Journal of Microbial World
Volume 13, No. 4, January 2021

Review Article

Spirulina: A healthy green sun with bioactive properties

Mahnaz Jafari[1], Shaqayeq Babaie[1], Atena Motamedi[1], Seyed Amir Ali Anvar[1], Bahareh Nowruzi[2]

[1] Department of food Hygiene, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[2] Bahareh Nowruzi: Assistant Prof., Department of Biotechnology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

Spirulina is a photosynthetic cyanophyte that can grow in high intensity sunlight and very alkaline conditions and high temperatures. This algae contains vitamin supplements in the diet. *Spirulina* will be introduced as a complete food source in the near future. In fact, one of the most important problems in the food industry is the use of synthetic preservatives and synthetic food additives that increase the risk of cancer. Therefore, efforts are being made around the world today to isolate new and safe antioxidants from natural sources. Among these, the natural products (secondary metabolites) of cyanobacteria are an important source of new drug compounds. Natural products not only have medicinal value themselves, but are also used as building models to create synthetic analogues. The chemical composition of *Spirulina* includes protein (70-55%), carbohydrates (25-25%), essential fatty acids (18%), vitamins, minerals and pigments such as carotene, chlorophyll a and phycocyanin. Because there is great potential for exploiting this algae and turning it into a dietary supplement in the production of a variety of food products such as cookies and biscuits, ice cream and cream cheese, and that in a small volume of this algae, it can be used as a golden key in nutrition. In this article, considering the potential potential of Cyanobacterium *Spirulina*, the morphological structure, life cycle, nutritional composition, antiviral activity, anti-cancer, anti-inflammatory, safety, anti-nephrotoxicity properties, increased visual acuity, weight loss and Blood lipids are treated. Obviously, the introduction of valuable properties of cyanobacteria *Spirulina* can be a suitable substitute for many antimicrobial compounds and synthetic antioxidants that not only pose no risk to the consumer, but can also improve consumer health. On the other hand, since the present study reviews the latest findings on cyanobacteria *Spirulina*, it is hoped that this study could pave the way for the introduction of edible microalgae with healing properties that can be used in the food industry.

Keywords: *Spirulina*, bioactive properties, complete food source, cyanobacteria, antimicrobial compounds

Received: 17 August 2020 Revised: 10 November 2020 Accepted: 8 December 2020

Correspondence to: Dr. Bahareh Nowruzi

Tel: +98 9113710956

E-mail: bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

Journal of Microbial World 2021, 13 (4): 322-348

Copyright © 2019, This article is published in Journal of Microbial World as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License. Non-commercial, unrestricted use, distribution, and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.

مجله دنیای میکروب‌ها
سال سیزدهم شماره چهارم (پیاپی ٤٥) زمستان ۱۳۹۹
صفحات ۳٤۸-۳۲۲

Review Article

اسپیرولینا: خورشید سبز سلامت با ویژگی‌های زیست فعال

مهناز جعفری[۱]، شقایق بابایی [۱]، آتنا معتمدی[۱]، سید امیر علی انوار[۱]، بهاره نوروزی[۲*]

[۱] گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

[۲] استادیار گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری های همگرا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

چکیده

اسپیرولینا، سیانوفیت فتوسنتز کننده ای است که قادر به رشد در شدت بالای نور خورشید و شرایط بسیار قلیایی و دمای بالا است. این جلبک دارای مکمل‌های ویتامینی در رژیم غذایی است. *اسپیرولینا*، در آینده ای نزدیک به عنوان منبع غذایی کامل معرفی خواهد شد. در واقع یکی از مهمترین مشکلاتی که در صنعت غذا وجود دارد، استفاده از نگهدارنده‌های سنتزی و افزودنی‌های سنتزی غذایی می‌باشد که خطر ابتلا به سرطان را افزایش می‌دهد. بنابر این امروزه در سراسر جهان کوشش می‌شود تا آنتی اکسیدان‌های جدید و ایمن را از منابع طبیعی جداسازی کنند. در این میان فرآورده‌های طبیعی (متابولیت‌های ثانویه) سیانوباکترها، منبع مهمی از ترکیب‌های جدید دارویی هستند. فرآورده‌های طبیعی نه تنها خود دارای ارزش دارویی هستند، بلکه به عنوان مدل‌های ساختمانی برای ایجاد آنالوگ‌های سنتزی نیز به کار می‌روند. ترکیب شیمیایی *اسپیرولینا* شامل پروتین (۷۰-۵۵ درصد)، کربوهیدرات (۲۵-۱۵ درصد)، اسیدهای چرب ضروری (۱۸ درصد) ویتامین‌ها، مواد معدنی و رنگدانه‌هایی مانند کاروتن، کلروفیل a و فیکوسیانین است. از آنجا که پتانسیل زیادی برای بهره برداری از این جلبک و تبدیل آن به یک مکمل غذایی در تولید انواع محصولات خوراکی مانند کلوچه و بیسکوئیت، بستنی و پنیر خامه‌ای وجود دارد، می‌تواند به عنوان شاه کلیدی طلائی در تغذیه مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله سعی شده است تا با توجه به پتانسیل بالقوه سیانوباکتر *اسپیرولینا*، به بررسی ساختار، چرخه زندگی، ترکیبات تغذیه‌ای، فعالیت ضد ویروسی، اثرات ضد سرطانی، ضد التهابی، ایمنی، خواص ضد نفروتوکسیسیتی، افزایش قدرت بینایی، کاهش وزن و چربی خون پرداخته شود. بدیهی است که خواص ارزشمند *اسپیرولینا* می‌تواند جانشینی مناسب برای بسیاری از ترکیبات ضد میکروبی و آنتی اکسیدان های سنتزی باشد که نه تنها هیچ خطری برای مصرف کننده ندارد، بلکه می‌تواند سلامت مصرف کنندگان را نیز بهبود بخشد. از طرف دیگر، از آنجایی که در مقاله حاضر، آخرین دست آوردهای انجام شده بر سیانوباکتر *اسپیرولینا* مرور شده است، امید است این تحقیق بتواند زمینه ساز معرفی ریزجلبک‌های خوراکی با ویژگی‌های شفابخشی با قابلیت استفاده در صنایع غذایی تلقی گردد.

واژه های کلیدی: *اسپیرولینا*، ویژگی های زیست فعال، منبع غذایی کامل، سیانوباکترها، ترکیبات ضد میکروبی

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/٤/۲۷ ویرایش مقاله: ۱۳۹۹/۸/۱۹ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۹/۲۵

مقدمه

استفاده از سیانوباکترها، در صنایع داروسازی و بهداشتی در اواخر ۱۹۷۰ میلادی شروع شد که منتهی به کشف ترکیبات جدید با ویژگی های ضد ویروسی، ضد سرطانی، ضد HIV، ضد باکتریایی، ضد قارچی و سیتوتوکسیک در کاربردهای کلینیکی شد. در واقع این موجودات منابع غنی از متابولیت‌های

*) آدرس برای مکاتبه: دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات.
تلفن: ۰۹۱۱۳۷۱۰۹۵٦ پست الکترونیک: bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه (http://creativecommons.org/licenses/bync/4.0/) در فصلنامه دنیای میکروب‌ها منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.

ثانویه هستند که کاربردهای جالب از لحاظ بیوتکنولوژی دارند. یکی از مزیت‌های سیانوباکترها نسبت به دیگر موجودات این است که فرایند کشت آن‌ها ساده و راحت است. استفاده از سیانوباکتری‌ها در تولید غذا، سوخت، حاصلخیز سازی خاک و تولید متابولیت‌های ثانویه متنوع، نظیر سموم، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و داروها از جمله کاربردهای سیانوباکتری‌ها در بیوتکنولوژی است (۱).

در دو دهه گذشته، سیانوباکترهای جنس *اسپیرولینا* با تولید محدوده وسیعی از ترکیب‌های فعال زیستی جدید و با اهمیت دارویی فراوان شناخته شده اند. ترکیب‌های فعال زیستی در این جنس، محدوده وسیعی از فعالیت‌های زیستی مانند فعالیت‌های آنتی اکسیدانی دارند. آنتی اکسیدان‌ها موادی هستند که از اکسیداسیون سلولی مواد قابل اکسید، جلوگیری می‌کنند یا آن را به تاخیر می‌اندازند یا و کیفیت غذاها را از زوال اکسیداتیو لیپیدها حفظ می‌کنند. این ترکیبات، اثراتشان را توسط از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن Reactive oxygen species ((ROS)) اعمال می‌کنند و فعال کننده پروتین‌های سمیت زدا هستند یا از تولید ROS جلوگیری می‌کنند. ROS شامل رادیکال آنیون سوپر اکساید، رادیکال هیدروکسیل، رادیکال نیتریک اکسید و پر اکسید هیدروژن، متابولیت‌های فیزیولوژیکی هستند. میزان‌های کوچکی از ROS موجب تغییرات زیان آوری بر عملکرد سلول می‌شوند از آن جمله می‌توان به پراکسیداسیون لیپیدها، غیر فعال سازی آنزیم ها و تخریب اکسیداتیو DNA اشاره کرد. تخریب اکسیداتیو ایجاد شده توسط رادیکال‌های آزاد ممکن است با افزایش سن و بیماری‌هایی از قبیل تصلب شرایین، دیابت، سرطان و بیماری‌های کبدی مرتبط باشد. مکانیسم‌های دفاع آنتی اکسیدانی مختلف، نقش مهمی در حذف ROS و پراکسیداسیون لیپیدها دارند و بنابر این سلول‌ها را در مقابل اثرات سمی انواع ROS و پرا کسیداسیون لیپیدها محافظت می‌کنند. به این منظور، تاکنون آنتی اکسیدان‌های مصنوعی و سنتزی زیادی روانه بازار شده است (۲).

در واقع یکی از مهمترین مشکلاتی که در صنعت غذا وجود دارد، استفاده از نگهدارنده‌های سنتزی می‌باشد. منابع مختلف، خطرات سرطانزایی نگهدارنده‌های سنتزی را به وفور بیان کرده اند، استفاده از آنتی اکسیدان‌های سنتزی، به واسطه اینکه ارتقا دهندگان سرطانزایی هستند، کاهش زیادی یافته است، این کاهش همچنین در استفاده از افزودنی‌های سنتزی غذایی نیز مشهود است. بنابر این امروزه در سراسر جهان کوشش می‌شود تا آنتی اکسیدان‌های جدید و ایمن را از منابع طبیعی جداسازی کنند تا از تخریب اکسیداتیو مواد غذایی جلوگیری شود، همچنین تخریب اکسیداتیو سلول‌های زنده را کاهش دهد. به همین دلیل در حال حاضر کلیه تحقیقات آزمایشگاهی در کشورهای توسعه یافته در زمینه نگهدارنده‌ها ی طبیعی است که نتایج این تحقیقات به پایلوت‌های صنعتی و صنعت منتقل می‌گردد (۳).

در این میان فرآورده‌های طبیعی (متابولیت‌های ثانویه) سیانوباکترها، منبع مهمی از ترکیب‌های جدید دارویی هستند. فرآورده‌های طبیعی نه تنها خود دارای ارزش دارویی هستند، بلکه به عنوان مدل‌های ساختمانی برای ایجاد آنالوگ‌های سنتزی نیز به کار می روند (۱). فرآورده‌های طبیعی از تنوع وسیعی از تاکسون‌ها جدا شدند و برای فعالیت‌های زیست شناختی مختلف آزمایش شدند. در این میان، سیانوباکترها به عنوان منابع غنی و جدید ترکیب‌های فعال زیستی شناسایی شدند (۲و۳و٤). تعداد فراوانی از ترکیب‌های فعال زیستی جدا شده از سویه‌های مختلف سیانوباکترها محدوده‌های مختلف و جدیدی از فعالیت‌های زیست شناختی را نشان می‌دهند و ساختمان شیمیایی این ترکیب‌ها شامل پپتیدها (دپسیپپتیدهای سیکلیک، پپتیدهای سیکلیک، لیپوپپتیدها)، اسیدهای چرب، پلی کتیدها، آلکالوئیدها، آمیدها، ترپنها، کربوهیدرات‌ها و دیگر مواد شیمیایی آلی است (۵). تعداد فراوانی از این ترکیب‌ها به عنوان گزینه‌های خوبی در کشاورزی، صنعت و مخصوصا در داروسازی هستند (٦) .

استفاده از نگهدارنده‌های مختلف مصنوعی که بیش از نیم قرن برای افزایش زمان ماندگاری محصولات غذایی به کار رفته است، منجر به افزایش بیماری سرطان در انسان ها، شده است. از طرف دیگر مصرف زیاد آنتی بیوتیک‌های مصنوعی موجود

در بازار که بیش از نیم قرن برای معالجه انسان و حیوان به کار رفته است، منجر به کاهش چشمگیری در کارآمدی تعداد زیادی از آنتی بیوتیک‌ها به واسطه تکامل تحمل باکتریها شده است. به علاوه، تعداد آنتی بیوتیک‌های جدید معرفی شده در دنیای امروز کاهش چشمگیری یافته است، از این رو جستجو برای متابولیت‌های دارای خواص آنتی بیوتیکی جدید با منشا طبیعی از اهمیت خاصی برخوردار است. علاوه بر آن، استفاده از آنتی اکسیدان‌های سنتزی، به واسطه این که خود خطر ابتلا به سرطان را افزایش می‌دهد، کاهش زیادی یافته است. ریز جلبک‌ها شامل تعداد زیادی ترکیبات فعال زیستی هستند که می‌توانند برای استفاده‌های تجاری کاربرد داشته باشد. اگرچه حضور ترکیبات فنولیک در گیاهان به خوبی شناسایی شده است و این گروه از ترکیبات دارای فعالیت‌های آنتی اکسیدانی در سیستم‌های بیولوژیک هستند، خصوصیات آنتی اکسیدانی جلبک‌ها هنوز به خوبی روشن و آشکار نیست. مطالعات نشان می‌دهد که سرطان با عصاره‌های جلبکی به دلیل ویژگی‌های آنتی اکسیدانی شان درمان پذیر است. پراکنش جهانی سیانوباکترها، نشان از مقابله با طیف وسیعی از تنش‌های محیطی است که این خود به دلیل حضور ترکیبات فعال زیستی درون این ارگانیسم‌ها است. از طرف دیگر استفاده وسیع از ترکیبات فعال زیستی که بیش از نیم قرن برای معالجه انسان و حیوان به کار رفته است، منجر به کاهش چشمگیری در کارآمدی تعداد زیادی از آن‌ها شده است. به علاوه، تعداد ترکیبات فعال زیستی جدید معرفی شده در دنیای امروز کاهش چشمگیری یافته است، از این رو جستجو برای ردیابی ترکیبات تولید کننده متابولیت‌های دارای خواص آنتی اکسیدانی جدید با منشا طبیعی از اهمیت خاصی برخوردار است (۵ و ٦).

با توجه به پتانسیل بالقوه سیانوباکتر *اسپیرولینا*، هدف از این مقاله مروری بررسی ساختار مورفولوژیکی، چرخه زندگی، ترکیبات مغذی، فعالیت ضد ویروسی، اثرات ضد سرطانی، ضد التهابی، ایمنی، خواص ضد نفروتوکسیسیتی، افزایش قدرت بینایی، کاهش وزن و چربی خون، تهیه کلوچه و بیسکوئیت، بستنی و پنیر خامه ای از سیانوباکتر *اسپیرولینا* است. بدیهی است که خواص ارزشمند سیانوباکتر *اسپیرولینا* می‌تواند جانشینی مناسب برای بسیاری از ترکیبات ضد میکروبی و آنتی اکسیدان‌های سنتزی باشد که نه تنها هیچ خطری برای مصرف کننده ندارد، بلکه می‌تواند سلامت مصرف کنندگان را نیز بهبود بخشد. از طرف دیگر، از آنجایی که در مقاله حاضر، آخرین دست آوردها در مورد *اسپیرولینا* مرور شده است، این تحقیق می‌تواند زمینه ساز معرفی ترکیبات زیست فعال طبیعی از سیانوباکترها با قابلیت استفاده در صنایع غذایی، افزایش ماندگاری محصولات غذایی با قابلیت فعالیت آنتی اکسیدانی تلقی گردد.

