ خوراکی استفاده می‌شود و هنگامی که در مکمل‌های غذایی به مرغ داده می‌شود، رنگ زرده تخم مرغ و پوست حیوان، زرد تر دیده می‌شود که ناشی از افزایش مقدار ویتامین E در کبد حیوان می‌باشد. کاروتینوئید دارای اثرات آنتی اکسیدانی، ضد التهابی و اثرات محافظتی ازسیستم عصبی می‌باشد. تولید این رنگدانه زمانی که ریز جلبک در تنش شوری و شرایط فقر ازت قرار می‌گیرند، افزایش می‌یابد (Mysliwa-Kurdziel and Solymosi, 2017).

لوتئین

لوتئین یکی از مهمترین کاروتنوئیدهای موجود در مواد غذائی و سرم انسانی و از اجزاءاساسی رنگدانه موجود در شبکیه و عدسی چشم می‌باشد. لوتئین به عنوان ماده رنگی در محصولات آرایشی و غذایی استفاده می‌شود و مسئول رنگدانه سازی در ماهی و طیور است، (Nowruzi *et al*., 2020a). بنابراین، به عنوان افزودنی خوراک فروخته می‌شود. مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داد که لوتئین در حال حاضر یک ماده موثر برای جلوگیری طیف گسترده‌ای از بیماری‌های انسانی است. Mysliwa-Kurdziel و Solymosi در گونه‌های *Muriellopsis* sp. و *Scenedesmus almeriensis* مقدار زیادی لوتئین جمع می‌شود و مناسب بودن دما باعث تجمع بیشتر این ماده در جلبک می‌شود. با این حال سرعت مقدار تولید لوتئین در *Chlamydomonas zofingiensis* بسته به pH متفاوت است. تولید تجاری لوتئین از ریز جلبک‌ها هنوز آغاز نشده است، اگرچه مقدمات کشت در فضای باز برای *Muriellopsis* sp. و *Scenedesmus* برای تولید لوتئین در مقیاس آزمایشی قبلاً برنامه‌ریزی شده است (Mysliwa-Kurdziel and Solymosi, 2017).

اسیدهای چرب

ریزجلبک‌ها مسئول تولید اسیدهای چربی ضروری هستند. انسان‌ها و حیوانات فاقد آنزیم‌های لازم جهت سنتز اسیدهای چرب غیر اشباع با بیش از ۱۸ اتم کربن هستند، لذا نیاز به دریافت آن‌ها از غذاهای خود دارند. در حال حاضر، ماهی و روغن ماهی منبع معمول جهت تهیه اسیدهای چرب می‌باشد که به عنوان یک ماده افزودنی به غذا به کار گرفته می‌شود. اما استفاده از آن‌ها به دلیل احتمال آلودگی به توکسین‌های تجمع یافته در ماهی و داشتن بوی و طعم نامطبوع ماهی، پایداری ضعیفی در برابر مواد اکسیداتیو دارد (He *et al*., 2016). بیشترین غلظت اسیدهای چرب در ماهی ممکن است ناشی از مصرف ریز جلبک‌ها باشد زیرا ریزجلبک‌ها منبع بالقوه‌ای از اسیدهای چرب ضروری برای بدن هستند که نقش مهمی در متابولیسم سلولی و بافتی از جمله تنظیم سیالیت غشا، انتقال الکترون و نیز سازگاری حرارتی دارند (Nicoletti., 2016).

اسیدهای چرب غیر اشباع با کاهش سطح چربی خون مانند کلسترول و تری گلیسیرید، هایپرلیپیدمیا[1] را تحت تأثیر قرار می‌دهند و در نتیجه خطر ابتلاء به بیماری‌های قلبی و تصلب شرایین را کاهش می‌دهد. در میان همه اسیدهای چرب، به EPA و DHA توجه خاصی معطوف می‌شود و از ارزش تغذیه بالایی برخوردار هستند. DHA، یک اسید چرب ساختاری مهم برای عملکرد صحیح مغز و چشم و رشد در نوزادان به شمار می‌رود و موجب حمایت از بیماری‌های قلبی عروقی در بزرگسالان می‌شود (Martínez-Francés and Escudero-Oñate, 2018).

این اسید چرب در غذاهای کمی مانند ماهی‌های چرب، گوشت طبیعی و شیر مادر وجود دارد، اما در شیر گاو موجود نیست. گاما لینولنیک اسید (GLA)، اسید چرب دیگری است که ماده اولیه مهم جهت سنتز پروستاگلاندین‌ها به شمار می‌رود. آزمایشات بالینی نشان داده‌اند که GLA در درمان بیماری‌هایی مانند آرتروز، بیماری‌های قلبی، چاقی،

[1] Hyperlipidemia

الکل، افسردگی، اسکیزوفرنی، بیماری‌های پارکینسون، مولتیپل اسکلروزیس، کمبود روی و برخی دیگر علائم در جمعیت سالخورده نقش عمده‌ای دارد. از این نظر DHA، EPA و GLA در سلامت آدمی نقش بسیار موثری را ایفا می‌کند. ریز جلبک‌های *Crypthecodinium*، *Schizochytrium*، *Thraustochytrids* و *Ulkenia* در تولید اسیدهای چرب استفاده می‌شود. DHA در روغن *Crypthecodinium cohnii* به مقدار زیادی وجود دارد و حاوی ۴۰- ۵۰ درصد DHA و فاقد EPA یا سایر اسیدهای چرب دارای زنجیرهای طولانی است (Nicoletti., 2016).

در سویه‌های *Schizochytrium* هر دو DHA و EPA تولید می‌شوند که در حال حاضر به عنوان مکمل غذایی در نوشیدنی و غذا جهت بزرگسالان، خوراک دام و محصولات کشاورزی، از جمله پنیرها، ماست‌ها و سس‌ها و غلات صبحانه به کار برده می‌شود (Nicoletti., 2016). از این سیدهای چرب ضروری مهم به عنوان مکمل‌های غذایی در زنان باردار و پرستاران و بیماران قلبی و عروقی استفاده می‌شود. EPA در مقادیر زیاد در جلبک‌های سبز دریایی *Chlorella minutissima*، تولید می‌شود و با کاهش دما و افزایش شوری می‌توان تولید این اسید چرب را افزایش داد. در ریز جلبک‌های دریایی گونه‌ی *Nannochloropsis* sp.و سایر اشکال جلبک، از جمله *Aurora* sp. و *Nitzschia*، روغن غنی از EPA تولید می‌شود. محتوای چربی تام و اسیدهای آمینه در جلبک‌های سبز *Parietochloris incisa* بسیار زیاد است. گونه *S. plantensis* بهترین گونه جهت تولید کلینولنیک اسید می‌باشد. ترکیب اسیدهای چرب در چندین سویه سیانوباکتریایی از زنجیره‌های ۱۶ و ۱۸ کربنی تشکیل شده است. اسیدهای چرب، مهم‌ترین مواد تشکیل دهنده مواد غذایی به شمار می‌روند. در سویه‌های اسپیرولینا و Nostoc، GLA به مقدار زیاد تولید نمی‌شود (Liu *et al.*, 2021).

