مجله علوم و فنون شیلات
دوره ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، صفحات ۳۳۱ تا ۳۴۷

ارزش غذایی، فواید و کاربردهای جلبک اسپرولینا (*Spirulina platensis*)

مهدی رحیمی[۱]، افشین عادلی[۲]*

۱- دانشجوی کارشناسی شیلات ، دانشکده شیلات و محیط زیست ، دانشگاه منابع طبیعی و علوم کشاورزی گرگان ، گرگان ، ایران
۲- گروه فراوری محصولات شیلاتی ، دانشکده شیلات و محیط زیست ، دانشگاه منابع طبیعی و علوم کشاورزی گرگان، گرگان، ایران

چکـــیده

با گسترش جامعه مدرن، نیاز به تغذیه مناسب، سلامت و ایمنی مواد غذایی در میان مردم به شکل قابل‌توجهی افزایش یافته است. اسپیرولینا (*Spirulina platensis*)، یکی از ارزشمندترین ریزجلبک‌ها با بازده تولید بالا به شمار می‌رود. به واسطه خواص تغذیه‌ای و سلامتی بی‌نظیر خود، به عنوان یکی از بهترین گزینه‌های مکمل غذایی شناخته شده است. اسپیرولینا به عنوان یک مکمل غذایی طبیعی قابلیت تأمین مواد مغذی ضروری بدن را دارد و می‌تواند نقش مهمی در تغذیه ایفا کند. این ماده علاوه بر کاربردهای مکملی، به طور گسترده در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. پودر اسپیرولینا همچنین می‌تواند به انواع غذاها مانند نان، کیک و بیسکویت افزوده شود تا ارزش غذایی این محصولات را به صورت قابل توجهی افزایش دهد. عصاره اسپیرولینا قابلیت استفاده در تولید محصولات بهداشتی و زیبایی را نیز دارد. افزون بر این، ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و نقش تقویت‌کننده سیستم ایمنی اسپیرولینا، آن را به گزینه‌ای امیدوارکننده به‌عنوان یک داروی طبیعی در تحقیقات مرتبط با درمان سرطان و بیماری‌های کبدی تبدیل کرده است. بطوری که کاربرد گسترده آن در تغذیه آبزیان، کمک به درمان بیماری‌ها، خواص سلامتی و ضد پیری، استفاده در تصفیه فاضلاب‌ها و استفاده به عنوان سوخت‌های زیستی و بهینه‌سازی تولید برق، تولید فیلم‌های زیست کامپوزیت و مقاوم‌سازی بتون در عملیات عمرانی به اثبات رسیده است. این مقاله با هدف ارائه اطلاعات جامع درباره ترکیبات تغذیه‌ای، روش‌های استخراج، چرخه زندگی و تأثیرات مفید اسپیرولینا در ابعاد مختلف تدوین شده و به این ترتیب می‌تواند در پیشبرد صنعت مرتبط با اسپیرولینا سهم داشته باشد.

کـــلید واژه‌ها: فیکوسیانین، ارزش تغذیه‌ای، غذای آینده، ریزجلبک، مکمل غذایی

نوع مقـاله

مقاله مروری تحلیلی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۳۰
تاریخ چاپ الکترونیکی: ۱۴۰۴/۱۲/۱۵

*نویسنده مسئول:
afshinadeli@gau.ac.ir

مقدمه

جلبک‌های سبز-آبی یا سیانوباکتری‌ها از نخستین و ابتدایی‌ترین اشکال حیات بر روی زمین محسوب می‌شوند. ساختار سلولی آن‌ها ساده و از نوع پروکاریوتی است. این جلبک‌ها ویژگی‌های مشترکی با گیاهان دارند، زیرا توانایی انجام فتوسنتز را در خود دارند. از طرف دیگر، به دلیل نبود دیواره سلولی گیاهی، به باکتری‌های اولیه شباهت نشان می‌دهند. نکته جالب‌تر اینکه برخی صفات مربوط به جانوران نیز در این جلبک‌ها دیده می‌شود، چرا که قندهای پیچیده مشابه گلیکوژن در غشای سلولی‌شان وجود دارد. در میان گونه‌های مختلف جلبک‌های سبز-آبی، نوع خوراکی و هم نوع سمی یافت می‌شوند، که توانسته‌اند خود را

با متنوع‌ترین و سخت‌ترین زیستگاه‌های زمین سازگار کنند. از جمله گونه‌های خوراکی این جلبک‌ها می‌توان به Nostoc، Spirulina و Aphanizomenon اشاره کرد که از هزاران سال پیش به‌عنوان منبع غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند[1] .

اسپیرولینا، سیانوباکتری میکروسکوپی چندسلولی با ارزش غذایی و اقتصادی بالا است که به دلیل ترکیبات غنی و خواص زیست‌فعال گسترده به عنوان یک مکمل غذایی ایده‌آل و یک داروی طبیعی بالقوه مورد توجه قرار دارد. اسپیرولینا یک میکروب فتوسنتزی خوراکی با ساختاری رشته‌ای، مارپیچی و چندسلولی است که به‌عنوان یکی از غنی‌ترین و کامل‌ترین منابع تغذیه طبیعی شناخته می‌شود. اسپیرولینا حاوی مجموعه‌ای گسترده از مواد مغذی با خواص پیشگیرانه و درمانی است، از جمله ویتامین‌های گروهB ، مواد معدنی، پروتئین‌ها، اسید لینولئیک، آنتی‌اکسیدان‌های قوی مانند بتاکاروتن و ویتامینE ، عناصر کم‌یاب و همچنین ترکیبات بیواکتیو ناشناخته است. به دلیل توانایی چشمگیر این جلبک در تحریک عملکرد کلی سیستم فیزیولوژیک بدن انسان، اسپیرولینا دارای طیف متنوعی از خواص درمانی است که شامل اثرات آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی، ضدویروسی، ضدسرطانی، ضدالتهابی، ضدآلرژی و ضددیابتی و موارد دیگر می‌شود .علاوه بر این، مصرف اسپیرولینا به رشد و بهبود میکروفلور روده کمک می‌کند و در تولید لوازم آرایشی و بهداشتی نیز کاربرد فراوانی دارد [2].

امروزه با توجه به اهمیت آن به روش‌های مختلفی چون کشت طبیعی در محیط‌های طبیعی مانند دریاچه‌ها، کشت مصنوعی در استخرها یا رآکتورهای بیولوژیکی و کشت پیوسته در سطوح صنعتی با تزریق مداوم مواد مغذی، اسپیرولینا تولید می‌شود. بطوری که بازار آن در سال ۲۰۲۵ به ۶۸۳/۱۵ میلیون دلار رسیده و پیش‌بینی می‌شود با رشد ۹/۴۷ درصد در سال ۲۰۳۲ به ۱۲۸۷/۱۳ میلیون دلار در سال خواهد رسید. کشورهای آمریکا، انگلستان، کانادا، استرالیا، ژاپن، نیوزلند و هند از تولید کنندگان اصلی آن هستند و شرکت های بزرگی در کانادا، ژاپن و آلمان از آن مکمل های غذایی تولید می‌کنند[3].حال این مطالعه با هدف بررسی ترکیبات تغذیه‌ای و قابلیت‌های اسپیرولینا در بهبود سلامت و مراقبت‌های بهداشتی به عنوان یکی از محصولات شیلاتی انجام شده است.

۱. اسپرولینا (*Spirulina platensis*)

اسپیرولینا، جلبکی از آب‌های شیرین و سرشار از خواص فوق‌العاده و ارزشمند است. در طول تاریخ، تمدن‌های گوناگون از آن به عنوان یک منبع غذایی و دارویی بهره برده‌اند. امروزه، با پیشرفت علم و فناوری و توجه بیشتر به سلامت و تغذیه، اسپیرولینا به عنوان یکی از مکمل‌های غذایی و ماده اولیه در صنایع دارویی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است [4]. آن‌ها سیانوباکتری‌های رشته‌ای بدون هتروسیست هستند که عمدتاً در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری یافت می‌شوند. این موجودات به‌طور خاص در آب‌های گرم با سطوح بالای کربنات/بی‌کربنات، pH بالا و شوری حضور دارند. رشته‌های بزرگ آن‌ها با واکوئل‌های گازی (با قطر ۳ تا ۱۲ میکرومتر) به‌سادگی از طریق فیلتراسیون و دیگر روش‌های فیزیکی جداسازی و جمع‌آوری می‌شوند[5] . اسپیرولینا به‌طور معمول در اکوسیستم‌های آبی مانند دریاچه‌ها، تالاب‌ها و مخازن یافت می‌شود. این جلبک یکی از نخستین موجودات فتوسنتزی طبیعی به‌شمار می‌آید که توانایی تبدیل مستقیم نور به انرژی برای فرآیندهای متابولیکی پیچیده را دارد. از گذشته‌های دور به‌عنوان یک منبع غذایی توسط قبایل ساکن اطراف دریاچه چاد در آفریقا مورد استفاده قرار می‌گرفت، جایی که *Spirulina platensis* به‌عنوان گونه غالب فیتوپلانکتون‌های آن ظهور کرده است. همچنین، این جلبک در مکزیک با نام محلی Tecuitlatl رایج بوده و مصرف می‌شده است[6]. مطالعات انجام‌شده توسط OrioCiferri نشان داده‌اند که اسپیرولینا پراکنش گسترده‌ای دارد. پس از اولین جداسازی آن از یک جریان آب شیرین توسط تورپین در سال ۱۸۲۷ ، مشخص شد که گونه‌های آن در محیط‌های مختلفی مانند خاک، شن، تالاب‌ها، آب نیمه‌شور، آب دریا و آب شیرین یافت می‌شوند. این گونه‌ها از مناطق گرمسیری گرفته تا دریای شمال، چشمه‌های آب گرم، حوضچه‌های نمک، خروجی‌های آب گرم نیروگاه‌ها، استخرهای ماهی و غیره جداسازی شده‌اند. توانایی بالای اسپیرولینا در سازگاری با زیستگاه‌های گوناگون، به این ارگانیسم اجازه می‌دهد که حتی در شرایطی زندگی کند که برای میکروب‌ها غیرممکن یا بسیار دشوار است. به‌عنوان نمونه، می‌توان به جمعیت قلیایی‌دوست *platensis* در برخی از دریاچه‌های قلیایی آفریقا و اسپیرولینا ماکسیما در دریاچه تکسکوکو مکزیک اشاره کرد[7].