ویژگی های کلی

اسپیرولینا، ارگانیسمی است که توانایی تثبیت کربن حل شده در آب دریا را به عنوان یک منبع مواد غذایی برای تولید مثل کسب کرد. این جنس، متعلق به خانواده اسیلاتوریاسه (Oscillatoriaceae) است که شامل سیانوباکترهای ریسه ای با تریکوم‌های زنجیره مانند مارپیچ است که درون یک غلاف نازک احاطه شده اند. *اسپیرولینا ماکسیما* (*Spirolina Maxima*)، *اسپیرولینا پلتنسیس* (*Spirolina Pelatensis*) و *اسپیرولینا فوسیفرمیس* (*Spirolina fusiformis*) جزو گونه‌های متداول مورد مطالعه *اسپیرولینا* هستند. *اسپیرولینا*، سیانوفیت فتوسنتز کننده‌ای است که قادر به رشد در شدت بالای نور خورشید و شرایط بسیار قلیایی و دمای بالا است. این جلبک دارای مکمل‌های ویتامینی در رژیم غذایی است. در محیط کشت آبی حاوی میکرو و ماکرو المان به خوبی رشد می‌کند. سالها است که *اسپیرولینا* به عنوان مکمل رژیم غذایی توسط مردمی که نزدیک دریاچه‌های قلیایی (جاییکه آن‌ها همیشه یافت می‌شود) استفاده می‌شود. در بسیاری از کشورها مانند آفریقا، *اسپیرولینا* هنوز به عنوان غذای انسان‌ها و به عنوان منبع عمده پروتین مصرف می‌شود. آن‌ها این جلبک را از آب‌های طبیعی جمع آوری می‌کنند و بعد از خشک کردن مصرف می‌کنند. *اسپیرولینا*، به عنوان مکمل رژیم غذایی برای ماهی ها، میگو و مرغ و خروس قابل استفاده است. گونه‌های مختلف *اسپیرولینا* در

طیف وسیعی از محیط‌ها مانند خاک، شن، مرداب، آب‌های شور و آب شیرین یافت می‌شوند (۷).

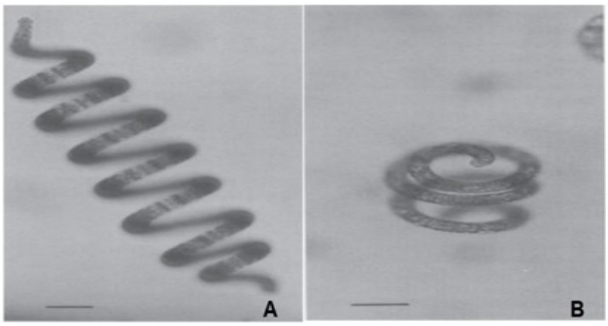
اسپیرولینا، در آینده ای نزدیک به عنوان منبع غذایی کامل معرفی خواهد شد. مطالعات گوناگون در زمینه ترکیب شمیایی بیومس *اسپیرولینا*، میزان بالای پروتین را نشان داده است. این سطوح بالای پروتین در میان دنیای میکروبی منحصر به فرد است. به عنوان مثال باکتری مانند *سلولوموناس* (*Cellulomonas*) دارای درصد پروتین بیشتر از ۸۰ درصد و میزان بالای اسید نوکلئیک است، با این حال کاربردی از لحاظ پزشکی ندارد، چرا که افزایش محتوای نوکلئیک اسید، موجب تجمع اسید اوریک به واسطه کاتابولیسم پورین می‌شود که ممکن است منتهی به شرایط پاتولوژیکی مانند نقرس شود. در حالی که در *اسپیرولینا*، غلظت اسید نوکلئیک زیر ۵ درصد وزن خشک است. درضمن ترکیب اسید امینه آن دارای ارزش بیولوژیکی و قابلیت هضم بالایی است. ترکیب اسید آمینه آن بالا است، به جز سیستئین و لایزین که گاهی اوقات از استاندارد پروتین Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) کمتر است، دیگر اسیدهای آمینه ضروری در غلظت‌های مناسب موجودند (۸).

کربوهیدرات‌های *اسپیرولینا*، به دلیل عدم حضور سلولز، به آسانی هضم می‌شوند، علاوه بر آن، غیاب قندهای آزاد آن را غذایی ایده‌ال و مکملی مناسب برای درمان دیابت و چاقی ساخته است. ترکیب لیپیدی *اسپیرولینا*، دارای کلسترول آزاد و غنی از اسیدهای چرب ضروری غیر اشباع برای تصلب شرایین، چاقی و فشار خون بالا است. به علاوه، این جلبک غنی از اسید لینولئیک است که پیش ماده ضروری برای بیوسنتز اسیدهای چرب غیر اشباع است و بنابر این کاربرد پزشکی دارد. *اسپیرولینا* مخلوطی از ویتامین‌های A، B_1، B_2، B_6، B_{12}، E و H است. همچنین دارای ۲۱ درصد تیامین و ریبوفلاوین است. دارای بتا کاروتن (پیش ماده ویتامین A) است که ۰/۱ درصد وزن خشک آن را شامل می‌شود که این میزان بیست بار بیشتر از هویج است. محتوای بالای ویتامین B_{12} و اسید فولیک، آن را منبع غذایی مناسبی برای کم خونی میسازد. مواد معدنی این جلبک، ۱۲ بار بیشتر از سطوح آهن در مقایسه با سایر غذاها است، این جلبک سرشار از منیزیم، پتاسیم، آهن، کلسیم و دیگر عناصر کمیاب است که تاثیر زیادی در سلامت استخوان‌ها و دندان‌ها دارد (۹ و ۱۰).

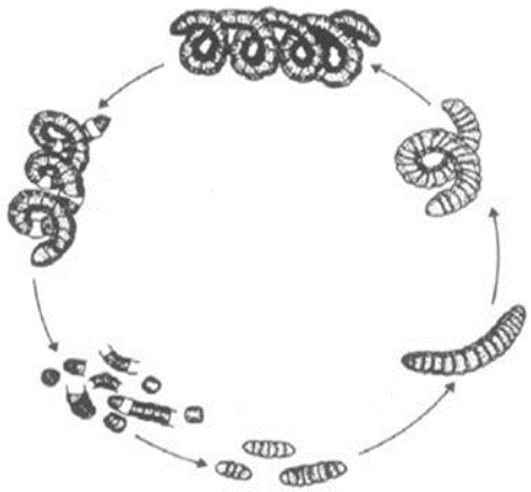
اسپیرولینا از جمله سیانوباکترهای رشته‌ای فاقد هتروسیست (Non-heterocystous) است که عمدتا در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری در آب‌های گرم با محتوای کربنات/ بی کربنات زیاد، شوری و pH بالا یافت می‌شود. رشته‌های بزرگ و واکوئل‌های گازی آن ها (با قطر ۳ تا ۱۲ میکرومتر) از طریق فیلتراسیون و سایر ابزارهای فیزیکی جداسازی، به راحتی جمع آوری می‌شوند. *اسپیرولینا* در سال ۱۸۲۷ برای اولین بار توسط تورپین (Turpin) از نمونه آب شیرین جداسازی شد. عوامل محیطی، مانند درجه حرارت، شرایط فیزیکی و شیمیایی، ممکن است هندسه هلیکس رشته ها را تحت تأثیر قرار دهد (۱۱). یکی از تغییرات شدید این هندسه انتقال برگشت پذیر از هلیکس به شکل مارپیچی پس از انتقال رشته‌ها از محیط کشت مایع به جامد است (شکل ۱). اگرچه شکل مارپیچی تریکوم (Trichome) یک خاصیت پایدار و ثابت شده در محیط کشت در نظر گرفته می‌شود، اما در میزان مارپیچ بودن بین سویه‌های مختلف یک گونه و در یک سویه یکسان تنوع قابل توجهی می‌تواند وجود داشته باشد. علاوه بر این مطالعات نشان می‌دهند که تغییر حالت *اسپیرولینا* از حالت هلیکس (فرم فعال) به حالت غیرخمیده (فرم غیر فعال) می‌تواند خود به خودی باشد. هنگامی که یک سویه چه به صورت طبیعی و یا بر اثر تیمارهای فیزیکی یا شیمیایی، مانند اشعه ماورای بنفش یا مواد شیمیایی، به فرم غیر خمیده تبدیل شد، دیگر به فرم مارپیچی بر نمی‌گردد. این امر به دلیل جهش در برخی از تریکوم‌ها در شرایط خاص رشد است (۱۲).

سه مرحله اساسی در چرخه‌ی زندگی وجود دارد: تکه تکه شدن تریکوم‌ها، بزرگ شدن سلول‌های هورموگونیا (Hormogonia) و فرآیندهای بلوغ و طویل سازی تریکوم. سپس این تریکوم‌های بالغ به رشته‌ها یا هورموگونیا تقسیم می‌شوند، در این حالت است که سلول‌های موجود در

هورموگونیا توسط تقسیم دوتایی، تکثیر می شوند، به صورت طولی رشد می‌کنند و شکل مارپیچی به خود می‌گیرند (شکل ۲) (۱۲).



شکل ۱: A) میکروگراف نوری فیلامنت های مارپیچ *اسپیرولینا*. B) مقیاس نشان داده شده در شکل بیست میکرومتر است (۸).



شکل ۲: چرخه زندگی *اسپیرولینا* (۱۱).

ترکیبات تغذیه‌ای

سیانوباکتر *اسپیرولینا*، به دلیل دارا بودن پروتین و مواد مغذی کافی، مصرف خوراکی زیادی برای انسان دارد، علاوه بر آن از آنتی اکسیدان‌های بی شماری نیز تشکیل شده است که از آن جمله می‌توان به بتاکاروتن، فیکوسیانین، توکوفرول‌ها، ریز مغذی‌ها، اسیدهای چرب غیراشباع به ویژه اسید پالمیتولئیک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک و گاما لینولنیک اسید اشاره کرد (۱۳). به دلیل ارزش غذایی بالای *اسپیرولینا*، استفاده از این ریز جلبک توسط مؤسسات دولتی برای پیشگیری از سوءتغذیه در دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد شد، تا جایی که آن‌ها پرورش *اسپیرولینا* را برای مبارزه با قحطی و سوء تغذیه راه‌اندازی کردند. *اسپیرولینا* همچنین به عنوان مکمل غذایی در طول مدت سفرهای فضایی طولانی توسط مدیریت هوا و فضای ملی و آژانس فضایی اروپا شناخته و توصیه شده است. تا به امروز مطالعات بالینی بی شماری بر روی حیوانات و انسان برای تعیین اثرات مفید آن به عنوان یک مکمل غذایی صورت گرفته است. *اسپیرولینا* یک مکمل غذایی کم هزینه و بدون عوارض جانبی است (جدول ۱) (۱٤).

رنگدانه ها	مشخصات فیزیکی		درصد ترکیب شیمیایی	
کلروفیل a	ظاهر	پودر خوب	پروتین	٦٠-٦٥
فیکوسیانین c	رنگ	سبزآبی	کربوهیدرات	١٥-٢٠
آلوفیکوسیانین	بو و مزه	علف مانند	لیپید	٤-٥
فیکواریترین	قابلیت هضم	٨٤ - ٨٣درصد	مواد معدنی	٦-٧
کاروتن ها: بتاکاروتن			رطوبت	٢-٣
زانتوفیل				

جدول ۱: مشخصات تغذیه ای پودر سیانوباکتر *اسپیرولینا* (۱۱).

در حال حاضر سیانوباکترها در مقیاس وسیعی کشت می‌شوند، که این نشان دهنده ارزش اقتصادی بالای آن به عنوان منبع پروتین است که قادر به پاسخگویی به نیازهای رژیم غذایی انسان و همچنین به دست آوردن سایر محصولات مصرفی انسان است. امروزه استفاده صنعتی وتجاری از میکرو جلبک‌ها به عنوان مکمل‌های غذایی و آنتی اکسیدان‌ها، داروهای ضد التهاب، آنتی بیوتیک‌ها و سموم بسیار درحال توسعه است (۱۵). علاوه بر آن، *اسپیرولینا* به دلیل داشتن ترکیب بیوشیمیایی متنوع در فرآیندهای فناوری غذایی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آن جمله می‌توان به اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها به خصوص (B_{12})، نمک‌های معدنی، رنگدانه‌ها (کاروتنوئیدها، فیکوسیانین ها و کلروفیل‌ها)، اسیدهای چرب اشباع نشده از جمله اسیدهای چرب امگا ۳ و سایر ترکیبات زیست فعال و در بین عناصر مغذی می‌توان به آهن، منگنز،

روی و مس اشاره کرد. در واقع *اسپیرولینا* ۱۸۰٪ کلسیم بیشتر از شیر، ۵۱٪ آهن بیشتر از اسفناج، ۳۱٪ بتا کاروتن بیشتر از هویج، ٦٧٪ پروتین بیشتر از توفو (پنیر سویا) است. سه گرم *اسپیرولینا*، فعالیت آنتی اکسیدانی و ضد التهابی بالایی را نسبت به بیشتر از پنج میوه و سبزی از خود نشان داده است و ۳۱ برابر بهتر از زغال اخته، ٦٠ برابر بهتر از اسفناج و ۷۰۰ برابر قوی تر از سیب است (١٦) (جدول ۲).

در بین ویتامین‌ها، سیانوکوبالامین یکی از فراوانترین عناصر موجود در *اسپیرولینا* است (۲ تا ٦ برابر از کبد خام گاو غنی تر است) و علاوه بر این که منبع خوبی از آن است، ۵۰، ۷۰ و ۱۲ درصد ویتامین‌های B_1، B_2 و B_3 و توکوفرول (ویتامین E) را در خود دارد. با توجه به جستجوی مداوم برای کیفیت بهتر زندگی و به تبع آن رژیم غذایی بهتر، غذاهای غنی شده به عنوان گزینه ای برای تسهیل در مصرف محصولات سالم به کار می‌رود (۱۷و۲۱). تجزیه و تحلیل شیمیایی *اسپیرولینا* در سال ۱۹۷۰ آغاز شد و نشان داد که *اسپیرولینا* حاوی پیش ماده ویتامین A (β-کاروتن) بالایی است، همچنین منبع غنی از ویتامین B_{12} می‌باشد و در درمان کم خونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لیپیدها حدود ۷-٤ درصد آن را تشکیل می‌دهند. این ماده مقادیر کافی آهن را برای زنان بارداری که کم خونی دارند، فراهم می‌کند. کربوهیدرات‌ها حدود ۱۳درصد هستند. این ماده دارای حدود ۲ تا ۳ درصد RNA و ۱ درصد DNA است. *اسپیرولینا* همچنین دارای رنگدانه‌های طبیعی است که به عنوان منبع رنگدانه برای ماهی‌ها و تخم مرغ‌ها استفاده می‌شود (۲۲ و۲۳).

اسپیرولینا حاوی مواد معدنی ضروری و عناصر کمیاب است که از محیط رشد به راحتی جذب می شوند و در مقایسه با سایر ترکیبات غذایی از ارزش بسیاری هم از لحاظ میزان پروتین و هم ویتامین برخوردار است (جدول ۳). در زیر لیستی از مواد معدنی و کاربرد هر یک توضیح داده شده است (٢٤).

پتاسیم: یک ماده معدنی مهم که تعادل الکترولیت بدن را تنظیم می کند. کمبود آن می تواند باعث ایست قلبی، فشار خون بالا، خستگی آدرنال و سستی عضلات شود.

جدول ۲: مقایسه ترکیبات موجود در *اسپیرولینا* با سایر مواد غذایی (۲۱).

