



سیانوباکتر اسپیرولینا: یک افزودنی فراسودمند برای مواد غذایی

فاطمه شایسته^{۱*}، دکتر علی شریف زاده^۲، سارا آرتی^۳

- ۱- دبیر آموزش و پرورش، وزارت آموزش و پرورش، بروجن، ایران
- ۲- گروه دامپزشکی، دانشکده دامپزشکی، واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران
- ۳- کارشناس امور پژوهشی، دانشگاه علوم پزشکی، اصفهان، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

چاپ: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

DOI:

کلمات کلیدی: اسپیرولینا، ارزش

تغذیه‌ای، غذای فراسودمند

* نویسنده مسئول: [Email](mailto:fatemeh.shayesteh2024@gmail.com)

fatemeh.shayesteh2024@gmail.com

چکیده

برخی از سیانوباکترها به دلیل وجود تعادل در ترکیبات شیمیایی، از منابع زیستی مهم در تولید محصولات غذایی محسوب گردیده و می‌توانند به عنوان بهبود دهنده و بالابرنده‌های ارزش تغذیه‌ای غذاها در انسان و دام مورد استفاده قرار گیرند. اسپیرولینا پلاتنسیس غنی‌ترین افزودنی به لحاظ پروتئین، برخی ویتامین‌ها خصوصاً ویتامین B12 و پیش‌ساز ویتامین A، مواد معدنی به خصوص آهن و کلسیم و دیگر ترکیبات فعال زیستی از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، رنگدانه مهم طبیعی فایکوسیانین، اسیدهای چرب ضروری مانند گامالینولینیک اسید می‌باشد. این سیانوباکتر از سوی سازمان بهداشت جهانی به عنوان "غذای برتر" و هم‌چنین به عنوان "بهترین راه‌حل برای فردا" معرفی گردیده‌است. فواید و برتری این سیانوباکتر نسبت به سایر منابع گیاهی غذایی و دیگر جلبکها به همراه نداشتن دیواره سلولی سلولزی باعث گردیده که جذب مواد مغذی آن راحت‌تر صورت گرفته و در بهبود ارزش فرآورده‌های غذایی سالم نقش متمایزی ایجاد نماید. در این پژوهش به بررسی خواص دارویی و نقش و اهمیت این سیانوباکتر در ارتقاء ارزش تغذیه‌ای غذاها پرداخته شده است.

مقدمه

گیاهان، جلبک‌ها و ترکیبات آن‌ها مانند اسانس‌ها و عصاره‌ها، دارای توانایی بالقوه جهت جایگزینی به جای داروهای شیمیایی هستند و عوارض جانبی این ترکیبات در مقایسه با داروهای شیمیایی کمتر است. بسیاری از متابولیت‌های اولیه و ثانویه جلبک‌ها می‌توانند به مواد فعال در صنایع دارویی تبدیل شوند؛ زیرا ترکیبات جلبک‌ها دارای رنگدانه‌های بتاکاروتین و فوگوگزانتین، اسیدهای حلال مواد و مواد محرک ایمنی مانند فایکوسیانین، پلی ساکارید، آهن، روی و اسیدهای آمینه ضروری است که سبب ارتقا ایمنی می‌گردد و با مکانیسمی مشابه با ترکیبات گیاهی اثرات ضد میکروبی را اعمال می‌کنند. امروزه بالا بردن مدت زمان نگهداری مواد غذایی بسیار حائز اهمیت است. هم‌چنین استفاده از ترکیبات فراسودمند جهت بالابردن ارزش غذایی مواد از اهمیت بسیاری برخوردار است، لذا رویکرد جوامع به سوی استفاده از انواع نگهدارنده‌ها و مکمل‌ها می‌باشد. اما بسیاری از این مواد، شیمیایی و برای سلامت بشر مضر هستند. اخیراً محققین به این نتیجه رسیدند که به‌جای استفاده از این ترکیبات شیمیایی به سمت استفاده از مواد با منشأ طبیعی که ایمن‌تر هستند بروند، سیانوباکترها برای تولید محصولات سالم‌تر به‌عنوان یک رنگ طبیعی جایگزین رنگ‌های مصنوعی خطرناک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطالعات متعدد نشان داده‌است که اسپیرولینا در درمان مسمومیت با فلزات سنگین مانند آرسنیک، کادمیوم، سرب،

جیوه و غیره مفید است. این جلبک با اثرات پروبیوتیکی خود باعث هضم و جذب بهتر غذا در روده‌ها می‌شود. با ترکیباتی که در آن وجود دارد باعث کاهش علائمی مانند عطسه، خارش، ترشحات بینی و ... می‌شود. از منابع بیولوژیک مانند گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسم‌ها به عنوان منابع رنگدانه‌های طبیعی برای رنگ‌های زیستی استفاده می‌شود. این رنگ‌ها دارای خواص مفیدی مانند خاصیت ضد سرطانی، آنتی بیوتیکی، زیست تجزیه‌پذیری بوده و کاربردهای زیادی در صنایع غذایی، چاپ، صنایع نساجی و دارویی دارند، میکروارگانیسم‌ها منبع اصلی رنگدانه‌های طبیعی هستند (۱). ریزجلبک اصطلاحی است که برای نامیدن کلیه جلبک‌های میکروسکوپی اعم از پروکاریوت و یوکاریوتی به کار می‌رود و آنها را از جلبک‌های ماکروسکوپی متمایز می‌سازد. سیانوباکترها میکروارگانیسم‌های تک سلولی میکروسکوپی هستند که در اکثر موارد به صورت کلونی رشد می‌کنند (۲). در اوایل ۱۹۵۰ کمبود قابل توجهی از منابع پروتئینی در رژیم غذایی مردم دنیا مشاهده شد که منجر به آغاز مطالعاتی جهت یافتن منابع پروتئینی مناسب و قابل جایگزین گردید، در آن زمان توده سلولی جلبک‌ها انتخاب مناسبی جهت دستیابی به این هدف به نظر رسید (۳). ریز جلبک‌ها منبع مهمی از ویتامین‌های A، C، E، گروه B، اسید فولیک، اسید پانتوتیک و بیوتین نیز هستند (۴). از جمله ریزجلبک‌های دارای ارزش تغذیه‌ای بالا گونه‌های اسپیرولینا، هماتوکوکوس و کلرلا

می‌باشند که امروزه به صورت صنعتی تولید می‌شوند و مصارف گوناگونی دارند (۵).

در استفاده تجاری، نام محصول تجاری اسپیرولینا به توده سلولی خشک سیانوباکتری آرتروسپیرا اطلاق می‌گردد و یک محصول کاملاً با منشأ زیستی می‌باشد. در استفاده علمی اسپیرولینا عنوانی است جهت توضیح دو گونه سیانوباکتری، با اسامی *آرتروسپیرا پلاتنسیس* و *آرتروسپیرا ماکسیما* استفاده می‌شود. از این دو گونه به عنوان غذا، مکمل غذایی و یا مکمل خوراک دام استفاده می‌شود (۶). *اسپیرولینا اتوتروف* و فتوسنتزکننده بوده و از طریق تقسیم دوتایی تکثیر می‌یابد (۷). یک تریکوم بالغ اسپیرولینا از طریق تشکیل سلول‌های مخصوص تحت عنوان نسریدیا تجزیه شده و به چندین قسمت شکسته می‌شود. قطعه قطعه شدن تریکوم در نسریدیا باعث تولید دو تا چهار زنجیره سلولی پیچ خورده می‌گردد (۶).