ریز جلبک‌ها تقریباً از ۳۰٪ لیپید تشکیل شده‌اند که به عنوان مکمل غذایی توسط انسان بسیار جالب توجه هستند. از این لحاظ، ریز جلبک‌ها منبع اسیدهای چرب اشباع نشده با زنجیره بلند به ویژه از خانواده امگا۶ (ω6) مانند اسید (GLA) و γ–linoleni و اسید آراشیدونیک (AA) و خانواده امگا ۳ مانند اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA) و اسید دوکوزا هگزانوئیک (DHA) هستند. خانواده‌های امگا ۳ و ۶ اسیدهای چرب ضروری هستند، آن‌ها نمی‌توانند توسط انسان سنتز شوند. بنابراین، خانواده‌های امگا ۳ و ۶ رابطه نزدیکی با حفظ سلامتی و پیشگیری از بیماری دارند. گرچه ارگانیسم انسان قادر به تولید اسیدهای چرب زنجیره‌ای بسیار طویل از اسیدهای لینولئیک (AL) و آلفا لینولنیک (AAL) است، اما عوامل مختلفی بر سنتز آن تأثیر می‌گذارد، که باعث می‌شود مصرف این اسیدهای چرب برای حفظ سلامت بدن ضروری باشد (Nicoletti, 2016).

اسید آراشیدونیک در غشای سلول‌های بدن وجود دارد و یکی از اسیدهای چرب ضروری است که لازم است از طریق تغذیه توسط اکثر پستانداران به دست آید. در دوران شیردهی، اسید آراشیدونیک را می‌توان در شیر مادر و جفت یافت. این اسید مسئول رشد نوزادان است، برخی مطالعات نشان می‌دهد که مصرف کم اسید آراشیدونیک از رژیم غذایی نوزادان نارس، می‌تواند مشکلات سلامتی این کودکان را ایجاد کند. برای کسانی که ورزش بدنی انجام می‌دهند، اسید آراشیدونیک نیز مهم است، چرا که یکی از کلیدهای رشد عضلات می‌باشد. مطالعات نشان داده است که این اسید سطح عملکرد را افزایش داده است. سطح پایین اسید آراشیدونیک می‌تواند در بیماری‌های عصبی مانند آلزایمر موثر باشد. خستگی، ضعف حافظه، خشکی پوست، بیماری‌های قلبی، رفتار خودکشی (افسردگی) و اسکیزوفرنی می‌تواند به کمبود ω3 مربوط باشد. EPA، عملکرد ضد التهابی در بدن ما دارد، زیرا به عنوان پیش ماده برای پروستاگلاندین-۳، ترومبوکسان-۳ و لکوترین-۵ عمل می‌کند، موادی که با کمک به خنثی کردن فعالیت التهابی، سیستم دفاعی را بالا می‌برند (Nicoletti, 2016).

یکی از مهمترین مزایای EPA، کمک به سلامت قلب و گردش خون، جلوگیری از تشکیل لخته در خون و کاهش خطرات ترومبوز و حوادث عروقی مغزی (سکته) است. افرادی که بیماری‌های التهابی مانند لوپوس و آرتریت روماتوئید دارند، ممکن است از استفاده EPA بیشتر سود ببرند. DHA برای رشد جنین ضروری است و به تشکیل شبکیه کمک می‌کند، علاوه بر این، DHA دارای عملکرد آنتی اکسیدانی است و مفیدترین اسیدچرب برای سلامت

مغز، از آنجایی که باعث شناخت و ارتباط بین سلول‌های عصبی می‌شود، باعث ایجاد حافظه، توجه، استدلال، تخیل، قضاوت و جنبه‌های مختلف مرتبط با ذهن ما می‌شود (Guerreiro *et al*., 2020). در یک مطالعه، DHA به مدت شش ماه برای گروهی از افراد فراهم شد، نتایج نشان داد که حافظه بزرگسالان سالم ۵۵ سال به بالا افزایش یافت. علاوه بر این، تحقیقاتی وجود دارد که DHA، منجر به افزایش تولید مواد ضد التهابی و محافظت در برابر نورونها می‌شود و از ایجاد مواد مضر در مغز جلوگیری می‌کند، که خطر ابتلا به بیماری‌های نورودژنراتیو مانند آلزایمر و پارکینسون را کاهش می‌دهد (Martínez-Francés and Escudero-Oñate, 2018).

ترکیبات فرار (VOCs)

در سال‌های اخیر، علاقه به ترکیبات فرار ریز جلبک (VOCs)، عمدتا به دلیل ویژگی‌های متنوع ساختاری و فعالیت‌های بیولوژیکی جالب VOCها افزایش یافته است با این حال، VOCها می‌توانند بوی آلوده، ماهی و لجن مانند ایجاد کنند و سموم مضر تولید کنند، که به ویژه در کیفیت آب بسیار مهم است. از دیگر علایق مربوط به VOCها توجه به دلیل فعالیت‌های بیولوژیکی آن‌ها بوده است که به عنوان کربونیل ها، آلکن ها، الکل‌های آلیفاتیک اشباع و اشباع نشده، آلدئیدها، کتون‌ها، استرها، تی استرها، ترشحات سولفات و اسیدهای چرب شناخته شده‌اند. VOC ها، فعالیت ضد باکتریایی، ضد قارچی، ضد ویروسی و ضد سرطانی دارند. اخیراً، مواد شیمیایی VOCها (سویه‌های اسپیرولینا) بررسی شد، نتایج نشان داد که آن‌ها به طور عمده (۹۳,۱۹٪) هیدروکربن (آلکان‌ها و آلکن‌ها با طول متوسط) و در مقادیر کم، ترکیبات معطر دارند. یکی از مهمترین خواص حسی غذا، عطر و طعم آن است. ریز جلبک‌های کلرلا و اسپیرولینا به دلیل ترکیب غنی از VOCها که فعالیت‌های بیولوژیکی (VOC) دارند، پتانسیل زیادی برای استفاده در غذا نشان داده‌اند (Nicoletti, 2016).