اسید چرب	اسیدهای چرب (درصد)	مواد معدنی	mg $100g^{-1}$	رنگدانه‌ها	mg $100g^{-1}$
اسید میریستیک	۰/۲۳	کلسیم	۷۰۰	کاروتنوئیدها	۳۷۰
اسید پالمیتیک	٤٦/۰۷	کروم	۰/۲۸	کلروفیل a	۱۰۰۰
اسید پالمیتولیک	۱/۲٦	مس	۱/۲	فیکوسیانین	١٤٠٠٠
اسید اولئیک	۵/۲٦	آهن	۱۰۰		
اسید لینولئیک	۱۷/٤۳	منیزیم	٤۰۰		
اسید لینولنیک	۸/۸۷	منگنز	۵		
سایر موارد	۲۰/۸۸	فسفر	۸۰۰		
		پتاسیم	١٤٠٠		
		سدیم	۹۰۰		
		روی	۳		

جدول ۳: مقایسه درصد پروتین و میزان ویتامین‌های موجود در *اسپیرولینا* با سایر مواد غذایی (۲۵).

نوع ماده غذایی	پروتین خالص درصد	ویتامین‌ها	**mg 100 g^{-1}**
پودر *اسپیرولینا*	٦۵	پروویتامین A	2.330.000 IU kg^{-1}
تخم مرغ خشک کامل	٤۷	(β- کاروتن)	١٤٠
مخمر آبجو	٤۵	ویتامین E	100 a-tocopherol eq:
شیرخشک بدون چربی	۳۷	تیامین B1	۳/۵
آرد سویا کامل	۳٦	ریبوفلاوین B2	٤
پنیر پارمزان	۳٦	نیاسین B3	١٤
جوانه گندم	۲۷	ویتامین B6	۰/۸
بادام زمینی	۲٦	ویتامین B12	۰/۳۲
مرغ	۲٤	فولیک اسید	۰/۰۱
ماهی	۲۲	بیوتین	۰/۰۱
گوشت گاو	۲۲	انتوتنیک اسید	۰/۱

کلسیم: فراوان‌ترین ماده معدنی بدن که از نظر سلامت استخوان و دندان بسیار مهم است، اما در انتقال عصبی به عضلات نیز نقش دارد. مطالعات نشان می‌دهد که کلسیم حاصل از *اسپیرولینا*

۱۸۰٪ بیشتر از شیر است.

منیزیم: کمبود آن می‌تواند منجر به اختلالات عضلانی اسپاسم از جمله بی نظمی های قلبی شود و به جذب ویتامین C، ویتامین B و پروتین کمک می‌کند.

منگنز: سیستم‌های آنزیمی را به همراه روی فعال می‌کند. فعالیت استیل کولین انتقال دهنده عصبی را افزایش می‌دهد و به ثبات قند خون کمک می‌کند.

فسفر: دومین ماده معدنی فراوان در بدن انسان است که در هر سلول یافت می شود. فسفر همراه با کلسیم برای حفظ تراکم استخوان، هضم کربوهیدرات‌ها و ویتامین‌های گروه B نیاسین و ریبوفلاوین کمک می‌کند.

آهن: آهن موجود در *اسپیرولینا* ۶۰ درصد بهتر از سولفات آهن و سایر مکمل‌ها جذب می‌شود. در نتیجه، *اسپیرولینا* می‌تواند یک منبع آهن در زنان بارداری که کم خونی دارند باشد. در واقع، مصرف مداوم *اسپیرولینا* در افراد مسن مبتلا به کم خونی باعث افزایش غلظت متوسط هموگلوبین در خون می‌شود. ۱۲ هفته مصرف مکمل *اسپیرولینا* منجر به افزایش قابل توجهی در غلظت هموگلوبین در کودکان مبتلا به کم خونی می‌شود و باعث افزایش سطح آهن خون می‌شود، بنابراین می‌توان از *اسپیرولینا* به عنوان داروی کم خونی استفاده کرد (۲۴).

در حال حاضر، *اسپیرولینا* در بسیاری از کشورها از جمله آلمان، برزیل، شیلی، اسپانیا، فرانسه، کانادا، بلژیک، مصر، ایالات متحده، ایرلند، آرژانتین، فیلیپین، هند، آفریقا و سایر کشورها که در آن مدیریت عمومی، سازمان‌ها و انجمن‌های بهداشتی مصرف انسانی را تأیید کرده‌اند، به بازار عرضه و مصرف می‌شود (جدول ٤).

جدول ٤: برخی از تولید کنندگان تجاری *اسپیرولینا* (۲۶).

نام شرکت	موقعیت	مساحت کل	تولید (تن)
Earthrise Farms	کالیپاتریا، کالیفرنیا، ایالات متحده	۱۵۰۰۰۰ مترمربع	۱۹۹۵: ۳۶۰ ۲۰۰۲: ٤۵۰
Myanma Microalgae Biotechnology Project	یانگون، میانمار	۱۳۰۰۰۰ مترمربع	۱۹۹۵: ۳۲ ۱۹۹۶: ٤۰
Cyanotech Corporation	کایلوآ کونا، هاوایی، ایالات متحده	۱۰۰۰۰۰ مترمربع	۱۹۹۵: ۲۵۰ ۱۹۹۶: ۳۰۰
Hainan DIC Microalgae Co., Ltd	چین	۱۰۰۰۰۰ مترمربع	۲۰۰۲: ۳۳۰
Ballarpur Industries Ltd	نانجنگود، منطقه میسور، هند	٥٤۰۰۰ مترمربع	۱۹۹۵-۱۹۹٤: ۲۵۰ ۱۹۹۵-۱۹۹۶: ۸۵
Nao Pao Resins Chemical Co., Ltd	تایان، تایوان، ROC	۵۰۰۰۰ مترمربع	۱۹۹۵ : ۷۰ ۱۹۹۶ : ۸۰ ۲۰۰۰ : ۱۵۰
Neotech Food Co., Ltd	بانپونگ، رجبوری، تایلند	۵۰۰۰۰ مترمربع	۱۹۹۵ : ۳۰ ۱۹۹۶ : ٤۰
Genix	کوبا	٤۵۰۰۰ مترمربع	۲۰۰۱ : ۱۰۰
Siam Algae Co., Ltd.	تایلند	۳۰۰۰۰ مترمربع	۲۰۰۲ : ۱۳۵
Solarium Biotechnology	لا هوایکا، شیلی	۲٤۰۰۰ مترمربع	۲۰۰۰ : ٤/۵ ۲۰۰۱ : ۲۸/۶ ۲۰۰۲ : ۱۳

تاثیر انواع تنش ها بر ترکیبات غذایی

ترکیبات موجود در *اسپیرولینا* اثر خنثی کننده و اکسیداتیو بر روی فلزات سنگین و رادیکال‌های آزاد دارد. علاوه برآن محتوای مالون دی آلدئید، سوپراکسید دیسموتاز و پرولین، در شرایط تنش فلزات سنگین که مربوط به غلظت یون فلزی در محیط کشت است، افزایش می‌یابد. افزایش مقدار سوپراکسید دیسموتاز و پرولین، مکانیسم‌های اسکونجرینگ را در *اسپیرولینا* فعال می‌کند. به نظر می‌رسد که *اسپیرولینا پلاتنسیس* در کاهش اثر سمی کادمیوم نقش دارد که دلیل آن خاصیت آنتی اکسیدانی *اسپیرولینا پلاتنسیس* است. به همین دلایل است که علاقه به تولید زیست توده جلبک در شش دهه گذشته به دلیل کمبود مواد غذایی در سراسر جهان شدت یافته است (۱۷).

مطالعات نشان می‌دهد که اگر چه افزایش شوری باعث کاهش وزن خشک، محتوای کلروفیل و همچنین برخی از گزانتوفیل‌ها می‌شود، تولید β-کاروتن بویژه در غلظت‌های بالاتر نمک افزایش می‌یابد. تجزیه و تحلیل بیوشیمیایی جلبک‌هایی که تحت تأثیر تنش شوری بودند نشان داد که مقدار چربی به همراه برخی اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع به ویژه اسیدهای

غیر اشباع مانند اسید چرب امگا ۳ (غیر اشباع) و γ- اینولنیک اسید) اندکی افزایش داشته است (۲۰).

فعالیت ضد میکروبی

بررسی‌های مختلف در زمینه آثار ضد میکروبی عصاره‌های فیشرلا (*Fischerella*)، *اسپیرولینا پلتنسیس* (*Spirulinaplatensis*)، *آنابنا وریبیل* (*Anabaenavariabilis*)، *نوستوک* (*Nostoc*)، اسیلاتوریا (*Oscillatoria*)، *سینکوسیستیس* (*Synechocystis*)، سینکوکوس (*Synechococcus*) و دیگر گونه‌های متعلق به راسته‌های *کروکوکالس* (*Chroococales*)، *پلئوروکپسالس* (*Pleurocapsales*)، *اسیلاتوریالس* (*Oscilatoriales*)، *نوستوکالس* (*Nostocales*) و *استیگونماتالس* (*Stigonematales*) انجام گردیده است. ترکیب‌های فعال زیستی تاکنون شناسایی شده دارای ساختمان‌های متنوعی چون اسیدهای چرب، فنولیک‌ها، بروموفنل‌ها، ترپنوئیدها، N-گلیکوزیدها، دپسی پپتیدهای حلقوی، لیپوپپتیدها، پپتیدهای حلقوی و آلکالوئیدهای ایندولی هستند. بسیاری از ترکیب‌های زیستی متعلق به رده‌های شیمیایی پپتیدهای سیکلیک و آلکالوئیدها هستند. ساختمان‌های لیپوپپتیدی گاهی به بزرگی ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ دالتون نیز می‌رسد. تعداد فراوانی از پپتیدها، شامل باقی مانده‌های غیر پروتینی، مانند D آمینو اسیدها، β آمینو اسیدها، اسیدهای آمینه هیدروکسیله و N متیله شده و همچنین اسیدهای آمینه پروتینوژنیک هستند که منجر به افزایش تنوع ساختمانی آن‌ها می‌شود (۱و۸).

ایجاد مقاومت نسبت به آنتی بیوتیک‌های موجود در بازار، توجه همگان را برای کشف ترکیبات آنتی باکتریال جدید، به خود جلب کرده است. چندین باکتری پاتوژنیک مانند سویه‌های مقاوم به چندین دارو، مانند *استافیلوکوکوس اورئوس* (*Staphylococcus aureus*) که با کمک آنتی بیوتیک‌های سنتی موجود در بازار هم از بین نمی‌روند، بسیار مورد توجه سازمان بهداشت جهانی قرار دارند. بنابر این، کشف ترکیبات آنتی باکتریال جدید با مکانیسم‌های بیوشیمیایی مجزا، عامل مهمی برای غلبه بر مشکلات ایجاد شده در نتیجه مقاومت است. فعالیت ضد باکتریایی می‌تواند به دلیل حضور اسیدهای چرب طویل تر از ده اتم کربن در طول زنجیره باشد که ظاهرا موجب لیز شدن پروتوپلاست‌های باکتریایی می‌شود. توانایی اسیدهای چرب، برای مداخله با رشد باکتریایی و زنده ماندن، چندین دهه است که ثابت شده است، اما مطالعات روابط اخیر، ساختمان عمل آن را واضح تر می‌سازد که این چنین فعالیت آنتی میکروبی به طول زنجیره و درجه غیر اشباع سازی، وابسته است (۹).

فعالیت ضد ویروسی

اسپیرولینا دارای تمام مواد بیوشیمیایی مورد نیاز برای ایجاد یک سیستم ایمنی سالم است، که باعث حذف رادیکال‌های آزاد می‌شود. ترکیبات به دست آمده از *اسپیرولینا* دارای فعالیت مهار کنندگی در برابر طیف گسترده‌ای از ویروس‌ها از جمله HIV-1، HSV-1، HSV-2، HCMV، آنفلوانزای نوع A، سرخک و غیره است. ترکیبات ضد ویروسی موجود در *اسپیرولینا*، پروتین فیکوسیانین، قطعات پلی ساکارید سولفاته، اسید گاما لینولنیک و برخی از سولفولیپیدها هستند(۲۷). فعالیت ضد ویروسی *اسپیرولینا* در سرکوب تکثیر ویروس تبخال، سیتومگالوویروس (Cytomegalovirus)، آنفولانزای A، سرخک، اوریون، نقص ایمنی انسان و ویروس‌های سندروم لکه سفید مشاهده شده است. علاوه بر آن مطالعات نشان میدهد که *اسپیرولینا پلاتنسیس* تکثیر HIV-I را در رده‌های سلول T انسان و سلول‌های لانگرهانس به حداقل می‌رساند، به طوری که غلظت‌های عصاره بین ۱ تا ۱/۵ میکروگرم بر میلی لیتر باعث کاهش تقریبا ۵۰ درصد تولید ویروس می‌شود. غلظت مؤثر کلسیم در *اسپیرولینا* تکثیر ویروس را تا ۵۰٪ کاهش می‌دهد، همچنین *اسپیرولینا* ۵-۲ درصد از سولفولیپیدها را در بر دارد که در برابر ویروس نقص ایمنی انسان موثر هستند. رنگدانه‌های فیکوسیانین، فیکواریترین و فیکواریتروسیانین جدا شده از *اسپیرولینا* عوامل ضد ویروسی موثر در برابر انترو ویروس هستند. این رنگدانه ها، منحصرا ۵۰٪ از بیماری‌های چشمی

ناشی از انترو ویروس ۷۱ را در غلظت‌های ۰/۰۵۶ تا ۰/۱۰۱ نانومولار محدود می‌کنند (۱۳و۱٤و۱٦و۲۱).

اثرات ضد سرطانی

داروهای شیمیایی مورد استفاده در معالجه سرطان دارای عوارض جانبی هستند بنابراین همواره نیاز به تولید داروهای ایمن، مؤثر و جدید وجود دارد. *اسپیرولینا* از طریق عملکردش بر سیستم ایمنی بدن، ترمیم DNA و خاصیت آنتی اکسیدانی به عنوان ضد سرطان عمل می‌کند. در واقع، پلی ساکاریدهای *اسپیرولینا*، DNA را در مقابل اشعه حفظ می‌کنند به این ترتیب که آنزیم‌های هسته سلول را فعال کرده و پروسه ترمیم DNA را افزایش می‌دهند. به همین ترتیب، *اسپیرولینا* با پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کروموزومی، از موش در برابر اثرات ناخوشایند سمومی مانند سیکلوفسفامید محافظت می‌کند. *اسپیرولینا* به طور قابل توجهی درصد قطعه قطعه شدن DNA رادر کبد حیواناتی که در معرض آفلاتوکسین بوده اند، کاهش داده است(۳۰).

