Food Hygiene, Vol. 13, No. 49, Spring 2023

"Review article" **DOI: 10.30495/JFH.2023.1981855.1393**

A review of recent developments in the use of cyanobacteria and microalgae in improving the quality and increasing the shelf life of seafood products

Alibabai, M.[1], Khajeh-Rahimi, A.E.[2], Nowruzi, B.[3]*

1. M.Sc. Graduate of Biotechnology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
2. Assistance professor, Department of Aquatic Health and Disease, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Assistance professor, Department of Biotechnology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

*Corresponding author: bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

(Received: 2023/2/24 Accepted: 2023/5/24)

Abstract

Food products spoil very quickly due to microbial, chemical, and enzymatic reactions that are the main cause of rapid quality deterioration. Nowadays, there is increasing consumer demand for high-quality foods with natural preservatives such as microalgae extracts. Microalgae are potential alternatives to reduce microbial growth, increase oxidative stability, and protect the sensory characteristics of foods. Researchers showed that the use of microalgae extracts in the diet of aquatic animals can increase meat quality and production. In this review article, the direct application of various microalgae extracts as seafood preservatives and their functional properties in seafood, such as: (antioxidant and antimicrobial activities) are investigated. In addition, the potential application of microalgae extracts in the composition of foods and their effect on the quality of foods are also presented. The result of reviewing many articles showed that despite the many advantages of microalgae, there are still many challenges in the production and use of microalgae biomass or its derivatives in the food industry, hence the safety assessment and the use of ideal concentrations for studies. Future studies are still necessary to determine the optimal concentration for the large-scale use of microalgae extracts in industry and seafood, to develop effective strategies or to prevent the occurrence of food product spoilage, as well as to increase the welfare of consumers.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Cyanobacteria, microalgae, shelf-life extension, food products

«مقاله مروری» DOI: 10.30495/JFH.2023.1981855.1393

مروری بر پیشرفت‌های اخیر در کاربرد سیانوباکتری‌ها و ریزجلبک‌ها در بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات غذایی دریایی

مهشید علی‌بابایی[۱]، امیراقبال خواجه‌رحیمی[۲]، بهاره نوروزی[۳]*

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- استادیار گروه بهداشت و بیماری‌های آبزیان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳- استادیار گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*نویسندهٔ مسئول: bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۳/۳)

چکیده

محصولات غذایی به دلیل واکنش‌های میکروبی، شیمیایی و آنزیمی که عامل اصلی فساد سریع کیفیت هستند، بسیار سریع فاسد می‌شوند. امروزه تقاضای روزافزون مصرف‌کنندگان برای غذاهایی باکیفیت بالا همراه با نگه‌دارنده‌های طبیعی مانند عصاره‌های ریزجلبک افزایش‌یافته است. ریزجلبک‌ها جایگزین‌های بالقوه برای کاهش رشد میکروبی، افزایش پایداری اکسیداتیو و حفاظت از ویژگی‌های حسی غذاها هستند. محققان نشان دادند که استفاده از عصاره‌های ریزجلبک در رژیم غذایی آبزیان می‌تواند کیفیت گوشت را افزایش و تولید را نیز افزایش دهد. در این مقاله مروری، کاربرد مستقیم عصاره‌های مختلف ریزجلبک به‌عنوان نگهدارنده غذاهای دریایی و خواص عملکردی آن‌ها در غذاهای دریایی، مانند: (فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی) موردبررسی قرار می‌گیرد. علاوه براین، کاربرد بالقوه عصاره‌های ریزجلبک در ترکیب غذاها و تأثیر آن‌ها بر کیفیت غذاها نیز ارائه‌شده است. نتیجه حاصل از مرور مقالات بسیار نشان داد علی‌رغم مزیت‌های فراوان ریزجلبک‌ها، هنوز چالش‌های بسیاری در تولید و استفاده از زیست‌توده ریزجلبک یا مشتقات آن در صنایع غذایی وجود دارد، ازاین‌رو ارزیابی ایمنی و استفاده از غلظت‌های ایده آل برای مطالعات آتی که هنوز برای تعیین غلظت بهینه برای استفاده از عصاره‌های ریزجلبک در مقیاس بزرگ در صنعت و غذاهای دریایی برای توسعه استراتژی‌های مؤثر یا برای جلوگیری از وقوع فساد در محصول غذایی و همچنین برای افزایش رفاه مصرف‌کنندگان ضروری هستند.

واژه‌های کلیدی: سیانوباکتری‌ها، ریزجلبک‌ها، افزایش ماندگاری، محصولات غذایی

مقدمه

غذاهای دریایی شامل یک گروه بزرگ از ماهی‌ها، نرم‌تنان، سخت‌پوستان و خارپوستان هستند و همیشه به خاطر ارزش غذایی بالا و همچنین لطافت و خوش‌خوراکی، محبوب هستند. بااین‌حال، این محصولات به دلیل محتوای رطوبت بالا و pH خنثی مستعد فساد سریع هستند. عدم کنترل واکنش‌های آنزیمی و میکروبیولوژیکی که بلافاصله بعد از صید ماهی شروع می‌شود، منجر به تغییر خصوصیات تغذیه‌ای و خصوصیات حسی می‌شود. از دست دادن اولیه کیفیت غذاهای دریایی تابعی از واکنش‌های شیمیایی و آنزیم‌ها است. فساد کامل غذاهای دریایی اغلب به فعالیت‌های متابولیکی میکروب‌ها نسبت داده می‌شود. به‌طورکلی، محصولات شیلاتی، اسیدهای چرب غیراشباع زیادی دارند که آن‌ها را مستعد اکسیداسیون می‌کند. محصولات اکسیداسیون ثانویه، مانند: (آلدئید، کتون، اپوکسیدها، الیگومرها، هیدروکسیل ها) و سایر ترکیبات منجر به تشکیل ترکیبات سمی و اثرات بیولوژیکی منفی می‌شوند. تغییر رنگ، از دست دادن کیفیت تغذیه‌ای و تشکیل ترکیبات نامطلوب و طعم‌های نامطلوب در فراورده‌های شیلاتی، به اکسیداسیون چربی و فساد اکسیداتیو نسبت داده‌شده است. فاصله بین منطقه جمع‌آوری محصولات و مراکز فرآوری، روش‌های فراوری، تأسیسات فرآوری و شرایط نگهداری از عوامل مهم دیگری هستند که به تجزیه محصول شیلاتی کمک می‌کنند. برای به حداقل رساندن یا کنترل واکنش‌های نامطلوب در محصولات شیلاتی، روش‌های متنوع و فناوری‌های ضدمیکروبی غیرحرارتی توسعه‌یافته‌ای استفاده‌شده است (Tavakoli *et al.*, 2022).

امروزه بسیاری از آنتی‌اکسیدان‌های سنتتیک برای جلوگیری از تغییرات شیمیایی، میکروبیولوژیک و آنزیمی و همچنین افزایش ماندگاری آن در غذاهای دریایی مورداستفاده قرار می‌گیرند (Nowruzi,2022). بااین‌حال، تجمع این ترکیبات شیمیایی در محصول ممکن است بر سلامت انسان تأثیر منفی بگذارد. ازاین‌رو، در چند سال گذشته، مصرف‌کنندگان درخواست کرده‌اند که به‌جای نگه‌دارنده‌های شیمیایی، از نگه‌دارنده‌های زیستی استفاده شود که اغلب غنی از ترکیبات زیست فعال هستند و اثرات جانبی کمتری دارند (Ampofo and Abbey,2022).

در این میان عصاره‌های طبیعی ریزجلبک‌ها، به نظر می‌رسد جایگزین مناسبی باشند. ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌های فتوسنتزی بسیار متنوعی هستند، این موجودات میکروسکوپی در محیط‌های آب شیرین و دریا یافت می‌شوند. اخیراً محققان نشان داده‌اند که افزودن عصاره ریزجلبک‌ها به فراورده‌های دریایی می‌تواند یک روش مؤثر در کاهش رشد میکروبی، افزایش پایداری اکسیداتیو و حفظ خواص حسی و درنتیجه افزایش ماندگاری آن‌ها باشد. کاربرد این ترکیبات در غذاهای دریایی می‌تواند ارزش غذایی آن‌ها را با فراهم کردن پروتئین‌ها، مواد معدنی، ویتامین‌ها، چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها و فیبر افزایش دهد. محققان همچنین براین باورند که گنجاندن ریزجلبک‌ها در رژیم غذایی حیوانات آبزی می‌توانند کیفیت گوشت و حتی ارزش غذایی آن‌ها را بهبود ببخشند. اگرچه چندین مقاله مروری بر کاربرد عصاره ریزجلبک‌ها در غذاهای

فراسودمند وجود دارد، بااین‌حال ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی عصاره‌های ریزجلبک‌ها برای کاربرد در غذاهای دریایی موردبررسی قرار نگرفته است (MU *et al.*, 2019). آگاهی از خطرات بالقوه‌ی مرتبط با ریزجلبک، به‌ویژه آن‌هایی که تجمع و اثرات سمی دارند نیز محدود است؛ بنابراین هدف این مقاله مروری، بررسی و ارائه اطلاعات به‌روز در مورد جدیدترین داده‌های منتشرشده در مورد کاربرد ریزجلبک و مشتقات آن برای حفظ، بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری غذای دریایی هست. در این مقاله، به بررسی خواص کاربردی و کاربرد عصاره‌های ریزجلبک، ازجمله خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی در فراورده‌های دریایی پرداخته‌شده است (Scaglioni and Badiale-Furlong,2017).