استرول‌ها

استرول‌ها، به عنوان الکل‌های استروئیدی شناخته می‌شوند و یک زیر گروه از استروئیدها را شامل می‌شوند و کلاس مهمی از مولکول‌های آلی را تشکیل می‌دهند. ریز جلبک‌ها، طیف وسیعی از فیتواسترول‌ها، از جمله براسیکاسترول ،سیتوسترول و استیگماسترول را تولید می‌کنند. از فیتواسترول‌ها در داروسازی و یا تهیه غذاهای کاربردی استفاده می‌شود (Nowruzi *et al*., 2018; Panjiar *et al*., 2017). استرول‌ها، لیپیدهایی هستند که در ساختارهای شیمیایی خود دارای یک حلقه هستند. استرول‌ها، نقشی اساسی در یکپارچگی غشای ریز جلبک‌ها دارند. طی سال‌های گذشته، توجه خاصی به استرول‌های ریز جلبکی به دلیل مزایای تولید و اهمیت تغذیه‌ای و دارویی آن‌ها شده است. (Nowruzi *et al*., 2018). ترکیب استرول‌های ریز جلبک‌های قرمز و قهوه‌ای کاملاً قابل پیش بینی است، اما ترکیب استرول جلبک‌های سبز غیرقابل پیش بینی است. ریز جلبک‌های سبز کلرلا نشان داده شده است که انواع استرول‌ها را بیوسنتز می‌کند. ترکیب استرول‌های *Chlorella pringsheimii* و *Chlorella fusca* مورد بررسی قرار گرفت. ترکیباتی مانند برزیکاسترول، ارگوستنول، پوریفرسترول و کلیوناسترول و ارگوسترنول و کندریلاسترول در کلرلا یافت گردید. در میان استرول ها، فیتواسترول که از نظر ساختاری مشابه کلسترول است، یکی از امیدوار کننده ترین استرول‌ها است. این ماده می‌تواند در رژیم‌های غذایی سالم، به ویژه رژیم‌هایی که هدف آن‌ها کاهش عروق کرونر قلب است، مورد استفاده قرار گیرد. فعالیت زیستی فیتواسترول مشتق شده از ریز جلبک‌ها و کاربرد بالقوه آن‌ها در صنایع غذایی و دارویی کاربردی، مانند تعدیل کننده سیستم ایمنی، ضد التهاب، ضدکلسترول، آنتی اکسیدان، ضد سرطان و ضد دیابت شرح داده شده است (Guerreiro *et al*., 2020; Panjiar *et al*., 2017). ارگوسترول و ۷-دهیدروپوریفراسترول، استرول‌های اصلی موجود در ریز جلبک‌ها هستند که هر دو ۴۵٪ کل استرول‌ها را تشکیل می‌دهند. از این نظر، برخی از استرول‌های کلرلا ولگاریس مانند ارگوسترول، ۷-دهیدرو پورفراسلول، پراکسید ارگوسترول و ۷- اکسی کلسترول شناسایی شد، که در آن همه آن‌ها فعالیت‌های ضد التهابی و ضد سرطانی موثر به اثبات رسیده است (Martínez-Francés and Escudero-Oñate, 2018).

ترکیبات ایزوتوپی پایدار

ریز جلبک‌ها یکی از منابع مناسب جهت تهیه ایزوتوپ‌های نشاندار هستند. می‌توان با قرار دادن ریز جلبک‌ها در محیط حاوی رادیو ایزوتپ‌های مختلف، به متابولی‌های نشاندار دارای ارزش بالا دست یافت و در نهایت با استخراج آن‌ها از ریز جلبک‌ها برای روشن ساختن ساختار مولکولی و تحقیقاتی آزمایش‌های تشخیصی دستگاه گوارش یا تنفسی استفاده نمود. این ایزوتوپ‌های پایدار از نظر بیوشیمیایی دارای برچسب ایزوتوپ پایدار هستند و ارزش سالیانه آن‌ها بیش از ۱۳ میلیون دلار آمریکا می‌باشد (Prasanna *et al*., 2010).

پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه و پپتیدها

پروتئین‌های ریزجلبک‌ها، منبع اسیدهای آمینه ضروری برای بدن هستند. ریز جلبک‌هایی مانند .*Chlorella* sp و .*Spirulina* sp حاوی محتوای پروتئین بالا (بیش از ۵۰٪ وزن خشک) است. از این لحاظ، ریز جلبک‌ها در مقایسه با گیاهان معمولی، به ویژه سویا، از نظر کیفیت غذایی بالاتر هستند. ریز جلبک‌ها همچنین دارای ترکیبات مغذی دیگری مانند کربوهیدرات ها، لیپیدها، ویتامین ها، پلی‌ساکاریدها، رنگدانه‌ها، مواد معدنی هستند و بنابراین اغلب از آن‌ها به عنوان غذاهای کاربردی، مواد مغذی و مکمل‌های غذایی استفاده می‌شود (Panjiar *et al*., 2017). فیکوبیلی پروتئین‌های حاصل از .*Spirulina* sp به دلیل محافظ کبدی، تعدیل کننده سیستم ایمنی، ضد سرطان و آنتی اکسیدان شناخته شده است. علاوه بر این، فیکوبیلی پروتئین ها، می‌توانند برای تهیه انواع آنتی بادی‌ها و سایر مولکول‌های بیولوژیکی استفاده شود. در واقع پروتئین‌های ریز جلبک ها، تاثیر قابل توجهی را در کاهش فشار خون، کاهش سطح کلسترول و گلیسمی، تسریع در ترمیم زخم و بهبود عملکردهای ایمنی نشان داده‌اند (Guerreiro *et al*., 2020).

گروه قابل توجهی از محصولات طبیعی دریایی، مایکوسپورین‌های شبیه اسیدهای آمینه (MAAs) را تولید می‌کنند. MAA گروهی از مولکول‌های متشکل از یک اسید آمینه متصل به یک کروموفور با قابلیت جذب طول موج‌های کم نور هستند. این مولکول‌ها از وزن مولکولی کم (<۴۰۰ کیلو دالتون) برخوردار بوده و در آب محلول می‌باشند و از یک حلقه آمینوسیکلوهگزنون یا یک آمینوسیکلوهگزنیمین، حاوی ازت یا الکل آمینه تشکیل شده اند. MAA در ریز جلبک‌های سبز سبب حفاظت در برابر اشعه ماورا بنفش می‌شود و در مقادیر قابل توجهی در ریز جلبک *Chlamydomonas nivalis* و سایر گونه‌های جلبک‌های سبز با تابش اشعه ماورا بنفش به محیط کشت آنها، تولید می‌شود. در واقع MAA نقش حفاظتی در برابر آسیب‌های ناشی از UV دارد و این خود منجر به تولید محصولات تجاری در جهت مراقبت از پوست در برابر اشعه ماورا می‌گردد (Guedes *et al*., 2011).