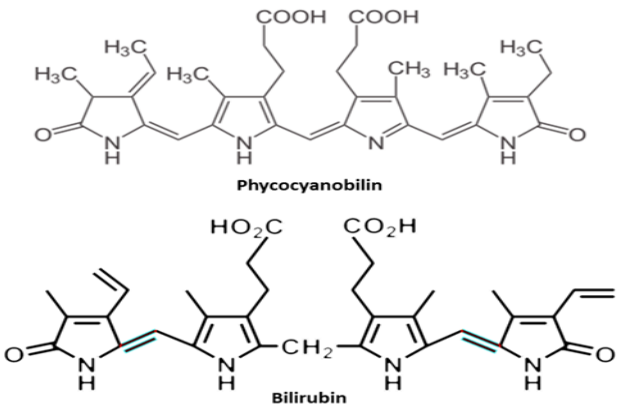
عصاره *اسپیرولینا* به دلیل فعالیت‌های آنتی اکسیدانی و تعدیل کننده سیستم ایمنی در برابر انواع مختلف رده‌های سلولی سرطان انسانی مانند ریه (A549)، کبد، (Hep3B)، معده (AGS) و خطوط سلولی پستان (MCF-7) مؤثر است. خواص ضد سرطانی *اسپیرولینا* از راه تولید محصولات با ارزش و فیکوبیلی پروتین‌هایی مانند فیکوسیانین، فیکوبیلی پروتین و آلوفیکوسیانین است (۳۱). حضور مقادیر زیاد بتاکاروتن در *اسپیرولینا*، به طور قابل توجهی از طریق کم کردنِ تعداد و اندازه تومورها از تشکیل کارسینوم سلول جلوگیری می‌کند. پلی ساکاریدهای محلول در آب جدا شده از *اسپیرولینا*، دارای فعالیت ترمیم کنندگی DNA بوده و به طور قابل توجهی افزایش فعالیت‌های اندونوکلئازی را نشان داده است. علاوه بر آن تجویز خوراکی فیکوسیانین *اسپیرولینا* باعث افزایش میزان بقای موش‌های سرطانی می‌شود. علاوه بر آن عصاره *اسپیرولینا* برای سلول‌های طبیعی سمی نیست؛ این درحال است که بسیاری از سویه‌های سیانوباکترها سمی هستند (۳۲ و۳۳ و۳٤ و۸ و۳۵ و۳٦). نتایج حاصل از تحقیقات نشان داده است که تومور ناشی از دی متیل بنز A(Dimethylbenz(a)anthracene (DMBA)) که باعث سرطان سلول‌های سنگفرشی در همستر می شود، با تجویز خوراکی عصاره *اسپیرولینا* درمان می‌شود. در واقع استفاده از عصاره آبی *اسپیرولینا* در مطالعات آزمایشگاهی مانع از رشد سلول‌های سرطانی روده بزرگ انسان (HCT116) و سلول‌های سرطانی کبد (HEPG2) می‌شود (۳۷). علاوه بر آن عصاره کلروفرمی و متانولی *اسپیرولینا* نیز از رشد سلول‌های سرطانی پستان در رده سلولی این ویترو (in vitro) جلوگیری می‌کند (۳۸). عصاره ۷۰٪ اتانولی *اسپیرولینا* نیز تخریب سلولی فوق العاده ای را در رده‌های سلولی لوسمی حاد انسانی در درمان سرطان گلبول‌های سفید خون نشان داد (۳۹).

فیکوسیانین‌ها، بیلی پروتین عمده ی *اسپیرولینا* است که هم دارای خاصیت آنتی اکسیدانی و هم تخریب رادیکال‌های آزاد است. فیکوسیانین -C، مهار کننده سیکلوکسیناز - ۲ است که باعث بروز آپوپتوز می‌شود و خاصیت ضد التهابی و ضد سرطانی دارد. افزایش فیکوسیانین *اسپیرولینا* با بیان پروتین CD59 در سلول‌های HeLa باعث بروز آپوپتوز می‌شود. فیکوسیانین-C با فعال کردن آنزیم‌های آپوپتوز و کاسپازهای ۲، ۳، ٤، ٦، ۸، ۹ باعث القا و بروز آپوپتوز در سلول‌های HeLa می‌شود.(٤۰) .پلی ساکاریدهای خالص شده و فیکوسیانین-C *اسپیرولینا پلاتنسیس* در تکثیر و تمایز سلول پیش ساز خونساز تأثیر می‌گذارد و می تواند درجه کم خونی موش‌ها را کاهش دهد (٤۱) (جدول ۵).

اثرات ایمنی

اسپیرولینا، دارای پتانسیل آنتی اکسیدانی وسیعی است، اما ارزش واقعی آن از نظر بهداشت و درمان اخیراً کشف شده است. فیکوسیانوبیلین (Phycocyanobilin) که کروموفور متصل به پروتین اصلی فیکوسیانین است، می‌تواند به عنوان یک مهار کننده قوی نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید هیدروژن فسفات (NADPH) اکسیداز، عمل کند و از نظر ساختاری شبیه به بیلی

روبین است (شکل ۳). مصرف *اسپیرولینا* می‌تواند از بروز بسیاری از بیماری‌های عروقی (از جمله آتروژنز (Atherogenesis)، فشار خون بالا و نارسایی احتقانی قلب)، سرطان‌ها، عوارض دیابت و طیف وسیعی از بیماری‌های عصبی، فیبروتیک، یا اختلالات التهابی جلوگیری کرده و از پتانسیل درمانی برخوردار می‌باشد. در قرن بیست و یکم سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل (FAO)، *اسپیرولینا* را به عنوان یک ماده غذایی و یک مکمل غذایی ایده آل در نظر گرفت (۴۳).



شکل ۳: فیکوسیانوبیلین *اسپیرولینا* و بیلی روبین جانوران تکامل یافته می‌توانند فعالیتی مشابه داشته باشند (۳).

اسپیرولینا در افزایش ایمنی و تقویت مبارزه با عفونت‌های ویروسی کمک می‌کند. *اسپیرولینا* باعث تسریع عملکرد ماکروفاژها، سلول‌های T و سلول‌های B می‌شود. *اسپیرولینا* همچنین مقدار زیادی سلول‌های کشنده طبیعی، اینترفرون، گاما و سایر اینترلوکین‌های قوی را تولید می‌کند. علاوه بر آن، مصرف *اسپیرولینا* باعث حفاظت از عملکرد اپیتلیوم روده می‌شود (۴۴). در واقع عصاره *اسپیرولینا*، باعث افزایش مقاومت به بیماری، عملکرد فاگوسیتیک ماکروفاژ و عملکرد ماکروفاژ (در شرایط آزمایشگاهی) می‌شود. *اسپیرولینا* عملکرد سلول‌های مؤثر بر سیستم ایمنی بدن مرغ ها را تقویت می‌کند. همچنین عصاره *اسپیرولینا* و لیپوپلی ساکاریدهای آن همچنین باعث تحریک تولید آنتی بادی‌های ماکرو و میکروگلوبولین در خرگوش‌ها می‌شود (۴۴).

جدول ۵: خواص ضد سرطان *اسپیرولینا پلاتنسیس* (۴۲).

نام سرطان	مکانیسم	نام ترکیب / عصاره	ارگانیسم (آزمایشگاهی)
کبد	ضد سرطان	فیکوسیانین	موش ها
کارسینوم سلول سنگفرشی–دهانی	فعالیت سیتوتوکسیک	*اسپیرولینا* فیکوسیانین	انسان و همستر
کارسینوم سلول سنگفرشی	مهار تکثیر تومور	عصاره *اسپیرولینا* دونالیلا	همستر
تومور دهانی	افزایش میزان ایمنی	عصاره *اسپیرولینا* دونالیلا–تجویز خوراکی	همستر
سرطان کبد	مهار تکثیر سلول های کبدی	عصاره پلی ساکارید *اسپیرولینا*	موش ها
سلول های هلا	سیتوتوکسیک	عصاره آبی	In vitro
روده بزرگ	کاهش تعداد کریپت های ناهنجار	کل توده *اسپیرولینا*	موش صحرایی
لکوپلاکی دهان(یک اختلال بالقوه بدخیم است که بر مخاط دهان تأثیر می‌گذارد)	فعالیت آنتی اکسیدانی	مکمل *اسپیرولینا*	انسان
سرطان ریه	مهار متاستاز	پلی ساکارید *اسپیرولینا*	موش ها
سرطان خون	مهار رشد سلول‌های لوسمی K562	فیکوسیانین– C *اسپیرولینا*	موش ها
آپوپتوز وابسته به کاسپاز	مانع تکثیر سلول های هلا	فیکوسیانین– C	آپوپتوز
سلول‌های ملانوما A375 و سلول‌های پستان انسان MCF-7	مهار تکثیر تومور	فیکوسیانین حاوی سلنیوم (Se-PC)	آپوپتوز
ملانوما B16	مهار تکثیر تومور	عصاره آب گرم	موش ها، انسان
رده های سلولی ریه، کبد ، معده و پستان	ناشناخته	عصاره اولتراسونیک *اسپیرولینا ماکزیما*	آپوپتوز
کارسینوم سلول سنگفرشی	رگرسیون تومور	عصاره *اسپیرولینا پلاتنسیس*	همستر ها
سرطان دهان	تولید ماکروفاژ	پلی ساکاریدها ی *اسپیرولینا پلاتنسیس*	آپوپتوز

خواص ضد نفروتوکسیسیتی

اسپیرولینا باعث کاهش میزان اوره و کراتینین در موش‌های صحرایی با سمیت کلیوی ناشی از سیس پلاتین (cisplatin) می‌شود. سمیت کلیوی ناشی از سیکلوسپورین در موش

صحرایی با تجویز *اسپیرولینا* خنثی شد. به غیر از این، مطالعات ثابت می‌کند که *اسپیرولینا* از موش در برابر سمیت کلیه و مسمومیت ناشی از سیکلوفسفامید حفاظت می‌کند (٤٤).

تاثیر در بینایی

اسپیرولینا سرشار از زیازانتین (Zeaxanthin) است، بنابر این احتمال آب مروارید و تخریب ماکولا در اثر افزایش سن را کاهش می‌دهد. ۱۰۰ گرم پودر *اسپیرولینای* خشک حاوی ۷٤۰۰۰ میکروگرم زیازانتین است. مکمل غذایی پودر *اسپیرولینا*، سطح زیازانتین سرم را در انسان افزایش می‌دهد (٤٥).

کاهش وزن و چربی خون

شیوع چاقی از سال ۱۹۷۵ تقریبا سه برابر شده است. با توجه به گزارش سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱٦، بیش از ۱/۹ میلیارد نفر از بزرگسالان در گروه افراد دارای اضافه وزن طبقه بندی شدند؛ ٦٥۰ میلیون نفر از آن‌ها چاق هستند. در سطح جهانی، به صورت تخمینی تقریباً ۲/۸ میلیون بزرگسال هر سال از چاقی می‌میرند. چاقی ارتباط نزدیکی با التهاب و مقاومت به انسولین دارد. این مساله احتمالا به دلیل ترشح مواد فعال بیولوژیکی بی شمار از بافت چربی است مانند آدیپوکاین‌ها (Adipokine) و کموکاین‌ها (Chemokine) که نقش مهمی در التهاب و ایجاد آترواسکلروز دارند (٤۳). اگر چه محدود کردن میزان کالری مصرفی و ورزش، درمان اصلی چاقی هستند، اما *اسپیرولینا* فواید چشمگیری در کاهش وزن نشان داده است. چندین مطالعه بالینی و پیش بالینی برای بررسی تاثیر *اسپیرولینا* در کاهش وزن انجام شده است. محققان ۵۲ شرکت کننده چاق را با میانگین وزنی ٤۰-۲۵ کیلوگرم مورد آزمایش قرار دادند، به طوریکه به صورت تصادفی به برخی از آن ها ۲ گرم *اسپیرولینا* در روز همراه با رژیم غذایی با کالری محدود دادند. در حالی که بقیه رژیم غذایی با کالری محدود به مدت ۱۲ هفته دریافت کردند. نتایج نشان داد افراد تغذیه شده با رژیم *اسپیرولینا* به طرز قابل توجهی کاهش وزن، اندازه دور کمر، چربی بدن و شاخص توده بدنی داشتند. علاوه بر این میزان تری گلیسیریدها نیز به میزان ۱۸ میلی گرم بر دسی لیتر کاهش یافت (٤٦). در مطالعه دیگری محققان ٦۲ فرد چاق را مورد مطالعه قرار دادند و پس از تجویز یک گرم *اسپیرولینا* به مدت ۱۲ هفته، کاهش قابل توجهی در اشتها، شاخص توده بدنی، وزن بدن و کلسترول کل مشاهده شد. علاوه بر این چربی بالاخوب (High- density lipoprotein) افزایش یافت، درحالی که میزان تری گلیسیرید و کلسترول بد(Low-density lipoprotein) تغییر قابل توجهی نداشت. در مطالعه دیگری، به ۵۰ فرد چاق دارای فشار خون بالا که تحت درمان با داروی ضد فشار خون بودند به مدت ۳ ماه، ۲ گرم *اسپیرولینا* در روز داده شد. درافرادی که *اسپیرولینا* دریافت کرده بودند، وزن، شاخص توده بدنی، اندازه دور کمر،کلسترول و اینترکولین در مقایسه با کسانی که دارونما دریافت کرده بودند، کاهش یافت. همچنین بهبود وضعیت آنتی اکسیدانی کل و بهبود میزان حساسیت به انسولین مشاهده گردید. محققان نشان دادند که در زمان مصرف *اسپیرولینا*، جذب چربی ها در روده کوچک کاهش می‌یابد و موجب دفع بالای کلسترول و اسید صفراوی می‌شود (٤٦).

از سال ۱۹۸۱ تصور می‌شد که *اسپیرولینا* توانایی کاهش چربی را دارد. بعدها در سال ۱۹۹۰، محققان اولین مطالعه‌ی پیش بالینی را بر روی موش‌های صحرایی جوان و سالم انجام دادند، که به طور مصنوعی توسط رژیم غذایی با فروکتوز بالا دچار افزایش چربی خون شده بودند. گروه‌ها به رژیم غذایی با فروکتوز بالا (٦۸درصد) و رژیم غذایی با فروکتوز بالا همراه با *اسپیرولینا* با غلظت ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد به مدت ٤ هفته تقسیم شدند. در پایان دوره‌ی مطالعه، پس از تزریق هپارین داخل وریدی نمونه خون گرفته شد. نتایج به دست آمده حاکی از افزایش قابل توجه در پروفایل چربی همراه با افزایش همزمان فعالیت لیپوپروتین لیپاز بود، هرچند تفاوت معنی داری در سطوح چربی یا لیپوپروتین لیپاز در غلظت‌های مختلف ۵ درصد، ۱۰درصد و ۱۵درصد *اسپیرولینا* یافت نشد. *اسپیرولینا* در موش‌هایی با دیابت القا شده نیز باعث کاهش چربی شد. با تجویز *اسپیرولینای* ۵ درصد، تری گلیسرول‌های کبدی کاهش

یافتند. در این مطالعه به بهبود در چربی خوب سرم و کاهش کلسترول بد سرم و همچنین لیپوپروتین با چگالی بسیار کم نیز اشاره شده است. محققان دریافتند که اگر *اسپیرولینا* به مدت ۸ هفته به گروه حیوانات تجویز شود، کلسترول خوب افزایش یافته و سطح کلسترول بد، تری گلیسرید و کلسترول کل درهنگام وجود رژیم غذایی پرچرب کاهش می‌یابد. علاوه بر این، این مطالعه نرمال شدن کبد چرب (Hepatic steatosis) و بهبود در آزمایش‌های عملکرد کبد، از جمله ترانس آمینازها، اسیدهای چرب آزاد و پروفایل چربی را نشان داد. تصور بر این است که این عملکرد در اثر فعال سازی ثانویه مسیر سیگنال پروتین کیناز است که متعاقباً موجب خودتنظیمی منفی در بیان ژن‌های سنتز کننده چربی می‌شود (۴۷). علاوه بر این، *اسپیرولینا* با تغییر فلور نرمال دستگاه گوارش و افزایش فراوانی باکتری‌های *پروتلا* (*Preutella*)، *بارنسیلا* (*Barneciella*) و *پاراپروتلا* (*Parapreutella*) موجب کاهش چربی می‌شود. پروتلا با افزایش متابولیسم صفرا، سطح چربی خون را کاهش می‌دهد. *آلوپروتلا* (*Allopreutella*) و *رومینوکوکوس* (*Ruminococcus*) تولیدکننده اسیدهای چرب کوتاه زنجیر هستند که توسط روده قابل هضم می‌باشند و سوخت و ساز انرژی را تنظیم می‌کنند و موجب بهبود حساسیت به انسولین از طریق گیرنده‌های خاصی می‌شوند که در نهایت باعث کاهش اختلالات متابولیسم چربی و جلوگیری از بیمارهای کبدی غیر الکلی می‌شود. *Firmicute* شاخه ای از باکتری‌ها هستند که با کاهش وزن بدن و سطح کلسترول در ارتباط می‌باشند که این کاهش با مکمل *اسپیرولینا* بهبود یافته است (۴۷). مطالعات بالینی در مورد استفاده از *اسپیرولینا* در بیماران سالم و مبتلایان به دیس لیپیدمی (Dislipidemia)، فشار خون بالا، بیماری قلبی، دیابت، سندرم نفروتیک و بیماران سالخورده نشان داد که پاسخ به مکمل‌های *اسپیرولینا* بین سنین مختلف، نژادهای گوناگون، همزمانی با بیماری های دیگر، نوع جنسیت، میزان دوز و مدت زمان درمان متفاوت است. یکی از اولین مطالعات بالینی که تاکنون با استفاده از *اسپیرولینا* انجام شد، متشکل از ۳۰ داوطلب سالم با فشار خون خفیف یا هیپرلیپیدمی (Mild hypertension or hyperlipidaemia) بود که به دو گروه تقسیم بندی شدند، یکی از گروه‌ها به مدت ۸ هفته، ٤/۲ گرم *اسپیرولینا* دریافت نمودند، در مقابل گروه دیگر به همان میزان *اسپیرولینا* به مدت ٤ هفته دریافت کرده بودند و ٤ هفته دیگر بدون هیچ گونه مکمل بودند. نتایج از لحاظ کاهش کلسترول کل در ٤ هفته اول استفاده از*اسپیرولینا* قابل توجه بود، که با قطع آن، به میزان اولیه اش در زمان شروع، بازگشت. اما در میزان چربی خوب، تری گلیسرید یا وزن بدن تغییری ایجاد نشد (٤٧).