اگرچه در گذشته به‌عنوان جلبک سبز–آبی شناخته می‌شد، اما به لحاظ علمی دقیق، به دسته جلبک‌ها تعلق ندارد. با این حال، برای سهولت، همچنان از این نام استفاده می‌شود. این میکروجلبک به‌طور طبیعی در آب‌های قلیایی دریاچه‌های مناطق گرمسیری رشد می‌کند. اندازه آن تقریباً ۰/۱ میلی‌متر است و اغلب به صورت فیلامنت‌های سبز کوچک دیده می‌شود که به شکل مارپیچ‌هایی با تراکم و تعداد متغیر بر اساس گونه‌های مختلف تشکیل شده‌اند. محتوای بالای پروتئین و سرعت رشد این جلبک حتی در محیط‌های کاملاً معدنی، توجه پژوهشگران و فعالان صنعتی را به خود جلب کرده است. اسپیرولینا به‌عنوان مکمل پروتئین و ویتامین در رژیم‌های غذایی، به‌ویژه در آبزی‌پروری، بسیار پرطرفدار است. این ریزجلبک حتی برای مدت‌ها به‌عنوان منبع غذایی سالم توسط مردمی

که در مجاورت دریاچه‌های قلیایی طبیعی زندگی می‌کردند، استفاده می‌شده است. گونه *Spirulina platensis* به دلیل ارزش غذایی بالای خود توجه ویژه‌ای را به خود معطوف کرده است. این گونه حاوی حدود ۷۰ درصد پروتئین، مواد معدنی، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب ضروری است [8] . در چرخه زندگی آنها سه مرحله شامل تکه‌تکه شدن تریکوم‌ها، رشد و بلوغ سلول‌های هورموگونیا و طویل شدن تریکوم‌ها وجود دارد که پس از این مراحل، تریکوم‌های بالغ به فیلامان‌ها (رشته‌ها) یا هورموگونیاهای جدید تقسیم می‌شوند. سلول‌های موجود در هورموگونیاها سپس از طریق تقسیم دوتایی تکثیر یافته، به‌صورت طولی رشد می‌کنند و شکل مارپیچی خاص خود را پیدا می‌کنند (شکل۱) [9].

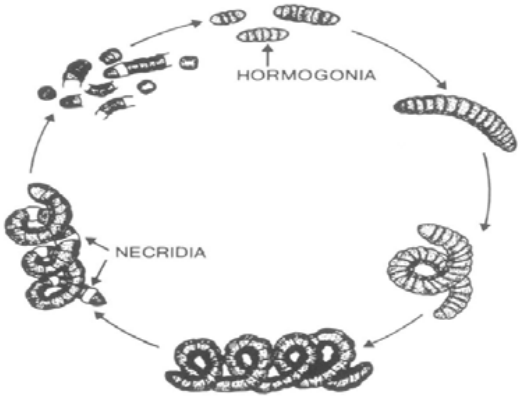

Fig. 1: Life cycle of *Spirulina*

شکل ۱: چرخه زندگی اسپیرولینا.

۲. ترکیبات و ارزش غذایی اسپرولینا

اسپیرولینا به دلیل غنای مواد مغذی اغلب در دسته ابرغذاهای بسیار مفید جای می‌گیرد و به شکل مکمل غذایی، مانند پودر یا کپسول، پاستیل، مایعات در پاستاها، نان‌ها، اسنک‌ها، آب نبات، بستنی، ماست و نوشیدنی غیر الکلی استفاده می‌شود. قابلیت هضم بالا آن را به انتخابی ایده‌آل برای تغذیه روزانه تبدیل می‌کند [9] و ارزش‌های غذایی آن شامل موارد ذیل است:

۲،۱. پروتئین: اسپیرولینا به‌خاطر محتوای بالای پروتئین (بین ۵۰ تا ۷۰ درصد وزن خشک) تمامی اسیدهای آمینه ضروری را به عنوان بهترین پروتئین گیاهی تأمین می‌کند [10]. فیکوبیلین پروتئین اصلی موجود در اسپیرولینا است که از سه پروتئین تشکیل شده است: فیکوسیانین، آلوفیکوسیانین و فیکوگلوبین. فیکوسیانین یک پروتئین با طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های فیزیولوژیکی است که نقش مهمی در تسهیل جذب پروتئین ایفا می‌کند و حدود ۷ الی ۱۴ درصد وزن خشک جلبک اسپیرولینا را به خود اختصاص می‌دهد[3] . این ماده دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی و ضدالتهابی بوده و محافظ کبد است. همچنین فیکوسیانین (شکل 2) به عنوان یک رنگدانه طبیعی در صنعت غذا و محصولات آرایشی–بهداشتی کاربرد دارد [11]. فیکوسیانین، به‌عنوان بلوک اساسی فیکوبیلین، از مونومرهای زیرواحد گلوبولینی α و β تشکیل شده که پس از پلیمریزاسیون، ساختارهایی مانند تریمر و هگزامر را شکل می‌دهند. این مولکول در محدوده طول موج ۵۵۰–۶۳۰ نانومتر نور را جذب می‌کند و حداکثر جذب در بازه ۶۱۰–۶۲۰ نانومتر رخ می‌دهد. وزن مولکولی آن بین ۴۴ تا ۲۶۰ کیلو دالتون متغیر است. زیرواحد α دارای ۲ باقی‌مانده سیستئین و ۲ باقی‌مانده متیونین با جرم مولکولی ۱۲–۱۹ کیلو دالتون است. در مقابل، زیرواحد β حاوی ۳ باقی‌مانده سیستئین و ۵ باقی‌مانده متیونین با وزن مولکولی ۱۴–۲۱ کیلو دالتون می‌باشد. هر زیرواحد شامل ۱۶۰ تا ۱۸۰ توالی اسید آمینه است. در مولکول فیکوسیانین سه گروه کروموفور به موقعیت‌های آلفا–۸۴، بتا–۸۴ و بتا–۱۵۵ متصل هستند. این مولکول وزنی برابر با ۴۴ کیلو دالتون، نقطه ایزوالکتریک ۴/۳ و حداکثر جذب نور در طول موج ۶۲۰ نانومتر دارد. افزون بر این، بررسی‌ها نشان داده‌اند که توالی

های اسید آمینه زیرواحدهای α و β در انواع مختلف فیکوسیانین (شکل۲)، همولوژی بالایی دارند و ساختارهای کریستالی آن‌ها شباهت قابل‌توجهی را نشان می‌دهد [12].

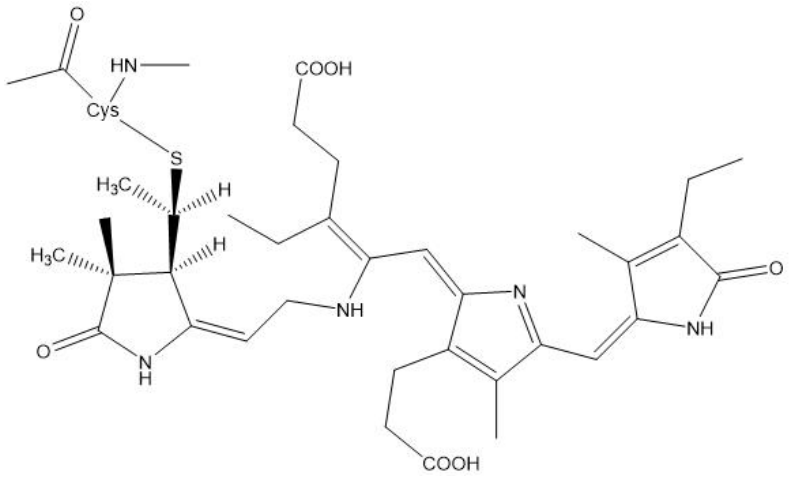

Figure 2: The molecular structure of phycocyanin

شکل2. ساختار مولکولی فیکوسیانین

۲،۲. **ویتامین‌ها:** اسپیرولینا سرشار از ویتامین‌های گروه B مانند (B_1 ، B_2، B_3، B_6و B_{12})، ویتامین K و E است. اگر چه ویتامین B_{12} عموماً در غذاهای گیاهی کمیاب است، اما اسپیرولینا یافت می‌شود و گزینه‌ای خاص برای رژیم‌های گیاه‌خواری خواهد بود [10].

۲،۳. **مواد معدنی:** این ماده مغذی حاوی انواع مواد معدنی مهم مانند آهن، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و روی است. که برای تقویت استخوان‌ها، حمایت از سیستم ایمنی و افزایش انرژی بدن اهمیت دارند [10] .