کشت میکرو جلبک‌ها در مقیاس بزرگ از دهه ۱۹۶۰ در ژاپن آغاز شد که در آن از ریز جلبک‌های کلرلا به عنوان یک افزودنی غذایی استفاده می‌شد. در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، تولید صنعتی جلبک‌های کوچک به ایالات متحده آمریکا، چین، تایوان، استرالیا، هند، اسرائیل و آلمان گسترش یافت. در سال‌های اخیر، تولید ریز جلبک‌های اسپیرولینا و کلرلا افزایش یافته است و در حال حاضر توسط اکثر کشورها انجام می‌شود. تولید سالانه حدود ۷۵۰۰ تن زیست توده خشک است که به ترتیب ۵۰۰۰ و ۲۵۰۰ تن در ریز جلبک اسپیرولینا و کلرلا است. اسیدهای آمینه ضروری یافت شده در ریزجلبک ها، شامل لیزین، لوسین، ایزولوسین، تیروزین، تریپتوفان و والین هستند که استفاده از آن‌ها را برای استفاده به عنوان مکمل یا مواد مغذی بسیار مناسب می‌کند. پپتیدهای جدا شده از گونه *Chlorella vulgaris* به عنوان یک عامل اصلی در محافظت از DNA در برابر آسیب اکسیداتیو سلول توصیف شده است که موجب پیشگیری از بیماری هایی مانند تصلب شرایین، سرطان و بیماری‌های کرونر می‌شود. از این نظر، پروتئین ها، آمینو اسیدها و پپتیدهای حاصل از ریز جلبک ها، در مقایسه با منابع سنتی پروتئین ها، اسیدهای آمینه و پپتیدها، که می‌توانند برای نیازهای غذایی انسان استفاده شوند، یک گزینه بسیار جالب به نظر می‌رسد (Prasanna *et al*., 2010).

ویتامین ها

ویتامین‌های حاصل از ریز جلبک‌های کلرلا و اسپیرولینا، در متابولیسم‌های حیوانی و انسانی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند، ویتامین هایی که معمولاً توسط ریز

جلبک‌ها تولید می‌شوند عبارتند از: ویتامین A (به شکل بتاکاروتن)، ویتامین C، ویتامین E و ویتامین B از جمله تیامین (B1)، ریبوفلاوین (B2)، نیاسین (B3)، اسید پانتوتنیک (B5)، پیریدوکسین (B6)، اسید فولیک (B9) و کوبالامین .(B12) این ویتامین‌ها برای تغذیه بدن و سم‌زدایی استفاده می‌شود و عملکرد روده را بهبود بخشیده و همچنین سیستم ایمنی بدن را تحریک کرده و سلول‌ها را بازسازی می‌کنند (Prasanna *et al*., 2010).

ریز جلبک‌های اسپیرولینا در مقایسه با ریز جلبک‌های کلرلا، منابع غنی‌تری از ویتامین E، ویتامین B1 و ویتامین B7 هستند. ویتامین E از لیپیدهای غشایی در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند و همچنین از بیماری‌هایی مانند کرونر، تصلب شرایین و مولتیپل اسکلروزیس جلوگیری می‌کند، بیوتین (ویتامین B7) نیز باعث حفظ مو و ناخن‌ها و سلامت پوست می‌شود. از آلفا و بتا توکوفرول (ویتامین E) و فنل‌های محلول در چربی در درمان سرطان، بیماری‌های قلبی، بیماری‌های چشمی، بیماری آلزایمر، پارکینسون و سایر بیماری‌ها استفاده می‌شود. ویتامین E برداشت شده به عنوان یک ماده افزودنی نگهدارنده و بهبود دهنده سلامت و به منظور محافظت از پوست در برابر نور در کرم‌های پوستی و صنایع غذائی استفاده می‌شود. به عنوان مثال ریزجلبک‌های *D. tertiolecta* و *Tetraselmis suecica* را تحت شرایط محرومیت ازت کشت دادند تا میزان تولید ویتامین E در آن‌ها افزایش یابد. جلبک *Euglena gracilis*، که قادر به تولید غلظت بالای توکوفرول (۷/۳ ± ۳/۷ میلی گرم در گرم) است. کوبالامین (ویتامین B_{12}) ویتامین محلول در آب است که توسط برخی از ریز جلبک‌ها مانند اسپیرولینا تولید می‌شود. میزان تولید B_{12} در این ریز جلبک نسبت به مقدار موجود در غذاهای گیاهی یا حیوانی بیشتر است. برخی از ریز جلبک‌ها قادر به جمع آوری اسید اسکوربیک (ویتامین C)، ویتامین محلول در آب دارای خواص آنتی اکسیدانی در خود می‌باشند (Guerreiro *et al*., 2020).

این ویتامین برای کلاژن، کارنیتین و سنتز انتقال دهنده عصبی ضروری بوده، به عنوان افزودنی غذایی استفاده می‌شود ودرپیشگیری ازبروزسرطان و تصلب شرایین نقش مهمی داشته و به عنوان یک تنظیم کننده سیستم ایمنی عمل می‌کند. گونه‌های *Chlorella* sp. و *Dunaliella* sp. قادر به تولید مقادیر زیادی از ویتامین C هستند. هیدروکسیتولوئن بوتیله (BHT) نوعی آنتی‌اکسیدان لیپوفیلیک در ریزجلبک *B. braunii* است که به مقدار زیادی تجمع می‌گردد و به عنوان غذا، افزودنی یا به عنوان منبع آنتی اکسیدان در سایر محصولات به کار برده می‌شود. گونه *Dunaliella* sp. قادر به تولید مقادیر بالای گلوتاتیون است که یک ترکیب گوگردی غیر پروتئین می‌باشد و دارای خاصیت آنتی اکسیدانی بوده و باعث از بین رفتن ROS و مانع از رسیدن آسیب به سلول در اثر بیماری‌های مختلف می‌شود و در صنایع داروئی و غذائی و آرایشی و بهداشتی کاربرد زیادی دارد (Guerreiro *et al*., 2020; Nowruzi *et al*., 2020a).