اسپیرولینا جلبکی تک‌سلولی، دارای فیلامنت‌های فرمانند و متعلق به خانواده سیانوباکتری‌هاست که به طور طبیعی در دریاچه‌های گرمسیر و قلیایی آمریکا، مکزیک، آسیا و آفریقای مرکزی رشد می‌کند و یکی از ریز جلبک‌های غذایی پرکاربرد است که از سوی سازمان جهانی بهداشت به عنوان غذای برتر شناخته شده است (۸). جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* از جلبک‌های سبز آبی بوده که به ویژه در آب‌های شور یافت می‌شود (۹). ریز جلبک اسپیرولینا یک سیانوباکتر رشته‌ای و مارپیچی است که امروزه به وفور در غنی‌سازی

غذای انسان و حیوان استفاده می‌شود (۱۰). از این جلبک به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن در درمان بیماری‌هایی مانند سرطان و هم‌چنین برای تقویت سیستم ایمنی و درمان چاقی استفاده می‌کنند. هم‌چنین *اسپیرولینا* با مقابله با اثرات منفی رادیکال‌های ازادی که در اثر تغذیه نامناسب، استرس و بی‌حرکی در بدن تولید می‌شوند از تخریب بافت‌های بدن جلوگیری می‌کند و اثرات پیری را به تأخیر می‌اندازد. این جلبک حاوی ترکیبات موثر در رشد و ترمیم سلول‌ها می‌باشد، هم‌چنین منبعی از امگا ۶ و ۹ نیز می‌باشد. گونه‌های *اسپیرولینا* به میزان زیادی به نور و تا حدودی به دمای بالا نیاز دارند. بنابراین تجهیزات تولید باید در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان، مهیا گردد تا تولید در سال میسر گردد. دمای اپتیمم برای رشد *اسپیرولینا* ۳۵-۳۸ درجه سانتی‌گراد است، در حالی که حداقل دمای قابل تحمل برای *اسپیرولینا* جهت رشد ۱۵ - ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. *اسپیرولینا* شرایط قلیایی را تحمل کرده و تا $pH=10/5$ هم رشد می‌کند. تولید تجاری *اسپیرولینا* شامل چهار مرحله است: (۱) کشت، (۲) برداشت، (۳) خشک کردن، (۴) بسته بندی. تمامی این مراحل می‌تواند بازدهی نهایی یا کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار دهد. سالیانه بیش از ۳۰۰۰ تن پودر *اسپیرولینا* تولید می‌شود (۱۱).

ترکیبات شیمیایی موجود در اسپیرولینا

اسپیرولینا در بسیاری از کشورها مثل ژاپن و تایوان به شکل محصولی تجاری و به عنوان غذای عملگرا و سلامت بخش با

اهداف درمانی به فروش می‌رسد. اسپیرولینا حاوی مقادیر فراوانی پروتئین‌های گیاهی (حدود ۷۰ درصد وزن خشک)، کارتنوئیدها ۰۴/ درصد، اسیدهای چرب چند غیر اشباعی ۱ امگا شش (مثل اسید چرب ضروری و نادر اسید گامالینولیک ۲)، سولفولیپیدها، گلیکولیپیدها، پلی ساکاریدها، پیش ساز ویتامین‌ها و دیگر ترکیبات مغذی مثل ویتامین‌های A, E, و انواع ویتامین‌های B و مواد معدنی مثل کلسیم، آهن، منیزیم، پتاسیم، روی و سلنیوم می‌باشد. همچنین اسپیرولینا منبع غنی و ارزانی از رنگدانه‌های مختلف مثل فایکوسیانین است. فایکوسیانین یکی از رنگدانه‌های جانبی در فتوسنتز و از خانواده فیکوبیلی پروتئین‌ها می‌باشد. کاربرد فایکوسیانین معمولاً در صنایع غذایی به عنوان یک ماده رنگی، امولسیفایر، قوام دهنده و عامل ایجاد ژل می‌باشد. از فایکوسیانین هم‌چنین در رنگ‌های آرایشی و شناساگرهای فلورسنت در تحقیقات زیست پزشکی نیز استفاده می‌شود. مطالعات متعددی تأیید کرده‌اند که اجزای مختلف اسپیرولینا مثل فایکوسیانین، سلنیوم، کارتنوئیدها و اسید چرب گاما لینولنیک دارای آثار آنتی‌اکسیدانی بوده و قابلیت حذف رادیکالی قابل توجهی دارند. در نتیجه، اسپیرولینا می‌تواند عامل بالقوه‌ای جهت درمان بیماری‌های ناشی از تنش‌های اکسیداسیونی، التهابات، آلرژی‌ها، ویروس‌ها، بیماری‌های سیستم ایمنی، بیماری‌های کبدی و حتی سرطان‌ها می‌باشد (۱۲)، در برخی مطالعات بهینه‌سازی شرایط تولید فایکوسیانین به عنوان ترکیبی آنتی‌اکسیدانی که قابلیت

رقابت با رنگ‌های سینتتیک را داراست، از اسپیرولینا پلاتنسیس بررسی شده است (۱۳)، اسپیرولینا فاقد سلولز در دیواره سلولی خود می‌باشد، این ویژگی باعث شده تا ماده غذایی مناسبی برای افراد مسن و یا بیماران مبتلا به مشکلات جذب روده‌ای باشد (۱۴). اسپیرولینا، سبز آبی پلانکتونی رشته‌ای است که در بسیاری از محیط‌های با آب شیرین مانند برکه‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها یافت می‌شود. اسپیرولینا یک میکروارگانیسم فتواتوتروفیک است که به شکل در طبیعت توزیع شده و برای قرن‌ها به علت دارا بودن بالاترین ارزش غذایی شناخته شده‌اش به عنوان مکمل غذایی انسان از آن استفاده شده‌است. اسپیرولینا شامل ۷۸ درصد پروتئین، ویتامین ۴ الی ۷ درصد چربی، مواد معدنی، کربوهیدرات‌ها (گلوکز، رامنوز، مانوز، زایلوز و گالاکتوز) و برخی ریزمغذی‌های طبیعی می‌شود؛ بنابراین حضور این ریزمغذی‌ها در اسپیرولینا دارای خواص اصلاح‌کننده‌ای علیه بیماری‌های مختلفی چون سرطان، فشارخون، چربی خون، دیابت‌ها، کم خونی و غیره می‌باشد. از اسپیرولینا به خاطر منبع پروتئینی بالا و ارزش غذایی اش، به عنوان غذای انسان استفاده شده‌است. اخیراً محققان تأثیر ارتقای رشدی باکتری‌های اسیدلاکتیک توسط اسپیرولینا را گزارش کرده است (۱۵)، در واقع جلبک‌ها نیتروژن را از محیط رشد مصرف می‌کنند و کربوهیدرات‌های برون سلولی (خارج سلولی) و سایر مواد رشدی را آزاد می‌کنند که ممکن است مسئول تحریک رشد

لاکتوباسیل و سایر سویه‌های تولیدکننده اسیدلاکتیک باشند (۱۶).