مکانیسم‌های فساد محصولات غذایی

اصطلاح فساد در غذاهای دریایی برای توصیف هرگونه تغییرات شیمیایی، میکروبی و آنزیمی استفاده می‌شود که منجر به ویژگی‌های حسی نامطلوب می‌شود. در این بخش سه سازوکار رایج در طول پردازش و ذخیره‌سازی محصولات غذایی بررسی خواهد شد (Camocho *et al.*, 2019).

فساد میکروبی

میکروارگانیسم‌ها، عامل اصلی فساد در بسیاری از فراورده‌های شیلاتی هستند. غذاهای دریایی حاوی مقادیر قابل‌توجهی از اسیدهای آمینه آزاد، شامل آب زیاد و pH بالا هستند، به همین دلیل بستر مناسبی برای رشد بسیاری از میکروارگانیسم‌هایی هستند که در گستره وسیعی از دماها زنده می‌مانند. مطالعات نشان می‌دهد که این میکروارگانیسم‌ها، عامل افت کیفیت محصولات دریایی تا حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد هستند. تعداد زیادی از باکتری‌ها (گرم مثبت و گرم منفی)، مخمرها و کپک‌ها مسئول فساد غذاهای دریایی هستند. به‌عنوان‌مثال، گزارش دادند که گونه‌های درون خانواده Enterobacteriaceae و *Vibrionaceae* مهم‌ترین باکتری‌های ایجادکننده فساد غذاهای دریایی هستند. محققان نشان دادند که باکتری‌های سرمادوست مثل *Shewanella* sp. و *pseudomonas* sp. گروه عمده از عوامل فساد در ماهیان انبارشده هستند.

علاوه بر آن باکتری‌های گرم منفی هوازی یا بی‌هوازی اختیاری از قبیل *Moraxella*، *Shewanella putrefaciens*، *Pseudomonas*، *Acinetobacter*، *Photobacterium*، *Aeromonas*، *Flavobacterium* و *Vibrio* نیز گروه اصلی ارگانیسم‌های مسئول در تخریب غذاهای دریایی هستند. این میکروارگانیسم‌ها متابولیت‌های مختلفی از قبیل آلدئید، الکل‌ها، اسیدهای آلی، آمین‌های بیوژنیک، سولفیدها، هیستامین و کتون ها را تولید می‌کنند که منجر به تخریب غذاهای دریایی می‌شود (Chen *et al.*, 2022).

فساد اکسیداسیون

فساد اکسایشی یکی دیگر از راه‌های متداول فساد است، به‌ویژه برای غذاهای دریایی که حاوی مقادیر بالایی از Polyunsaturated Fatty Acids (PUFAs) هستند. چربی‌ها می‌توانند متحمل انواع مختلفی از اکسیداسیون ازجمله اکسیداسیون حرارتی و اکسیداسیون آنزیمی شوند (Hadiyanto *et al.*, 2019).

اکسیداسیون مهم‌ترین عامل فساد اکسیداتیو محسوب می‌شود. اکسیداسیون از طریق یک واکنش زنجیره رادیکالی آزاد رخ می‌دهد. سرعت اکسیداسیون

به درجه غیراشباعی چربی، در دسترس بودن اکسیژن و حضور فلزات، نور، دما و رطوبت بستگی دارد. هیدروپراکسیدازها محصولات اولیه اکسیداسیون هستند و پایدار نیستند. فراورده‌های ثانویه اکسیداسیون چربی درنتیجه تجزیه هیدروپراکسید تشکیل می‌شوند. آلدئیدها، کتون ها، هیدروکربن‌ها، اسیدهای آلی فرار، الکل‌ها و ترکیبات اپوکسی ازجمله محصولات اکسیداسیون ثانویه هستند که تشکیل‌شده‌اند. این اجزا می‌توانند با پروتئین‌ها، اسید امینه ها و ویتامین‌ها واکنش نشان دهند تا به تولید طیف وسیعی از ترکیبات نامطبوع و ترکیبات عطری، تغییر رنگ و از دست دادن عملکرد پروتئین منجر شوند (Blas-Valdivia *et al*., 2022).

فساد آنزیمی

تغییرات ثانویه در خصوصیات غذاهای دریایی معمولاً توسط پروتئازها و لیپازها ایجاد می‌شود. مرحله اولیه بعد از مرگ، تغییرات بافتی است که با آزادسازی طیف متنوعی از آنزیم‌ها، مانند: (فسفولیپاز، کاتسپین ها، تریپسین، لیپازها و پپسین) در دستگاه گوارش آغاز می‌شوند که منجر به تجزیه پروتئین و تغییرات بافتی می‌شود. بااین‌حال، آلودگی‌های میکروبی، شیمیایی و آنزیمی محصولات شیلاتی را می‌توان با استفاده از تیمار بهینه حفاظتی کنترل و یا حداقل کرد (Nova *et al*., 2020).

عصاره‌های ریزجلبک‌ها به‌عنوان محصولات خوراکی و نگه‌دارنده‌های زیستی

ریزجلبک‌ها به‌عنوان بخشی از رژیم غذایی انسان برای صدها سال مصرف‌شده‌اند. کشورهای آسیایی مانند چین، ژاپن و کره معمولاً از ریزجلبک به‌عنوان بخشی از رژیم غذایی معمول خود استفاده می‌کنند. در دهه ۱۹۵۰، ریزجلبک به‌عنوان منبع امیدوارکننده پروتئین برای مصرف انسان مطرح شد.

ریزجلبک *Chlorella*، اولین گونه تجاری بود که در اوایل دهه ۱۹۶۰ کشت شد و پس‌ازآن *Arthospira* در دهه ۱۹۷۰ کشت شد (Matos *et al*., 2017).

سپس در اوایل دهه ۱۹۸۰ تولید رنگ‌دانه‌ها (عمدتاً بتاکاروتن و آستاگزانتین) از جلبک *Dunaliella* و *Haematococcus* به هدف اصلی تبدیل شد (Anvar and Nowruzi, 2021).

این رنگ‌دانه‌ها به‌عنوان افزودنی‌های غذایی انسان و خوراک حیوانات مورداستفاده قرارگرفته‌اند، اما پیش از این، عمدتاً به‌صورت مصنوعی تولید می‌شدند. در دهه ۱۹۹۰، تولید PUFA با تمرکز بر ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و دوکوهگزانوئیک اسید (DHA) شروع به تولید محصولات غذایی با ارزش افزوده و خوراک آبزی‌پروری کرده است (Thevarajah *et al*., 2022). از آغاز قرن بیستم، پیشرفت سریعی در علم و فن‌آوری غذایی ویژه و با توجه به نگه‌دارنده‌های مصنوعی، اصلاح ژنتیکی، محصولات غذایی جدید، رنگ‌های مصنوعی و طعم‌دهنده مصنوعی صورت گرفته است. این پیشرفت‌ها رژیم غذایی روزانه را مطلوب‌تر و جذاب‌تر کرده است. اگرچه درنتیجه این پیشرفت، بسیاری از مشکلات مرتبط با سلامت به وجود آمده‌اند که به‌طور منفی کیفیت زندگی انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ازاین‌رو نیاز به جایگزینی بسیاری از این ترکیبات مصنوعی همراه با افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای غذا، فرصتی را

برای ریزجلبک فراهم کرده است تا برای مصرف انسان محبوب‌تر شود (Hsieh and Lo *et al.*, 2019). این محصولات آبی ـ دریایی منبع غنی از ترکیبات متوسط را باارزش بالا، مانند: (پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، لیپیدها) و طیف متنوعی از رنگ‌های غذایی هستند که از ارزش بیشتری برخوردارند. پرورش این جلبک‌ها برای تغذیه حیوانات و حتی استفاده مستقیم انسان‌ها مطالعات زیادی را نشان داده‌اند که ترکیبات زیست فعال ریزجلبک‌ها، قابلیت جذب رادیکال‌های آزاد قوی دارند. این خصوصیات، آن‌ها را به‌عنوان آنتی‌اکسیدان، ضد تومور، ضدالتهاب، ضد افت فشارخون و ضدسرطان، مفید ساخت. ترکیبات زیست فعال استخراج‌شده از ریزجلبک‌ها مختلف در جدول (۱) نشان داده‌شده است.