ویتامین A فراوان ترین ویتامین تولید شده توسط ریز جلبک‌ها است. ویتامین A در عملکرد سیستم ایمنی، بینایی، تولید مثل و ارتباطات سلولی نقش دارد. نیاسین (ویتامین B3) نیز توسط ریز جلبک‌ها بیو سنتز می‌شود. ویتامین B3 برای متابولیسم چربی‌ها، سنتز کلسترول، سنتز DNA، تنظیم گلوکز (قند خون)، کاهش کلسترول و بیماری‌های قلبی عروقی مهم است. ویتامین B_{12} (سیانوکوبالامین) در ریز جلبک‌ها با غلظت کم وجود دارد. کمبود ویتامین B12 به دلیل اهمیت آن برای عملکرد عصبی و همچنین برای تشکیل مناسب گلبول‌های قرمز و سنتز DNA، می‌تواند باعث مشکلات عصبی و روانی شود.

ریز جلبک‌های کلرلا و اسپیرولینا دارای غلظت جالب توجهی از اسید فولیک (ویتامین B9) هستند که برای تشکیل سلول‌ها و حفظ متابولیسم، حفظ پوست و غشاهای مخاطی و رشد طبیعی استخوان‌ها و دندان‌ها ضروری است. مصرف مقادیر کمی از ریزجلبک‌ها، ممکن است تمام ویتامین‌های مورد نیاز (خوراک دام و تغذیه انسان) کمک کند. ویتامین‌های ریز جلبک می‌توانند ارزش غذایی سلول‌های جلبکی را افزایش دهند، به همین دلیل است که به عنوان یک مکمل غذایی استفاده می‌شود. با این وجود، توجه به این نکته حائز اهمیت است که محتوای ویتامین (ریز جلبک) با عوامل محیطی (کشت)، استراتژی برداشت و روش خشک کردن سلولها به میزان قابل توجهی تغییر می‌کند (Martínez-Francés and Escudero-Oñate, 2018).

پلی‌ساکاریدها

پلی‌ساکاریدها، ساختارهای پلیمری کربوهیدراتی هستند که به طور گسترده توسط صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه جستجوی آنتی اکسیدان‌های طبیعی جدید با استفاده از ریز جلبک‌های کلرلا و اسپیرولینا به دلیل غلظت بالای پلی‌ساکارید به طور گسترده در حال انجام است (Abbaspour *et al.*, 2020). از این لحاظ، پلی‌ساکاریدهای موجود در ریز جلبک‌های کلرلا و اسپیرولینا علاوه بر اینکه یک گونه مفید برای سیستم ایمنی بدن هستند، فعالیت آنزیمی هسته سلول و سنتز ترمیم DNA را بهبود می‌بخشند. علاوه بر این، پلی ساکاریدهای *Spirulina platensis* و ریز جلبک‌های *Chlorella pyrenoidosa* دارای خواص آنتی اکسیدانی قابل توجه و فعالیت ضد توموری هستند، (Guerreiro *et al*., 2020) همچنین تعدیل سیستم ایمنی و پتانسیل بالا در حذف رادیکالهای سوپراکسید و هیدروکسیل پراکسید از دیگر خواص منحصر به فرد آنهاست. پلی ساکاریدهای ایمولینا و ایمورلا به ترتیب از *Spirulina platensis* و *Chlorell pyrenoidosa* جدا شدند. این پلی ساکاریدها در مقایسه با پلی‌ساکاریدهای قارچی مانند اسکیزوپلیلان، لنتینان و کرستین فعالیت بالاتری در برابر سرطان دارند. اخیراً از پلی ساکاریدهای ریز جلبک‌ها به عنوان منبع جایگزین پلی ساکاریدی توسط صنایع غذایی، مواد مغذی، آرایشی و بهداشتی و عمدتا صنایع دارویی استفاده می‌شود، (Nowruzi *et al*., 2020a). علاوه بر آن، پلی‌ساکاریدهای ریز جلبکی دارای فعالیت ضد ویروسی در برابر ویروس هرپس سیمپلکس هستند (Nowruzi *et al*., 2018).

امولسیون کننده‌های زیستی

امولسیون کننده ها، گروه بزرگی از ترکیبات هستند که به عنوان عوامل فعال بیرونی یا سورفکتانت‌ها مطرح هستند. یک امولسیون کننده با کاهش سرعت واکنش‌های شیمیایی، پایداری آن را افزایش می‌دهد. امولسیون کننده‌های زیستی به عنوان مواد زیست مولکولی فعالی گفته می‌شود که ویژگی‌های منحصر به فرد بیشتری نسبت به سورفکتانت‌های شیمیایی دارند. امولسیون کننده‌ها در منابع مختلف طبیعی یافت می‌شوند و به وسیله باکتری ها، قارچ‌ها و مخمرها سنتز شده اند. وزن مولکولی امولسیون کننده‌های زیستی، بالاتر از سورفکتانت‌های زیستی است. در واقع، از امولسیون کننده‌ها برای جلوگیری از شکسته شدن امولسیون‌ها استفاده می‌شود. سیانوباکتری‌های *Oscillatoria* و *phormidium*، انواع باکتری‌های تولید کننده امولسیون کننده‌های زیستی هستند که می‌توانند برای تولید امولسیون‌های هیدروکربنی و روغنی در محیط مایع مانند آب استفاده شوند. پس از کشت این باکتری‌ها در محیط کشت مناسب، امولسیون‌های زیستی خارج سلولی تولید می‌شود. وزن مولکولی این امولسیون کننده زیستی پلیمری بیش از ۲۰۰۰۰۰ دالتون است. طبق آزمایشات شیمیایی، این ترکیبات حاوی قند ها، اسیدهای چرب و پروتئین هستند. همچنین آزمایشات دقیق با استفاده از اسپکتوفوتومتری IR نشان داده است که این ترکیبات شامل گروه‌های آمید،کربوکسیلیک و آمینو هستند. از این امولسیون کننده زستی برای تولید انواع مختلف امولسیون‌های روغن در آب [1] (O/W) استفاده می‌شود (Sathasivam *et al*., 2019).

ترکیبات طبیعی با فعالیت‌های فعال زیستی

سیانو باکتری‌ها، منبع فوق العاده‌ای از متابولیت‌های ثانویه هستند. متابولیت‌های ثانویه سیانوباکتری‌ها حاوی ترکیبات فعال زیستی مختلف از جمله ۴۱٪ ضد توکسین، ۱۳٪ ضد تومور، ٪۴۵ ضدتومور، ۱۲٪ ضد میکربی و ۱۸٪ سایر ترکیبات شامل ضد مالاریایی، علف‌کش‌ها- حشره‌کش‌ها- جلبک‌کش‌ها و عوامل سرکوبگر سیستم ایمنی هستند (He *et al*., 2016; Nowruzi and Blanco, 2019). این ترکیب‌های طبیعی نه تنها به طورمستقیم به عنوان دارو عمل می‌کنند، بلکه به عنوان نمونه‌های اولیه برای داروی‌های جدید هستند. بنابراین متابولیت سیانوباکتری‌ها میتوانند منبع استثنائی برای کشف ترکیبات دارویی باشد (Jaiswal *et al*., 2008; Prasanna *et al*., 2010).