سیانوباکتری‌ها، منبع غنی پروبیوتیک

با گسترش دانش بهداشت عمومی، امروز اولویت اصلی در مصرف با مواد طبیعی و رنگ‌دهنده‌های طبیعی است. اگر شیرهای تخمیرشده با ویتامین‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای چرب ضروری و عناصر کمیاب با منشا طبیعی غنی شوند، مصرف کنندگان نیاز به میزان بسیار کمتری از دارو دارند و مکمل‌های ویتامینی و مواد معدنی مصنوعی تولید شده را کمتر مصرف می‌کنند (۱۷)، یک روش ساده برای دستیابی به این هدف استفاده از سیانوباکتری‌ها در تولید غذاهای لبنی است (۱۸)، اسپیرولینا سال‌ها است که به عنوان ماده افزودنی استفاده می‌شود، زیرا دارای پروتئین و ارزش غذایی بالایی است. یک رژیم غذایی متعادل و سالم حاوی ویتامینها، مواد معدنی و اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد (۱۶)، ریز جلبک‌ها یک منبع طبیعی غنی از ترکیبات فعال برای یک رژیم غذایی سالم هستند، آن‌ها حاوی پروتئین، کربوهیدرات، لیپید، مواد معدنی، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب غیراشباع، کاروتنوئیدها، آنزیم‌ها و فیبر هستند (۱۹).

ترکیبات جلبک اسپیرولینا و مواد مؤثره موجود

در آن

اسپیرولینا، حاوی مقادیر قابل توجهی از ریزمغذی و درشت مغذی‌ها، اسیدهای آمینه ضروری، پروتئین، لیپید، ویتامین‌ها، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها و رنگدانه‌های زیادی از جمله کاروتنوئید، کلروفیل a و فایکوبیلی پروتئین‌ها شامل فایکوسیانین و آلفایکوسیانین است. همچنین حاوی بتاکاروتن-بتاکریپتو، زانتین-لوتئین-زاگزانتین به عنوان مهم‌ترین کاروتنوئیدها است (۲۰ و ۲۱). اسپیرولینا ۶۰ تا ۷۰ درصد پروتئین دارد که ۹۰ درصد آن قابل هضم است. تمام اسیدآمینه‌های ضروری در حد بالایی در این سیانوباکتر وجود دارند اما اسیدآمینه‌های گوگردی در آن کم یافت می‌شود (۲۲)، برخلاف سیانوباکترهای دیگر اسپیرولینا به علت نداشتن دیواره سلولی قابل هضم است. همچنین ترکیبات فنلی مانند سالیسیک اسید، کلژنیک اسید و کافئیک اسید در اسپیرولینا گزارش شده‌است (۲۳)، رنگدانه‌های موجود در جلبک علاوه بر مزایای سلامت بخشی، دارای ارزش تجاری گسترده به عنوان رنگ‌های طبیعی در مواد غذایی، مواد آرایشی و دارویی هستند. در حال حاضر، افزایش آگاهی در مورد اثرات مضر ترکیبات و رنگ‌های مصنوعی و گزارش‌های اثرات سمی رنگدانه‌های سنتتیک باعث تمایل جامعه به جایگزینی رنگدانه‌های سیانوباکترها و بهره برداری از سیانوباکترها به عنوان منبع رنگدانه‌های طبیعی شده است (۲۴). کلروفیل a تنها کلروفیلی است که اسپیرولینا دارا می‌باشد. این ریز جلبک یکی از بالاترین میزان کلروفیل

موجود در طبیعت را داراست که در حدود ۱/۱۵ درصد از زیست توده آن را شامل می‌شود (۲۵).

کاربردهای غذایی اسپیرولینا:

در میان سیانوباکترها، اسپیرولینا به عنوان یک غذای سودمند برای آینده معرفی شده است و با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات غذایی فراسودمند و پذیرش هرچه بیشتر غذاهای حاوی ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در جهان، هزینه‌های پایین تولید و ارزش تغذیه‌ای بالای این سیانوباکتر، بررسی بیشتر در زمینه‌های کشت و تولید ترکیبات زیست فعال از آن ضروری به نظر می‌رسد (۲۶). علاوه بر خواص رنگی و تغذیه‌ای، ترکیب ریز جلبک‌ها با غذاها ممکن است تغییرات معنی‌داری در خواص ریزساختاری و رئولوژیکی غذاها ایجاد کند. در کشورهای آلمان، فرانسه، ژاپن، آمریکا، چین و تایلند شرکت‌های تولید و توزیع‌کننده غذا فعالیت‌های جدی در زمینه فروش غذاهای عملگرا با ریزجلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها انجام داده‌اند، اسپیرولینا پلاتنسیس غنی از مواد مغذی است و حاوی ۱۸ نوع اسیدآمینو می‌باشد. پروتئین‌های آن کیفیت بالایی دارند و هم‌چنین شامل انواع ویتامین‌ها A، E، k، B2، B8، B12، و عناصری مانند پتاسیم و آهن است (۲۷).

درصد بالای کورکومین و اسید آسکوربیک به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های قوی در اسپیرولینا بر ارزش غذایی این سیانوباکتر، می‌افزاید. افزودن برخی ریزجلبک‌ها به بیسکویت و محصولات مشابه باعث بهبود بافت و افزایش ماندگاری آن

می‌شود و در مواد غذایی مانند ژله‌ها و دسرها این رنگ‌های طبیعی باعث بهتر شدن خواص ژلی می‌شوند. سیانوباکترها به دلیل تعادل ترکیبات شیمیایی، منابع زیستی مهمی برای تولید محصولات و کاربردهای جدید بوده و می‌توانند به عنوان بهبود دهنده‌ی ارزش تغذیه‌ای غذاها و خوراک دام مورد استفاده قرار گیرند. اسپیرولینا به عنوان یک غذای دارای مواد مفید و مناسب برای رفع سوءتغذیه معرفی شده‌است و در بسیاری کشورها این سیانوباکتر به صورت سنتی و یک غذای رایج استفاده می‌شود (۲۸)، اسپیرولینا حاوی مواد ارزشمندی مانند اسیدهای چرب غیراشباع، رنگ دانه‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها، ترکیبات دارویی و دیگر ترکیبات فعال زیستی می‌باشد. تعداد بی‌شماری از ریز جلبک‌ها را در فروشگاه‌ها به شکل‌های قرص، پودر، کپسول، پاستیل‌ها و مایعات به عنوان مکمل‌های غذایی می‌توان یافت. هم‌چنین FDA کلیه مکمل‌های سیانوباکتر اسپیرولینا را به عنوان کاملاً امن شناخته شده تأیید کرده‌است و از این رو می‌تواند به عنوان یک منبع قابل اطمینان برای محصولات غذایی جدید در نظر گرفته شود. آن‌ها هم‌چنین می‌توانند با محصولات غذایی مثل پاستل، بیسکوئیت‌ها، نان، اسنک‌ها، آب نبات، ماست و نوشیدنی‌های غیر الکلی ترکیب شوند و اثرات سلامتی بخش نشان دهند. در کشورهای آلمان، فرانسه، ژاپن، آمریکا، چین و تایلند شرکت‌های تولید و توزیع‌کننده غذا فعالیت‌های جدی در زمینه فروش غذاهای عمل‌گرا با ریز جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها انجام داده‌اند. قابلیت ترکیب