۲،٤. **کلروفیل:** میزان کلروفیل اسپیرولینای دریایی بسیار بیشتر از گیاهان خشکی‌زی است. کلروفیل به‌عنوان یک ماده زیست‌فعال طبیعی نه‌تنها نقش رنگدانه و بوبر را ایفا می‌کند، بلکه جایگاه ویژه‌ای در درمان بسیاری از بیماری ها دارد [13]. همچنین از این ماده در تولید انواع خمیردندان نیز بهره گرفته می‌شود [14]. کلروفیلa ، که معمولاً به شکل روغن یا خمیر سبز تیره دیده می‌شود، حاوی یک اتم منیزیم و نیتروژن درون چهار حلقه پیرول ساختار خود است. این مولکول در گروه رنگدانه‌های سبز با ساختار پورفیرینی قرار می‌گیرد [15]. با این که کلروفیل در آب حل نمی‌شود، اما به‌راحتی در موادی مانند اتانول، استون و دی‌متیل سولفون حل شده و به‌عنوان یک رنگدانه طبیعی چربی‌حلال و غیرسمی شناخته می‌شود [16,17]. با این حال، کلروفیل a به دلیل ویژگی‌های ساختاری خود ناپایدار بوده و نسبت به نور، حرارت، اسیدها و بازها حساس است. میزان کلروفیل a موجود در اسپیرولینا حدود یک تا دو درصد است که از آن می‌توان به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی زیست‌توده و کارایی تولید جلبک استفاده کرد. افزون بر این، عملکردهای فیزیولوژیک کلروفیل که شباهت‌هایی به هم دارد، آن را به ماده‌ای با کاربردهای گسترده و امیدوارکننده در صنایع مختلف از جمله پزشکی، غذایی و آرایشی تبدیل کرده است [18,19,20].

۲،۵. **اسیدهای چرب:** اسپیرولینا چربی کمی دارد که بین ۶ تا ۹ درصد متغیر می‌باشد. این جلبک تقریباً تمامی اسیدهای آمینه ضروری و بسیاری از اسیدهای چرب غیراشباع مورد نیاز بدن انسان را در خود جای داده است. از جمله این اسیدهای چرب غیراشباع می‌توان به اسید گاما–لینولنیک، اسید دوکوزاهگزانوئیک و اسید ایکوزاپنتانوئیک اشاره کرد. اسپیرولینا به عنوان تنها گیاه خودتغذیه‌ای شناخته شده که غنی از اسید گاما–لینولنیک است [21]. عملکرد متنوع اسید گاما–لینولنیک شامل کاهش سطح لیپیدهای خون، تنظیم فشار خون و کاهش کلسترول، و در نتیجه پیشگیری و درمان بیماری‌های قلبی–عروقی است [22,23]. این اسید چرب دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بوده و می‌تواند به بهبود شفافیت پوست و تأخیر در بروز آثار پیری کمک کند.

۲،٦. **کاروتنوئیدها:** اسپیرولینا منبع غنی از کاروتنوئیدهایی نظیر بتاکاروتن، زآگزانتین و لوتئین است. این ترکیبات به‌دلیل اثرات آنتی‌اکسیدانی خود و همچنین نقش مثبت در سلامت چشم و تقویت ایمنی بدن شناخته شده‌اند [10].

۲,۷. **پلی‌ساکارید:** اسپیرولینا پلاتنسیس یک هتروپلی‌ساکارید پیچیده است که حدود ۶ درصد آن را سولفات تشکیل می‌دهد [24]. اجزای اصلی این پلی‌ساکارید شامل دی–مانوز، دی–گلوکز، دی–گالاکتوز، ال–رامنوز و اسید گلوکورونیک هستند. این ترکیبات به طور کلی بین ۱۴ تا ۱۶ درصد از وزن خشک اسپیرولینا را شامل می‌شوند. همچنین، این پلی‌ساکارید حاوی مقادیر بسیار اندکی از زایلوز، آرابینوز، گالاکتوز، ریبوز، فوکوز، اسید گالاکتورونیک و دیگر مونوساکاریدها است. پلی‌ساکاریدهای موجود در اسپیرولینا توانایی تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانی بدن و مهار رادیکال‌های آزاد را دارند [25]. از این رو، این ترکیبات قادرند تا از آسیب‌های اکسیداتیو جلوگیری کرده، سطح انسولین سرم را افزایش دهند، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) را تقویت کنند و میزان MDA را کاهش دهند، که در نهایت اثر مثبتی بر کاهش قند خون خواهد داشت [26]. ترکیبات و ارزش تغذیه ای آن در جدول۱و ۲ نشان داده شده است.

Table 1. The major components of spirulina with nutritional importance

جدول ۱. اجزای اصلی اسپیرولینا با اهمیت تغذیه‌ای [27].

Nutrient	Column1	composition%
پروتئین (Protein)	٦٥	All 8 essential amino acids :isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, threonine ,tryptophane and valine 10 nonessential amino acids: alanine, arginine ,aspartic acid, cystine, glutamic acid, glycine, histidine, proline, serine and tyrosine. هر ۸ اسید آمینه ضروری: ایزولوسین، لوسین، لیزین، متیونین، فنیل‌آلانین، ترئونین، تریپتوفان و والین. ۱۰ اسید آمینه غیرضروری: آلانین، آرژنین، اسید آسپارتیک، سیستین، اسید گلوتامیک، گلیسین، هیستیدین، پرولین، سرین و تیروزین
کربوهیدرات (Carbohydrates)	١٥	
لیپید (Lipids)	٦	Gamma-linolenic acid (GLA), alpha-linolenic acid (ALA), linoleic acid (LA), stearidonic acid (SDA), eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA), and arachidonic acid (AA). اسید گاما لینولنیک (GLA)، اسید آلفا لینولنیک (ALA)، اسید لینولئیک (LA)، اسید استئاریدونیک (SDA)، اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA)، اسید دوکوزاهگزانوئیک (DHA) و اسید آراشیدونیک (AA).
ویتامین (Vitamins)	۰,۷٥	thiamine (B1), riboflavin (B2), niacin (B3) ,pyridoxine (B6), folic acid (B9), cyanocobalamin (B12), biotin (B7), vitamin D, pantothenic acid (B5), vitamin E (tocopherol), inositol. تیامین (B1)، ریبوفلاوین (B2)، نیاسین (B3)، پیریدوکسین (B6)، اسید فولیک (B9)، سیانوکوبالامین (B12)، بیوتین (B7)، ویتامین D، اسید پانتوتنیک (B5)، ویتامین E (توکوفرول)، اینوزیتول.
مواد معدنی (Minerals)	٨	Potassium ,calcium, chromium, copper, iron, magnesium, manganese, phosphorus, selenium ,sodium, and zinc. پتاسیم، کلسیم، کروم، مس، آهن، منیزیم، منگنز، فسفر، سلنیوم، سدیم و روی.
کاروتنوئید (Carotenoids)	mg/100g (variation ٣٤٦ noticed according to the (processing methods تغییرات مشاهده شده بر اساس روش‌های پردازش	Alpha-carotene, beta-carotene, xanthophylis ,cryptoxanthin, echinenone, zeaxanthin and lutein. آلفا کاروتن، بتا کاروتن، گزانتوفیلیس، کریپتوگزانتین، اکینون، زآگزانتین و لوتئین.
سایر رنگدانه ها (Other pigments)		Chlorophyll ,phycocyanin, porphyrin, phycoerythrin, tetrapyrrole and phytonadione. کلروفیل، فیکوسیانین، پورفیرین، فیکواریترین، تتراپیرول و فیتونادیون.
رطوبت (Moisture)	٣,٨	

Notes: Spirulina also contains other biomolecules such as rhamnose sugars, trace elements and enzymes.

نکته: اسپیرولینا همچنین حاوی بیومولکول‌های دیگری مانند قندهای رامنوز، عناصر کمیاب و آنزیم‌ها است.

Table 2. Nutritional profile of Spirulina powder.

جدول ۲. مشخصات تغذیه‌ای پودر اسپیرولینا[28].

Column1		Column2	
Composition	Per 100 g	Composition	Per 100 g
1. Macronutrients		Vitamin B2, mg	3.7
Calories, kcal	290	Vitamin B3, mg	12.8
Water, g	4.7	Vitamin B6, mg	0.4
Total lipids, g	7.7	Vitamin E, mg	5
Total protein, g	57.7	4. Amino acids	
Carbohydrates, g	23.9	Tryptophan, g	0.93
Ash, g	6.2	Threonine, g	2.97
Column1		Column2	
Composition	Per 100 g	Composition	Per 100 g
1. Macronutrients		Vitamin B2, mg	3.7
Calories, kcal	290	Vitamin B3, mg	12.8
Water, g	4.7	Vitamin B6, mg	0.4
Total lipids, g	7.7	Vitamin E, mg	5
Total protein, g	57.7	4. Amino acids	
Carbohydrates, g	23.9	Tryptophan, g	0.93
Ash, g	6.2	Threonine, g	2.97
2. Minerals		Isoleucine, g	3.21
Calcium, mg	Vitamin C, mg	Leucine, g	4.95
Iron, mg	28.5	Lysine, g	3.02
Magnesium, mg	195	Methionine, 8	1.15
Phosphorous, mg	118	Cysteine, g	0.66
Potassium, g	1.4	Phenylalanine, g	2.77
Sodium, g	1	Tyrosine, g	2.58
Zinc. Mg	2	Valine, g	3.51
Copper, mg	6.1	Arginine, g	4.51
Manganese, mg	1.9	Histidine, g	1.08
Selenium, µg	7.2	Alanine, g	4.51
3. Vitarnins		Aspartic acid, g	5.79
Vitamin A, IU	570	Glutamic acid, g	8.39
Vitamin K, µg	25.5	Glycine, g	3.09
Vitamin Bl, mg	2.4	Proline, g	2.38
		Serine, g	2.99
Data accessed from the US. Department of Agriculture Food Data Central database available at https://fdc.nal.usda.gov/. Data accessed on March 2020- FDC 11):170495.			