جدول (۱)- ترکیبات زیست فعال اصلی استخراج‌شده از ریزجلبک‌ها

ترکیبات زیست فعال	گونه
فیکوسیانین، زیست‌توده، گاما-لینولنیک اسید (GLA)، پلی‌ساکاریدها، ویتامین E	*Spirulina* sp.
اسیدهای چرب n-3، فلاونوئیدها، ویتامین B12 (کوبالامین)	
زیست‌توده، اسکوربیک اسید، پلی‌ساکاریدهای سولفاته، استرول‌ها، کانتاکسانتین، اسیدهای چرب n-3،	*Chlorella* sp.
آستاگزانتین، پپتید، اسید اولئیک، زآگزانتین، ویولاکسانتین، لوتئین، ترپنوئیدها، آلکالوئیدها، فیتول، فنل	
کاروتنوئیدها، پودرها، بتا-کاروتن، سیس-بتا-کاروتن، اسید اولئیک، اسید لینولنیک، اسید پالمیتیک، دی اسیل	*Dunaliella salina*
گلیسرول ها، استرول‌ها	
آستاگزانتین، لوتئین، زآگزانتین، کانتاکسانتین، لوتئین، اسید اولئیک، بتا –کاروتن	*Haematococcus pluvialis*
بتا-کاروتن، لوتئین	*Chlamydomonas reinhardtii*
اسیدهای چرب، اسید آسکوربیک	*Isochrysis galbana*
پلی‌ساکاریدها، فیکوسیانین، بتا-کاروتن، آستاگزانتین	*Porphyridium cruentum*
کاروتنوئیدها	*Neochloris* sp.
فیکوسیانین، فنولیک، ترپنوئیدها، آلکالوئیدها، فیکوبیلین ها، ویتامینB12	*Nostoc* sp.
بتا-کاروتن، فوکوزانتین، زاگزانتین	*Phaeodactylum tricornutum*
لوتئین، زاگزانتین	*Scenedesmus almeriensis*
اسید آرشیدونیک	*Parietochloris incise*
ویتامین B12	*Hapalosiphonfontinalis*
ویتامین B12	*Tolypothrixtenuis*
ویتامین B12	*Cylindrospermum* sp.
فکوزانتین	*Eisenia bicyclis*
پلی فنول	*Anabaena doliolum*
پلی فنول	*Spongiochloris spongiosa*
پلی فنول	*Porphyra tenera*
پلی فنول	*Undaria pinnatifida*
پلی فنول	*Sargassum muticum*
اسیدهای چرب n-3	*Rhizoclonium hieroglyphicum*

ریزجلبک‌های رایج در صنایع غذایی دریایی

از صدها گونه‌ی، تنها تعداد کمی برای مصرف انسان مورداستفاده قرارگرفته‌اند، از آن جمله می‌توان به *Chlorella*، *Spirulina*، *Haematococcus*، *Dunaliella*، *Aphanizomenon*، *Schizochytrium*، *Scenedesmus*، *Odontella*، *Porphyridium*، *Arthrospira*، *Dunaliella*، *Chlorella*، *Haematococcus*، *Porphyridium cruentum*، *Crypthecodinium cohnii* و *Schizochytrium*اشاره کرد که برای مصرف انسان توسط سازمان غذا و دارو ایالات‌متحده (FDA) شناخته‌شده است (Anvar and Nowruzi *et al*., 2021; Nowruzi, 2021).

در تغذیه انسان، محصولات حاصل از چندین سویه سیانوباکتری مانند: *Chlorella*، *Tetraselmis*، *Spirulina*، *Nannochloropsis*، *Nitzchia*، *Navicula*، *Chaetoceros*، *Scenedesmus*، *Haematococcus*و *Crypthecodinium* در خوراک آبزیان برای بهبود خواص خوراکی استفاده می‌شوند. افزایش ارزش غذایی و/یا عمر ماندگاری مواد غذایی با داشتن ترکیبات زیست فعال، افزایش می‌یابد (Nowruzi *et al*., 2020). این ترکیبات زیست فعال را می‌توان جدا کرد و از آن به‌عنوان مواد طبیعی چندمنظوره در طیف گسترده از غذاهای دریایی کاربردی استفاده کرد (Niakhalili *et al*., 2023). به‌عنوان‌مثال *Spirulina* sp. منبع خوبی از کاروتنوئیدها مانند بتاکاروتن و آستاگزانتین هستند (Stanic-Vucinic *et al*., 2018). این ترکیبات در صنعت شیلات جهت بهبود رنگدانه پوست و رنگ عضلات استفاده‌شده است (Anvar *et al*., 2022). *Spirulina* sp. حاوی حدود ۵۰-۷۰ درصد پروتئین بسته به سویه موردبررسی است. پروتئین‌های *Spirulina* sp. حاوی تمام اسیدهای آمینه ضروری در مقادیر بالاتر از حبوبات می‌باشند که منبع استاندارد پروتئین گیاهی هستند.

Spirulina sp. به‌عنوان یک منبع عالی برای فیکوبیلی پروتئین‌ها گزارش‌شده است (Mysliwa-Kurdzelia and Solymosi, 2017). این پروتئین‌ها نشان می‌دهند که ویژگی‌های مهار رادیکال‌های آزاد را دارند و این عوامل بالقوه، آنتی‌اکسیدانی، ضد سرطانی و ضد توموری را باعث می‌شوند. اخیراً سازمان بهداشت جهانی (WHO)، *Spirulina* را به‌عنوان منبع بالقوه مواد مغذی غذایی برای مردان و زنان فضانورد در مأموریت‌های سیاره‌ای به ناسا معرفی کردند، که مقدار کمی از آن می‌تواند طیف وسیعی از مواد مغذی درشت و ریز را فراهم کند و احتمالاً با موفقیت در فضا می‌تواند رشد کند. *Haematococcus* برای استفاده در صنعت غذاهای دریایی به‌عنوان آستاگزانتین طبیعی موردمطالعه قرارگرفته است (Puzorjov and McCormick, 2020). در شرایط بهینه، *Haematococcus pluvialis* می‌تواند آستاگزانتین را تا حدودی ۵ درصد بالاتر از وزن خشک آن انباشته کند. آستاگزانتین یک کتوکاروتنوئید است که موجب رنگ صورتی یا قرمز عضله و پوست ماهی در سخت‌پوستان می‌شود. اصلی‌ترین کاربرد آستاگزانتین به‌عنوان رنگ در غذاهای دریایی است (de Morais *et al*.,2018).

Chlorella نیز یک ریزجلبک سبز فوتواتوتروف تک‌سلولی است. مطالعات نشان می‌دهند که پپتیدهای *Chlorella* دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی در شرایط آزمایشگاهی می‌باشند. این پپتیدهای دارای قابلیت آنتی‌اکسیدانی مشتق‌شده از *Chlorella vulgaris* و *Chlorella ellipsiodea* فعالیت ضد فشارخون دارند. *Chlorella* sp. سرشار از β(1,3)-Glucan هستند که به‌عنوان یک رادیکال آزاد خورنده عمل می‌کنند. β-گلوکان دارای فعالیت محرک ایمنی قوی و ضد باکتری می باشند که در گونه‌های مختلف ماهی گزارش‌شده است. *Dunaliella* برای تجمع β -کاروتن شناخته‌شده است (Caporgno and Mathys, 2018).

غلظت متوسط کاروتنوئیدها در اکثر سویه های سیانوباکتری بین ۰/۱ درصد تا ۲ درصد گزارش‌شده است، اما *Dunaliella* با استفاده از شرایط بهینه رشد نور و شوری، تا ۱۴درصد β- کاروتن می‌تواند عملکرد خوبی داشته باشد. این ترکیب به‌عنوان اولین محصول با ارزش بالا که به‌صورت تجاری از *Dunaliella* تولید می‌شود در نظر گرفته‌شده است.

β-کاروتن به‌عنوان یک پرو ویتامین استفاده می‌شود و به دریافت ویتامینA می‌تواند کمک کند. لوتئین، نئوگزانتین، زآگزانتین، ویولاکسانتین، کریپتوکسانتین و α- کاروتن از دیگر کاروتنوئیدهای مهم هستند که از *Dunaliella* می‌توان استخراج کرد. علاوه بر آن، گونه‌های *Nannochloropsis* spp. حاوی سطح بالایی از PUFA (به‌ویژه EPA) و ترکیبات ضد قارچی می‌باشند. مشخصات تغذیه‌ای ریزجلبک‌های مختلف که معمولاً در صنایع غذایی دریایی مورداستفاده قرار می‌گیرند در جدول (۲) نشان داده‌شده است.

جدول (۲)- مشخصات تغذیه ای ریزجلبک‌های مختلف که معمولاً در صنعت غذاهای دریایی استفاده می‌شوند