توده‌ی زیستی ریز جلبک‌ها با سامانه‌های غذایی مشروط به نوع فرایند به کار برده شده و شدت آن مثل فرایندهای حرارتی و مکانیکی و طبیعت غذا مثل امولسیون، ژل، سامانه‌های خمیری هواده‌ی شده و هم‌چنین واکنش‌های بین ترکیبات غذایی پروتئین‌ها، پلی ساکاریدها، لیپیدها، قند و نمک‌ها می‌باشد. علاوه بر خواص رنگی و تغذیه‌ای، ترکیب ریز جلبک‌ها با غذاها ممکن است تغییرات معنی‌داری در خواص ریز ساختاری و رئولوژیکی غذاها ایجاد کند (۲۹). غذاهای فراسودمند به محصولاتی اطلاق می‌شود که علاوه بر داشتن ارزش تغذیه‌ای، دارای اثرات درمانی و سلامت بخش برای مصرف‌کننده نیز باشند (۳۰). افزودن توده زیستی جلبک به فراورده‌های غذایی سبب فراسودمند شدن آن‌ها می‌شود. علت اصلی تحریک و تقویت رشد باکتری‌ها پس از افزودن زیست توده‌ی سیانوباکتر، غنی‌سازی تغذیه‌ای محیط پایه‌ی فراورده با اسیدهای آمینه ضروری و ویتامین‌ها گزارش شده‌است (۳۱)، کاربرد بالقوه اسپرولینا به عنوان اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی غذایی برای بهبود خواص سلامتی بخش محصولاتی مانند مکمل‌های غذایی، نوشیدنی‌ها و شیرهای تخمیر شده، غلات و محصولات نانوائی، دسرها، کیک‌ها و محصولات قنادی، بیسکویت‌ها، اسنک‌ها، سوپ‌ها، سس‌های سالاد و محصولات لبنی مانند بستنی، ماست، نوشیدنی‌های بر پایه لبنی و ... به کار رفته‌است (۳۲)، از این جلبک به عنوان غذایی برای آینده یاد شده‌است زیرا قابلیت تولید مواد غذایی متراکم با کیفیت بالا در مقایسه با سایر جلبک‌ها کارآیی بیشتری دارد (۳۳). نداشتن دیواره

سلولزی است که باعث می‌شود جذب مواد مغذی بسیار راحت صورت گیرد. کم بودن میزان اسید نوکلئیک (کمتر از ۴ درصد) / اسپرولینا یکی از برتری‌های این جلبک نسبت به سایر منابع پروتئینی مشابه می‌باشد (۳۴).

کاربردهای اسپرولینا در حوزه سلامت

بیشتر تمرکز فعالیت‌ها و تلاش‌ها در زمینه اسپرولینا، تولید فراورده‌های گوناگون دارویی و زیست محیطی از اسپرولینا است که زمانی می‌توانند وارد بازار شوند که از لحاظ اقتصادی تولید آن‌ها به صرفه شود. از خواص سلامت‌بخشی آن می‌توان خواص آنتی‌میکروبیال، آنتی آرتروز، محافظ عصبی، محافظ قلب، ضدسرطانی، ضدباکتریایی و مؤثر در آلرژی‌ها، زخم معده، آنمی، مسمومیت فلزات سنگین و مسمومیت ناشی از تشعشعات رادیواکتیو را نام برد (۳۵)، اسپرولینا غیرسمی است و چربی‌های آن به صورت اسیدهای چرب غیراشباع است که فاقد کلسترول می‌باشد، به همین علت می‌توان آن را در درمان بیماری تصلب شرایین و چاقی به کار گرفت (۳۶). با توجه به عوارض کمتر ترکیبات آنتی‌اکسیدان طبیعی، این ترکیبات می‌توانند جایگزین مناسبی برای آنتی‌اکسیدان‌های سنتتیک باشند (۳۷). از جمله تأثیرات دیگر این جلبک می‌توان به پیشگیری از کبد چرب، بیماری‌های قلب و عروقی، کاهش سطح چربی سرم، افزایش سطوح هموگلوبین، افزایش آنتی‌بادی‌ها و عملکرد فاگوسیتیک ماکروفاژ و مهار پیشروی ویروس HIV اشاره کرد. اسپرولینا در درمان

بالا تر است. اسپیرولینا شامل مقادیر تقریباً متعادلی پروتئین (شامل هشت اسید آمینه اصلی) بوده، به راحتی هضم شده (بالا بودن ارزش زیستی) و به سرعت احساس گرسنگی را برطرف می‌کند. به جز متیونین و سیستئین که تا حدودی کمتر از مقدار استاندارد هستند، دیگر اسید آمینه‌های ضروری دیگر در اسپیرولینا به مقدار کافی وجود دارند (۳۸،۶، ۳۹).

مواد معدنی

میزان مواد معدنی اسپیرولینا نیز قابل توجه می‌باشد. سطح آهن / اسپیرولینا، ۱۲ برابر بیشتر از هر ماده غذایی دیگری است. اسپیرولینا غنی از منیزیم، پتاسیم و دیگر عناصر کمیاب می‌باشد. آهن موجود در ریزجلبک / اسپیرولینا در حدود ۷۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. بیشترین میزان توصیه شده آهن در روز برای زنان ۱۹ تا ۵۰ ساله ۱۸ میلی‌گرم می‌باشد، در نتیجه این ریزجلبک منبع مناسبی جهت تامین آهن در زنان باردار و افراد مبتلا به کم‌خونی است (۴۰). اسپیرولینا از نظر کلسیم نیز غنی بوده و از این رو برای عملکرد سالم دندان‌ها و استخوان‌ها مناسب می‌باشد.

ویتامین‌ها

اسپیرولینا غنی‌ترین منبع ویتامین B12 (۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) است و مصرف روزانه یک گرم اسپیرولینا جهت رفع نیاز بدن به این ویتامین کافی می‌باشد و از این جهت این سیانوباکتر دارای ارزش فوق العاده ای برای افراد مبتلا به کم‌خونی است (۴۱). علاوه بر ویتامین B12، اسپیرولینا مخلوط عالی از دیگر ویتامین‌ها نظیر A، B1، B2، B6 و E

افسردگی نقش دارد زیرا منبع خوبی از اسید فولیک است که از تولید انرژی و سلول‌های خونی پشتیبانی می‌کند. با کاهش کلسترول خون جذب مواد معدنی حیاتی را افزایش می‌دهد. اسپیرولینا در پیشگیری از دیابت موثر است، چون کالری پایینی دارد و حاوی مقادیر زیادی از ویتامین B1 می‌باشد که باعث بهبود سوخت و ساز قندها در بدن می‌شود، ویتامین B2 که با کمک به سوزاندن کالری مانع از چاقی می‌شود و ویتامین B6 که در ساخت هورمون انسولین در بدن نقش دارد می‌باشد. علاوه بر این‌ها، اسپیرولینا یک مکمل قلیایی است که به بازگشت حالت اسیدی خون به حالت قلیایی کمک شایانی می‌کند و برای همین است که از اسپیرولینا به عنوان محصول غذایی ایده آل برای جلوگیری و بهبود بیماری دیابت نام برده می‌شود (۳۷).