۳. خواص زیست فعال و کاربردهای اسپرولینا

۳،۱. خواص آنتی‌اکسیدانی

اسپیرولینا با داشتن ترکیبات زیست‌فعالی چون فیکوسیانین، کاروتنوئیدها و پلی‌ساکاریدهای موجود در جلبک، می‌تواند به تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بدن کمک کند [29,30]. این ماده با مهار پراکسیداسیون لیپید، جلوگیری از آسیب دیدگی DNA و حذف مؤثر رادیکال‌های آزاد نقش قابل توجهی ایفا می‌کند. اسپیرولینا به واسطه فعالیت آنزیمی آنتی‌اکسیدانی قدرتمند خود، به طور کارآمد از پراکسیداسیون لیپیدهای داخل سلول جلوگیری کرده، آسیب به DNA را محدود می‌سازد و رادیکال‌های آزاد را به طور مؤثر خنثی می‌نماید[31] . اسپیرولینا با کاهش استرس اکسیداتیو، تأثیرات محافظتی قابل توجهی بر سیستم عصبی و کلیه‌های جانوران نشان داده است [32] و یک گزینه امیدبخش برای پیشگیری و درمان بیماری‌های قلبی عروقی محسوب می‌شود[33,34]. هرچند پژوهش‌های بالینی بر روی انسان هنوز محدود هستند، قدرت آنتی‌اکسیدانی بالای اسپیرولینا امکان مقابله مؤثر با بیماری انسدادی مزمن ریوی و آسیب‌های وارده به عضلات اسکلتی ناشی از فعالیت‌های ورزشی شدید را فراهم می‌کند[35,36]. Li Ling و همکارانش (۲۰۰۷) ، آزمایش‌هایی را برای تعیین اثرات مهارکنندگی پلی‌ساکاریدهای اسپیرولینا بر روی ^{-}OH و O_2^{-} انجام دادند[37] . آن‌ها همچنین از یک مدل پراکسیداسیون لیپیدی القا شده توسط $FeSO_4$ و طیف‌سنجی اسید تیوباربیتوریک برای مطالعه خواص ضد پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب اکسیداتیو این پلی‌ساکاریدها استفاده کردند. یافته‌ها نشان داد که غلظت ۰/۱۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر از پلی‌ساکاریدهای اسپیرولینا پلاتنسیس به طور مؤثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن را حذف کرده و اکسیداسیون DNA و آسیب اکسیداتیو را مهار می‌کند.

۳،۲. خواص ضد ویروسی و ضد سرطانی

اسپیرولینا حاوی تمامی ترکیبات زیستی و شیمیایی ضروری است که می‌توانند در تقویت و حفظ سیستم ایمنی سالم نقش اساسی داشته باشند، و در عین حال رادیکال‌های آزاد را نیز خنثی کنند. ترکیبات استخراج‌شده از Arthrospira، قابلیت مهار طیف گسترده‌ای از ویروس‌ها را نشان داده‌اند، از جمله HIV-1، HSV-1، HSV-2، HCMV، ویروس آنفلوانزای نوع A، سرخک و موارد دیگر. استخراج‌های حاصل از سیانوباکتری‌ها دارای خواص ضدجهش‌زایی و ضدسرطانی هستند که می‌توانند رشد و پیشرفت تومورها را مهار نموده و از شکل‌گیری متاستاز یا تکثیر سلول‌های سرطانی پیشگیری کنند [38]. در یک مطالعه مشخص شد که غلظت ۱/۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر از این ترکیبات توانسته تولید ویروسی را در سلول‌های PBMC تا حدود ۵۰ درصد کاهش دهد. علاوه بر این، عصاره‌های *A. platensis* فعالیت ضدترووویروسی قدرتمندی را نشان داده‌اند که ممکن است از منظر بالینی پتانسیل قابل توجهی داشته باشند.[39] مطالعات متعددی نشان داده‌اند که اسپیرولینا یا عصاره‌های استخراج‌شده از آن قادرند از ایجاد سرطان در انسان و حیوانات پیشگیری کرده یا روند آن را متوقف کنند. تحقیقات انجام‌شده به‌صورت in vitro نشان می‌دهند که پلی‌ساکاریدهای خاص موجود در اسپیرولینا می‌توانند فعالیت آنزیم‌های مرتبط با هسته سلولی را تقویت کرده و فرآیند ترمیم DNA را بهبود بخشند[40] .

۳،۳. کاربرد ایمنی شناختی

اسپیرولینا یا Arthrospira، یک جلبک سبز–آبی است که پس از استفاده موفقیت‌آمیز ناسا به‌عنوان مکمل غذایی برای فضانوردان در مأموریت‌های فضایی، شهرت قابل توجهی پیدا کرد. این جلبک توانایی مهار آزادسازی هیستامین از ماست‌سل‌ها را دارد و می‌تواند علائم مختلف مرتبط با واکنش‌های ضدآلرژیک را بهبود بخشد [41]. حتی بیان ژن لوسیفراز وابسته به NF-kappa B با استفاده از ترکیب ایمولینا استخراج‌شده از اسپیرولینا افزایش یافت. عصاره اسپیرولینا (۲۵۰ میلی‌گرم) همراه با روی (۲ میلی‌گرم)، در صورت مصرف دو بار در روز به مدت ۱۶ هفته، ممکن است برای درمان مسمومیت مزمن ناشی از آرسنیک همراه با علائم ملانوز و کراتوز مفید باشد [42]. این ترکیب در اولین مطالعه پژوهشی تغذیه‌ای روی انسان، اثرات محافظتی اسپیرولینا در برابر رینیت آلرژیک را نیز نشان داده است [43]. اسپیرولینا همچنین در پیشگیری از برخی کمبودهای تغذیه‌ای نقش مهمی دارد. این جلبک می‌تواند به کاهش خطر

ابتلا به سرطان، کند کردن فرآیند پیری سلول‌ها، مقابله با بیماری‌های عفونی و بهبود عملکرد سیستم ایمنی کمک کند. افزون بر این، نقشی کلیدی در تحریک تولید گلبول‌های قرمز از طریق بهبود عملکرد مغز استخوان ایفا می‌کند [44].

عصاره آبی اسپیرولینا نشان داده که توانایی محافظت در برابر مرگ سلولی ناشی از رادیکال‌های آزاد، معروف به مرگ سلولی آپوپتوتیک، را دارد [45]. مطالعات همچنین تأیید کرده‌اند که اسپیرولینا به عنوان یک مهارکننده قوی‌تر نسبت به کلرلا عمل می‌کند. بررسی با روش رنگ‌آمیزی Annexin-V نشان داده است که عصاره آبی اسپیرولینا پس از ۱۲ ساعت استفاده، توانایی القای آپوپتوز سلول‌های ستاره‌ای کبدی (HSC) را دارد. علاوه بر این، این عصاره باعث توقف چرخه سلولی HSC در مرحله G_2/M شده و بدین ترتیب می‌تواند اثرات مفیدی در تنظیم و کنترل رشد سلولی داشته باشد[46,47].

۳,٤. فعالیت ضد التهابی

امروزه طراحی و تولید داروهای ضدالتهابی مؤثر که عوارض جانبی سمی کمتری داشته باشند، از اهمیت زیادی برخوردار است [48]. اسپیرولینا غنی از ترکیبات زیست فعال نظیر فیکوسیانین، پلی ساکارید اسپیرولینا، ایکوزاپنتانوئیک اسید، SOD، ویتامین‌ها و فلاونوئیدها است که پپتیدهای پروتئولیتیک آن در مدیریت التهاب و بیماری‌های مرتبط به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، پپتیدهای مشتق شده از ماکرواسپیرولینا مانند LDAVNR ، MMLDF و فیکوسیانین، تاثیرات ضد التهابی قابل توجهی در مطالعات آزمایشگاهی و مدل‌های حیوانی نشان داده‌اند [49].

پپتیدهای فیکوسیانین دارای اثرات مختلف ضد التهابی هستند که شامل مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن، کاهش پراکسیداسیون لیپید، سرکوب متابولیسم اسیدهای آمینه، مهار آزادسازی هیستامین از ماست سل‌ها و کاهش ترشح $TNF-\alpha$ می‌شوند [50,51]. تحقیقات انجام شده توسط LEDON و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی پاسخ ضد التهابی فیکوسیانین، که عصاره‌ای به دست آمده از اسپیرولینا است، پرداخته و تغییراتی در سطح غلظت پروستاگلاندین E_2 (PGE_2) و فعالیت فسفولیپاز A_2 (PLA_2) در حضور این ماده مشاهده کردند. نتایج نشان داد که فیکوسیانین به دلیل قابلیت مهار تولید PGE_2 و کاهش فعالیت PLA_2 ، دارای عملکرد مشخصی در کاهش التهاب است [52].