زیست مولکول‌ها (٪ dw)	*Spirulina*	*Chlorella*	*Dunalielia*	*Chlamydonas*	*Scenedesmus*	*Haematococcus*	*Prophyridium*	*Isochrysis*	*Nannochloropsis*	*Schizocytium*
کل پروتئین خام	۴۳–۷۷	۳۷–۵۸	۲۷–۵۷	۴۸	۳۱–۵۶	۱۰–۵۲	۲۷–۵۷	۱۲–۴۱	۱۸–۴۷	۱۰–۲۱
کربوهیدرات کل	۸–۲۲	۸–۲۷	۴–۴۱	۱۷	۶–۲۸	۳۴–۳۷	۱۲–۵۷	۱۳–۴۸	۷–۴۰	۱۲–۲۴
چربی کل	۴–۱۴	۵–۲۸	۶–۲۲	۲۱	۸–۲۱	۱۵–۴۰	۵–۱۴	۱۷–۳۶	۷–۴۸	۴۹–۷۴
DHA	۰,۳۰	۲,۶۰	۰,۳۶	ND	ND	ND	۰,۲۰	۲,۴۹	۱,۱(TFA)	۷,۶۰
EPA	۰,۲۵	۰,۴۰	۰,۶۰	ND	۰,۴۱	ND	۳,۳۱	۰,۲۲	۳,۴۷	۰,۰۸
سی-فیکوسیانین	۹,۲۷	ND	ND	ND	ND	ND	۱,۲۰	ND	ND	ND
سی-فیکواریترین	۱,۷۹	ND	ND	ND	ND	ND	۴,۲۲	ND	ND	ND
کاروتنوئیدها										
بتا - کاروتن	۰,۱۴	۰,۰۱۴	۰,۱۰۲	ND	۰,۰۷۰	۰,۰۵	ND	ND	۰,۰۴۸	۰,۰۰
لوتئین/فوکوگزانتین	ND	۰,۴۰	ND	ND	۰,۰۵۴	ND	ND	۱,۸ (F)	ND	ND
آستاگزانتین	ND	۰,۲۰۳	۰,۰۸۳	۲۰,۸۵*	۰,۱۵۰	۳,۰۷	ND	ND	۰,۶۴۰	۱,۲۵
لوسین	۹,۲۶	۱۴,۲	۱۳,۴۱	۱۴,۰#	۱۲,۳	۶,۴۳	۱۲,۴	۹,۴۳	۲۲,۸	۷,۴۳
والین	۸,۶۹	۹,۴۰	۹,۷۳	۱۶.۰#	۱۰,۹	۵,۱۱	۵,۳۲	۶,۰۰	۲۰,۱	۵,۴۳
لیزین	۶,۴۶	۱۳,۵	۱۰,۷۵	۳۹.۰#	۱۱,۱	۴,۱۰	۱۱,۷	۶,۱۴	۲۲,۸	۴,۵۲
فنیل آلانین	۶,۵۳	۸,۴۶	۹,۷۱	۳۱,۰#	۹,۳۹	۳,۴۴	۱۰,۶	۸,۰۰	۱۸,۴	۴,۹۰
متیونین	۴,۴۳	۶,۱۷	۵,۵۲	۱۶,۰#	۵,۸۲	۱,۳۸	۹,۴۳	۷,۱۴	۱۳,۳	۱,۰۴
تریپتوفان	۲,۴۵	۳,۵۵	۲,۹۵	۸۰,۰#	۲,۹۲	۰,۰۰	۵,۹۱	۳,۱۴	۷,۸۴	۵,۳۹
ترئونین	۶,۹۴	۷,۶۱	۸,۵۵	۴۱,۷#	۹,۶۵	۳,۸۲	۱۴,۴	۵,۸۶	۱۶,۲	۴,۲۹
هیستیدین	۲,۶۵	۴,۴۷	۳,۶۵	۸,۳#	۴,۳۰	۲,۵۷	۲,۳۶	۲,۱۴	۸,۷۵	۲,۲۲
ویتامین E	۸۵,۰	۴۳۵	۱۱۶	ND	ND	ND	ND	۴۷۲	۳۵۰	۰,۰۰
ویتامین B1	۲۴,۰	۱۷,۶	۲۹,۰	ND	ND	۴,۰۰	ND	۱۴	۷۰	۰,۰۲
ویتامین B6	۱۳,۷	۷,۷۰	۲,۲۰	ND	ND	۳,۰۰	ND	۱,۸۰	۹,۵۰	۱۴
ویتامین B12	۱۳,۵	۰,۶۰	۰,۷۰	ND	ND	۱,۰۰	ND	۰,۶۰	۰,۸۵	۰,۵۴
ویتامین B3	۱۴۵	۸۲,۵	۷۹,۳	ND	ND	۶۰,۰	ND	۷۷,۷	ND	۱۴۰

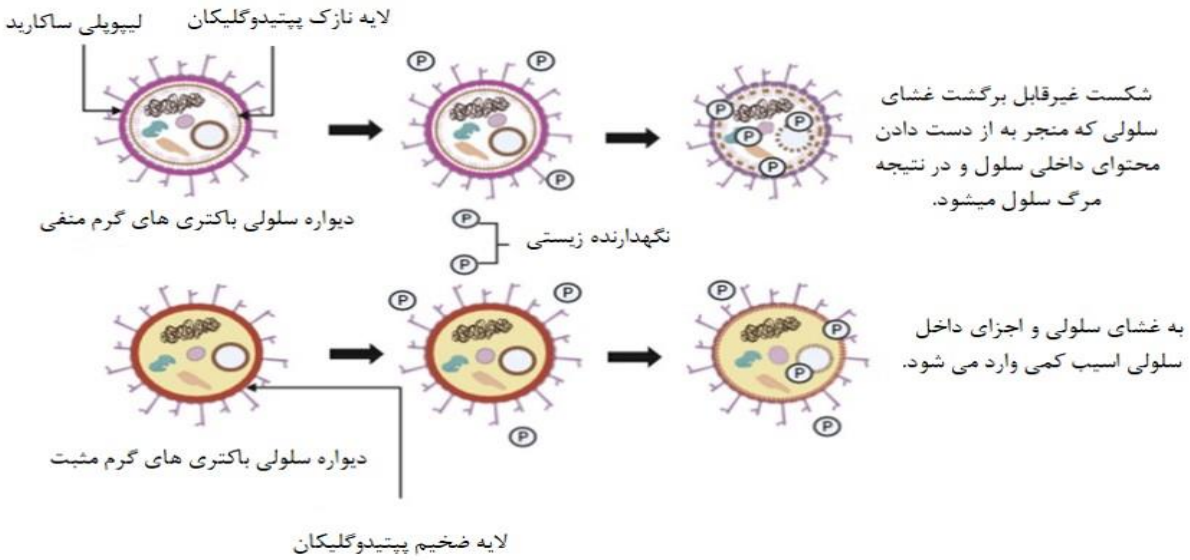
• میلی‌گرم در هر کلروفیل

گرم در ۱۰۰۰ گرم وزن خشک؛ ND: هیچ داده‌ای در دسترس نیست.

عصاره‌ها و روش‌های آماده‌سازی

ترکیب بیوشیمیایی عصاره ها به گونه، زمان جمع‌آوری و شرایط رشد بستگی دارد. عمده‌ترین ترکیبات زیست فعال استخراج‌شده از سیانوباکتری ها پروتئین‌ها، اسیدهای چرب (FA) (به‌طور عمده امگا ۳)، رنگدانه ها، کاروتنوئیدها، پلی‌ساکاریدها و ویتامین‌ها هستند که در تولید غذاهای دریایی، افزایش عمر مفید و افزایش کیفیت، ارزش بالایی دارند (Anvar *et al.*,2022). علاوه بر عملکردهای فیزیولوژیکی و بیولوژیکی عصاره‌ها، پایداری فرآیندهای مورداستفاده در استخراج و خالص‌سازی محصولات زیستی نیز مهم می‌باشند (شکل یک) (Nwoba *et al.*, 2020).

به‌طورکلی، استخراج ترکیبات بیواکتیو با استفاده از دو مرحله اصلی انجام می‌شود، (۱) انجام پیش استخراج یا آماده‌سازی نمونه‌ها (۲) فرآیند استخراج. خشک‌کردن (عمدتاً انجماد خشک)، آسیاب کردن و تیمارهای حلال به‌عنوان فرآیندهای اصلی در مرحله پیش استخراج ریزجلبک‌ها هستند. جداسازی محصولات زیست فعال محلول از حلال انتخاب‌شده با استفاده از پروتکل استاندارد، دومین مرحله فرآیند استخراج است. آب، متانول، استون، ایزوپروپانول، دی اتیل اتر، اتانول و هگزان رایج‌ترین حلال‌های مورداستفاده برای استخراج می‌باشند. خیساندن، ذوب انجمادی، سوکسله، سونوگرافی و ماکروویو رایج‌ترین روش‌های به‌کاررفته جهت استخراج حلال هستند (Medeiros *et al.*,2022 Barros de).



استفاده از عصاره‌ها برای غذاهای دریایی: حفاظت، اثر آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی

در صنایع غذایی دریایی از مواد نگهدارنده مختلفی برای افزایش عمر مفید محصولات تجاری استفاده‌شده است. ازجمله این اجزا، سیانوباکتری ها هستند که منبعی غنی از عصاره‌ها و ترکیبات نگهدارنده زیستی می‌باشند. سایر مواد خام ممکن است حاوی آن‌ها نباشند. ترکیبات زیست فعال در عصاره ها می‌توانند یکپارچگی غشای سلولی باکتری‌ها را مختل کنند. با افزایش نفوذپذیری غشای سلولی، این ترکیبات زیست فعال ممکن است باعث ایجاد تصفیه گسترده یون‌های حیاتی مانند پتاسیم و سایر محتویات سیتوپلاسمی شوند. این فرآیند ممکن است درنهایت منجر به مرگ سلولی شود (Ferreia *et al*.,2021). اختلال در غشای سلولی باکتری عمدتاً ناشی از درج ترکیبات آب‌گریز عصاره‌ها با فسفولیپیدهای دیواره سلولی باکتری می‌باشند. باکتری‌های گرم مثبت دیواره سلولی ضخیم‌تری نسبت به باکتری‌های گرم منفی دارند، به این معنی که در برابر مهار توسط نگهدارنده های زیستی مقاومت بیشتری دارند (de Oliveira and Bragotto,2020).