ارزش تغذیه‌ای اسپیرولینا پروتئین‌ها

مطالعات متعددی بر روی ترکیبات شیمیایی توده سلولی اسپیرولینا انجام شده است که همگی بیانگر وجود مقادیر فراوانی پروتئین (۶۲-۶۵ درصد وزن خشک) می‌باشند. غلظت اسید نوکلئیک اسپیرولینا، همواره کمتر از پنج درصد وزن خشک اسپیرولینا بوده که این یک مزیت به شمار می‌رود. تحقیقات انجام گرفته بر روی اسپیرولینا توسط سازمان بهداشت جهانی و دانشمندان مختلف دنیا، این حقیقت را تأیید کرده‌اند که اسپیرولینا مخلوطی از ترکیبات مختلف بوده که هیچ ماده‌ی غذایی دیگری به تنهایی حاوی همه‌ی آن‌ها نمی‌باشد. میزان پروتئین اسپیرولینا از تمام مواد غذایی دیگر

می‌باشد. اسپیرولینا حاوی ۲۱ درصد تیامین و ریبولین است. حدود ۱/۰ درصد وزن خشک آن را بتاکاروتن تشکیل می‌دهد که ۲۰ برابر بیش‌تر از هویج می‌باشد (۴۱)، وجود میزان قابل توجهی آهن، اسید فولیک و ویتامین B12، اسپیرولینا را به غذای درمانی خوبی جهت درمان کم‌خونی تبدیل کرده‌است.

چربی‌ها

سیانوباکترها حاوی مقادیر قابل توجهی چربی، با ترکیبی شبیه روغن نباتی هستند. در برخی شرایط خاص، ریزجلبک‌ها تا ۸۵ درصد وزن خشک خود، روغن دارند، اما معمولاً مقدار روغن بین ۲۰-۴۰ درصد وزن خشک می‌باشد. روغن سیانوباکترها معمولاً استر گلیسرول و اسیدهای چرب ۱۴-۲۲ کربنی است. اسپیرولینا حاوی ۵-۷ درصد لیپید می‌باشد که عمدتاً از اسیدهای چرب ضروری مانند اسید لینولئیک (LA) و هم‌چنین اسیدگامالینولئیک (GLA) تشکیل شده است (۴۲)، اسپیرولینا عاری از کلسترول بوده و غنی از اسیدهای چرب چند غیراشباعی است که آن را جهت درمان و پیشگیری از تصلب شرایین، چاقی و فشار خون مناسب می‌سازد. با توجه به اثرات مستقیم اسیدگامالینولئیک روی سیستم ایمنی و درمان بسیاری از بیماری‌ها، از این رو همواره علاقه زیادی به تولید غلظت‌های بالا از اسیدگامالینولئیک وجود داشته است (۴۳).

خواص درمانی اسپیرولینا

فایکوسیانین یکی از پروتئین‌های مهم در اسپیرولینا می‌باشد، فایکوسیانین فایکوبیلی پروتئینی است که به تازگی گزارش‌های متعددی مبنی بر داشتن خواص فارماکولوژیک گوناگون از آن ارائه شده‌است. در این رابطه، اثرات آنتی‌اکسیدان، ضدالتهاب، خواص محافظتی کبد و اعصاب فایکوسیانین طی مطالعات تجربی ذکر شده‌اند (۴۴). این ماده می‌تواند در درمان آلزایمر و پارکینسون موثر واقع شود هم‌چنین نقش بسیار مهمی در پیشگیری از سرطان‌های پوستی-مخاطی و لوکمی مزمن میلوئیدی در انسان دارد (۴۵). فایکوسیانین در درمان سرطان‌ها قادر به جایگزین شدن با داروهای شیمی‌درمانی دارای عوارض جانبی شدید است (۴۶) ، از این پروتئین در درمان بیماری‌های کلیه، فشار خون، بیمار یهای سیستم عصبی مرکزی و ترکیبات داروهای مراقبت‌های پوستی استفاده می‌شود و اثرات درمانی آن به خوبی اثبات شده است (۱۱). فایکوسیانین موجود در اسپیرولینا رادیکال آلکوکسیل، هیدروکسیل و پراکسیل را مهار کرده، تولید نیتريت را کاهش داده و پراکسیداسیون لیپید در میکروزوم‌های کبد را مهار می‌نماید؛ هم‌چنین بسیاری از مطالعات برون و درون تنی نشان می‌دهند که اسپیرولینا به طور موثری استرس اکسیداتیو را کاهش می‌دهد (۴۷)، هم‌چنین از این ماده مخاطی و لوکمی در درمان پارکینسون و آلزایمر بکار گرفته می‌شود و نقش بسیار مهمی در پیشگیری از سرطان‌های پوستی مزمن میلوئیدی در انسان دارد (۴۸)، اسپیرولینا در سلامت کبد نقش زیادی دارد، افراد دارای

مشکلات کبدی معمولا از کمبود پتاسیم رنج می‌برد و این جلبک حاوی مقدار مناسبی از پتاسیم هست که میتواند به روند درمان سرعت ببخشد. فایکوسیانین می‌تواند جایگزین مناسبی برای داروهای شیمی درمانی با عوارض زیاد در درمان سرطان باشد. اسپرولینا هم‌چنین سرشار از ید است. این ترکیب برای عملکرد غده تیروئید ضروری است و باعث افزایش سوخت و ساز بدن می‌شود (۴۹)، اسپرولینا دارای دیواره نرم است که شامل ترکیبی از قندها و پروتئین می‌باشد و دارای خاصیت ضد ویروسی، ضرسرطانی و تقویت سیستم ایمنی می‌باشد در حالی که اثر نامطلوب بر روی سلول‌های انسان ندارد. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که نوعی پلی‌ساکارید در اسپرولینا قادر است فعالیت آنی هسته سلول را افزایش دهد و DNA را بازسازی و اصلاح کند و در چندین مورد مشاهده شد مصرف کامل از اسپرولینا و یا عصاره آن تا حد زیادی از پیشرفت سرطان جلوگیری به عمل آورده است (۵۰). اسپرولینا غیرسمی است و چربی‌های آن به صورت اسید چرب غیر اشباع است که کلسترول ندارد به همین سبب می‌تواند برای درمان بیماری‌های تصلب شرایین و چاقی به کار رود (۵۱) از این جلبک در درمان PDS (سندروم کمبود رنگدانه) به میزان ۳۰ گرم در کیلوگرم در رژیم غذایی بعد از ظهور علائم PDS استفاده شد و بعد از یک دوره ۴ هفته‌ای، درمان صورت گرفت (۴۹)، اسپرولینا دارای مواد آنتی‌اکسیدانی است که باعث جوان ماندن بافت‌های بدن شده و اثرات پیری را به تأخیر می‌اندازد. این تأثیر مثبت در ناحیه‌ی

پوست و موها بیشتر است. اسپرولینا با اثرات منفی رادیکال‌های آزاد که باعث تخریب بافت‌های بدن و افزایش روند پیری می‌شوند مقابله می‌کند. رادیکال‌های آزاد، سلول‌هایی هستند که توسط خود بدن و در پی تغذیه نامناسب، استرس و بی‌حرکی تولید می‌شوند. اسپرولینا دارای مقادیر زیادی فنیل آلانین است که اشتها را کاهش می‌دهد و این باعث می‌شود فرد بتواند میزان غذای که مصرف می‌کند را کاهش دهد و از بروز چاقی جلوگیری می‌کند. به این ترتیب نیز روند کاهش وزن با سهولت بیشتری و بدون تحمل استرس و گرسنگی کشیدن سپری می‌شود. اسپرولینا هم‌چنین سرشار از ید است، این ترکیب برای عملکرد غده تیروئید ضروری است و باعث کنترل و بهبود متابولیسم بدن می‌شود. زمانی که سوخت و ساز بدن با سرعت بالایی انجام شود چربی‌ها با سرعت بیشتری سوزانده شده و فرد با سرعت بیشتری لاغر می‌شود (۴۹).