۳,٥. سایر اثرات اسپیرولینا

اسپیرولینا به دلیل ترکیبات ویژه انرژی‌زا به عنوان "غذای آینده" شناخته می‌شود. این ترکیبات شامل پلی‌ساکاریدها مانند رهمنوز و گلیکوژن و اسید چرب ضروری گاما–لینولنیک اسید (GLA) هستند که به راحتی توسط سلول‌های انسانی جذب شده و در آزادسازی انرژی نقش دارند. همچنین اسپیرولینا می‌تواند باعث افزایش باکتری‌های مفید لاکتوباسیلوس در روده شود که در تولید ویتامین B_6 مؤثر است؛ ویتامینی که به فرآیند آزادسازی انرژی کمک می‌کند [46]. اسپیرولینا یک منبع غنی از اسید – γ لینولنیک محسوب می‌شود، به‌طوری‌که ۱۰ گرم اسپیرولینا بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم GLA را تأمین می‌کند. مصرف این ماده در رژیم غذایی می‌تواند به بهبود مواردی نظیر آرتریت، بیماری‌های قلبی، علائم پیری، اختلال دوقطبی، اعتیاد به الکل و اسکیزوفرنی کمک کند [52]. رادیکال‌های آزاد در بروز بیماری‌های عصبی– تخریبی مانند ایسکمی و فرایند پیری نقش مؤثری ایفا می‌کنند. تحقیقات نشان داده است که استفاده از اسپیرولینا در درمان حیوانات می‌تواند به کاهش تغییرات عصبی– تخریبی در حیوانات مسن کمک کند [54]. مصرف خوراکی فیکوسیانین، که یکی از رنگدانه‌های موجود در اسپیرولینا است، توانایی عبور از سد خونی– مغزی را دارد. این ویژگی نشان‌دهنده پتانسیل استفاده از آن در درمان بیماری‌های عصبی– تخریبی مرتبط با استرس اکسیداتیو، مانند پارکینسون و آلزایمر است [55]. رژیم‌های غذایی حاوی مقادیر بالای اسپیرولینا ممکن است به جلوگیری از کاهش عملکرد گیرنده‌های نورآدرنرژیک مخچه‌ای که با افزایش سن مرتبط است، کمک کنند [55,56]. اسپیرولینا به دلیل وجود ترکیباتی همچون تیروزین، ویتامین E (توکوفرول) و سلنیوم، دارای خواص ضدپیری است. به ویژه برای سالمندانی که کمتر غذا می‌خورند یا توانایی جذب کافی مواد مغذی را ندارند، این ماده به عنوان یک غذای کامل ضدپیری توصیه می‌شود. سطح بالای β -کاروتن طبیعی اسپیرولینا بسیار مؤثرتر از شکل مصنوعی آن در بسیاری از مکمل‌ها بوده و این ویژگی، جایگاه ویژه‌ای به این ماده بخشیده است. همچنین اسپیرولینا به عنوان مکمل غذایی در مدیریت دیس‌لیپیدمی و فشار خون بالا نیز مورد توجه قرار گرفته است [58]. یکی دیگر از قابلیت‌های اسپیرولینا، توانایی جذب زیستی کادمیم و سرب است. از این رو، می‌توان از آن به عنوان عاملی کارآمد برای حذف کادمیم و سرب از فاضلاب‌ها بهره برد[59]. مطالعات همچنین نشان داده‌اند که اسپیرولینا می‌تواند اثر محافظتی بر کبد داشته باشد و از آسیب‌های کبدی ناشی از داروهای ضد سل در موش‌ها جلوگیری کند[60]. علاوه بر این، مصرف مکمل حاوی اسپیرولینا باعث بهبود قابل ملاحظه آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی بدن شده و

دیسکینزی دیررس ناشی از هالوپریدول را کاهش می‌دهد[61]. پژوهشگران کشف کرده‌اند که متابولیت‌های اسپیرولینا می‌توانند به عنوان مواد اولیه در تولید سوخت‌های زیستی و ترکیبات بیولوژیکی مورد بهره‌برداری قرار گیرند و از این طریق ارزش اقتصادی قابل توجهی ایجاد کنند [62,63]. Agustina و همکاران (۲۰۲۴) ، مطالعه ای با هدف بررسی خصوصیات فیلم زیست‌کامپوزیتی حاصل از پسماند اسپیرولینا به عنوان رنگ‌دهنده‌های طبیعی انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که فیلم‌های بیوکامپوزیتی حاوی ۰٫۵٪ باقیمانده اسپیرولینا دارای بالاترین استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست هستند. همچنین، تجزیه و تحلیل رنگ این فیلم‌ها نشان داد که در ترکیب حاوی ۱٫۵٪ باقیمانده اسپیرولینا و ۵٪ PVA، رنگ‌های مایل به سبز و زرد بالاترین شدت را دارند. این نتایج نشان می‌دهد که باقیمانده اسپیرولینا می‌تواند به عنوان یک رنگ‌دهنده طبیعی در تولید پلاستیک‌ها مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، افزودن این ترکیبات به فیلم‌های بیوکامپوزیتی نه تنها خواص مکانیکی آن‌ها را بهبود می‌بخشد، بلکه به افزایش جذابیت ظاهری و رنگی آن‌ها نیز کمک می‌کند [64] . Zeng و همکاران (۲۰۱۲) ، مطالعه ای با هدف بررسی کشت اتوتروف اسپیرولینا پلاتنسیس برای تثبیت دی‌اکسید کربن و تولید فیکوسیانین انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که می‌توان با حداقل تلاش اضافی و صرفاً با بهینه‌سازی شرایط فرآیند زیستی، به زیست‌توده، غلظت فیکوسیانین و نرخ تثبیت CO_2 بالا دست یافت[65]. Zhang و همکاران (۲۰۲۵) ، مطالعه ای با هدف بررسی رفتار بهبودیافته مقاومت فشاری خمیر سیمان اصلاح‌شده تقویت‌یافته با افزودنی‌های زیست‌بنیان و سیلیس نانولیفی دندریتی تحت شرایط پراکندگی کنترل‌شده انجام دادند. نتایج نشان داد که ترکیب spirulina@DFNS توانایی ماده را در جذب انرژی ضربه و مقاومت در برابر انتشار ترک افزایش می‌دهد. با این حال، تأثیر آن بر محدود کردن ابعاد ترک حداقل بود و هیچ افزایش قابل توجهی در مقاومت باقیمانده مشاهده نشد. علیرغم این محدودیت‌ها، این مطالعه هم چالش‌ها و هم مزایای بالقوه استفاده از spirulina@DFNS در سازه‌های بتنی تقویت‌شده با الیاف که برای مقاومت در برابر ضربه طراحی شده‌اند را برجسته می‌کند[66] .Oktavitri و همکاران (۲۰۲۵) ، مطالعه‌ای با هدف بررسی سلول‌های سوختی میکروبی رسوبی هیبریدی با استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس برای برداشت همزمان انرژی، حذف آلاینده‌ها و تولید زیست‌توده جلبکی انجام دادند. نتایج نشان داد که اسپیرولینا پلاتنسیس به طور قابل توجهی عملکرد سلول‌های سوختی میکروبی رسوبی را از طریق تولید اکسیژن، حذف آلاینده‌ها و رشد زیست توده بهبود می‌بخشد. نسبت ۴۰۰/۱۶۰۰ برای تولید برق بهینه است، در حالی که ۸۰۰/۱۲۰۰ برای زیست پالایی و بهره‌وری ریزجلبک‌ها ارجحیت دارد [67] .

۴. اسپرولینا در آبزی‌پروری

با توجه به خواص تغذیه‌ای اسپیرولینا، تجویز آن در رژیم‌های غذایی آبزیان متداول است. مطالعه‌ای با هدف تعیین تأثیر واقعی اسپیرولینا و رزماری در یک تیمار ترکیبی بر عملکرد کبد و کلیه، بافت‌شناسی اندام‌های خاص و بیان برخی ژن‌های آنتی‌اکسیدانی و مرتبط با ایمنی در بافت کبد، قبل و بعد از عفونت آئروموناس هیدروفیلا (*A.hydrophila*) بر عملکرد تیلاپیای نیل انجام شد. نتایج پارامترهای مختلف، اثرات محرک رشد رزماری و اسپیرولینا تأثیر بیشتری نشان دادند. همچنین، بهبود پارامترهای خون‌شناسی، سنجش‌های ایمونولوژیکی، فعالیت و شاخص فاگوسیتوز و بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی و مرتبط با ایمنی قبل و بعد از عفونت رخ داد[68] . نتایج مطالعه‌ی دیگری که توسط Rahman و همکاران (۲۰۲۳)، با هدف بررسی تأثیرات اسپیرولینای طبیعی به عنوان یک افزودنی خوراک بر رشد گربه‌ماهی *(Heteropneustes fossilis)*، مصرف خوراک، خون‌شناسی و بیوشیمی سرم، مورفولوژی روده و همچنین مقاومت در برابر بیماری آئروموناس هیدروفیلا به مدت ۶۰ روز انجام شد، نشان داد که استفاده از پودر اسپیرولینای طبیعی به میزان ۵٪ در رژیم غذایی به عنوان مکمل غذایی می‌تواند برای *H. fossilis* در استفاده از مواد مغذی، عملکرد رشد، وضعیت سلامتی و همچنین مقاومت در برابر بیماری مفید باشد[69]. Palmegiano و همکاران (۲۰۲۵) ، نشان دادند که افزودن اسپیرولینا رشد ماهی خاویاری (*Acipencer baeri*) را بهبود می‌بخشد و سطح ۵۰٪ آن بیشترین نرخ رشد، نرخ تبدیل غذایی مطلوب‌تر و بالاترین راندمان پروتئین را به همراه دارد و افزایش سطح اسپیرولینا باعث افزایش اسیدهای پالمیتیک و لینولئیک و کاهش اسید میریستیک می‌شود [70]. Al-Deriny و همکاران (۲۰۲۰) ، اثرات ترکیب نانوذرات نقره و اسپرولینا را در ماهی تیلاپیا بررسی کردند. ماهیان تغذیه شده با این ترکیب، افزایش وزن و کاهش ضریب تبدیل غذایی را به طور قابل توجهی نشان دادند. همچنین، پروتئین کل و ایمونوگلوبولین خون، رونویسی ژن‌های سوپراکسید دیسموتاز کبدی، فاکتور نکروز تومور آلفا افزایش یافتند [71]. Mohammad و همکاران (۲۰۲۲) ، مطالعه ای با هدف بررسی تأثیر افزودن جلبک سبز–آبی (اسپیرولینا)، همزیست (poultry star®me) به نسبت ۱ تا ۲ درصد و آنتی‌بیوتیک کولیستین به جیره غذایی کنترل ماهی