[1] Oil-in-Wwater Emulsions (O/W)

فعالیت‌های ضد سرطانی

امارهای انجمن سرطان امریکا نشان می‌دهند که ۷٫۶ میلیون نفر در سال ۲۰۰۷ در سراسر جهان بر اثر سرطان در گذشتند و این موضوع اگر به درستی کنترل نشود در سال اینده افزایش می‌یابد. امروزه غربالگری عصاره‌های سیانو باکتری‌ها برای ترکیبات ضد سرطانی جدید آغاز شده است. پپتیدهای کوچک ضد سرطانی دولاستاتین۱۰ و دولاستاتین ۱۲ استخراج شده از *symplocasp* و*Leptolyngbya sp* و کوراسین A جدا شده از *Lyngbya majuscule* خاصیت ضد تکثیر کنندگی را نشان داده است که این خود اهمیت جستجو برای ترکیبات ضدسرطانی را از سویه‌های سیانوباکتریایی دو چندان می‌کند (Eghtedari *et al*., 2021; Safavi *et al*., 2019).

فعالیت ضد ویروسی

گسترش بین المللی بیماری‌های ویروسی کشنده، منجر به جستجوی بیشتر برای داروهای جدید گردید. ترکیبات ضد ویروسی جدا شده از سیانوباکتری‌ها معمولا با جلوگیری از جذب یا نفوذ ویروس دارای فعالیت زیستی هستند. مهار مراحل تکثیر ویروس و یا جلوگیری از نفوذ به سلول از فعالیت‌های ترکیبات ضد ویروسی است. از عصاره سیانوباکتری ها، ترکیبات گلیکولیپیدی مهار کننده HIV به نام اسید سولفولیک جدا شد که در برابر ویروس HIV فعال است. اخیرا Cyanovirin-N که یک ترکیب پلی ایزوپپتیدی است از سویه‌های سیانوباکترایی جدا شده و ویروس HIV را غیرفعال کرده و مهار می‌کند (Prasanna *et al*., 2010).

فعالیت ضد باکتریایی

در سال‌های اخیر باکتری‌های مقاوم در برابر چندین دارو باعث ایجاد عفونت بیمارستانی شدند. بنابر این تلاش برای غربالگری عصاره سیانو باکتری که دارای فعالیت ضد باکتریایی هستند و آن‌ها را در برابر باکتری‌های مختلف فعال تشخیص دادند، مدام در حال انجام است. به عنوان مثال، نوستوکامین و هاپالیندول (آلکالوئید) جدا شده از *Fischereiia* sp. و *Nostoc* ccc537 از رشد استافیلوکوکوس اورئوس و سالمونلا تایفی جلوگیری می‌کنند. افزایش روزافزون مقاومت باکتری‌ها به آنتی‌بیوتیک‌های موجود، سیانو باکتری‌ها را کاندیدای بالقوه‌ای برای جستجوی ترکیبات ضد باکتریایی ساخته است (Carvalho *et al*., 2013).

ترکیبات مهارکننده‌های پروتئاز

متابولیت‌های سیانوباکتری ها، محدودهٔ جالب توجهی از فعالیت‌های زیست شناختی را تاکنون نشان دادند، محدوده‌ای از فعالیت‌های ضد میکروبی، ضد سرطانی، ضد ویروسی، حشره کش، بازدارندهٔ پروتئاز و نظایر آن، از ارزش‌های قابل توجه در تحقیق‌های پزشکی محسوب می‌شوند (Martínez-Francés and Escudero-Oñate, 2018; Nowruzi *et al*., 2020b).

یک سری از ترکیبات ممانعت کنندگان پروتئاز از *Microcystis*، *Anabaena* و *Oscillatoria* ایزوله شده‌اند. آئروجینوزین، ممانعت کننده ترومبین[1] است، در حالیکه سیانوپپتولین[2] و دهیدروراوسومین[3]، ممانعت کنندگان قوی تیروزین[4] هستند. میکروجینین‌ها، ممانعت کننده آنزیم آنجیوتنسین و آمینوپپتیدهای لوسین هستند، در حالی که آنابناپپتین‌ها، ممانعت کننده کربوکسی پپتیداز A است (Kultschar and Llewellyn, 2018).

پروتئازهای متنوع، مانند الاستاز، تریپسین و کیموتریپسین در حیوانات از جمله بندپایان مانند *Daphnia magna*، توسط تغذیه با سیانو باکتری‌های آب شیرین، هضم می‌شوند. محققان گزارش کردند که ترکیبات موجود در سیانوباکتری‌ها، قادر به مهار آنزیم‌های گوارشی موجود در *Daphnia* هستند. اکثریت جمعیت مهار کننده‌های پروتئاز جدا شده از سیانو باکتری‌ها، پپتیدها هستند و معمولا منشاء بیوسنتزی غیر ریبوزومی دارند. از همه مهم‌تر، همبستگی قابل توجهی بین پپتید و نوع فعالیت بیولوژیکی مشاهده می‌شود. به‌عنوان مثال، سیانوپپتولین‌ها[5] معمولا مهار کننده‌های پروتئاز سرین هستند، در حالی که آنابناپپتین‌ها[6] معمولا فاقد این فعالیت‌اند، اما غالبا موجب مهار اگزوپپتیداز[7] می‌شوند، مانند کربوکسی پپتیداز A[8]. علاوه بر این، میکروسیستین‌های سمی برای کبد، از مهار

[1] Thrombin
[2] Cyanopeptolin
[3] Dehydroradiosumin
[4] Trypsin
[5] Cyanopeptolins
[6] Anabaenopeptins
[7] Exopeptidases
[8] Carboxypeptidase A

کننده‌های قوی پروتئین فسفاتازها، هستند (Liu *et al*., 2014).