تولید جهانی اسپرولینا و کاربردها

اسپرولینا برای قرن‌های متمادی به عنوان غذا مصرف شده است، آزمایش‌های سم‌شناسی متعددی که برای حمایت‌های مالی سازمان ملل انجام شده است، ایمنی آن را ثابت کرده‌اند، علاوه بر این این محصول در طول ۳۰ سال گذشته به صورت تجاری تولید و بدون هیچ مشکلی توسط هزاران نفر مصرف شده است. اخیرا دو شرکت در ایالات متحده اسپرولینا را با استفاده از دستورالعمل‌های علمی و بعد از تایید سازمان غذا و دارو به عنوان GARS معرفی

کرده‌اند. نتایج مطالعات مختلف بیانگر آن است که اسپیرولینا پروفایل تغذیه‌ای خوبی داشته و حاوی ترکیباتی است که دارای مزایای سلامت بخش بالقوه‌ای می‌باشد، طی سال‌های گذشته تکنولوژی تولید اسپیرولینا پیشرفت کرده و در عین کاهش قیمت افزایش کیفیت به همراه داشته است. امروزه اسپیرولینا به شکل تجاری در کشورهای مختلف تولید می‌شود. اسپیرولینا هم‌چنین دارای کاربردهای غذایی مختلفی در آب میوه‌ها، شیر، فراورده‌های قنادی، شکلات‌ها، دونات‌ها، دسرها، بیسکویت‌ها، کیک‌ها، کلوچه‌ها، ماکارانی‌ها، سس‌های سالاد، دسرهای منجمد، اسنک‌ها، چیپس ذرت، پف فیل، کراکر، غلات صبحانه، غذاهای مایع و فوری و حتی در آبجوها می‌باشد. از اسپیرولینا به شکل گسترده‌ای برای اسپاگتی‌های رنگی، چیپس و خمیردندان استفاده می‌شود. برخی مواد غذایی که با رنگ‌های جذاب و دلپذیر سبز و آبی و برای کودکان تولید شده‌اند حاوی اسپیرولینا هستند (۱۲).

تأثیر اسپیرولینا در بهبود کیفیت برخی مواد

غذایی

کاربردهای بالقوه اسپیرولینا پلاتنسیس به عنوان اجزا تشکیل دهنده غذایی برای بهبود خواص سلامتی بخش محصولاتی مانند مکمل‌های غذایی، نوشیدنی‌ها و شیرینی‌های تخمیر شده، غلات و محصولات نانوازی، دسرها، کیک‌ها و محصولات قنادی، بیسکویت‌ها، اسنک‌ها، سوپ‌ها، سس‌های سالاد و محصولات لبنی مانند بستنی، ماست، نوشیدنی‌های بر پایه لبنی و مانند این‌ها به کاررفته است

(۵۲). در این راستا، تاهامی و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی تأثیر تغذیه‌ای اسپیرولینا بر خصوصیات پنیر فرایند شده پرداختند. نتایج نشان داد با افزایش درصد اسپیرولینا تا ۶ درصد خواص شیمیایی من جمله؛ پروتئین، خاکستر، فیبر، سلنیوم، روی، آهن، منیزیم و پتاسیم افزایش می‌یابد به گونه‌ای که فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی نمونه‌های حاوی اسپیرولینا بیشتر از نمونه شاهد بود. بررسی تولید دسر لبنی بر پایه فرمولاسیون عسل خرما، نشاسته ذرت و ژلاتین با کمک روش سطح پاسخ، نشان داد پارامترهای ویسکوزیته و بافت (سفتی و چسبندگی) به طور معنی‌داری با افزایش نشاسته و ژلاتین افزایش می‌یابد (۵۳)، بررسی‌های محققان نشان داد، افزودن اسپیرولینا پلاتنسیس تأثیر معنی‌داری در پروتئین، آب، چربی، بتاکاروتن و بافت (پنیر نرم) پروتئین، مواد جامدکل، چربی و قندکل، نقطه ذوب و ارزیابی حسی بستنی دارد و افزودن ۱ و ۱/۲ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس به عنوان بهترین غلظت برای پنیر و بستنی در نظر گرفته شد (۵۴)، هم‌چنین محققان خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی دسرلبنی فراسودمند دارای مالت جو بدون پوشینه را مورد بررسی قرار دادند. امینی فر و همکاران، مهرابی و همکاران در پژوهش خود نشان دادند که با افزایش درصد نشاسته، ژلاتین و عسل خرما، سفتی بافت و چسبندگی افزایش می‌یابد، این افزایش می‌تواند به دلیل فرایند ژلاتیناسیون نشاسته طی فرایند حرارتی و جذب آب توسط ژلاتین باشد؛ بنابراین با افزایش مقدار این هیدروکلئیدها در محصول، بافت محصول سفت‌تر

می‌گردد (۵۵ و ۵۳)، به‌علاوه، بر هم کنش بین پروتئین‌های شیر و هیدروکلئیدها هم می‌تواند بر چنین روندی تأثیرگذار باشد (۵۶). در مطالعه‌ای که ال-گاراوانی و همکاران بر روی خواص رئولوژیکی دسر لبنی حاوی پروتئین آب پنیر و نشاسته سیب‌زمینی انجام داد، نتایج بیانگر همبستگی بالا بین غلظت مواد (کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، نشاسته سیب‌زمینی و یوتا-کاراگینان) و استحکام دسرلبنی به گونه‌ای با افزایش غلظت مواد تشکیل دهنده، سفتی بافت افزایش می‌یابد (۵۷). بارکالا و همکارانش نشان دادند که استفاده از پودر اسپیرولینا در فرمولاسیون ماست منجر به کاهش میزان نرمی نمونه‌های ماست می‌شود، بیشترین میزان پارامتر نرمی را نمونه شاهد دارد (۵۸)، در واقع با افزایش میزان اسپیرولینا، میزان نرمی کاهش معنا دار یافته است. علت کاهش نرمی نمونه‌های ماست، تخریب شبکه ژلی ماست در حضور اسپیرولینا بیان شد. تغییر در فاکتور پیوستگی و انسجام الاستیسیته نمونه‌های ماست معنی‌دار نبوده‌است و مقادیر انسجام و الاستیسیته نمونه‌ای کنترل و نمونه‌های تلقیح شده با اسپیرولینا مشابه هم بوده‌است (۵۹). افزودن سیانوباکتر *آرتروسپیرا پلاتنسیس* به نمونه‌های لواشک کیوی، منجر به افزایش میزان آهن شد.