کپور معمولی پرورش یافته در آکواریوم‌های شیشه‌ای به مدت ۵۶ روز و با سه تکرار برای هر تیمار انجام دادند. نتایج بررسی رشد نشان داد ماهی‌هایی که با جیره سوم تغذیه شده بودند، از نظر افزایش وزن کل و روزانه، ضریب تبدیل غذایی، نسبت راندمان تغذیه و نسبت راندمان پروتئین، نسبت به سایر جیره‌های آزمایشی (به‌جز جیره دوم با ۱ درصد اسپیرولینا) عملکرد بهتری داشتند. همچنین، ماهی‌های تغذیه شده با جیره دوم در معیارهای پروتئین رسوبی و ارزش تولیدی پروتئین در مقایسه با دیگر جیره‌های مطالعه شده، به طور قابل توجهی برتر بودند. میزان پروتئین خام در بخش خوراکی، هنگامی که ماهی‌ها با رژیم‌های حاوی اسپیرولینا، همزیستی و آنتی‌بیوتیک تغذیه شدند، به طور قابل توجهی افزایش یافت، در حالی که درصد چربی در ماهی‌های تغذیه شده با رژیم‌های دارای افزودنی‌های آزمایش‌شده در مقایسه با رژیم غذایی کنترل کاهش یافت. درصد خاکستر بین رژیم‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بر اساس نتایج فوق، مشخص شد که افزودن اسپیرولینا به جیره غذایی، اثرات مثبت قابل‌توجهی بر رشد و مصرف غذا داشته است [72]. بدین ترتیب مطالعات گسترده و بیشمار در مورد ارزش تغذیه‌ای اسپیرولینا و کاربرد آن در آبزی پروری بیش از هر کاربرد آن در صنایع دیگر که جدیدتر هستند وجود دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

اسپیرولینا به‌عنوان یک منبع غنی از مواد مغذی، طیف گسترده‌ای از فواید سلامتی را در خود جای داده است. این جلبک سبز – آبی اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌هایی مانند بتاکاروتن، و دیگر مواد معدنی مهم، جایگاه ویژه‌ای به‌عنوان یک مکمل غذایی ارزشمند دارد. ویژگی‌های ضدویروسی و ضد میکروبی اسپیرولینا به همراه توانایی آن در تقویت سیستم ایمنی، آن را به گزینه‌ای بالقوه برای مقابله با بسیاری از بیماری‌ها تبدیل کرده است. وجود آنتی‌اکسیدان‌های قوی در آن نیز کمک می‌کند تا استرس اکسیداتیو کاهش یابد و التهاب کنترل شود، و از این طریق تأثیر مثبتی بر سلامت کلی بدن دارد. همچنین اسپیرولینا قادر است سطح چربی خون را پایین بیاورد و ویژگی‌هایی در کاهش فشار خون نشان دهد. این امر آن را به منبعی مناسب برای حمایت از سلامت قلب و عروق و تنظیم کلسترول و فشار خون تبدیل می‌کند. به‌طور کلی، ترکیب مغذی و قابلیت‌های درمانی اسپیرولینا باعث شده تا این جلبک به انتخابی چند منظوره و ارزشمند برای بهبود تغذیه و حمایت از سلامت عمومی بدن تبدیل شود. تحقیقات فعلی بیانگر ایمن بودن مصرف این مکمل غذایی هستند و نشان می‌دهند که اسپیرولینا عوارض جانبی قابل توجهی ندارد، هرچند هنوز نقش آن به‌عنوان دارو کاملاً تثبیت نشده است. به همین سبب کشت و بهره برداری از آن می تواند در سلامتی جامعه نقش داشته باشد و از آنجا که دیواره سلولی اسپیرولینا جذب مواد مغذی را برای بدن دشوار می‌کند می بایست از فناوری‌های پیشرفته‌ای برای شکستن این دیواره و آزادسازی ترکیبات ارزشمند آن استفاده کرد. روش اولتراسونیک (اولتراسوند) روشی است که از امواج صوتی با فرکانس بالا برای از هم گسستن فیزیکی دیواره سلولی استفاده می‌شود. این کار باعث آزادسازی پروتئین، فیکوسیانین و دیگر مواد مغذی درون سلول می‌گردد که می‌تواند مواد مغذی و اجزای آنتی‌اکسیدانی در سلول‌های جلبک را حفظ کند[73,74,75]. البته از روش هیدرولیز آنزیمی نیز می‌توان دیواره سلولی را تجزیه و پروتئین‌های بزرگ را به پپتیدها و اسیدهای آمینه کوچک‌تر و قابل جذب‌تر تبدیل کرد. این فرآیند نه تنها قابلیت هضم و جذب (زیست‌فراهمی) را به شدت افزایش می‌دهد، بلکه ممکن است منجر به ایجاد ترکیباتی با خواص بیولوژیک قوی‌تر (مانند خاصیت آنتی‌اکسیدانی و کاهندگی فشار خون) نیز بشود[28]. چه بسا کاربرد گسترده آن در تغذیه آبزیان، غذای فضانوردان، کمک به درمان بیماری‌هایی چون عصبی– تخریبی، خواص سلامتی و ضد پیری، استفاده در تصفیه فاضلاب‌ها و استفاده به عنوان سوخت‌های زیستی و بهینه‌سازی تولید برق، تولید فیلم‌های زیست کامپوزیت و مقاوم‌سازی بتون در عملیات عمرانی از کاربردهایی است که روز به روز به ارزش و تنوع آن افزوده می‌گردد و ضرورت و حمایت از تولید آن را با توجه به ظرفیت‌های موجود در کشور ضروری می‌سازد.

منابع

[1]. Vonshak, A. (Ed.). (1997). *Spirulina platensis arthrospira: physiology, cell-biology and biotechnology*. CRC press.

[2]. Kulshreshtha, A., Jarouliya, U., Bhadauriya, P., Prasad, G. B. K. S., and Bisen, P. S. (2008). Spirulina in health care management. Current pharmaceutical biotechnology, 9(5), 400-405.

[3]. Enzing, C., Ploeg, M., Barbosa, M. and Sijtsma, L., (2014). Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe. *JRC Scientific and policy reports*, 19-37.

[4]. Safaei, M., Maleki, H., Soleimanpour, H., Norouzy, A., Zahiri, H. S., Vali, H., and Noghabi, K. A. (2019). Development of a novel method for the purification of C-phycocyanin pigment from a local cyanobacterial strain Limnothrix sp. NS01 and evaluation of its anticancer properties. Scientific reports, 9(1), 9474. http://doi.org/10.1038/s41598-019-45905-6

[5]. Volkmann, H., Imianovsky, U., Oliveira, J. L., and Sant'Anna, E. S. (2008). Cultivation of Arthrospira (Spirulina) platensis in desalinator wastewater and salinated synthetic medium: protein content and amino-acid profile. *Brazilian Journal of Microbiology*, *39*, 98-101. https://doi.org/10.1590/S1517-83822008000100022

[6]. Farrar, W. V. (1996). Algae for food. Nature, 211, 341-342.

[7]. Spirulina, C. O. (1983). The edible microorganism. Microbiological Reviews, 47(4), 551-578.

[8]. Campanella, L., Crescentini, G., & Avino, P. (1999). Chemical composition and nutritional evaluation of some natural and commercial food products based on Spirulina. *Analusis*, *27*(6), 533-540. https://doi.org/10.1051/analusis:1999130

[9]. Balloni, W., Tomaselli, L., Giovannetti, L., and Margheri, M. C. (1981). Biologia fondamentale del genere Spirulina. In *Atti del convegno Prospettive della coltura di Spirulina in Italia.* (pp. 48-85).

[10]. Clement, G., Giddey, C., and Menzi, R. (1967). Amino acid composition and nutritive value of the alga Spirulina maxima. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *18*(11), 497-501. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740181101

[11]. Wang, Y. Y., Xu, B. L., Dong, C. M., and Sun, Y. Y. (2023). The nutritional value of Spirulina and utilization research. *Life Res*, *6*(3), 15. https://doi.org/10.53388/LR20230015

[12]. Fernández-Rojas, B., Hernández-Juárez, J., and Pedraza-Chaverri, J. (2014). Nutraceutical properties of phycocyanin. *Journal of functional foods*, *11*, 375-392. https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.011

[13]. Zhi-hong, D. U. A. N., Sheng-liang, Y. U. A. N., Ying-nian, L. U., and Ke-feng, W. U. (2018). Research Progress of Chlorophyll and Its Derivatives from Edible Macroalga. *Science and Technology of Food Industry*, *39*(20), 337-342.

[14]. Abd Rahim, S. H., Zainol, N., and Samad, K. A. (2022). Optimization of chlorophyll extraction from pineapple plantation waste. *Heliyon*, *8*(11).

[15]. Wang Rangjian. (2012). Research progress on biosynthesis, detection and extraction of chlorophyll in tea leaves. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 27(12), 1401-1408.