محققان دیگر اثرات *اسپیرولینا* در کاهش چربی در بیماران مبتلا به بیماری‌های ایسکمیک قلب و کلسترولِ خون بالا بررسی کردند، که در مجموع ۳۰ بیمار بودند و به سه گروه تقسیم شدند. گروه‌های ۱ و ۲ تحت درمان با ۲ گرم یا ٤ گرم *اسپیرولینا* به مدت ۳ ماه قرار گرفتند، در حالی که گروه ۳ به عنوان شاهد بود. در پایان دوره مطالعه، کلسترول کل پلاسما، کلسترول بد، لیپوپروتین با چگالی بسیار کم و تری گلیسرید در گروه ۱و۲ کاهش یافت، که از نظر آماری کاهش معنی داری داشتند. کلسترول بد و کلسترول کل در میان افراد تحت درمان با ٤ گرم *اسپیرولینا*، بیشتر کاهش یافت. کلسترول خوب نیز در هر دو گروه افزایش یافت. با این حال، هیچ آمار قابل توجهی بین گروه‌های مورد آزمایش تحت آزمایش وجود نداشت، در حالی که در مقایسه با گروه شاهد تفاوت معناداری وجود دارد. به طور مشابه، وزن بدن در هر دو گروه درمانی کاهش یافت، در حالی که هیچ تغییری در پروفایل چربی یا وزن بدن در گروه شاهد رخ نداد. در کل، کاهش وزن بدن در هر دو گروه دریافت کننده‌ی *اسپیرولینا* در مقایسه با گروه شاهد، بسیار قابل توجه بود (٤٨). استفاده از ۱ گرم مکمل *اسپیرولینا* به مدت ۳ ماه در میان بیماران دیس لیپیدمی تازه تشخیص داده شده بهبود چشمگیری را در بیماریشان نشان داد و سطح تری گلیسرید، کلسترول کل، کلسترول‌ها به غیر از چربی خوب و نسبت کلسترول کل به چربی خوب کاهش یافت. علاوه بر این، کلسترول خوب، بدون تغییر چشمگیری در وزن، شاخص توده بدنی یا فشار خون افزایش یافت. سطح تری گلیسرید به طور

متوسط ۱۷/۲ درصد کاهش یافت. کاهش در میان زنان بالای ۴۷ سال و کسانی که دارای تری گلیسیریدی بیشتر از ۱۵۰ میلی گرم بر دسی لیتر بودند، بیشتر بود (۴۹ و ۵۰).

در ۱۵ بیمار مبتلا به دیابت غیر وابسته به انسولین، استفاده از *اسپیرولینا* به میزان ۲ گرم در روز به مدت ۲ ماه، منجر به کاهش قابل توجهی در تری گلیسیرید، کلسترول کل، کلسترول بد، لیپوپروتین با چگالی بسیار کم و نسبت کلسترول بد به کلسترول خوب شد. به طور مشابه، محققان دیگر، با مطالعه بر ۲۵ فرد مبتلا به دیابت نوع ۲، تعیین کردند که ۲ گرم *اسپیرولینا* در روز به مدت ۲ ماه در این جمعیت می‌تواند موجب پایین آمدن قند خون ناشتا، پایین آمدن گلوکز خون بعد از غذا و هموگلوبین می‌شود. همچنین کاهش تری گلیسیرید، کلسترول بد، کلسترول کل و کاهش کلی در شاخص‌های آتروژنیک مشاهده گردید. با این وجود، این مطالعه نشان داد که *اسپیرولینا* در بهبود کوتاه مدت در پروفایل گلوکز و چربی میان افراد دیابتی بسیار موثر است. محققان دیگر، ۸ گرم در روز *اسپیرولینا* را روی ۳۷ نفر کره ای مبتلا به دیابت نوع ۲ به مدت ۱۲ هفته آزمایش کردند، که منجر به کاهش قابل توجهی در تری گلیسریدها شد. کسانی که تری گلیسیرید پلاسمای بالاتر داشتند، کاهش در سطوح تری گلیسیرید را بیشتر نشان دادند. به طور مشابه، افراد دارای کلسترول کل و کلسترول بد بالاتر، کاهش بیشتری در میزان کلسترول کل، کلسترول بد و بهبود فشار خون داشتند. این مطالعه همچنین کاهش سطح مالون دی آلدئید پلاسما و افزایش سطح آدیپونکتین پلاسما را نشان داد، که نشان دهنده کاهش استرس اکسیداتیو با مکمل *اسپیرولینا* است. در مطالعه دیگر، ۲۳ بیمار کودک مبتلا به کلسترولِ خون بالا و سندرم نفروتیک، بین سن ۲ و ۱۳ سال با واسطه استروئید، به تنهایی یا در ترکیب با *اسپیرولینای* ۱ گرم در روز، به مدت ۲ ماه تحت درمان قرار گرفتند. در پایان دوره مطالعه، کلسترول کل، کلسترول بد و تری گلیسیرید در مقایسه با گروه شاهد کاهش یافت. نسبت کلسترول بد به کلسترول خوب و نسبت کلسترول کل به کلسترول خوب نیز کاهش یافت. بنابراین، به طور کلی از یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت که *اسپیرولینا* تاثیر قابل توجهی بر کاهش چربی در مبتلایان به سندروم نفروتیک دارد (۴۴).

احتمال ابتلا به افزایش چربی خون و بیماری عروق کرونر با بالا رفتن سن افزایش می‌یابند. یک مطالعه بر روی ۱۲ بیمار کره ای بین سنین ۶۰ تا ۷۵ سال انجام گرفت که ۷/۵ گرم در روز از *اسپیرولینا* به مدت ۲۴ هفته مصرف می‌کردند. این مطالعه حاکی از کاهش قابل توجه تری گلیسیرید، کلسترول کل و کلسترول بد پس از ۴ هفته دریافت مکمل *اسپیرولینا* بود. هیچ کاهشی در بیماران با فشار خون خفیف در مقابل افرادی با میزان کلسترول طبیعی وجود نداشت. مطالعه دیگری با حضور ۵۱ زن مسن با کلسترولِ خون بالا و دارای سن ۶۰ سال و بالاتر، که نیمی از آن‌ها ۷/۵ میلی گرم *اسپیرولینا* در روز به مدت ۸ هفته دریافت کردند و به نیم دیگر دارونما داده شده بود، صورت گرفت. یافته‌ها کاهش معنی دار در کلسترول کل و کلسترول بد را نشان داد. تازه ترین مطالعه کنترل شده تصادفی شامل ۷۸ نفر بین ۶۰-۸۷ سال بود که به طور تصادفی به نیمی از آن‌ها ۸ گرم *اسپیرولینا* در روز داده شد و در مقابل به سایر آن‌ها به مدت ۱۶ هفته دارونما داده شد. زنان به طور میانگین کلسترول کل و کلسترول بد بالاتری داشتند و همچنین کاهش قابل توجهی در سطح کلسترول کل و کلسترول بد نشان دادند. علاوه بر این، اینترلوکین ۲ به طور قابل توجهی افزایش و اینترلوکین-۶ در پایان دوره مطالعه کاهش یافت. سطح اینترلوکین-۲ با افزایش سن کاهش می‌یابد؛ بنابراین، مکمل *اسپیرولینا* ممکن است به تقویت ایمنی در افراد مسن کمک کند. مطالعه بالینی در انسان نشان داد که مکمل *اسپیرولینا* (۱ گرم تا حداکثر ۱۹ گرم در روز) ،کاهش دهنده ی کلسترول کل، کلسترول بد، تری گلیسیرید، لیپوپروتین با چگالی بسیار کم، قند خون ناشتا و فشار خون دیاستولی است. به طور کلی، *اسپیرولینا* باعث بهبود خطر ابتلا به بیماری عروق کرونر می‌شود و به نظر می‌رسد که در کاهش وزن نیز تاثیر داشته باشد. تفاوت در یافته‌ها در مطالعات بالینی احتمالاً به دلیل تفاوت در دوز *اسپیرولینا*، مدت زمان درمان و مسئولیت پذیری بیماران در اجرا است. به طور کلی، مکمل *اسپیرولینا* به میزان ۲-۸ گرم در روز ممکن است با

کاهش کلسترول کل، تری گلیسیرید و کلسترول بد و بهبود کلسترول خوب، کاهش وزن و کاهش شاخص توده بدنی باعث بهبود پروفایل چربی شود. *اسپیرولینا* همچنین به نظر می‌رسد مقاومت به انسولین را بهبود می‌بخشد و دارای خواص آنتی اکسیدانی و ضد التهابی است و قند خون و فشار خون را نیز کاهش می‌دهد (٤٤).

تولید صنعتی

از آن جا که فراورده های گوناگون دارویی و زیست محیطی *اسپیرولینا* باید وارد بازار شوند، تولید آن ها باید انبوه و اقتصادی باشد. کشت‌های سرباز و یا بسته تولید *اسپیرولینا* باید بهینه سازی شود تا سبب شود فراورده‌هایی با ارزش اقتصادی بیش تر و هزینه‌ی کم تر فراهم شود. کشت اسپیرولینا در بیوراکتورهای نوری (photobioreactors) مانند سایر سیانوباکترها نیاز به هم زدن دارد تا سلول ها به حالت تعلیق باقی بمانند و از ته نشینی آن ها جلوگیری شود. این شرایط برای میکروارگانیسم‌های فتوسنتز کننده که به جذب نور نیاز دارند اهمیت زیادی دارد، اما از طرفی هم زدن با تنش و استرس هیدرودینامیکی بر سلول ها همراه است و بر تولید زیست توده تاثیر منفی دارد. یکی از راه‌ها در کاهش تنش، به کارگیری روش‌های مناسب تر در هم زدن محیط کشت است که در میان راه حل‌ها، گزینه به کارگیری بیوراکتورهای چرخان، گزارش شده است. همچنین برای کاهش تنش، به کارگیری موادشیمیایی افزودنی به محیط کشت نیز در کشت ریز جلبک به کار رفته است (٥١ و٥٦). شیخی نژاد و همکاران، به منظور یافتن سامانه کشت *اسپیرولینا* با تنش کمتر، از چالش هم زدن با چرخش ظرف کشت و هوادهی استفاده کردند. افزون بر آن، به منظور افزایش و بهینه سازی تولید زیست توده، از چهار محیط کشت سنتزی و محیط کشت نمک دریا استفاده کردند (٥٧). نتایج نشان داد که بیش ترین میزان رشد و تولید زیست توده خشک *اسپیرولینا* در هم زدن با چرخش ظرف کشت و کمترین تولید در محیط کشت نمک دریا یافت گردید. در واقع تنش، اثر زیادی بر رشد و تولید زیست توده *اسپیرولینا* دارد و با کاهش تنش، راندمان تولید صنعتی ریست توده در کشت *اسپیرولینا* افزایش می‌یابد.

استفاده در ترکیب محصولات مختلف غذایی

برای تهیه کلوچه، فرمولاسیون در پنج گروه مختلف طراحی گردید. در گروه F1 از صد درصد آرد گندم تصفیه شده و پانزده درصد از روغن سویا، سه درصد لستین، شصت درصد تخم مرغ، یک درصد نمک، یک درصد بی کربنات سدیم، سی درصد شکر، پانزده درصد آب و دو درصد از اسانس وانیل استفاده شد. در گروه F2 از صد درصد آرد کامل، پانزده درصد روغن سویا، سه درصد لستین، شصت درصد تخم مرغ، یک درصد نمک، یک درصد بی کربنات سدیم، سی درصد شکر، پانزده درصد آب و دو درصد از اسانس وانیل استفاده شد. در گروه F3 از نود و پنج درصد آرد گندم تصفیه شده، پنج درصد از زیست توده *اسپیرولینا*، پانزده درصد روغن سویا، سه درصد لستین، شصت درصد تخم مرغ، یک درصد نمک، یک درصد بی کربنات سدیم، سی درصد شکر، پانزده درصد آب و دو درصد از اسانس وانیل استفاده شد. در گروه F4 از نود درصد آرد گندم تصفیه شده، ده درصد از زیست توده *اسپیرولینا*، پانزده درصد روغن سویا، سه درصد لستین، شصت درصد تخم مرغ، یک درصد نمک، یک درصد بی کربنات سدیم، سی درصد شکر، پانزده درصد آب، و دو درصد از اسانس وانیل استفاده شد. در گروه F5 از هشتاد و پنج درصد آرد گندم تصفیه شده، پانزده درصد زیست توده *اسپیرولینا*، پانزده درصد روغن سویا، سه درصد لستین، شصت درصد تخم مرغ، یک درصد نمک، یک درصد بی کربنات سدیم، سی درصد شکر، پانزده درصد آب و دو درصد از اسانس وانیل استفاده شد (٥٨).

برای تهیه کلوچه غنی شده، در ابتدا روغن، شکر، تخم مرغ، آب، اسانس وانیل و لستین مخلوط شد و سپس آرد گندم اضافه گردید و برای یک دست شدن آن، نمک و بی کربنات سدیم در آب به مدت سه الی پنج دقیقه ترکیب شد. خمیر به دست آمده از ترکیبات بالا، به مدت بیست دقیقه استراحت داده شد. سپس، کلوچه ها با استفاده از غالب غلتکی در دایره‌هایی به ضخامت

سه سانتی متر شکل داده شدند و پس از آن در دمای دویست و ده درجه سلسیوس به مدت پانزده دقیقه در فر گذاشته شدند پس از پخته شدن، آن ها را در دمای اتاق (سه الی بیست و پنج درجه سلسیوس) قرار داده تا خنک و پس از آن در بسته‌های پلی اتیلن نگهداری شدند. سپس کلوچه‌ها از نظر رنگ (توسط طیف سنج) و بافت مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد هنگامی که در تهیه کلوچه ها از آرد گندم و پودر اسپیرولینا استفاده شد، کلوچه ها رنگ تیره تر، بافت منسجم تر و وزن سنگین تری داشتند. همچنین جایگزینی آرد گندم با *اسپیرولینا* موجب تغییر شدت قرمزی به سبزی در همه کلوچه‌های فرموله شده شد. نتایج حاصل از اندازه گیری میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر معدنی (میلی گرم در صد گرم) در کلوچه‌های دارای *اسپیرولینا* در فرمولاسیون های مختلف نشان داد که افزایش *اسپیرولینا* در فرمولاسیون می‌تواند مواد معدنی ثابت را افزایش دهد و به این ترتیب بر کیفیت کلوچه ها تأثیر مثبت می‌گذارد. در واقع جایگزینی آرد گندم با *اسپیرولینا* در محصولات غذایی، حتی به نسبت های کم، باعث افزایش مقدار پروتین می‌شود. به طوریکه در گروه F5، محتوای رطوبت چهارده درصد، میزان مواد معدنی یک درصد، میزان پروتین پانزده درصد، میزان لیپید چهارده درصد، فیبرخام سه درصد، میزان کربوهیدرات پنجاه درصد، مقدار کالری سیصد و نود و شش، میزان پتاسیم ششصد و پنجاه، میزان کلسیم صد و شصت، میزان گوگرد سیصد و سی، فسفر صد و چهل، آهن شصت، سیلیسیوم صد و ده می‌باشد (۵۸).