نتایج مطالعات انجام شده که با هدف بررسی اثر افزودن پودر ریزجلبک به دوغ پروبیوتیک حاوی پودر نعنا و کلوچه صنعتی انجام شد، نشان داد که افزودن ریزجلبک تأثیر مثبتی بر محتوای آهن تیمارها داشت و با افزایش میزان *آرتروسپیرا*،

مقدار آهن نمونه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت (۲۷، ۶۰). کم‌خونی فقر آهن، یکی از مشکلات شایع در بین مردم جهان و ایران است و طبق آمار ارائه‌شده از سوی سازمان بهداشت جهانی در ایران، شیوع کم‌خونی فقر آهن در کودکان و زنان در سنین باروری در حد متوسط و در زنان باردار شدید گزارش شده‌است (۶۱)، بنابراین، افزایش آهن در نمونه‌های لواشک محتوی ریزجلبک می‌تواند از نظر ارزش تغذیه‌ای ارزشمند باشد. نتایج بررسی‌ها ذکر شده نشان دادند که افزودن غلظت‌های مختلف صمغ دانه‌شاهی با مقادیر مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*، تأثیر معنی‌دار بر میزان اسیدیتته دوغ داشتند به طوری‌که با افزودن غلظت‌های مختلف صمغ دانه‌شاهی با مقادیر مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* طی ۲۱ روز نگهداری، pH کاهش و اسیدیتته افزایش یافت. کاهش کند pH تیمارهای حاوی جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* احتمالاً به دلیل خاصیت بافری به خاطر حضور پروتئین، پپتیدها و اسیدهای آمینه موجود در ترکیب آن می‌باشد (۶۲)، نتایج مشابهی با نتایج تحقیق محمدی‌الستی و همکارانش به دست آمد، این محققین به بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و حسی ماست اسفناج پروبیوتیک پرداختند و گزارش دادند که غلظت‌های مختلف جلبک، ضمن جلوگیری از تغییرات مشخص در pH اسیدیتته را افزایش دادند (۶۳). در پژوهشی که توسط فدائی‌نوغانی و همکارانش انجام شد، اثر غلظت‌های متفاوت ریزجلبک

اسپیروولینا پلاتنسیس بر برخی ویژگی‌های فیزیوشیمیایی (pH، اسیدیته، پروتئین و بافت) و پنیر فرآپالایش حاوی پونه کوهی، مورد ارزیابی قرار گرفت نمونه‌ها به مدت 45 روز در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که پنیر سفید ایرانی تهیه‌شده به روش فرآپالایش می‌تواند حامل خوبی برای ریزجلبک اسپیروولینا پلاتنسیس باشد. غنی‌سازی این محصول با ریزجلبک فوق منجر به افزایش میزان پروتئین گردید. برخلاف سایر میکروارگانیسم‌هایی که به عنوان منبع پروتئینی به کار می‌روند، مثل مخمر، سلول‌های اسپیروولینا دیواره سلولزی ندارند. بنابراین قابلیت هضم بالایی دارند و برای قابلیت دسترسی پروتئین‌هایش نیازی به پختن و حرارت دادن ندارد (۶۴).

با استفاده از پودر اسپیروولینا و بدون استفاده از روغن، می‌توان محصولی پایدار به نام سس جلبک تهیه کرد. بعلاوه با توجه به این نکته که غنی‌سازی سس مایونز ممنوع است، اما با غنی‌سازی سس با آهن و روی، محصولی فراسودمند تولید گردیده و خواص فیزیکی و شیمیایی محصول در مقایسه با نمونه‌ی شاهد فاقد جلبک/اسپیروولینا بهبود یافت، بدون این که محصول از نظر میکروبی ناایمن باشد. نمونه‌ها از نظر pH تفاوت معنی‌دار داشته و با افزایش میزان جلبک نمونه‌های حاوی آهن و روی دارای تفاوت معنی‌دار بوده و به علت ظرفیت بافری قابل توجه اسپیروولینا که به علت حضور پروتئین، پپتیدها و اسیدهای آمینه موجود در ترکیب آن است، روند تغییرات pH و اسیدیته آهسته بود و از نظر

میکروبی آلودگی نمونه‌ها بسیار کم و در محدوده استاندارد بوده و ویسکوزیته برخی نمونه‌های حاوی آهن و روی تفاوت معنی‌داری داشتند. با افزایش میزان سطوح جلبک اسپیروولینا پلاتنسیس، ویسکوزیته افزایش یافت که این افزایش می‌تواند به دلیل ساختار پروتئینی اسپیروولینا پلاتنسیس و ایجاد تعاملات بین سلولی باشد. هم‌چنین ویسکوزیته در طول زمان در هر تیمار با کاهش مواجه شد، که کاهش ویسکوزیته در طی ماندگاری می‌تواند در اثر عوامل مختلفی مانند جدا شدن نشاسته و صمغ یا هیدرولیز هیدروکلوئیدها و پکتین باشد (۶۵).

در پژوهشی استفاده از ریزجلبک/اسپیروولینا پلاتنسیس به عنوان جایگزین سفیده تخم مرغ انجام شد و تاثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و حسی کیک اسفنجی در طی زمان مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور درصد‌های وزنی مختلف سفیده تخم مرغ در فرمولاسیون کیک اسفنجی با پودر ریزجلبک/اسپیروولینا پلاتنسیس جایگزین شد. نتایج نشان داد که افزودن پودر ریزجلبک/اسپیروولینا پلاتنسیس باعث کاهش رطوبت، حجم مخصوص، تخلخل و پیوستگی نمونه‌ها شد. میزان پروتئین، چربی، خاکستر، pH و سفتی نمونه‌های کیک اسفنجی با افزایش درصد پودر ریزجلبک افزایش یافت. با افزایش درصد پودر ریزجلبک، اسپیروولینا پلاتنسیس پذیرش کلی نمونه‌ها کاهش پیدا کرد اما این کاهش پذیرش در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. به طور کلی استفاده از پودر ریز جلبک/اسپیروولینا پلاتنسیس در سطوح

پایین به عنوان جایگزین جزئی سفیده تخم مرغ باعث بهبود ویژگیهای کیک اسفنجی شد (۶۶). نتایج تحقیقات نشان داد میزان پروتئین، آهن و ماده خشک نمونه‌های دسر تحت تاثیر مستقیم، میزان اسپیرولینا پلاتنسیس بوده است و با افزایش میزان آن، افزایش یافتند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد با ارائه فرمولاسیون مناسب جهت اصلاح طعم و رنگ احتمالی ناشی از افزودن جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس و با تکیه به خواص سلامتی بخش و استفاده از این ترکیب در فرمولاسیون دسر لبنی و بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی، فیزیکیوشیمیایی و حسی می‌توان از آن به عنوان یک ماده افزودنی بسیار مفید و مؤثر در مواد غذایی استفاده کرد و یا نسبت به غنی‌سازی انواع محصولات غذایی توسط این ریزجلبک اقدام نمود (۶۷).

نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان داده است که افزودن مقادیر مختلف اسپیرولینا به محصولات همچون کلوچه صنعتی، محصولات غذایی اکستروژده، کروسانت، دونات، دوغ، پنیر و ماست، منجر به افزایش میزان پروتئین نمونه‌ها می‌شود، در پژوهشی که با هدف تولید کیک اسفنجی غنی‌شده با ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس و بررسی ویژگی‌های تغذیه‌ای، فیزیکیوشیمیایی و حسی این فرآورده بود اثر افزودن ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در سطوح مختلف بر ویژگی‌های تغذیه‌ای (پروتئین، چربی، آهن، روی و مس)، خواص فیزیکیوشیمیایی، pH، رطوبت، فنل کل، پتانسیل آنتی‌اکسیدانی، تخلخل، بافت، رنگ) و ویژگی‌های حسی (عطر و

بو، رنگ، بافت، طعم و مزه، قابلیت جویدن و پذیرش) نمونه‌های کیک اسفنجی بررسی شد. نتایج نشان داد میزان پروتئین، چربی، مواد معدنی و دیگر ویژگی‌های تغذیه‌ای با افزایش درصد ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس افزایش یافت. میزان تخلخل نمونه‌های کیک اسفنجی با افزایش درصد ریزجلبک اسپیرولینا کاهش یافت و با افزایش درصد ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس پارامترهای بافتی (سفتی، پیوستگی و صمغی شدن) افزایش یافت. (۶۸).