پلی‌فنول‌ها یا عصاره‌های میکروجلبک‌ها به‌طور قابل‌توجهی از اکسیداسیون لیپید در غذاهای دریایی جلوگیری می‌کنند. محققان نقش عصاره الکلی (اتانول، ۹۶٪) *Spirulina platensis* و *Chlorella vulgaris* در پیشگیری از اکسیداسیون چربی و افزایش ماندگاری فیله قزل‌آلای رنگین‌کمان در دمای یخچال (۱±۴) درجه سانتیگراد را موردبررسی قراردادند (Piniella-Matamoros *et al*.,2021). نتایج نشان داد که مقدار پراکسید، FA آزاد (FFA) و تیوباربیتوریک اسید به میزان قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار گرفت و اثرات منفی کمتری بر رنگ، بو و بافت داشته است. پلی فنول ها، فیکوبیلی پروتئین‌ها و ویتامین‌ها کارآمدترین آنتی‌اکسیدان‌های محلول در آب در ریزجلبک‌ها هستند. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی یا دستگاه‌های مهار اکسیداسیون لیپیدها، تشکیل رادیکال‌های آزاد را با استفاده از مکانیسم‌های متعددی به تأخیر می‌اندازند، به‌این‌ترتیب که گونه‌هایی که توسط پراکسیداسیون القا می‌شوند را پاک‌سازی می‌کنند (Li, 2022). بنابراین استفاده از زیست‌توده و پودر ریزجلبک‌ها برای افزایش کیفیت و ماندگاری با کاهش رشد میکروبی و واکنش‌های شیمیایی در غذاهای دریایی همراه است. اخیراً، در مطالعه‌ای اضافه کردن پودر *Chlorella minutissima*، *Isochrysis galbana* و *Picochlorum sp.* به برگر کنسرو ماهی آماده‌شده از نوعی ماهی آب شیرین Barbus barbus، مقبولیت حسی و شاخص‌های تحلیل بافت (سختی، جویدنی، صمغی، انسجام)، ارزش تغذیه‌ای و خواص عملکردی (نگهداری آب و روغن‌ها) را در مقایسه با کنترل بهبود داده است. نتایج حاصل از تجزیه وتحلیل آلودگی میکروبی نیز نشان داد که ترکیب برگرها با پودر ریزجلبک‌ها موجب شد تا در طی دو ماه در ۴ درجه سلسیوس، با هیچ عامل پاتوژن، کپک یا مخمری نیز آلوده نشوند. علاوه بر آن اضافه کردن ریزجلبک‌ها پتانسیل آنتی‌اکسیدانی برگرها را نیز بهبود بخشید. برای سهولت اجرا، عصاره یا زیست‌توده ریزجلبک‌ها را در فیلم‌ها و بسته‌بندی‌های مواد خوراکی مورداستفاده برای نگهداری از غذاهای دریایی می‌توان

گنجاند. فیلم‌های خوراکی زیست‌تخریب‌پذیر را برای بسته‌بندی ماهی قزل‌آلا با استفاده از نشاسته کاساوا غنی‌شده با زیست‌توده *Heterochlorella luteoviridis* و/یا *Dunaliella tertiolecta* تهیه کردند (Ferreia *et al.*,2021). ویژگی‌های این فیلم‌ها به لحاظ فیزیکی، خواص مکانیکی، نوری، مانع و آنتی‌اکسیدانی مشخص‌شده است. این فیلم حاوی ۲ درصد زیست‌توده *Heterochlorella luteoviridis* است که بهترین خواص فیزیکوشیمیایی، مکانیکی و آنتی‌اکسیدانی برای بسته‌بندی ماهی قزل‌آلا را نشان داده‌اند. نتایج نهایی نشان داد که غنی‌سازی به‌طور قابل‌توجهی از اکسیداسیون چربی و از دست دادن رطوبت در نمونه‌ها طی ۶ روز جلوگیری کرده است (Ashaolu *et al.*,2021). ترکیب فیکوسیانین استخراج‌شده از ریزجلبک *Arthrospira* sp. به ژلاتین فیلم‌ها به‌طور قابل‌توجهی مهار ظرفیت رادیکال DPPH را افزایش داد و رشد باکتری‌های گرم مثبت (*Staphylococcus aureus*، *Listeria monocytogenes*، *Icrococcus luteus*) و گرم منفی (*Pseudomonas* sp.، *E.coli*، *Salmonella typhimurium*) را محدود کردند. فیلم‌های زیست فعال تهیه‌شده از خرچنگ عنکبوتی (Maja crispata) همراه با عصاره *Spirulina* و کیتوزان منجر به افزایش مهار رادیکال DPPH و افزایش خواص ضد باکتریایی قابل‌توجهی علیه *L. monocytogenes*، *P. Aeruginosa*، *E. coli*، *S. typhimurium*، *P. aeruginosa* و *S. aureus*. شد. کاربرد عصاره ریزجلبک‌ها در محصولات غذاهای دریایی در جدول (۳) نشان داده‌شده است.

جدول (۳)- مطالعات در مورد کاربردهای بالقوه محصولات ریزجلبک برای تولید غذاهای دریایی

ترکیبات	کاربرد	غلظت	ریزجلبک‌ها
پودر	برگر کنسرو ماهی	۰,۵–۱ ۱,۵٪w/v	*Chlorella minutissima, Isochrysis galbana, Picochlorum sp*
استخراج کردن	بسته‌بندی ماهی قزل‌آلا	۲٪W/W	*Heterochlorella luteoviridis*
استخراج کردن	فیله ماهی قزل‌آلا	۰,۰۵٪ ۰,۱٪W/V	*Chlorella vulgaris, Spirulina platensis*
زیست‌توده	کراکر زرد	۰,۲۸–۰,۵۶–۱,۱۲ gرژیم غذایی۱۰۰g-1	*Haematococcus pluvialis*
زیست‌توده	کفال	۱۵–۲۲,۵–۳۰–۴۵ gرژیم غذایی۱۰۰g-1	*Arthrospira platensis*
پودر	چنگک خرچنگ چینی	۰,۲٪–۰,۴٪–۰,۶٪	*Haematococcus pluvialis*
پودر	چنگک خرچنگ چینی	۰,۲٪–۰,۴٪–۰,۶٪	*Haematococcus pluvialis*
استخراج کردن	سفره‌ماهی زیتونی	۱۰۰–۲۰۰mg kg-1	*Haematococcus pluvialis*
آستاگزانتین	ماهی‌پشت نقطه‌ای ارکیده	۲۵–۵۰–۷۵ رژیم غذایی۱۰۰Pmm	*Haematococcus pluvialis*
پودر	گربه‌ماهی آفریقایی	۵۰–۷۵٪ هرکدام به رژیم غذایی	*Spirulina platensis, Chlorella vulgaris*
پودر	میگوی کوروما	۴–۷–۱۰٪ رژیم غذایی	*Nannochloropsis*
زیست‌توده	صدف سخت	۲٪ ریزجلبک بر اساس وزن خشک	*Tetraselmis chui, Chaetoceros muelleri, Isochrysis galbana*
زیست‌توده	ماهی سالمون دریای آتلانتیک	۱۰۰ ۱۵۰gkg-1 رژیم غذایی	*Schizochytriumsp*
زیست‌توده	گرگ ماهی خالدار	۷,۵ ۱۵٪ رژیم غذایی	*Nannochloropsis oceanica*

تأثیر رنگدانه‌های ریزجلبک بر کیفیت غذاهای دریایی

خصوصیات شیمیایی، میکروبی و ویژگی‌های حسی از عوامل مهمی در نگرش مصرف‌کنندگان در انتخاب غذاهای دریایی هستند. رنگ مناسب یک ویژگی مهم برای بررسی کیفیت حسی غذاهای دریایی است. رنگ‌پریده اغلب منعکس‌کننده کیفیت ضعیف

است. درحالی‌که رنگ‌های طبیعی و روشن غذاهای دریایی باکیفیت بالا همراه هستند. برای رسیدن به رنگ مناسب و ظاهر مناسب مورد تائید مشتریان، سطوح رنگدانه های غذایی بهینه‌شده برای گونه‌های آبزی پرور ضروری است (Saini *et al*., 2020).

جدا از کاربرد مستقیم ریزجلبک‌ها در غذاهای دریایی به‌عنوان نگهدارنده های زیستی، تحقیقات نشان داده است که الحاق رنگدانه های ریزجلبک به رژیم غذایی آبزی‌پروری گونه‌ها، کیفیت و تغذیه گوشت خود را می‌توانند بهبود بخشند. رنگدانه های ریزجلبک به سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند، کاروتنوئیدها، فیکوبیلی پروتئین‌ها و کلروفیل‌ها که به ترتیب مسئول برای رنگ زرد-نارنجی، قرمز-آبی و سبز هستند (Silva *et al*.,2020).

کاروتنوئیدها گروه‌های اصلی رنگدانه‌های نارنجی و زرد هستند که در ریزجلبک‌ها به‌طور طبیعی و به‌وفور وجود دارند. این ترکیبات به دلیل پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و همچنین قابلیت رنگرزی قوی خود شناخته‌شده‌اند. کاروتنوئیدها اغلب در تولید غذاهای دریایی و آبزیان مورداستفاده هستند (Srivastava *et al*.,2022). کاروتنوئیدها به دودسته اصلی تقسیم می‌شوند؛ (۱) گروه کاروتن ها، آن‌هایی که بدون اکسیژن و متشکل از هیدروژن و کربن هستند (به‌عنوان‌مثال، آلفا - کاروتن، بتاکاروتن، گاما کاروتن و لیکوپن) و (۲) زانتوفیل‌هایی که مشتقات اکسیژن‌دار کاروتن ها هستند، مانند: (آستاگزانتین، کانتاگزانتین، زآگزانتین، کریپتوکسانتین و بتاکاروتن) مهم‌ترین رنگدانه در تولید غذاهای دریایی می‌باشند (Pagels *et al*., 2020).