انجمن مواد غذایی و تغذیه برزیل (Brazilian society for food and nutrition SBAN) نشان داد که کلوچه‌های گروه F5 با هشتاد و پنج درصد *اسپیرولینا*، حدود چهل و پنج درصد از پروتین را برای کودکان هفت تا ده سال فراهم می‌کند و سی درصد پروتین مورد نیاز روزانه یک فرد بالغ را فراهم می‌کند، در حالی که کلوچه های فاقد *اسپیرولینا* (F1) به ترتیب سی و سه درصد در گروه سنی هفت تا ده سال و بیست و دو درصد را در بزرگسالان تامین می‌کند. بر اساس این نتیجه کلوچه‌هایی با پانزده درصد *اسپیرولینا* را مطابق قانون می‌توان به عنوان پر محتوا و غنی از پروتین در نظر گرفت، همچنین با داشتن حداقل سی درصد پروتین می توان غنی یا غنی شده نیز نامید (۵۹). مصرف توصیه شده فسفر برای بزرگسالان هفتصد میلی گرم در روز است. با توجه به نتایج حاصل از فرمولاسیون F5، صد گرم از کلوچه ها حاوی بیست درصد از نیاز روزانه یک فرد بالغ به این ماده معدنی است. مقدار کلسیم موجود در کلوچه‌های غنی شده با *اسپیرولینا*، نود تا صد و شصت میلی گرم در صد گرم است (۶۰).

نتایج حاصل از ارزیابی پارامترهای میکروبیولوژیکی در گروه F5 نشان داد که با افزایش میزان غلظت *اسپیرولینا*، میزان حضور باکتری‌های گرم مثبت، گرم منفی و مخمرها نیز به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافت. یک ویژگی بسیار مهم در انتخاب مواد غذایی، طعم (مزه) است. فرمول F1 (کلوچه‌ها بدون افزودن *اسپیرولینا* و با آرد گندم تصفیه شده تولید شده) و F3 (کلوچه های دارای پنج درصد *اسپیرولینا* و نود و پنج درصد آرد گندم تصفیه شده) دارای بالاترین امتیازات توسط داوطلبان تست بودند. در کل نتیجه گیری کلی نشان می‌دهد که از نظر ظاهر و رنگ، کلوچه‌های F5، چون نسبت به کلوچه F1 تیره تر می‌شوند، کمی کاهش امتیاز داشتند اما از نظر عطر و مزه گروه F3 و F4 و F5 اعداد نزدیکتری را به F1 نشان دادند و این بدان معناست که وجود *اسپیرولینا* تاثیر منفی روی عطر و مزه کلوچه‌ها نمی‌گذارد. از نظر انسجام بافت، در گروه F3 بیشترین میزان کیفیت بافت وجود دارد که این عدد در گروه F1، پنج و در گروه F3، شش است و اما از نظر ارزیابی کلی و قصد خرید، F3 امتیاز بهتری را نسبت به F4 و F5 نشان داده است (۵۸). نتیجه کلی در تهیه کلوچه‌ها نشان داد که افزایش درصد *اسپیرولینا*، منجر به افزایش درصد پروتین، به علاوه افزایش مواد معدنی در مقایسه با کلوچه‌های تولید شده با آرد گندم تصفیه شده می‌شود. کلوچه‌هایی با پانزده درصد از *اسپیرولینا* در فورمولاسیون (F5)، پروتین و مواد معدنی بیشتر و برجسته‌تری نسبت کلوچه‌های تهیه شده با آرد تصفیه شده گندم دارند و همچنین از لحاظ مواد معدنی، لیپید و مقدار انرژی همانند کلوچه‌های استاندارد گزارش شدند. به بیان دیگر کلوچه‌هایی با

پانزده درصد از *اسپیرولینا* به همان اندازه مورد پذیرش و مقبولیت قرار گرفتند که کلوچه‌های استاندارد در مارکت دارند (۵۸) (جدول ٦).

جدول ٦. نتایج یافت شده برای توصیف کلوچه تولید شده با استفاده از زیست توده لیوفیلیزه *اسپیرولینا پلاتنسیس* (۵۸).

پارامتر	زیست توده *اسپیرولینا پلاتنسیس*
درصد محتوای رطوبت	۱۱/۹۹ ± ۰/۰٤
درصد مواد معدنی	۸/۰۰ ± ۰/۰٤
درصد پروتین	۵۸/٦۲ ± ۰/۳۸
درصد لیپید ها	۱۱/٤٦ ± ۰/۰۵
درصد فیبر خام	۲/۰۲ ± ۰/٦۰
اسید اسکوربیک بر حسب میلی گرم بر صد گرم	٤٤/۸٤ ± ۰/٦٤
کلروفیل بر حسب میلی گرم بر گرم	۹/٤۸ ±۰/۳۱

از جمله محصولاتی که می‌توان با *اسپیرولینا* غنی سازی کرد، شیرینی‌جات هستند؛ اسپیرولینای موجود در شیرینی جات موجب افزایش زمان ماندگاری و هضم آسانتر خواهد شد، بنابراین می‌توان به راحتی غذاهایی که دارای محتوای انرژی و پروتین پایینتری هستند را با افزودن میکرو جلبک‌ها، به ویژه *اسپیرولینا* غنی سازی کرد (٦۱).

یکی از مواد تهیه بیسکوئیت، آرد موکاف است. آرد موکاف، آرد اصلاح شده‌ی کاساوا است که با استفاده از میکروارگانیسم‌ها تخمیر می‌شود. آرد موکاف، از نظر پروتین و از نظر فیزیکوشیمیایی، بهتر از آرد کاساوا است. استفاده ازموکاف در این بیسکوئیت نوعی بهینه سازی از منابع محلی است. برای تهیه بیسکوئیت در کنار *اسپیرولینا* و موکاف، از کرم نارگیل هم استفاده شد. کرم نارگیل، پروتینی است که از فرآوری روغن نارگیل حاصل می‌شود که می توان از آن برای تقویت غذاهای کودک، بیسکوئیت یا جایگزین مارگارین استفاده کرد که به عنوان طعم دهنده مفید است. بیسکوئیت تجاری معمولاً دارای پروتین کمی است، بدین منظور با افزودن کرم نارگیل و *اسپیرولینا*، میزان پروتین افزایش یافته و علاوه بر آن، بر میزان ماندگاری بیسکوئیت نیز می‌افزاید (٦۲). برای تهیه بیسکوئیت، چهار فرمول در دسته‌های (P0 تا P3) گروه بندی شده‌اند. خمیر بیسکوئیت :P0 صفر گرم کرم نارگیل، بیست گرم آرد برنج، صفر تا پنج گرم جوش شیرین، هشت گرم ساکارز، یک گرم مخمر، صفر تا پنج گرم وانیل، یک گرم نمک، چهل گرم آب، نه گرم *اسپیرولینا*، خمیر بیسکوئیت :P1 ده گرم کرم نارگیل، بیست گرم آرد برنج، صفر تا پنج گرم جوش شیرین، هشت گرم ساکارز، یک گرم مخمر، صفر تا پنج گرم وانیل، یک گرم نمک، چهل گرم آب، نه گرم *اسپیرولینا*، خمیر بیسکوئیت :P2 بیست گرم کرم نارگیل، بیست گرم آرد برنج، صفر تا پنج گرم جوش شیرین، هشت گرم ساکارز، یک گرم مخمر، صفر تا پنج گرم وانیل، یک گرم نمک، چهل گرم آب، نه گرم *اسپیرولینا*، خمیر بیسکوئیت :P3 سی گرم کرم نارگیل، بیست گرم آرد برنج، صفر تا پنج گرم جوش شیرین، هشت گرم ساکارز، یک گرم مخمر، صفر تا پنج گرم وانیل، یک گرم نمک، چهل گرم آب، نه گرم *اسپیرولینا*. سپس بیسکوئیت‌ها با ضخامت سه میلی متر و قطر سه سانتی متر ساخته شد. پختن بیسکوئیت با استفاده از فر با دمای صد و بیست درجه سلسیوس به مدت بیست الی بیست و پنج دقیقه انجام شد. نتایج حاصل از تست هدونیک نشان داد که از نظر کارایی: P1>P2>P0>P3، از نظر رنگ: P1>P0>P2>P3، از نظر عطر: P3>P2>P1>P0، از نظربافت: P1>P2>P0>P3 و از نظر مزه: P1>P2>P3P0 دارای بیشترین امتیاز هستند. در نهایت، از نظر،کارایی، رنگ، بافت و مزه P1 که حاوی کرم نارگیل هفت درصد است بیشترین آمار امتیازات را دارد (٦۳). نتایج حاصل از بررسی ترکیبات شیمیایی و فیزیکی نشان داد افزودن کرم نارگیل، اثر معنی داری بر میزان پروتین بیسکوئیت نداشت، در حالی که در محتوای چربی، کربوهیدرات، شکنندگی و سختی تفاوت معنی داری داشت. علاوه بر آن نتایج حاصل از بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی نشان داد که بیسکوئیت *اسپیرولینای* غنی شده با کرم نارگیل (P1) دارای مقدار IC50 کمتر از بیسکوئیت بدون افزودن با کرم

نارگیل (P0) است، بدین معنی که فعالیت آنتی اکسیدانی P1 بالاتر از P0 است. به بیان دیگر با افزودن کرم نارگیل غنی شده به بیسکوئیت میزان فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش و در نتیجه مهار رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد و از میزان غلظت آن در IC50 کاسته می‌شود و در بیسکوئیت بدون کرم نارگیل غنی شده، رادیکال‌های آزاد به دلیل کمبود میزان آنتی اکسیدان‌ها افزایش یافت (٦٣).

مقدار مواد معدنی بیسکوئیت موکاف *اسپیرولینا* با کرم نارگیل هفت درصد (در هر خمیر ده گرم) سه درصد بود. میزان مواد معدنی این بیسکوئیت بالاتر از میزان کیفیت SNI 2973:2011 است که یک و نیم درصد است. بدین خاطر، برای جلوگیری از عوارض جانبی، مصرف آن محدود است. محققان اظهار داشتند که مواد معدنی در صورت مصرف زیاد می‌توانند سمی باشند. به همین دلیل محتوای مواد معدنی را می‌توان با بهبود فرمولاسیون بیسکوئیت کاهش داد. علاوه بر این، *اسپیرولینا* به عنوان ماده تشکیل دهنده بیسکوئیت‌ها نیز به میزان مواد معدنی در بیسکوئیت‌ها می‌افزاید، چرا که مواد معدنی موجود در *اسپیرولینا*، شامل کلسیم، آهن، منیزیوم، سدیم، ید، پتاسیم، روی، منگنز و سلنیوم است (٦٤). از نظر محتوای چربی بیسکوئیت با کرم نارگیل (P1) بالاتر از کرم نارگیل (P0) بود. این نشان می‌دهد که افزودن کرم نارگیل باعث افزایش محتوای چربی در بیسکوئیت می‌شود، از طرف دیگر، کرم نارگیل یک امولسیفایر است که می‌تواند سختی بیسکوئیت را کاهش دهد.در واقع لیپید می‌تواند ساختارهای فیزیکی مانند نرمی، بافت و عطر را بهبود بخشد و کرم نارگیل حاوی چربی نسبتاً بالایی است که چهل درصد آن را تشکیل می‌دهد (٦٥).

میزان کربوهیدرات بیسکوئیت *اسپیرولینای* غنی شده با کرم نارگیل، بیشتر از کرم نارگیل بدون *اسپیرولینا* است. *اسپیرولینا* به محتوای کربوهیدرات موجود در بیسکوئیت مانند آرد موکاف و آرد برنج کمک کرده است. استاندارد SNI میزان حداقل کربوهیدرات را هفتاد درصد بیان کرده است که این میزان حداقل کربوهیدرات در بیسکوئیت غنی شده با کرم نارگیل برطرف شده است. علاوه بر آن میزان شکنندگی و سختی بیسکوئیت نارگیلی غنی شده موکاف *اسپیرولینا* (P1)، بهتر از بیسکوئیت بدون کرم نارگیل بود (P0). در واقع چربی موجود در p1، به لطافت حسی بافت بیسکوئیت کمک می‌کند (٦٦). نتایج حاصل از برآورد عمر مفید بر اساس آسیب‌های میکروبی در سی و پنج روز و دماهای بیست و پنج، سی و پنج و چهل و پنج درجه سلسیوس نشان داد که هر چه دمای ذخیره سازی بیشتر شود، طول عمر ماده غذایی هم کاهش می‌یابد و دمای بیست و پنج درجه سلسیوس بیشترین میزان ماندگاری بیسکوئیت غنی شده را دارد در نهایت بر اساس آزمایشات حسی، بیسکوئیت *اسپیرولینا* با کرم نارگیلی که حاوی دوازده درصد پروتین و هفت درصد *اسپیرولینا* است (P1)، از بیسکوئیت تجاری برتر است، در حالی که دارای چربی شش درصد پایین تر از بیسکوئیت تجاری است (٦٣).

با توجه به ترکیبات زیست فعال *اسپیرولینا* که می‌توانند باعث بهبود ارزش مواد غذایی شوند، می‌توان از عصاره آن برای ساخت ترکیبات حساس به گرما مانند پنیر خامه ای و بستنی نیز بهره برد. پنیر محصول فرآوری شده شیر است که با استفاده از فرآیند انعقاد کامل یا بخشی از پروتین شیر، شیر بدون چربی، شیر کره و خامه کشک با استفاده از رنت یا سایر مواد انعقادی تولید می‌شود. بستنی نیز ماده غذایی نیمه جامد است که با انجماد شیر، چربی، مخلوط قند با مواد افزودنی غذایی یا بدون آن ساخته می‌شود. بستنی معمولاً حاوی دو تا سه دهم درصد تثبیت کننده، یک دهم درصد امولسیون کننده، ده پانزده درصد قند، طعم دهنده و ماده رنگ آمیزی، دوازده تا چهار درصد پروتین، بیست درصد کربوهیدرات است و انرژی آن صد و نود و شش کالری در هر صد گرم است (٦٧). بستنی‌های تجاری دارای کمبود پروتین هستند، به راحتی ذوب می شوند و حاوی چربی بالایی هستند. بنابراین لازم است که کیفیت بستنی بهبود یابد. بنابراین با افزودن مواد مغذی حاوی ارزش غذایی بالا مانند *اسپیرولینا* می‌توان مواد مغذی بستنی و پنیر خامه‌ای را تامین کرد (٦٨). برای تهیه پنیر خامه‌ای، شیر تازه (یک لیتر) در دمای پانزده درجه سلسیوس به مدت پانزده دقیقه (پاستوریزاسیون) گرم شد و بعد از رسیدن به دمای سی و پنج

درجه سلسیوس تا چهل درجه سلسیوس خنک شد، پنج میلی لیتر اسید استیک به ازای هر یک لیتر شیر اضافه و برای پانزده ثانیه هم زده شد. حدود یک چهارم قرص رنت در یک میلی لیتر آب رقیق، به مخلوط شیر و اسید استیک اضافه شد. قرص رنت به مدت یک ساعت به مایه پنیر اضافه شد تا شیر تازه گاو تخمیر شود، بعد از پنج دقیقه، شیر تازه گاوی تخمیر شده با استفاده از کاسه استیل ضد زنگ تخلیه شده و سپس برای تسریع تولید آب پنیر، آب داغ (سی میلی لیتر) ریخته و دوباره تخلیه شد. به این ترتیب شیر گاو تازه تخمیر شده و فشرده شده طبق فرمول (دویست گرم) وزن دارد. سپس (سه دهم درصد) نمک و همچنین پودر *اسپیرولینا* با غلظت‌های مختلف (صفر، پنج دهم، یک و یک و نیم درصد) اضافه شد. پنیر خامه ای حاصل، پس از آن در دمای یخچال برای تجزیه و تحلیل بیشتر نگهداری شد (۶۹).