[16]. Wang, Y. Y., Xu, B. L., Dong, C. M., and Sun, Y. Y. (2023). The nutritional value of Spirulina and utilization research. *Life Res*, *6*(3), 15. https://doi.org/10.53388/LR20230015

[17]. Wang, Q., Liu, W., Li, X., Wang, R., and Zhai, J. (2020). Carbamazepine toxicity and its co-metabolic removal by the cyanobacteria Spirulina platensis. *Science of the Total Environment*, *706*, 135686. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135686

[18]. Zhang, H. Y., Lei, J. H., and Huang, H. B. (2010). Extraction and stability of chlorophyll from lotus leaf. *China Brew*, *29*(9), 105-108.

[19]. Wang, Y. Y., Xu, B. L., Dong, C. M., and Sun, Y. Y. (2023). The nutritional value of Spirulina and utilization research. *Life Res*, *6*(3), 15. https://doi.org/10.53388/LR20230015

[20]. Wang, Y. Y., Xu, B. L., Dong, C. M., and Sun, Y. Y. (2023). The nutritional value of Spirulina and utilization research. *Life Res*, *6*(3), 15. https://doi.org/10.53388/LR20230015

[21]. Nascimento Sassano, C. E., Gioielli, L. A., Converti, A., de Oliveira Moraes, I., Sato, S., and de Carvalho, J. C. M. (2014). Urea increases fed-batch growth and γ-linolenic acid production of nutritionally valuable Arthrospira (Spirulina) platensis cyanobacterium. *Engineering in Life Sciences*, *14*(5), 530-537. https://doi.org/10.1002/elsc.201400020

[22]. Gershwin, M. E., and Belay, A. (Eds.). (2007). *Spirulina in human nutrition and health*. CRC press.

[23]. Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J. M., González-López, C., and Acién-Fernández, F. G. (2020). Spirulina for the food and functional food industries. *Food research international*, *137*, 109356. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109356

[24]. Dan, Z. H. A. O., Feng, F. E. N. G., Youzhi, S. U., Jingnan, Z. H. A. N. G., Lian, Y. U., Jin, S. U., and Feng, Z. H. A. N. G. (2017). Determination of monosaccharide in Spirulina polysaccharide by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Chinese Journal of Chromatography*, *35*(4), 413

[25]. Uppin, V., Dharmesh, S. M., and R, S. (2022). Polysaccharide from Spirulina platensis evokes Antitumor Activity in Gastric Cancer cells via modulation of Galectin-3 and exhibited Cyto/DNA protection: Structure–function study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *70*(23), 7058-7069.

[26]. Wang, S. Y., Chang, X. Y., Zhao, S., Zhang, R. N., Pan, Y. L., and Zhou, X. R. (2015). Effects of polysaccharides from Spirulaceae on blood glucose and antioxidant activity in diabetic rats. *Journal of Occupational Health*, *31*(23), 3299-31.

[27]. Cifferi O. (1983). Spirulina as a microorganism. *Microbiol Rev*.47(4):551–578.

[28]. Clement, G., Giddey, C., and Menzi, R. (1967). Amino acid composition and nutritive value of the alga Spirulina maxima. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *18*(11), 497-501. https://doi.org/10.5281/zenodo.8385328

[29]. Lupatini, A. L., Colla, L. M., Canan, C., and Colla, E. (2017). Potential application of microalga Spirulina platensis as a protein source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *97*(3), 724-732. http://doi.org/10.1002/jsfa.7987

[30]. Finamore, A., Palmery, M., Bensehaila, S., and Peluso, I. (2017). Antioxidant, immunomodulating, and microbial-modulating activities of the sustainable and ecofriendly spirulina. *Oxidative medicine and cellular longevity*, *2017*(1), 3247528. http://doi.org/10.1155/2017/3247528

[31]. Abdelkhalek, N. K., Ghazy, E. W., and Abdel-Daim, M. M. (2015). Pharmacodynamic interaction of Spirulina platensis and deltamethrin in freshwater fish Nile tilapia, Oreochromis niloticus: impact on lipid peroxidation and oxidative stress. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(4), 3023-3031. http://doi.org/10.1007/s11356-014-3578-0

[32]. Abdel-Daim, M. M., Abuzead, S. M., and Halawa, S. M. (2013). Protective role of Spirulina platensis against acute deltamethrin-induced toxicity in rats. *Plos one*, *8*(9), e72991. http://doi.org/10.1371/journal.pone.0072991

[33]. Deng, R., and Chow, T. J. (2010). Hypolipidemic, antioxidant, and antiinflammatory activities of microalgae Spirulina. *Cardiovascular therapeutics*, *28*(4), e33-e45. http://doi.org/10.1111/j.1755-5922.2010.00200.x

[34]. Gunes, S., Tamburaci, S., Dalay, M. C., and Deliloglu Gurhan, I. (2017). In vitro evaluation of Spirulina platensis extract incorporated skin cream with its wound healing and antioxidant activities. *Pharmaceutical biology*, *55*(1), 1824-1832. http://doi.org/10.1080/13880209.2017.1331249

[35]. Kalafati, M., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Paschalis, V., Theodorou, A. A., Sakellariou, G. K., ... and Kouretas, D. (2010). Ergogenic and antioxidant effects of spirulina supplementation in humans. *Med Sci Sports Exerc*, *42*(1), 142-151. http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ac7a45

[36]. Ismail, M., Hossain, M. F., Tanu, A. R., and Shekhar, H. U. (2015). Effect of spirulina intervention on oxidative stress, antioxidant status, and lipid profile in chronic obstructive pulmonary disease patients. *BioMed research international*, *2015*(1), 486120. http://doi.org/10.1155/2015/486120

[37]. Li L, Gao YT, Dai Y, Yang YL, and Wang XM. (2007). Studies on the scavenging of reactive oxygen species and antioxidant effects of polysaccharides from Spirulina and Spirulina alga in vitro. *Chem Bioeng*. (03):55–57. (Chinese)

[38]. Duda-Chodak, A., Wajda, Ł., Kobus, M., Kubica, M., and Tarko, T. (2010). Wpływ bakterii z rodzaju Arthrospira na funkcjonowanie układu immunologicznego.

[39]. Ayehunie, S., Belay, A., Baba, T. W., and Ruprecht, R. M. (1998). Inhibition of HIV-1 Replication by an Aqueous Extract ofSpirulina platensis (*Arthrospira platensis*). *JAIDS Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes*, *18*(1), 7-12.

[40]. Baojiang, G. (1994, April). Study on effect and mechanism of polysaccharides of Spirulina on body immune function improvement. In *Second Asia-Pacific Conference on Algal Biotechnology. Singapore* (p. 24).

[41]. Karkos, P. D., Leong, S. C., Karkos, C. D., Sivaji, N., and Assimakopoulos, D. A. (2008). Spirulina in clinical practice: evidence-based human applications. https://doi.org/10.1093/ecam/nen058

[42]. Choudhary, M., Jetley, U. K., Khan, M. A., Zutshi, S., and Fatma, T. (2007). Effect of heavy metal stress on proline, malondialdehyde, and superoxide dismutase activity in the cyanobacterium Spirulina platensis-S5. *Ecotoxicology and environmental safety*, *66*(2), 204-209. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.02.002

[43]. Mao, T. K., Water, J. V. D., and Gershwin, M. E. (2005). Effects of a Spirulina-based dietary supplement on cytokine production from allergic rhinitis patients. *Journal of Medicinal Food*, *8*(1), 27-30. https://doi.org/10.1089/jmf.2005.8.2

[44]. Girardin-Andréani, C. (2005). Spirulina: Blood supply, immune system and cancer. *Phytotherapie*, *3*(4), 158-161.

[45]. Chu, W. L., Lim, Y. W., Radhakrishnan, A. K., and Lim, P. E. (2010). Protective effect of aqueous extract from Spirulina platensis against cell death induced by free radicals. *BMC complementary and alternative medicine*, *10*(1), 53. https://doi.org/10.1186/1472-6882-10-53

[46]. Ali, S. K., and Saleh, A. M. (2012). Spirulina-an overview. *International journal of Pharmacy and Pharmaceutical sciences*, *4*(3), 9-15.

[47]. Baicus, C., and Baicus, A. (2007). Spirulina did not ameliorate idiopathic chronic fatigue in four N-of-1 randomized controlled trials. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, *21*(6), 570-573. https://doi.org/10.1002/ptr.2114

[48]. Pak, W., Takayama, F., Mine, M., Nakamoto, K., Kodo, Y., Mankura, M., ... and Mori, A. (2012). Anti-oxidative and anti-inflammatory effects of spirulina on rat model of non-alcoholic steatohepatitis. *Journal of clinical biochemistry and nutrition*, *51*(3), 227-234. https://doi.org/10.3164/jcbn.12-18

[49]. Calella, P., Cerullo, G., Di Dio, M., Liguori, F., Di Onofrio, V., Galle, F., and Liguori, G. (2022). Antioxidant, anti-inflammatory and immunomodulatory effects of spirulina in exercise and sport: A systematic review. *Frontiers in Nutrition*, *9*, 1048258. http://doi.org/10.3389/fnut.2022.1048258

[50]. Vo, T. S., and Kim, S. K. (2013). Down-regulation of histamine-induced endothelial cell activation as potential anti-atherosclerotic activity of peptides from Spirulina maxima. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, *50*(2), 198-207. http://doi.org/10.1016/j.ejps.2013.07.001

[51]. Pham, T. X., and Lee, J. Y. (2016). Anti-inflammatory effect of spirulina platensis in macrophages is beneficial for adipocyte differentiation and maturation by inhibiting nuclear factor-κ B pathway in 3T3-L1 adipocytes. *Journal of medicinal food*, *19*(6), 535-542. http://doi.org/10.1089/jmf.2015.0156