کاروتنوئیدها در ماهی‌ها، اثرات رنگی و آنتی‌اکسیدانی قوی را موجب می‌شوند. اگرچه منبع اصلی شناخته‌شده این رنگدانه ریزجلبک *Spirulina* است، مهم‌ترین گونه برای تولید در مقیاس صنعتی *Dunaliella salina*، با تجمع تا ۱۵ درصد وزن خشک بوده است (Pegels *et al*., 2019). آستاگزانتین یکی دیگر از کاروتنوئیدها با ارزش است که در رژیم غذایی گونه‌های آبزی‌پروری برای بهبود ارزش غذایی و کیفیت گونه‌های پرورشی مانند خرچنگ (crab)، میگو (shrimp) و سالمون (salmon) استفاده می‌شود. ریزجلبک *Haematococcus pluvialis* و *Chlorella zofingiensi* غنی‌ترین منابع آستاگزانتین هستند (Esteves *et al*., 2021).

فیکوبیلی پروتئین‌ها، در تمامی گونه‌های سیانوباکتری مانند *Phorphyridium*، *Spirulina* و *Oscillatoria* موجود هستند. این رنگدانه‌ها برپایه پروتئین هستند، رنگدانه ها به‌عنوان فیکوسیانین‌ها (رنگدانه‌های آبی) آلو فیکوسیانین ها (رنگدانه‌های آبی کم‌رنگ)، و فیکواریترین‌ها (رنگدانه های قرمز) طبقه‌بندی می‌شوند (Kannavjiya *et al*., 2019). فیکوسیانین‌ها دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی هستند که اغلب برای غذاهای دریایی (و سایر محصولات غذایی) استفاده می‌شوند.

کلروفیل‌ها گروه دیگری از رنگدانه‌های میکرو جلبکی با ارزش تجاری هستند. از این رنگدانه‌ها در تولید غذاهای دریایی به‌عنوان رنگ‌های طبیعی و مواد تقویت‌کننده سلامت استفاده می‌شود (Liu *et al*.,2022). رنگ صورتی گوشت سالمون به دلیل تغذیه با کاروتینوئیدهای ریزجلبک‌ها است. علاوه بر آن

خرچنگ دریـایی (Lobster)، خرچنـگ (Crap)، میگـو (Shrimp) و بسیاری از گونه‌های ماهی مانند کپور کوی (Koi carp) از دیگرگونه‌های آبزی دوسـت هسـتند کـه رنگ آن‌ها به دلیل تغذیـه بـا کاروتینوئیـد ریزجلبک‌هـا است (Garecía-Vaquero *et al*.,2021). مطالعات نشان داد که استفاده از پودر جلبـک سـبز *Haematococcus pluvialis*، رنگ و میزان پروتئین را در خرچنگ چینـی (*Eriocheir sinensis*) افزایش داد. مطالعه دیگری برای مقایسـه اثـرات رژیـم غـذایی بـا پـودر کاروتینوئیـد و آسـتاگزانتین جداشـده از *Haematococcus pluvialis* برای افزایش کیفیت خرچنگ‌های چینی انجام شد. نتایج نشـان داد کـه *H. pluvialis* در افـزایش تجمـع آستاگزانتین و مواد مغذی بـالقوه در خرچنگ‌هـا بسـیار مؤثر است. در یک مطالعه، محققان نشان دادند که رژیـم غـذایی حـاوی رنگدانـه *H. pluvialis* بـا غلظـت ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم *Paralichthys olivaceus*، رنـگ پوست سفره‌ماهی را زیتونی رنگ می کنـد de Morais (*et al*.,2018). محققان دیگر بیان کردنـد کـه *pluvialis Hematococcus* رنـگ مایـل بـه قرمـز پوسـت میگـو (Litopenaeus *vannamei*) را افـزایش می‌دهـد (Morocho-Jácome *et al*., 2020).

تأثیر اسیدچرب امگا ۳ ها بر کیفیت غذاهای دریایی

سیانوباکتری ها دارای محتـوای لیپیـد بـین ۲ و ۲۳ درصد وزن خشک هستند. اسیدهای چرب امگا ۳ شامل ۳۰ تـا ۷۰ درصـد از کـل لیپیـدها هسـتند. برخـی از سیانوباکتری هـا ماننـد *Phaeodactylum tricornutum*، *Schizochytrium* sp. *Crytthecodinium cohnii* قادر به جمع‌آوری میزان زیادی از اسیدهای چرب غیر اشباع هسـتند. از ایـن رو از اسـیدهای چـرب حاصـل از سیانوباکتری ها، همـواره بـرای غنـی سـازی و تقویـت کیفیـت تغذیـه ماهی‌هـای مختلـف و دیگرگونـه‌های جانوران آبزی استفاده مـی شـود (Kannavjiya *et al*., 2017). مطالعات متعدد نشان داده است که الحـاق امگـا ۳ ریزجلبک‌ها در رژیم غذایی آبزیان راهی مطمئن برای افـزایش کیفیـت غـذاهای دریـایی اسـت. بـه‌عنوان‌مثال، مطالعه ای نشان داده است که جایگزینی روغن ماهی بـا لیپیـد *Nannochloropsis* در رژیـم غـذایی میگـو (*Marsupenaeus japonicas*) می‌تواند مقدار محتـوای امگـا ۳ را در گوشـت میگـو خـوراکی افـزایش دهـد (Camacho *et al*., 2019).

محققـان در تحقیقـی پروفایل‌هـای FA و پـر اکسیداسیون لیپیدی غشای زیسـتی صـدف (*Meretrix lusoria*) تغذیه‌شده با ریزجلبک *Isochrysis galbana*، *Chaetoceros muelleri* و *Tetraselmis chui* را بـه مدت ۸ هفته بررسی کردند. نتایج نشان داده اسـت کـه FA به‌ویژه EPA و DHA در صدف‌ها نشان‌دهنده تغذیه با ریزجلبک‌ها بودند. صـدف‌هایی کـه از *Tetraselmis chui* و *Chaetoceros muelleri* تغذیـه می‌کردنـد، نسـبت‌های بیشـتری از FA را نسـبت بـه *Isochrysis galbana* داشتند و لیپیـد صـدف‌های تغذیه‌شـده بـا *I. galbana* بـالاترین میـزان نسـبت DHA را در بـین گروه‌های آزمایش‌شده نشان دادند (MU *et al*., 2019). محققان همچنین نشان دادند که ترکیب غنـی ازDHA مستخرج از *Schizochytrium sp.* در رژیم غذایی ماهی تیلاپیا نیل (*Oreochromis niloticus*) می‌تواند DHA و محتـوای کـل چربـی فیلـه‌های مـاهی را افـزایش دهـد (Kratzer and Mukovic,2021).

کاربرد پروتئین ریزجلبک‌ها در تولید غذاهای دریایی

برخی از گونه‌های ریزجلبک‌ها سرشار از پروتئین هستند که از نظر کیفیت و کمیت، با پروتئین‌های تخم‌مرغ، ماهی و سویا رقابت می‌کنند. به‌عنوان‌مثال، بیشتر سویه‌های *Spirulina* و چند سویه از *Chlorella* و *Nannochloropsis* گزارش‌شده است که بین ۴۰ تا ۶۵ درصد پروتئین خام را دارند. پروتئین‌های میکرو جلبک‌ها حاوی پروفایل‌های اسیدآمینه قابل‌مقایسه با پروفایل‌های اسیدآمینه تخم‌مرغ و سویا هستند. بااین‌حال، این پروتئین‌ها ممکن است مشکلات عدم هضم را داشته باشد، به همین دلیل کارایی و ویژگی‌هایی بیولوژیکی کمتری نسبت به تخم‌مرغ دارند. پودر ماهی معمولاً به‌عنوان منبع پروتئین اولیه در خوراک‌های آبزیان عرضه می‌شود، بااین‌حال، مصرف پیوسته رو به رشد غذاهای دریایی، قیمت روزافزون پودر ماهی و کاهش تولید پودر ماهی منجر به جستجوی منابع پروتئینی مناسب برای تولید خوراک آبزیان شده است. ریزجلبک‌ها می‌توانند جایگزین مناسب پودر ماهی به دلیل محتوای پروتئین بالا و وجود تمام اسیدهای آمینه ضروری باشند. بسیاری از مطالعات فیزیولوژیک و سم‌شناسی در کاربرد پروتئین ریزجلبک‌ها در خوراک آبی، اثرات مفید آن‌ها را بر کیفیت غذاهای دریایی نشان داده است (Standnichuk and Tropin,2017).

کاربرد ویتامین‌ها و مواد معدنی ریزجلبک‌ها در تولید غذاهای دریایی

ریزجلبک‌ها می‌توانند سطوح بالایی از ویتامین A، B1، B2، B6، B12، C، E، K، نیاسین، نیکوتینات، بیوتین و اسیدفولیک را جمع کنند. ویتامین‌ها از مواد تشکیل‌دهنده اولیه مهمی هستند که در پرورش آبزیان شامل ماهی‌ها، میگوها، دوکفه‌ای‌ها و نرم‌تنان و ریزجلبک‌ها به‌عنوان بخشی از رژیم غذایی به‌جای مواد افزودنی مصنوعی ارائه می‌شوند. این اجزا برای رشد و نمو جانوران آبزی ضروری هستند، زیرا قادر به سنتز آن‌ها نیستند. ویتامین‌ها دارای یک نقش آنتی‌اکسیدانی مهمی در از بین بردن گونه اکسیژن فعال Reactive oxygen species (ROS) هستند، محتوای ویتامین ریزجلبک‌ها در بین انواع مختلف گونه تفاوت دارد و با شرایط رشد در ارتباط است و مرحله رشد بیشترین تنوع را برای ویتامین C از ۱ تا ۱۶ میلی‌گرم در وزن خشک دارد. برخی از گونه‌های *Chlorella* گزارش‌شده است که مقادیر بیشتری ویتامین دارد و برای گیاهان به‌عنوان غذا استفاده می‌شود (Zuccaro *et al*., 2020). مقدار بالای ویتامین D3 موجود در گوشت ماهی قزل‌آلا (*Salmo salar*) و قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، از رژیم غذایی با ریزجلبک‌ها و زئوپلانکتون‌ها منشأ می‌گیرد. سیانوباکتری‌ها دارای ترکیب بالا و متنوعی از مواد معدنی که ازجمله فراوان‌ترین آن‌ها کلسیم، پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن، سدیم، گوگرد، روی و مس می‌باشد. محتوای مواد معدنی ریزجلبک‌ها از ۲/۲ درصد تا ۴/۸ درصد کل وزن خشک را شامل می‌شود و می‌توانند جایگزین نمک‌های معدنی برای خوراک آبزیان باشند و درنهایت بافت و طعم ماهی را بهبود بخشند (İlter *et al*., 2018).