فعالیت ضد پروتوزوئال

بر طبق برآورد سازمان جهانی بهداشت، بیشتر از یک بیلیون از انسان‌ها در سراسر جهان، از بیماری‌های گرمسیری موجب شده توسط *Plasmodium, Trypanosoma*، *Schistosoma*، *Leishmania* و غیره رنج می‌برند. مشکل ایجاد شده در درمان این بیماری ها، مخصوصا در مورد مالاریا و سالک به دلیل افزایش مقاومت توسط پروتوزواها است. از طرف دیگر، داروهایی که برای درمان این بیماری امروزه به بازار عرضه می‌شوند، بسیار کم است. اخیرا، پروژه‌ای، جداسازی ۵ رده از ترکیبات ضد پروتزوئال را از سیانوباکتری‌ها آغاز کرده است. علاوه بر آن، ترکیب ممانعت کننده پروتئاز، نوستوکربونیل و یک ترکیب آلکالوئیدی جدا شده از *Nostoc* sp. 78-12 A، جدا شد که مشخص شده است که در مقابل *Trypanosoma brucei*، *Trypanosoma cruzi*، *Leishmania donovani* و *Plasmodium falciparum* فعال است (Liu *et al*., 2014).

ترکیب دیگری به نام آئروسیکلامید C68 [1] که به تازگی از *Microcystis aeruginosa* PCC 7806 جدا شده است، در مقابل *T. brucei* فعال است. دانشمندان ۶ مشتق آسیل پرولین [2] جدید، اسیدهای تومونوایک D-I [3] را از سیانوباکتریوم دریازی *Blennothrix cantharidosmum* جدا کردند که در این میان، اسید تومونوایک I، فعالیت متوسطی در برابر آزمایشات ضد مالاریایی نشان داد (Jaiswal *et al*., 2008).

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، توجه زیادی به پتانسیل بیوتکنولوژی ریزجلبک‌ها معطوف شده است، که عمدتا به دلیل شناسایی چندین ماده سنتز شده توسط این میکروارگانیسم‌ها است. ریز جلبک‌ها از نظر بیولوژیکی و اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. اهمیت اقتصادی آن‌ها به طیف گسترده‌ای از کاربردهای آن‌ها در سراسر جهان، از صنایع غذایی گرفته تا داروسازی، از محرک‌های ایمنی گرفته تا سوخت‌های زیستی، از مواد آرایشی تا کشاورزی مرتبط است (Liu *et al*., 2021; Nowruzi *et al*., 2020a). تنوع زیستی عظیم ریز جلبک‌ها و در نتیجه تنوع زیاد در ترکیب بیوشیمیایی آنها، موجب شده تا به طور تجاری با هدف تولید زیست توده و مواد غذایی و همچنین برای به دست آوردن ترکیبات طبیعی با ارزش افزوده بالا، کشت شوند (Liu *et al*., 2021). از جمله این ترکیبات طبیعی می‌توان به اسیدهای چرب اشباع نشده، کاروتنوئیدها، فایکوبیلین ها، پلی ساکاریدها، ویتامین‌ها، استرول‌ها و بسیاری از ترکیبات فعال فعال طبیعی مانند آنتی اکسیدان‌ها و کاهنده کلسترول اشاره کرد که می‌تواند به‌ویژه برای تولید غذاهای کاربردی، مورد استفاده قرار گیرد (Jaiswal *et al*., 2008).

علاوه بر آن ریز جلبک ها، منبع غنی از متابولیت‌های تقویت کننده سلامتی و سرکوب کننده بسیاری از بیماری‌ها به شمار می‌روند. افزودن ریزجلبک‌های حاوی کاروتنوئید و یا متابولیت‌های ثانویه مستخرج شده از آنها، در رژیم غذایی انسان و حیوان موجب افزایش ارزش غذائی می‌شود. (Liu *et al*., 2021). به همین دلیل است که کشت انبوه و تولید تجاری ریزجلبک‌ها در دهه‌های اخیر افزایش یافته و استفاده از آن‌ها در پرورش آبزیان و ماکیان افزایش یافته است. از مکمل‌های غذایی تهیه شده از جلبک‌ها امروزه در افزایش کیفیت برخی رژیم‌های غذایی می‌شود. علاوه بر ان، کاربرد دارویی ریز جلبک‌ها به درمان چندین بیماری در انسان و حیوانات کمک کرده است. با این حال، سیانوباکتری‌ها تعدادی سموم تولید می‌کنند که انسان می‌تواند از طریق مصرف محصولات جلبکی در معرض آن‌ها قرار بگیرد، بنابر این لزوم نظارت بر کیفیت مکمل‌های غذایی تهیه شده از انواع ریزجلبک‌ها پیشنهاد می‌گردد.

منابع

Abbaspour, S., Nowruzi, B. & Hamdi, S. M. (2020). Optimizing the Cultivation Conditions of Fischerella sp. SH. A Cyanobacterium for Maximizing Polysaccharide Production with Antibacterial Activity. Biological Journal of Microorganisms, 9(34), 23-53 [In Persian]

[1] Aerucyclamide C68 [2] Acyl Proline Derivatives [3] Tumonoic Acids D-I

Carvalho, L. R., Costa-Neves, A., Conserva, G. A., Brunetti, R. L., Hentschke, G. S., Malone, C. F. & Rangel, M. (2013). Biologically active compounds from cyanobacteria extracts: in vivo and in vitro aspects. Revista Brasileira de Farmacognosia, 23(3), 471-480.

de Amarante, M. C. A., Braga, A. R. C., Sala, L. & Kalil, S. J. (2020). Colour stability and antioxidant activity of C-phycocyanin-added ice creams after in vitro digestion. Food Research International, 137, 109602.

Eghtedari, M., Porzani, S. J. & Nowruzi, B. (2021). Anticancer potential of natural peptides from terrestrial and marine environments: A review. Phytochemistry Letters. 42 (5), 87-103.

Encarnação, T., Pais, A. A., Campos, M. G. & Burrows, H. D. (2015). Cyanobacteria and microalgae: a renewable source of bioactive compounds and other chemicals. Science Progress, 98(2), 145-168.

Eriksen, N. T. (2008). Production of phycocyanin—a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. Applied Microbiology and Biotechnology, 80(1), 1-14.

Gantar, M. & Svirčev, Z. (2008). Microalgae and cyanobacteria: food for thought 1. Journal of Phycology, 44(2), 260-268.

Guedes, A. C., Amaro, H. M. & Malcata, F. X. (2011). Microalgae as sources of high added-value compounds—a brief review of recent work. Biotechnology Progress, 27(3), 597-613.

Guerreiro, A., Andrade, M. A., Menezes, C., Vilarinho, F. & Dias, E. (2020). Antioxidant and cytoprotective properties of cyanobacteria: Potential for biotechnological applications. Toxins, 12(9), 548.

He, X., Liu, Y. L., Conklin, A., Westrick, J., Weavers, L. K., Dionysiou, D. D. & Walker, H. W. (2016). Toxic cyanobacteria and drinking water: Impacts, detection, and treatment. Harmful Algae, 54, 174-193.