برای تهیه بستنی، (سه درصد) زرده تخم مرغ و (شانزده درصد) قند کاملاً مخلوط شدند تا کف ایجاد شود. (چهل و پنج، چهل و چهار ممیز نه درصد و چهل و چهار ممیز سه درصد شیر، ده درصد شیر بدون چربی و (پنج دهم درصد) ژلاتین در دمای شصت درجه سلسیوس گرم شدند. سپس مخلوط را در زرده تخم مرغ و نیشکر ریخته و مخلوط را به اسانس (ده درصد) اضافه کرده و در دمای هشتاد و پنج درجه سلسیوس به مدت ده دقیقه پاستوریزه گردید و سپس پودر *اسپیرولینا* در غلظت‌های مختلف (صفر، شش دهم و یک ممیز دو درصد) اضافه شد. مخلوط نهایی بستنی سپس در یخچال قرار گرفت و اجازه داده شد تا چربی شیر تا حدی متبلور شود و به پروتین‌ها زمان هیدراته شدن داده شد. برای تولید بستنی تنها پانزده دقیقه زمان لازم است تا محصول نهایی به دست آید. بسته بندی بستنی به زودی پس از خارج کردن از یخچال و فریزر بستنی‌ساز انجام شد. ذخیره سازی محصول در فریزر در دمای منفی هجده درجه سلسیوس به مدت بیست و چهار ساعت انجام شد (۷۰). نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آنالیز واریانس نشان داد که پنیر خامه‌ای تولید شده با پودر *اسپیرولینا* با غلظت‌های مختلف تاثیر معنی داری بر میزان آب نمونه ها نشان داد، به این صورت که با افزایش غلظت *اسپیرولینا*، میزان آب پنیرها کاهش یافت. در واقع محققان نشان داد که میزان کمتری از آب در پنیر خامه ای باعث ماندگاری بیشتر محصول می‌شود. در طی پردازش پنیر خامه‌ای، پودر *اسپیرولینا*، در دمای سی درجه سلسیوس اضافه شد تا از فرایند واسرشت سازی بر روی پروتین جلوگیری شود. در واقع ساختمان پروتین می‌تواند به دلیل گرم شدن در دمای شصت تا هفتاد درجه سلسیوس تغییر کند. نتایج حاصل از اندازه گیری پروتین پنیر خامه‌ای حاصل از *اسپیرولینا* نشان داد که میزان پروتین پنیر خامه‌ای حاصله با افزایش میزان غلظت *اسپیرولینا* با تفاوت معنی داری بیشتر از کنترل می‌شود. با این حال نتایج حاصل از اندازه گیری میزان چربی تفاوت معنی داری را قبل و بعد از افزودن پودر *اسپیرولینا* نشان نداد. در مقابل نتایج حاصل از اندازه گیری میزان مواد معدنی و بتا کاروتن، اختلاف معنی‌داری را با افزایش غلظت *اسپیرولینا* نسبت به کنترل نشان داد. محتوای مواد معدنی این محصول با پنیر موزارلا از ایتالیا قابل مقایسه بود که غلظت آن دو ممیز سه درصد و یک درصد تا سه درصد بود. در واقع محتوای بتاکاروتن پودر *اسپیرولینا* به دلیل مخلوط شدن با شیر گاو تخمیر شده در دمای سی درجه سلسیوس در طول پردازش به طور قابل توجهی آسیب ندید. در واقع محققان نشان دادند که درجه حرارت بالا می‌تواند باعث کاهش میزان β کاروتن شود و در معرض بودن با اکسیژن نیز می‌تواند با استفاده از آنزیم لیپوکسیژناز به اکسیداسیون آنزیمی منجر شود و بنابراین مولکول‌های بتا کاروتن را تخریب کند. بدیهی است که β-کاروتن در معرض نور نیز آسیب پذیر است و به دمای بالاتر از شصت درجه سلسیوس حساس است چرا که منجر به تغییر ایزومتریک از trans به cis β-کاروتن که ناپایدارتر است می‌شود. بتاکاروتن یکی از آنتی اکسیدان‌های طبیعی است که می‌تواند از بیماری جلوگیری کند زیرا می‌تواند رادیکال‌های آزاد را در بدن انسان که می‌تواند وجود بیماری‌های دژنراتیو را تشدید کند، خنثی کند. از پودر *اسپیرولینا* برای استحکام شکلات نیز استفاده شده است تا میزان بتاکاروتن آن را افزایش دهد. میزان بتاکاروتن پنیر خامه‌ای تولید شده با اضافه کردن

پودر *اسپیرولینا*، هفت میلی گرم در هر صد گرم بود. طبق استاندارد FAO، مصرف شش میلی گرم بتاکاروتن در روز می‌تواند خطر ابتلا به سرطان را برای انسان کاهش دهد (۷۱ و۷۲). نتایج حاصل از بررسی‌های آماری در بستنی تولید شده نشان داد که افزودن کربوهیدرات، چربی، پروتین، ویتامین و مواد معدنی حاصل از *اسپیرولینا*، به بستنی منجر به کمتر بودن میزان آب اضافه شده به بستنی می‌شود و در کل روی وزن و رطوبت محصول تأثیر می‌گذارد. نتایج حاصل از اندازه گیری میزان پروتین نشان داد که بستنی تولید شده را می‌توان به عنوان بستنی با پروتین بالا طبقه بندی کرد که دلیل آن به مقدار زیاد پروتین حاصل از پودر *اسپیرولینا* بستگی دارد که ارزش غذایی آن را با اختلاف معنی داری نسبت به کنترل افزایش می‌دهد. فراورده بستنی تولید شده را همچنین می‌توان در دسته بستنی‌های کم چرب قرار داد زیرا منبع چربی تنها از شیر تازه، زرده تخم مرغ و خامه زده شده بود و از نظر میزان چربی در بین تیمارها تفاوت معنی داری نسبت به کنترل یافت نشد، بنابراین، این محصول برای رژیم‌های کم چربی مناسب است. نتایج حاصل از اندازه گیری کل قند بستنی، کاملا مطابق با استاندارد ملی SNI اندونزی یافت گردید. نتایج حاصل از آنالیزهای فیزیکی مانند میزان هوادهی در بستنی که منجر به افزایش حجم خمیر بستنی به دلیل هوای گرفتار شده هنگام مخلوط کردن و یخ زدن در داخل بستنی ساز می‌شود، نشان داد که هوادهی بستنی با وجود پودر *اسپیرولینا* در مقایسه با هوادهی بدون افزودن پودر بیشتر است. پروتین می‌تواند قوام و نرمی بستنی را افزایش دهد. در حین همگن شدن، افزودن پودر می تواند حجم فوم را در مقایسه با نمونه کنترل افزایش دهد. در واقع افزودن مواد غنی از پروتین به بستنی می‌تواند قوام و نرمی بستنی را افزایش دهد زیرا هوای بیشتری درون خمیر بستنی گرفتار می‌شود و در نتیجه باعث افزایش حجم آن می‌شود (۷۳).

علاوه بر آن اضافه کردن پودر *اسپیرولینا* به بستنی، نقطه ذوب بستنی را افزایش داد. به طور کلی میزان ذوب به وجود عوامل تثبیت کننده، نسبت نمک و سایر املاح و همچنین فرآوری و ذخیره آن بستگی دارد. به طور کلی بستنی نباید در دمای اتاق ذوب شود، بلکه باید به سرعت در دمای بدن انسان ذوب شود. زمان طولانی‌تر لازم برای آب شدن بستنی در دمای اتاق به معنای پایدار ماندن بستنی است. بنابراین بستنی با نقطه ذوب بسیار کم معمولاً دارای بافت محکم‌تری است، که اضافه کردن پودر *اسپیرولینا* منجر به افزایش چسبندگی در بافت بستنی می‌شود. در واقع بافت بستنی تحت تأثیر کریستال یخ است که در طی فرآوری شکل گرفته است. بستنی با بافت نرم فقط زمانی می‌تواند شکل گیرد که اندازه کریستال یخ کوچک باشد. بافت بستنی بستگی به اندازه بلور یخ که در بلور هوا پراکنده شده است دارد، به طوری که بستنی دارای بافت و طعم خاصی خواهد بود و بافت بستنی با غلظت کل قند و ویسکوزیته (چسبندگی و میزان آن) مشخص می‌شود (٦٨). رنگ و شکل به عنوان عامل اصلی برای کیفیت مواد غذایی در نظر گرفته می‌شود. بو یکی از خصوصیاتی است که ترجیح مصرف کننده را تعیین می‌کند. ترکیبات فرار مسئول بو هستند. بو در بستنی بیشتر توسط چربی موجود در شیر تعیین می‌شود. نتایج حاصل از تست هدونیک نشان داد که بستنی حاصل از پودر *اسپیرولینا*، بوی مایل به ماهی و ناخوشایندی دارد که از مواد معدنی آن ناشی می‌شود و تست کنندگان بستنی بدون اضافه کردن *اسپیرولینا* را ترجیح دادند (٧٤). رنگ بستنی باید برای مصرف کننده جذاب باشد. تست کنندگان، بستنی با میزان کمتر *اسپیرولینا* که منجر به رنگ سبز روشن تر می‌شد را ترجیح دادند. در واقع ایجاد رنگ سبز تیره تر بستنی به دلیل مقادیر بیشتری از *اسپیرولینا* و افزایش رنگدانه آبی- سبز (فیکوسیانین) است. بنابر این یافتن غلظت مناسبی از پودر *اسپیرولینا* که نه تنها بتواند در طعم بستنی تاثیر گذار باشد بلکه ارزش غذایی آن را نیز بالا ببرد از اهمیت زیادی برخوردار است. نتایج در کل نشان داد که افزودن یک و یک ممیز دو درصد *اسپیرولینا*، به ترتیب بهترین غلظت برای پنیر خامه‌ای و بستنی است (٧٤).

نتیجه گیری

اسپیرولینا، در آینده ای نزدیک به عنوان منبع غذایی کامل

معرفی خواهد شد. سطح بالای پروتین در *اسپیرولینا*، در میان دنیای میکروبی منحصر به فرد است. در ضمن ترکیبات اسید آمینه ای آن دارای ارزش بیولوژیکی و قابلیت هضم بالایی دارند. ترکیب اسیدهای آمینه آن، به جز سیستئین و لایزین که گاهی اوقات از استاندارد پروتین FAO کمتر است، بالا است. با این حال، دیگر اسیدهای آمینه ضروری، در غلظت‌های مناسب در آن موجود است. به دلیل عدم حضور سلولز، کربوهیدرات‌های *اسپیرولینا* به آسانی هضم می‌شوند. علاوه بر آن، غیاب قندهای آزاد آن را غذایی ایده آل و مکملی مناسب برای درمان دیابت و چاقی ساخته است. ترکیبات لیپیدی *اسپیرولینا*، دارای کلسترول آزاد و غنی از اسیدهای چرب ضروری غیر اشباع برای تصلب شرایین، چاقی و فشار خون بالا است. به علاوه، این جلبک غنی از اسید لینولئیک است که پیش ماده ضروری برای بیوسنتز اسیدهای چرب غیر اشباع است و بنابر این کاربرد پزشکی دارد. علاوه بر این *اسپیرولینا* حاوی مخلوطی از ویتامین‌های A، B_1، B_2، B_6، B_{12}، E و H و دارای ۲۱ درصد تیامین و ریبوفلاوین است. دارای بتا کاروتن (پیش ماده ویتامین A) است که ۰/۱ درصد وزن خشک آن را شامل می‌شود که این میزان بیست بار بیشتر از هویج است. محتوای بالای ویتامین B_{12} و اسید فولیک، آن را منبع غذایی مناسبی برای کم خونی می سازد. مواد معدنی این جلبک، ۱۲ بار بیشتر از سطوح آهن در مقایسه با سایر غذاها است، این جلبک سرشار از منیزیم، پتاسیم، آهن، کلسیم و دیگر عناصر کمیاب است که تاثیر زیادی در سلامت استخوان‌ها و دندان‌ها دارد. ویژگی‌های تغذیه ای *اسپیرولینا* باعث می‌شود تا برای مصارف مختلف استفاده شود، اما در بسیاری از موارد طعم آن، مانعی برای مصرف آن است. با توجه به موارد فوق، ترکیب آن با سایر مواد غذایی مانند تهیه بیسکوئیت، کلوچه، بستنی و پنیر خامه ای، این امکان را می‌دهد تا محصولی سالم، مغذی و اقتصادی، در دسترس اشخاص قرار گیرد. به همین دلایل است که امروزه سیانوباکتر *اسپیرولینا* به طور وسیعی به عنوان غذای سلامت در سراسر جهان استفاده می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از تمام محققینی که پژوهش‌های آن‌ها زمینه‌ساز آشنایی با ویژگی‌های زیست فعال ریز جلبک *اسپیرولینا* شده است، کمال امتنان را دارند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمامی نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده اند.

تعارض در منافع

وجود ندارد.

References

1. Liu L, Jokela J, Wahlsten M, Nowruzi B, Permi P, Zhang YZ, Xhaard H, Fewer DP, Sivonen K. Nostosins, trypsin inhibitors isolated from the terrestrial cyanobacterium Nostoc sp. strain FSN. Journal of natural products. 2014, 77(8):1784-90.

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

3. Nowruzi B, Sarvari G, Blanco S. Applications of cyanobacteria in biomedicine. InHandb. Algal Sci. Microbiol. Technol. Med 2020. Elsevier Amsterdam: 441-453.

4. Nowruzi B, Sarvari G, Blanco S. The cosmetic application of cyanobacterial secondary metabolites. Algal Research. 2020, 49:101959.

5. Nowruzi B, Wahlsten M, Jokela J. 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. 2019, 17(2): 18-29.

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

7. Nowruzi B, Khavari-Nejad RA, Sivonen K, Kazemi B, Najafi F, Nejadsattari T. Identification and toxigenic potential of a Nostoc sp. Algae. 2012, 27(4):303-405.

8. Rajabpour N, Nowruzi B, Ghobeh M. Investigation of the toxicity, antioxidant and antimicrobial activities of some cyanobacterial strains isolated from different habitats. Acta Biologica Slovenica. 2019, 62:2-15.

9. Safavi M, Nowruzi B, Estalaki S, Shokri M. Biological Activity of Methanol Extract from Nostoc sp. N42 and Fischerella sp. S29 Isolated from Aquatic and Terrestrial Ecosystems. International Journal on Algae. 2019, 21(4): 31-45.

10. Nowruzi B, Khavari-Nejad RA, Sivonen K, Kazemi B, Najafi F, Nejadsattari T. Optimization of cultivation conditions to maximize extracellular investments of two Nostoc strains. Algological Studies. 2013, 142(1):63-76.

11. Maujean E, Desobry S, Gillet G, Poupard N, Desjardins-Lavisse I, Desobry-Banon S. Influence of pressurised cryogenic nitrogen technology on Arthrospira platensis (spirulina) preservation during storage. International Journal of Food Science & Technology. 2021, 56 (5):2443-51.