تأثیر کربوهیدرات‌ها بر کیفیت غذاهای دریایی

۱۰ درصد تا ۲۵ درصد وزن خشک ریزجلبک‌ها را کربوهیدرات‌ها تشکیل داده است. ریزجلبک‌های *Tetraselmis* sp.، *Isochrysis* sp.، *Porphyridium*

Rhodella ،*Porphyridium cruentu* ،*purpureum* *reticulate* و *Chlorella* sp. برای استخراج پلی‌ساکاریدها بسیار مورد استفاده هستند. کربوهیدرات‌های ریزجلبک‌ها عمدتاً از مخلوط قندهای آمینه، قندهای خنثی و اسیدهای اورونیک تشکیل‌شده‌اند. آن‌ها از یک‌گونه به گونه دیگر بسیار متفاوت هستند. گلوکز، رامنوز، زایلوز، مانوز، گالاکتوز، فوکوز، آرابینوز، ریبوز، گلوکزامین، گالاکتوزامین، اسید گلوکورونیک و اسید گالاکتورونیک دارند که به‌عنوان رایج‌ترین منوساکاریدها گزارش‌شده‌اند. کربوهیدرات‌های ریزجلبک‌هایی مانند *Scenedesmus obliquus* را می‌توان در طول دوره رشد دست‌کاری کرد تا به ۴۰ درصد وزن خشک در گونه‌های خاص برسند (Kannavjiya *et al*., 2021).

پلی‌ساکاریدهای ریزجلبک برحسب عملکرد فیزیولوژیکی به سه گروه طبقه‌بندی‌شده‌اند: (الف) پلی‌ساکاریدهای ذخیره کننده انرژی (ب) پلی‌ساکاریدهای ساختاری که در تشکیل دیواره سلولی شرکت می‌کنند (ج) پلی‌ساکاریدهای درگیر در ارتباطات سلولی. پلی‌ساکاریدهای ساختاری از ریزجلبک‌ها برای استفاده از غذاهای دریایی و سایر غذاها به دلیل نسبتاً استخراج آسان آن‌ها و خواص رئولوژیکی آن‌ها مانند ژل شدن یا قابلیت ضخیم شدن موردتوجه هستند، ریزجلبک *Chlorella* sp. منبع غنی بتا- گلوکان است که یک پلی ساکارید متشکل ازD- بتاگلوکز است. گزارش‌شده است که بتا- گلوکان دارای فعالیت آنتی باکتریال قابل‌توجهی در ماهی‌ها است و همچنین مطالعات نشان داده است که استفاده از مکمل ۲ درصد سولفاته پلی ساکارید از *Spirulina platensis* برای خوراک ماهی گورخر *Danio rerio* می‌تواند عملکرد تولیدمثل را تقویت کند و خواص تغذیه‌ای ماهی همه‌چیزخوار را که محتوای کربوهیدرات بالا است، سرعت بخشند (Papadaki *et al*.,2017).

نتیجه‌گیری نهایی

مطالعات متعددی در مورد خطرات مربوط به سمیت ریزجلبک‌ها نشان داده است که در برخی موارد ممکن است حاوی سموم، آلرژن ها و فلزات سنگین باشند، به همین دلیل باید برای تائید غذای حیوانات و یا انسان‌ها بسیار احتیاط کرد. ریزجلبک‌های تولیدکننده سم اغلب متعلق به رده *Cyanophyceae* هستند. هیچ سمی در ریز جلبک‌های *Chlorella* و *Spirulina* شناسایی نشده است. بااین‌حال، سموم میکروسیستین در *Aphanizomenon flos-aquae* یافت شده است. یکی دیگر از مسائل ایمنی، احتمال وجود فلزات سنگین است. ازآنجایی‌که ریزجلبک‌ها سطح اولیه زنجیره غذایی آبزیان هستند، آن‌ها می‌توانند فلزات سنگین انباشته‌شده را تا سطوح زنجیره تغذیه‌ای بیشتر در محیط دریاها انتقال دهند. بین ریزجلبک‌ها، انواعی به تولید تجاری رسیده اند که از بین آن‌ها می‌توان به *Phaeodactylum* ،*Nannochloropsis* sp. *tricornutum*، *Nitzschia* sp.، *Haematococcus pluvialis*، *Schizochytrium sp* و *Dunaliella sp* اشاره کرد. ازجمله محصولات استخراج‌شده هم می‌توان به DHA از *C. cohnii*، بتاکاروتن از *Dunaliella salin* و استرهای آستاگزانتین از *Haematococcus pluvialis* اشاره کرد. زیست‌توده‌ی ریزجلبک‌ها و مشتقات آن (عصاره‌ها و ترکیبات زیست فعال) به‌طور فزاینده‌ای

موردتوجه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان غذاهای دریایی قرارگرفته‌اند. این محصولات عملکردهای متعددی دارند، مانند: (رنگدانه های طبیعی، عوامل بالقوه ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی)، درواقع مکمل‌های غذایی مرتبط با سلامت مواد غذایی با خواص تکنولوژیکی بهبود یافته‌اند و به غذاهای دریایی اضافه می‌شوند. بااین‌حال، هنوز چالش‌های بسیاری در تولید و استفاده از زیست‌توده ریزجلبک یا مشتقات آن در صنایع غذایی وجود دارد، این چالش‌ها عمدتاً به هزینه تولید مربوط می‌شوند، از این‌رو ارزیابی ایمنی و استفاده از غلظت‌های ایده ال برای مطالعات آتی که هنوز برای تعیین غلظت بهینه برای استفاده از عصاره‌های ریزجلبک در مقیاس بزرگ در صنعت و غذاهای دریایی برای توسعه استراتژی‌های مؤثر یا برای جلوگیری از وقوع فساد در محصول غذایی و همچنین برای افزایش رفاه مصرف‌کنندگان ضروری هستند. علاوه براین، انجام آزمایش‌های بالینی بر روی انسان برای تأیید اثربخشی، ایمنی، فراهمی زیستی و اثرات مفید محصولات مبتنی بر ریزجلبک نیز ضروری می‌باشند.

تعارض منافع

نویسندگان تعارض منافعی برای اعالم ندارند.

منابع

- Ampofo, J. and Abbey, L. (2022). Microalgae bioactive composition, health benefits, safety and prospects as potential high-Value ingredients for the functional food industry. Foods. 11(12), 1744.
- Anvar, A.A., and Nowruzi, B. (2021). Bioactive properties of *Spirulina*: A review. Microbial Bioactives, 4(1): 134-142. [In Persian]
- Anvar, S.A.A., Nowruzi, B. and Tala, M. (2021). Bioactive products of cyanobacteria and microalgae as valuable dietary and medicinal supplements. Food Hygiene, 11(1(41): 99-118. [In Persian]
- Anvar, S.A.A. and Nowruzi, B. (2021). A review of phycobiliproteins of cyanobacteria: structure, function and industrial applications in food and pharmaceutical industries. Research and Innovation in Food Science and Technology, 10(2): 181-198. [In Persian]
- Anvar, S.A.A., Nowruzi, B. and Afshari, G. (2022). A review of the application of nanoparticles biosynthesized by microalgae and cyanobacteria in Medical and veterinary sciences. Iranian Journal of Veterinary Medicine, 17(1): 1-18. [In Persian]
- Ashaolu, T.J., Samborska, K., Lee, C.C., Tomas, M., Capanoglu, E., *et al*., (2021). Phycocyanin, a super functional ingredient from algae; properties, purification characterization and applications. International Journal of Biological Macromolecules, 193(2): 2320-2331.
- Barros de Medeiros, V.P., Da Costa, W.K.A., Da Silva, R.T., Pimentel, T.C. and Magnani, M. (2022). Microalgae as source of functional ingredients in new-generation foods: challenges, technological effects, biological activity and regulatory issues. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(18): 4929-4950.
- Blas-Valdivia, V., Moran-Dorantes, D.N., Rojas-Franco, P., Franco-Colin, M., Mirhosseini, N., *et al*., (2022). C-Phycocyanin prevents acute myocardial infarction-induced oxidative stress, inflammation and cardiac damage. Pharmaceutical Biology, 60(1): 755-763.
- Camacho, F., Macedo, A. and Malcata, F. (2019). Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: A short review. Marine Drugs, 17(6): 312