Jaiswal, P., Singh, P. K. & Prasanna, R. (2008). Cyanobacterial bioactive molecules—an overview of their toxic properties. Canadian Journal of Microbiology, 54(9), 701-717.

Kultschar, B. & Llewellyn, C. (2018). Secondary metabolites in cyanobacteria. Secondary Metabolites—Sources and Applications, pp. 64.

Liu, L., Jokela, J., Wahlsten, M., Nowruzi, B., Permi, P., Zhang, Y. Z. & Sivonen, K. (2014). Nostosins, trypsin inhibitors isolated from the terrestrial cyanobacterium Nostoc sp. strain FSN. Journal of Natural Products, 77(8), 1784-1790.

Liu, D., Liberton, M., Hendry, J. I., Aminian-Dehkordi, J., Maranas, C. D. & Pakrasi, H. B. (2021). Engineering biology approaches for food and nutrient production by cyanobacteria. Current Opinion in Biotechnology, 67, 1-6.

Martínez-Francés, E. & Escudero-Oñate, C. (2018). Cyanobacteria and microalgae in the production of valuable bioactive compounds. Microalgal Biotechnol, 6, 104-128.

Mysliwa-Kurdziel, B. & Solymosi, K. (2017). Phycobilins and phycobiliproteins used in food industry and medicine. Mini Reviews in Medicinal Chemistry, 17(13), 1173-1193.

Nicoletti, M. (2016). Microalgae nutraceuticals. Foods, 5(3), 54.

Nowruzi, B., Haghighat, S., Fahimi, H. & Mohammadi, E. (2018). Nostoc cyanobacteria species: a new and rich source of novel bioactive compounds with pharmaceutical potential. Journal of Pharmaceutical Health Services Research, 9(1), 5-12.

Nowruzi, B. & Blanco, S. (2019a). In silico identification and evolutionary analysis of candidate genes involved in the biosynthesis methylproline genes in cyanobacteria strains of Iran. Phytochemistry Letters, 29, 199-211.

Nowruzi, B., Wahlsten, M. & Jokela, J. (2019b). A report on finding a new peptide aldehyde from cyanobacterium nostoc sp. Bahar m by lc-ms and marfey's analysis. Iranian Journal of Biotechnology, 17(2).

Nowruzi, B., Sarvari, G. & Blanco, S. (2020a). The cosmetic application of cyanobacterial secondary metabolites. Algal Research, 49, 101959.

Nowruzi, B., Sarvari, G. & Blanco, S. (2020b). Applications of cyanobacteria in biomedicine. In *Handbook of Algal Science*, Technology and Medicine. pp. 441-453.

Nowruzi, B., Anvar, A. & Ahari, H. (2020c). Extraction, purification and evaluation of antimicrobial and antioxidant properties of phycoerythrin from terrestrial cyanobacterium Nostoc sp. FA1. Journal of Microbial World, 13(2), 138-153.

Nowruzi, B., Fahimi, H. & Sturion Lorenzi, A. (2020d). Recovery of pure C-phycoerythrin from a limestone drought tolerant cyanobacterium Nostoc sp. and evaluation of

its biological activity, 42, 115-128.

Panjiar, N., Mishra, S., Yadav, A. N. & Verma, P. (2017). Functional foods from cyanobacteria: an emerging source for functional food products of pharmaceutical importance. Microbial Functional Foods and Nutraceuticals, 21-37.

Prasanna, R., Sood, A., Jaiswal, P., Nayak, S., Gupta, V., Chaudhary, V. & Natarajan, C. (2010). Rediscovering cyanobacteria as valuable sources of bioactive compounds. Applied Biochemistry and Microbiology, 46(2), 119-134.

Rajabpour, N., Nowruzi, B. & Ghobeh, M. (2019). Investigation of the toxicity, antioxidant and antimicrobial activities of some cyanobacterial strains isolated from different habitats. Acta Biologica Slovenica, 62(2), 3-14.

Řezanka, T. & Dembitsky, V. M. (2006). Metabolites produced by cyanobacteria belonging to several species of the family Nostocaceae. Folia Microbiologica, 51(3), 159-182.

Safavi, M., Nowruzi, B., Estalaki, S., & Shokri, M. (2019). Biological Activity of Methanol Extract from Nostoc sp. N42 and Fischerella sp. S29 Isolated from Aquatic and Terrestrial Ecosystems. International Journal on Algae, 21(4). 373-391.

Sathasivam, R., Radhakrishnan, R., Hashem, A. & Abd Allah, E. F. (2019). Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. Saudi Journal of Biological Sciences, 26(4), 709-722.

Singh, S., Kate, B. N. & Banerjee, U. C. (2005). Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview. Critical Reviews in Biotechnology, 25(3), 73-95.

Zahra, Z., Choo, D. H., Lee, H. & Parveen, A. (2020). Cyanobacteria: Review of current potentials and applications. Environments, 7(2), 13.

Food Technology & Nutrition / Spring 2022 / Vol. 19 / No.2

A Review of Microalgae as Dietary and Medicinal Useful Complements

S. A. A. Anvar [a], B. Nowruzi [b] *

[a] Assistant Professor of the Department of Food Hygiene, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[b] Assistant Professor of the Department of Biology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 6 March 2021 Accepted: 23 August 2021

Abstract

Introduction: Microalgae are important components in the food chain of aquatic and terrestrial ecosystems, the number of which is increasing and being consumed as food or medicine. Microalgae and cyanobacteria are produced in controlled culture processes or removed from natural habitats and marketed as a complete food supplement worldwide.
Materials and Methods: For this paper review of the results and conclusions of investigated research articles concerned with the subject.
Results: Cyanobacteria have a wide range of biologically active compounds that produce and are expected to be used in the food and pharmaceutical industries. Due to the active composition of cyanobacteria such as fatty acids, sterols, volatile compounds, stable isotopic compounds, carotenoids, polysaccharides, lectins, mycosporin-like amino acids, bioemulsifiers that are anti-virus and anti-inflammatory due to their elevation and etcetra are used for marketing purposes.
Conclusion: This review article attempts to introduce the active compounds of microalgae and their biological activities, their nutritional value in human diet and health, during different periods, aquatic and other animals if possible.

Keywords: *Biological Active Compounds, Cyanobacteria, Food, Healthy Supplement, Microalgae.*

* Corresponding Author: bahare77biol@gmail.com

علوم غذایی و تغذیه / بهار ۱۴۰۱ / سال نوزدهم / شماره ۲