12. Wu H, Gao K, Villafañe VE, Watanabe T, Helbling EW. Effects of solar UV radiation on morphology and photosynthesis of filamentous cyanobacterium Arthrospira platensis. Applied and environmental microbiology. 2005, 71(9):5004-13.

13. Karkos PD, Leong SC, Karkos CD, Sivaji N, Assimakopoulos DA. *Spirulina* in clinical practice: evidence-based human applications. Evidence-based complementary and alternative medicine. 2011: 1-4.

14. Rajasekar P, Palanisamy S, Anjali R, Vinosha M, Elakkiya M, Marudhupandi T, Tabarsa M, You S, Prabhu NM. Isolation and structural characterization of sulfated polysaccharide from *Spirulina platensis* and its bioactive potential: In vitro antioxidant, antibacterial activity and Zebrafish growth and reproductive performance. International journal of biological macromolecules. 2019, 141: 809-21.

15. Zarezadeh M, Faghfouri AH, Radkhah N, Foroumandi E, Khorshidi M, Rasouli A, Zarei M, Mohammadzadeh Honarvar N, Hazhir Karzar N, Ebrahimi Mamaghani M. *Spirulina* supplementation and anthropometric indices: A systematic review and meta-analysis of controlled clinical trials. Phytotherapy Research. 2021, 35(2):577-86.

16. Capelli B, Cysewski GR. Potential health benefits of *spirulina* microalgae. Nutrafoods. 2010, 9(2):19-26.

17. Siva Kiran RR, Madhu GM, Satyanarayana SV. *Spirulina* in combating protein energy malnutrition (PEM) and protein energy wasting (PEW)-A review. Journal of Nutrition Research. 2015, 3(1):62-79.

18. Kumar D, Dhar DW, Pabbi S, Kumar N, Walia S. Extraction and purification of C-phycocyanin from *Spirulina platensis* (CCC540). Indian Journal of Plant Physiology. 2014, 19(2):184-8.

19. Tessier R, Calvez J, Khodorova N, Gaudichon C. Protein and amino acid digestibility of 15 N *Spirulina* in rats. European Journal of Nutrition. 2020, 1:1-7.

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

21. Banakar V, Alam Q, Rajendra SV, Pandit A, Cladious A, Gnanaprakash K. *Spirulina*, The Boon of Nature. International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences. 2020, 11(1):57 -62.

22. Anantharajappa K, Dharmesh SM, Ravi S. Gastro-protective potentials of *Spirulina*: role of vitamin B 12. Journal of Food Science and Technology. 2020, 57(2):745-53.

23. Nowruzi B, Jouni J. Identification of Four Different Chlorophyll Allomers of Nostoc Sp. by Liquid Chromatography- Mass Spectrometer (LC-MS) Int J Plant Stu. 2019, 2(1): 1-4.

24. Rosario JC, Josephine RM. Mineral profile of edible algae *Spirulina platensis*. Int J Curr Microbiol App Sci. 2015, 4(1):478-83.

25. Shao W, Ebaid R, El-Sheekh M, Abomohra A, Eladel H. Pharmaceutical applications and consequent environmental impacts of *Spirulina* (*Arthrospira*): An overview. Grasas y Aceites. 2019, 70(1):292-301.

26. Ye C, Mu D, Horowitz N, Xue Z, Chen J, Xue M, Zhou Y, Klutts M, Zhou W. Life cycle assessment of industrial scale production of *spirulina* tablets. Algal research. 2018, 34:154-63.

27. Coskun ZK, Kerem M, Gurbuz N, Omeroglu S, Pasaoglu H, Demirtas C, Lortlar N, Salman B, Pasaoglu OT, Turgut HB. The study of biochemical and histopathological effects of *spirulina* in rats with TNBS-induced colitis. Bratislavske lekarske listy. 2011, 112(5):235-43.

28. Asghari A, Fazilati M, Latifi AM, Salavati H, Choopani A. A review on antioxidant properties of *Spirulina*. Journal of Applied Biotechnology Reports. 2016, 3(1):345-51.

29. Czerwonka A, Kaławaj K, Sławińska-Brych A, Lemieszek MK, Bartnik M, Wojtanowski KK, Zdzisińska B, Rzeski W. Anticancer effect of the water extract of a commercial *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) product on the human lung cancer A549 cell line. Biomedicine & Pharmacotherapy. 2018, 106:292-302.

30. Hassan AM, Abdel-Aziem SH, Abdel-Wahhab MA. Modulation of DNA damage and alteration of gene expression during aflatoxicosis via dietary supplementation of *Spirulina* (Arthrospira) and whey protein concentrate. Ecotoxicology and environmental safety. 2012, 79:294-300.

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

32. Nowruzi B, Khavari-Nejad RA, Sivonen K, Kazemi B, Najafi F, Nejadsattari T. Optimization of cultivation conditions to maximize extracellular investments of two Nostoc strains. Arch. Hydrobiol. Suppl. Algol. Stud. 2013, 42(1):63-76.

33. Nowruzi B, Khavari-Nejad RA, Sivonen K, Kazemi B, Najafi F, Nejadsattari T. Identification and toxigenic potential of a cyanobacterial strain (Stigomena sp.). Progress in Biological Sciences. 2013, 3(1):79-85.

34. Nowruzi, B., Blanco, S., Nejadsattari, T. Chemical and molecular evidences for the poisoning of a duck by Anatoxin-a, Nodularin and Cryptophycin at the coast of the ShoorMast Lake (Mazandaran province, Iran). International Journal of Algae (IJA) 2018, 20 (4): 359-376.

35. Nowruzi B, Khavari-Nejad RA, Sivonen K, Kazemi B, Najafi F, Nejadsattari T. Identification and toxigenic potential of a Nostoc sp. Algae. 2012, 27(4):303-13.

36. Nowruzi B, Khavari-Nejad RA, Sivonen K, Kazemi B, Najafi F, Nejadsattari T. Identification and toxigenic potential of a cyanobacterial strain (Stigomena sp.). Progress in Biological Sciences. 2013, 3(1):79-85.

37. Abeer A. Abu Zaid, Doaa M. Hammed and Eman M. SharafAntioxidant and Anticancer Activity of *Spirulina Platensis* Water Extract, International Journal of Pharmacology. 2015, 11 (7): 846-851.

38. Raghad J. Fayyad, Alaa Mohammed Ali, Ahmed S. Dwaish And Ahmed Khayoon Abed Al–Abboodi- Anticancer Activity of Spiulina Platensis Methanolic Extracts Against L20b And Mcf7 Human Cancer Cell Lines, Plant Archives,2019, 19(1):1419- 1426.

39. FlorYohanaflores Hernandez, Sanghamitra Khandual, Inocencia Guadaluperamírez López - Cytotoxic Effect of *Spirulina Platensis* Extracts on Human Acute Leukemia Kasumi-1 and Chronic Myelogenous Leukemia K-562 Cell Lines, Asian Pacific Journal of Topical Biomedicine, 2017, 7(1): 14-19.

40. Fayyad RJ, Mohammed Ali AN, Dwaish AS, Khayoon A. Anticancer Activity of *Spirulina platensis* Methanolic Extracts against l20b and MCF7 Human Cancer Cell Lines. Plant Arch. 2019, 19(1):1419-26.

41. Sommella E, Carrizzo A, Merciai F, Di Sarno V, Carbone D, De Lucia M, Musella S, Vecchione C, Campiglia P. Analysis of the metabolic switch induced by the *spirulina* peptide SP6 in high fat diet ApoE-/-mice model: A direct infusion FT-ICR-MS based approach. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2021, 20: 11-25.

42. Konícková R, Vanková K, Vaníková J, Vánová K, Muchová L, Subhanová I, Zadinová M, Zelenka J, Dvorák A, Kolár M, Strnad H. Anti-cancer effects of blue-green alga *Spirulina platensis*, a natural source of bilirubin-like tetrapyrrolic compounds. Annals of Hepatology. 2014, 13(2): 273-83.

43. Sinanoglu O, Yener AN, Ekici S, Midi A, Aksungar FB. The protective effects of *spirulina* in cyclophosphamide induced nephrotoxicity and urotoxicity in rats. Urology. 2012, 80(6):1392

44. Li TT, Liu YY, Wan XZ, Huang ZR, Liu B, Zhao C. Regulatory efficacy of the polyunsaturated fatty acids from microalgae *spirulina platensis* on lipid metabolism and gut microbiota in high-fat diet rats. International journal of molecular sciences. 2018, 19 (10):3075.

45. Okamoto T, Kawashima H, Osada H, Toda E, Homma K, Nagai N, Imai Y, Tsubota K, Ozawa Y. Dietary *spirulina* supplementation protects visual function from photostress by suppressing retinal neurodegeneration in mice. Translational Vision Science & Technology. 2019, 8(6):20-31.

46. Mazokopakis EE, Starakis IK, Papadomanolaki MG, et al. The hypolipidaemic effects of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) supplementation in a Cretan population: a prospective study. J Sci Food Agric 2014, 94:432–7.

47. Güroy D, Güroy B, Merrifield DL, Ergün S, Tekinay AA, Yiğit M. Effect of dietary Ulva and *Spirulina* on weight loss and body composition of rainbow trout, Oncorhynchus mykiss (Walbaum), during a starvation period. Journal of animal physiology and animal nutrition. 2011, 95(3):320-7.

48. Bagheri R, Negaresh R, Motevalli MS, Wong A, Ashtary-Larky D, Kargarfard M, Rashidlamir A. *Spirulina* supplementation during gradual weight loss in competitive wrestlers. British Journal of Nutrition. 2021, 12:1-9.

49. Huang H, Liao D, Pu R, et al. Quantifying the effects of *spirulina* supplementation on plasma lipid and glucose concentrations, body weight, and blood pressure. Diabetes Metab Syndr Obes 2018, 11:729–42.

50. DiNicolantonio JJ, Bhat AG, OKeefe J. Effects of *spirulina* on weight loss and blood lipids: a review. Open heart. 2020, 7(1):12-21.

51. Donato NR, de Melo Queiroz AJ, de Figueiredo RM, Feitosa RM, Moreira ID, de Lima JF. Production of Cookies Enriched With *Spirulina platensis* Biomass. Journal of Agricultural Studies. 2019, 7(4):323-42.

52. Ravelonandro PH, Ratianarivo DH, Joannis-Cassan C, Isambert A, Raherimandimby M. Improvement of the growth of Arthrospira (*Spirulina*) *platensis* from Toliara (Madagascar): Effect of agitation, salinity and CO2 addition. Food and bioproducts Processing. 2011, 89 (3):209-16.

53. Chauhan UK, Pathak N. Effect of different conditions on the production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. J Algal Biomass Utln. 2010, 1(4):89-99.

54. Pegallapati AK, Nirmalakhandan N. Energetic evaluation of an internally illuminated photobioreactor for algal cultivation. Biotechnology letters. 2011, 33(11):21-31.

55. Zarezadeh M, Faghfouri AH, Radkhah N, Foroumandi E, Khorshidi M, Rasouli A, Zarei M, Mohammadzadeh Honarvar N, Hazhir Karzar N, Ebrahimi Mamaghani M. *Spirulina* supplementation and anthropometric indices: A systematic review and meta-analysis of controlled clinical trials. Phytotherapy Research. 2021, 35(2):577-86.

56. Ronda SR, Bokka CS, Ketineni C, Rijal B, Allu PR. Aeration effect on *Spirulina platensis* growth and γ-linolenic acid production. Brazilian Journal of Microbiology. 2012, 43(1):12-20.

57. Sheikhi Nejad A, Lababpour A, Moazami N. Increasing cyanobacteria *Spirulina* production with mixing and chemical composition of culture medium. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 2015, 28(2):344-53.

58. Zhao B, Cui Y, Fan X, Qi P, Liu C, Zhou X, Zhang X. Anti-obesity effects of *Spirulina* platensis protein hydrolysate by modulating brain-liver axis in high-fat diet fed mice. PloS one. 2019, 14(6): 12-24.

59. Uribe-Wandurraga ZN, Igual M, García-Segovia P, Martínez-Monzó J. In vitro bioaccessibility of minerals from microalgae-enriched cookies. Food & Function. 2020, 11(3): 86-94.

60. Han P, Li J, Zhong H, Xie J, Zhang P, Lu Q, Li J, Xu P, Chen P, Leng L, Zhou W. Anti-oxidation properties and therapeutic potentials of *spirulina*. Algal Research. 2021, 55:102 -240.

61. Setyaningsih I, Mahmudah P, Trilaksani W, Tarman K, Santoso J. *Spirulina* biscuit formulation with coconut cream substitution and its shelf life estimation. InIOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020, 414 (1): 12-22.

62. Sahin OI. Effect of *Spirulina* Biomass Fortification for Biscuits and Chocolates. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology. 2019, 7(4):583-7.

63. De la Jara A, Ruano-Rodriguez C, Polifrone M, Assunçao P, Brito-Casillas Y, Wägner AM, Serra-Majem L. Impact of dietary Arthrospira (*Spirulina*) biomass consumption on human health: main health targets and systematic review. Journal of Applied Phycology. 2018, 30 (4):2403-23.

64. Singh PJ, Khurma J, Singh A. Preparation, characterisation, engine performance and emission characteristics of coconut oil based hybrid fuels. Renewable Energy. 2010, 35(9):2065-70.

65. Iyer UM, Dhruv SA, Mani IU. *Spirulina* and its therapeutic implications as a food product. *Spirulina* human nutrition and health. Edited by: Belay A, Gershwin ME. UK: CRC press, Taylor & Francis Publishing group. 2007, 8: 51-70.

66. Da Silva SP, do Valle AF, Perrone D. Microencapsulated *Spirulina* maxima biomass as an ingredient for the production of nutritionally enriched and sensorially well-accepted vegan biscuits. LWT. 2021, 142:11-29.

67. Agustini TW, Ma'ruf WF, Widayat W, Suzery M, Hadiyanto H, Benjakul S. Application of *Spirulina platensis* on ice cream and soft cheese with respect to their nutritional and sensory perspectives. Jurnal Teknologi. 2016, 78: 4-12.

68. Malik P, Kempanna C, Paul A. Quality characteristics of ice cream enriched with *Spirulina* powder. International Journal of Food and Nutrition Science. 2013, 2(1):44-50.

69. Lu J, Pua XH, Liu CT, Chang CL, Cheng KC. The implementation of HACCP management system in a chocolate ice cream plant. Journal of food and drug analysis. 2014, 22(3):391-8.

70. Oliveira ME, Garcia EF, Queiroga RD, Souza EL. Technological, physicochemical and sensory characteristics of a Brazilian semi-hard goat cheese (coalho) with added probiotic lactic acid bacteria. Scientia Agricola. 2012, (6):370-9.

71. Khoo HE, Prasad KN, Kong KW, Jiang Y, Ismail A. Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables. Molecules. 2011, 16(2):1710-38.

72. Hassaan MS, Mohammady EY, Soaudy MR, Sabae SA, Mahmoud AM, El-Haroun ER. Comparative study on the effect of dietary β-carotene and phycocyanin extracted from *Spirulina platensis* on immune-oxidative stress biomarkers, genes expression and intestinal enzymes, serum biochemical in Nile tilapia, Oreochromis niloticus. Fish & Shellfish Immunology. 2021, 108: 63-72.

73. Yuanita L. Pengaruh pH dan Lama Perebusan Kacang Panjang terhadap Efisiensi Regenerasi Hb Rattus norvegicus dan Pengikatan Fe oleh Serat Pangan [The Effect of pH and Boiling Time of Legume on Regeneration Efficiency of Haemoglobin in Rattus norvegicus and Iron Binding by Dietary Fiber]. Media Kedokteran Hewan. 2005, 21(2): 69-72.

74. Agustini TW, Maâ WF, Widayat W, Suzery M, Hadiyanto H, Benjakul S. Application of *Spirulina platensis* on ice cream and soft cheese with respect to their nutritional and sensory perspectives. Jurnal Teknologi. 2016, 78: 14-29.