- Caporgno, M.P. and Mathys, A. (2018). Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. Frontiers in Nutrition, DIO: 10.3389/fnut.2018.00058.
- Cervantes-Llanos, M., Lagumersindez-Denis, N., Marín-Prida, J., Pavón-Fuentes, N., Falcon-Cama, V., *et al*., (2018). Beneficial effects of oral administration of C-Phycocyanin and Phycocyanobilin in rodent models of experimental autoimmune encephalomyelitis. Life Sciences, 194(1): 130-138.
- Chen, C., Tang, T., Shi, Q., Zhou, Z. and Fan, J. (2022). The potential and challenge of microalgae as promising future food sources. Trends in Food Science and Technology, 126(1): 99-112.
- De Morais, M.G., Da Fontoura Prates, D., Moreira, J.B., Duarte, J.H. and Costa, J.A.V. (2018). Phycocyanin from microalgae: Properties, extraction and purification, with some recent applications. Industrial Biotechnology, 14(1): 30-37.
- De Oliveira, A.P.F. and Bragotto, A.P.A. (2022). Microalgae-based products: Food and public health. Future foods, DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100157.
- Esteves, A.F., Pires, J.C. and Gonçalves, A.L. (2021). Current utilization of microalgae in the food industry beyond direct human consumption. Cultured Microalgae for the Food Industry, pp. 199-248.
- Ferreira, A., Guerra, I., Costa, M., Silva, J. and Gouveia, L. (2021). Future perspectives of microalgae in the food industry. Cultured Microalgae for the Food Industry, pp. 387-433.
- García-Vaquero, M., Brunton, N. and Lafarga, T. (2021). Microalgae as a source of pigments for food applications. Cultured Microalgae for the Food Industry, pp. 177-198.
- Hadiyanto, H., Harjanto, G., Huzain, M. and Aji, R. (2019). Production of antioxidant C-phycocyanin using extraction process of *Spirulina platensis* in large scale industry. Materials Science and Engineering, DOI: 10.1088/1757-899X/633/1/012025.
- Hsieh-Lo, M., Castillo, G., Ochoa-Becerra, M.A. and Mogica, L. (2019). Phycocyanin and phycoerythrin: Strategies to improve production yield and chemical stability. Algal Research, DOI: 10.1016/j.algal.2019.101600.
- İlter, I., Akyıl, S., Demirel, Z., Koç, M., Conk-Dalay, M. and Kaymak-Ertekin, F. (2018). Optimization of phycocyanin extraction from *Spirulina platensis* using different techniques. Journal of Food Composition and Analysis, 70(1): 78-88.
- Kannaujiya, V.K., Kumar, D., Pathak, J. and Sinha, R.P. (2019). Phycobiliproteins and their commercial significance. Cyanobacteria, pp. 207-216.
- Kannaujiya, V.K., Kumar, D., Singh, V. and Sinha, R.P. (2021). Advances in phycobiliproteins research: innovations and commercialization. Natural Bioactive Compounds, pp. 57-81.
- Kannaujiya, V.K., Sundaram, S. and Sinha, R.P. (2017). Structural and functional significance of phycobiliproteins. Recent developments and future applications. Phycobiliproteins, pp. 21-44.
- Kratzer, R. and Murkovic, M. (2021). Food ingredients and nutraceuticals from microalgae: Main product classes and biotechnological production foods, DOI: 10.3390/foods10071626.
- Li, W., Su, H.N., Pu, Y., Chen, J., Liu, L.N., *et al*., (2019). Phycobiliproteins: Molecular structure, production, applications, and prospects. Biotechnology Advances, 37(2): 340-353.
- Li, Y. (2022). The bioactivities of phycocyanobilin from *Spirulina*. Journal of Immunology Research, DOI: 10.1155/2022/4008991.
- Liu, R., Qin, S. and Li, W. (2022). Phycocyanin: Anti inflammatory effect and mechanism. Biomedicine and pharmacotherapy, DOI: 10.1016/j.biopha.2022.113362.
- Matos, J., Cardoso, C., Bandarra, N.M. and Afonso, C. (2017). Microalgae as healthy ingredients for functional food: a review. Food and Function, 8(1): 2672-2685.
- Morocho-Jácome, A.L., Ruscinc, N., Martinez, R.M., De Carvalho, J.C. M., Santos de Almedia, T., *et al*., (2020). BioTechnological aspects of microalgae pigments for cosmetics. Applied Microbiology and Biotechnology, 104(1): 9513-9522.

- Mu, N., Mehar, J.G., Mudliar, S.N. and Shekh, A.Y. (2019). Recent advances in microalgal bioactives for food, feed and healthcare products: Commercial potential, Market space, and sustainability. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(6): 1882-1897.
- Mysliwa-Kurdziel, B. and Solymosi, K. (2017). Phycobilins and Phycobiliproteins used in food industry and medicine. Mini Reviews in Medicinal Chemistry, 17(13): 1173-1193.
- Niakhalili, N., Ahari, H. and Nowruzi, B. (2023). Registration and identification of toxic *S. aureus* genes isolated from *Tilapia* fish using multiplex PCR technique. Journal of Food Technology and Nutrition, DOI: 10.30495/jftn.2022.66835.11210. [In persian]
- Nova, P., Martins, A.P., Teixeira, C., Abreu, H., Silva, J.G., *et al*., (2020). Foods with microalgae and seaweeds fostering consumers health: a review on scientific and market innovations. Journal of Applied Phycology, 32(1): 1789-1802.
- Nowruzi, B. (2022). Cyanobacteria natural products as sources for future directions in antibiotic drug discovery, DOI: 10.5772/intechopen.106364. [In Persian]
- Nowruzi, B., Jafari, M., Babaie, S., Motamedi, A. and Anvar, A. (2021). *Spirulina*: A healthy green sun with bioactive properties. Journal of Microbial World, 13(4): 322-348. [In Persian]
- Nowruzi, B., Sarvari, G. and Blanco, S. (2020). Applications of cyanobacteria in biomedicine. Handbook of Algal Science, Technology and Medicine, pp. 441-453. [In Persian]
- Nwoba, E.G., Ogbonna, C.N., Ishika, T. and Vadiveloo, A. (2020). Microalgal pigments: A source of natural food colors. Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products, pp. 81-123.
- Pagels, F., Guedes, A.C., Amaro, H.M., Kijjoa, A. and Vasconcelos, V. (2019). Phycobiliproteins from cyanobacteria: Chemistry and biotechnological applications. Biotechnology Advances, 37(3): 422-443.
- Pagels, F., Salvaterra, D., Amaro, H.M. and Guedes, A.C. (2020). Pigments from microalgae. Handbook of Microalgae-Based Processes and Products, pp. 465-492.
- Papadaki, S., Kyriakopoulou, K., Tzoveniz, I. and Krokida, M. (2017). Environmental impact of phycocyanin recovery from *Spirulina platensis* cyanobacterium. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 44(1): 217-223.
- Piniella-Matamoros, B., Marín-Prida, J. and Pentón-Rol, G. (2021). Nutraceutical and therapeutic potential of phycocyanobilin for treating Alzheimer's disease. Journal of Biosciences, DOI: 10.1007/s12038-021-00161-7.
- Puzorjov, A. and Mccoarmick, A.J. (2020). Phycobiliproteins from extreme environments and their potential applications. Journal of Experimental Botany, 71(13): 3827-3842.
- Saini, D.K., Chakdar, H., Pabbi, S. and Shukila, P. (2020). Enhancing production of microalgal biopigments through metabolic and genetic engineering. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60(3): 391-405.
- Scaglioni, P.T. and Badiale-Furlong, E. (2017). Can microalgae Act as source of preservatives in the food Chain. Journal of Food Science and Engineering, 7(1): 283-296.
- Silva, S.C., Ferreira, I.C., Dias, M.M. and Barreiro, M.F. (2020). Microalgae-derived pigments: A 10-year bibliometric review and industry and market trend analysis. Molecules, 25(15): 3406.
- Srivastava, A., Kalwani, M., Chakdar, H., Pabbi, S. and Shukla, P. (2022). Biosynthesis and biotechnological interventions for commercial production of microalgal pigments: A review. Bioresource Technology, DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127071.
- Standichuk, I. and Tropin, I. (2017). Phycobiliproteins: Structure, functions and biotechnological applications. Applied Biochemistry and Microbiology, 53(1): 1-10.
- Stanic-Vucinic, D., Minic, S., Nikolic, M.R. and Velickovic, T.C. (2018). *Spirulina* phycobiliproteins as food components and complements. Microalgal Biotechnology, pp. 129-149.
- Tavakoli, S., Regenstein, J.M., Daneshvar, E., Bhatnagar, A., Luo, Y. and Hong, H. (2022). Recent advances in the application of microalgae and its derivatives for preservation, quality improvement,

and shelf life extension of seafood. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(22): 6055-6068.

- Thevarajah, B., Nishshanka, G.K.S.H., Premaratne, M., Nimarshana, P.H.V., Nagarajan, D., *et al*., (2022). Large-scale production of *Spirulina* based proteins and c-phycocyanin: A biorefinery approach. Biochemical Engineering Journal, DOI: 10.1016/j.bej.2022.108541.
- Yu, P., Wu, Y., Wang, G., Jia, T. and Zhang, Y. (2017). Purification and bioactivities of phycocyanin. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57(18): 3840-3849.
- Zuccaro, G., Yousuf, A., Pollio, A. and Steyer, J.P. (2020). Microalgae cultivation systems. Microalgae Cultivation for Biofuels Production, pp. 11-29.