[52]. Romay, C., Ledon, N., and Gonzalez, R. (2000). Effects of phycocyanin extract on prostaglandin E2 levels in mouse ear inflammation test. *Arzneimittelforschung*, *50*(12), 1106-1109. http://doi.org/10.1055/s-0031-1300340

[53]. Huang, Y. S., Cunnane, S. C., Horrobin, D. F., and Davignon, J. (1982). Most biological effects of zinc deficiency corrected by γ-linolenic acid (18: 3ω6) but not by linoleic acid (18: 2ω6). *Atherosclerosis*, *41*(2-3), 193-207. https://doi.org/10.1016/0021-9150(82)90185-X

[54]. Wang, Y., Chang, C. F., Chou, J., Chen, H. L., Deng, X., Harvey, B. K., ... and Bickford, P. C. (2005). Dietary supplementation with blueberries, spinach, or spirulina reduces ischemic brain damage. *Experimental neurology*, *193*(1), 75-84. https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2004.12.014

[55]. Rimbau, V., Camins, A., Romay, C., González, R., and Pallàs, M. (1999). Protective effects of C-phycocyanin against kainic acid-induced neuronal damage in rat hippocampus. *Neuroscience letters*, *276*(2), 75-78. https://doi.org/10.1016/S0304-3940(99)00792-2

[56]. Bickford, P. C., Shukitt-Hale, B., and Joseph, J. (1999). Effects of aging on cerebellar noradrenergic function and motor learning: nutritional interventions. *Mechanisms of ageing and development*, *111*(2-3), 141-154. https://doi.org/10.1016/S0047-6374(99)00063-9

[57]. Bickford, P. C., Gould, T., Briederick, L., Chadman, K., Pollock, A., Young, D., ... and Joseph, J. (2000). Antioxidant-rich diets improve cerebellar physiology and motor learning in aged rats. *Brain research*, *866*(1-2), 211-217. https://doi.org/10.1016/S0006-8993(00)02280-0

[58]. Torres-Duran, P.V., Ferreira-Hermosillo, A. and Juarez-Oropeza, M.A., (2007). Antihyperlipemic and antihypertensive effects of Spirulina maxima in an open sample of Mexican population: a preliminary report. *Lipids in Health and Disease*, *6*(1), p.33.

[59]. Amin, A., Hamza, A. A., Daoud, S., and Hamza, W. (2006). Spirulina protects against cadmium-induced hepatotoxicity in rats. *American Journal of Pharmacology and Toxicology*, *1*(2), 21-25.

[60]. Halade, G. V., and Juvekar, A. R. (2006). Effect of Spirulina Platensis pretreatment on isoproterenol induced hyperlipidemia in rats. *PharmacologyOnLine*, *2*, 243.

[61]. Thaakur, S. R., and Jyothi, B. (2007). Effect of spirulina maxima on the haloperidol induced tardive dyskinesia and oxidative stress in rats. *Journal of neural transmission*, *114*(9), 1217-1225. https://doi.org/10.1007/s00702-007-0744-2

[62]. Wang, Y. Y., Xu, B. L., Dong, C. M., and Sun, Y. Y. (2023). The nutritional value of Spirulina and utilization research. *Life Res*, *6*(3), 15. https://doi.org/10.53388/LR20230015

[63]. Ormsby, R., Kastner, J. R., and Miller, J. (2012). Hemicellulose hydrolysis using solid acid catalysts generated from biochar. *Catalysis today*, *190*(1), 89-97. https://doi.org/10.1016/j.cattod.2012.02.050

[64]. Agustina, S., Yulianto, A., Fajriyan, F., Kamil, A., Hartanto, E. S., & Syamani, F. A. (2024). The Characteristic Of Biocomposite Film Of Spirulina Residue As Natural Dyes. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 503, p. 08002). EDP Sciences.

[65]. Zeng, X., Danquah, M. K., Zhang, S., Zhang, X., Wu, M., Chen, X. D., ... & Lu, Y. (2012). Autotrophic cultivation of Spirulina platensis for CO2 fixation and phycocyanin production. *Chemical Engineering Journal*, *183*, 192-197. https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.12.062

[66]. Zhang, X., Chen, J., Sun, S., Zhang, G., & Honarbakhsh, A. (2025). Enhanced compressive strength behavior of modified cement paste reinforced with bio-based additives and dendritic fibro nano silica under controlled dispersion conditions. *RSC advances*, *15*(35), 28918-28928. 10.1039/D5RA03597J

[67]. Oktavitri, N. I., Soegianto, A., Isnadina, D. R. M., Amin, M. H. F., Chakraborty, A., Thung, W., ... & Kim, K. (2025). Hybrid sediment microbial fuel cells utilizing Spirulina platensis for concurrent energy harvesting, pollutant removal, and algal biomass production. *Global J Environ Sci Manage*, *11*(4).

[68]. Mohammad, A. A., Saadd, A. H., Abdo, S. E., Fadl, S. E., and Hamouda, A. H. (2025). Immunomodulatory and growth promotors effects of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) and/or Spirulina with respect to some gene expression on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Aswan governorate. Aquaculture, 596, Article 741790. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741790

[69]. Rahman, M., Mamun, M. A., Rathore, S. S., Nandi, S. K., Kari, Z. A., Wei, L. S., *et al.* (2023). Effects of supplementation of natural Spirulina on growth performance, hemato-biochemical indices, gut health and disease resistance to *Aeromonas hydrophila* of stinging catfish (*Heteropneustes fossilis*) fingerlings. Aquaculture Reports, 23, Article 101727. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101727

[70]. Palmegiano, G. B., Agradi, E., Forneris, G., Gai, F., Gasco, L., Rigamonti, E., et al. (2005). Spirulina as a nutrient source in diets for growing sturgeon (*Acipenser baeri*). Aquaculture Research, 36(2), 188–195. https://doi.org/10.1111/j.1365- 2109.2005.01209.x

[71]. Al-Deriny, S. H., Dawood, M. A. O., Elbialy, Z. I., El-Tras, W. F., and Mohamed, R. A. (2020a). Selenium nanoparticles and Spirulina alleviate growth performance, hemato-biochemical, immune-related genes, and heat shock protein in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Biological Trace Element Research, 198, 661–668. https://doi. org/10.1007/s12011-020-02096-w.

[72]. Mohammad, M. A., Al-Taee, N. T. T., Al-Taee, S. K., and Al-Jumaa, Z. M. (2022). Effect of adding blue-green algae, probiotic and antibiotic to the diet on the productive performance of common carp *Cyprinus carpio* L. Iraqi Journal of Veterinary Sciences, 36. Supplement 1 11-17. https://doi.org/10.33899/ijvs.2022.134963.2425.

[73]. Li, Y., Zhang, Z., Paciulli, M., and Abbaspourrad, A. (2020). Extraction of phycocyanin—A natural blue colorant from dried spirulina biomass: Influence of processing parameters and extraction techniques. *Journal of Food Science*, *85*(3), 727-735. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14842

[74]. Carullo, D., Donsì, F., Ferrari, G., and Pataro, G. J. A. R. (2021). Extraction improvement of water-soluble compounds from Arthrospira platensis through the combination of high-shear homogenization and pulsed electric fields. *Algal Research*, *57*, 102341. https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102341

[75]. Aftari, R. V., Rezaei, K., Bandani, A. R., and Mortazavi, A. (2017). Antioxidant activity optimisation of Spirulina Platensis C-phycocyanin obtained by freeze-thaw, microwave-assisted and ultrasound-assisted extraction methods. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *9*(1), 1-9.

Journal of Fisheries Science and Technology
Volume14, Issue4, Winter 2026
Pages: 331-347

The nutritional value, benefits, and applications of Spirulina Algae (*Spirulina platensis*)

Mahdi Rahimi [1], Afshin Adeli [2*]

1- Bachelor student of Fisheries, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran
2- Department of Fisheries Products Processing, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran

A B S T R A C T

With the expansion of modern society, the need for proper nutrition, health, and food safety among people has increased significantly. Spirulina (*Spirulina platensis*), It is considered one of the most valuable microalgae with high production efficiency. It is known as one of the best dietary supplement options due to its unique nutritional and healthy properties. Spirulina, as a natural food supplement, has the ability to provide essential nutrients to the body and can play an important role in nutrition. In addition to supplemental applications, this substance is also widely used in the food, pharmaceutical and cosmetic industries. Spirulina powder can also be added to a variety of foods such as bread, cakes and biscuits to significantly increase the nutritional value of these products. Spirulina extract can also be used in the production of health and beauty products. In addition, the antioxidant properties and immune-boosting role of Spirulina make it a promising option as a natural drug in research related to the treatment of cancer and liver diseases. As a whole, vast application of Spirulina have been proved in aquatic nutrition, contribution to treat diseases, healthy antiaging properties, use in effluent purification, biofuel and power production, biodegrable film and solidifying cement in civil engineering. This article aims to provide comprehensive information about the nutritional composition, extraction methods, life cycle and beneficial effects of Spirulina in different fields and thus can contribute to the advancement of the Spirulina-related industry

KEYWORDS: Phycocyanin, Nutritional Value, Future Food, Microalgae, Dietary Supplement, Spirulina, Bioactive Compounds

ARTICLE TYPE

Analytical Review Article

ARTICLE HISTORY

Received: 2025/12/21
Revised:2026/01/10
Accepted: 2026/02/19
ePublished: 2026/03/06

* Corresponding Author:
Email address: afshinadeli@gau.ac.ir
Tel: 09122477113
© Published by Tarbiat Modares University
ISSN: 2322-5513