در پژوهشی که توسط شهبازی‌زاده و همکارانش انجام شد افزودن ریزجلبک اسپیرولینا به ترکیب کلوچه باعث افزایش معنی‌دار میزان آهن نمونه‌های غنی‌شده در مقایسه با شاهد شد، با افزایش میزان پودر به کار رفته، میزان آهن در کلوچه‌های حاوی ریزجلبک به طور معنی‌داری افزایش یافت، Mamatha و همکاران با استفاده از جلبک دریایی اترومورفا کمپرسا در تهیه نوعی اسنک توانستند علاوه بر افزایش آهن و کلسیم، مقدار پروتئین را در نمونه‌های غنی‌شده با جلبک افزایش دهند (۶۹). پژوهش Danesi و همکاران نیز به منظور غنی‌سازی پروتئین در محصولات نانوائی بر پایه‌ی کاساوا از اسپیرولینا پلاتنسیس استفاده کردند. با افزایش میزان ریزجلبک عدد پراکسید در کلوچه‌های غنی‌شده در مقایسه با کلوچه‌ی شاهد کاهش معنی‌داری یافت به صورتی که مقدار عدد پراکسید در بین نمونه‌های ریزجلبکی اختلاف معنی‌داری نداشت کاهش عدد پراکسید در کلوچه‌های ریزجلبکی به علت خاصیت آنتی‌اکسیدانی

رنگدانه‌های موجود در ریز جلبک است که به کاهش عمل اکسیداسیون بخش چربی منجر شده است. به دلیل پیچیدگی برهم‌کنش‌های مؤثر بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سیستم‌های چندفازه مکانیسمی که عملکرد آنتی‌اکسیدان‌ها را در چنین سیستم‌هایی توجیه می‌کند با آن‌چه در روغن از اکسیداسیون جلوگیری می‌کند متفاوت است. ترکیب آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در *اسپیرولینا پلاتنسیس* نظیر آلفا و بتاکاروتن، گزانتوفیل، میکسوگزانتوفیل، کریپتوگزانتین، زئاگزانتین، ویتامین C و توکوفرول، ترکیبات پلی فنلی قطبی و به خصوص رنگدانه پلی‌پتیدی فیکوسیانین از طریق برهم‌کنش‌های هم‌افزایی و با مکانیسم‌های جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد و شلاته‌کردن فلزاتی نظیر آهن از پراکسیداسیون چربی‌ها جلوگیری می‌کند و روند آن را به تأخیر می‌اندازد (۷۰-۷۲). اگر چه ترکیب آپوپروتئینی فیکوسیانین در اثر حرارت ناشی از خشک‌کردن در دمای بیش از ۴۵ درجه سانتی‌گراد تجزیه می‌شود، اما فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیکوسیانین موجود در اسپیرولینای خشک شده به روش پاششی مشابه فیکوسیانین تازه است. زیرا فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیکوسیانین مربوط به فیکوسیانونوبیلین یعنی گروه پروستتیک آن است در نتیجه، کلوچه‌ی غنی‌شده با *اسپیرولینا پلاتنسیس* در مقابل فساد اکسیداتیو پایداری بیشتری دارد و استفاده از پودر *اسپیرولینا پلاتنسیس* می‌تواند در کنار ایجاد رنگ، اکسیداسیون چربی‌ها را نیز به تأخیر بیندازد (۷۲).

با افزایش میزان ریزجلبک در ترکیب کلوچه، مقدار اسید ۷-لینولنیک در کلوچه‌های غنی‌شده در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری پیدا کرد، کلوچه‌های *اسپیرولینا پلاتنسیس* در مقایسه با نمونه‌ی شاهد به دلیل افزایش اسید ۷ - لینولنیک ارزش تغذیه‌ای بالاتری دارند سطح ۱/۵ درصد وزنی ریزجلبک مناسب‌ترین سطح در این غنی‌سازی، است که می‌تواند بخشی از عوارض ناشی از کمبود اسید ۷-لینولنیک در بدن را بر طرف کند. به نظر می‌رسد در کلوچه‌های غنی‌شده، غشای سلولهای ریز-جلبک می‌تواند مولکول‌های اسید چرب را ریزپوشانی کنند و با وجود فرایند حرارتی پخت تا حدی از اسیده‌های چرب موجود در ریزجلبک در برابر حرارت و اکسیداسیون محافظت کنند (۲۹). *Gouveia* و همکاران در تحقیق مشابهی از ریز جلبک ایزوکرایسیسگالبانو در تولید بیسکویت استفاده کردند. آن‌ها افزایش میزان ریزجلبک ایزوکرایسیسگالبان را موجب حضور اسیده‌های چرب امگا ۳ در بیسکویت‌های غنی‌شده دانستند. این اسیده‌های چرب در بیسکویت‌های شاهد وجود نداشت. *Gouveia* و همکاران در تحقیق مشابهی از ریزجلبک‌های *اسپیرولینا ماکسیما* و *اسپیرولینا دیاکرونما* در تولید دسرهای ژلی گیاهی استفاده کردند. افزودن این ریزجلبک‌ها علاوه بر تقویت ویژگی‌های بافتی موجب افزایش میزان اسیده‌های چرب چند غیراشباع نظیر ایکوزاپنتا انوئیک و دوکوزاهگزا انوئیک و ۷ - لینولنیک می‌شود (۲۹).

تحقیقات دیگر نشان داده که می‌توان به منظور غنی‌سازی پروتئین در محصولات نانویی از سیانوباکتر *اسپیرولینا پلاتنسیس* استفاده کرد، بدون آن‌که تغییر قابل ملاحظه‌ای در بافت، ضریب انبساط، درصد ترکیب و پذیرش حسی محصول ایجاد شود. (۵۹). بنابراین از سیانوباکتر *اسپیرولینا* به عنوان یک رنگ‌دهنده طبیعی که شیمیایی نیست، برای ماکارونی می‌توان استفاده کرد و اینگونه نتیجه گرفت که با افزایش مقدار سیانوباکتر *اسپیرولینا* در ماکارونی، رنگ محصول از رنگ سبز کمرنگ به سمت رنگ سبز تیره تغییر رنگ پیدا نمود و رنگ سبز ریز جلبک به پاستا منتقل شده که دلیل آن وجود کلرفیل در ریزجلبک *اسپیرولینا* میباشد. مشابه همین نتایج در تحقیقی که غنی‌سازی محصولات پاستا توسط توده زنده جلبک کلرلا ولگاریس و *اسپیرولینا* را بررسی نمودند، ارائه شد (۷۳)، تحقیقات دیگر به نتایج مشابه دست یافتند، براساس این پژوهش افزودن پودر میکروجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* می‌تواند ماکارونی را از نظر ویژگی‌های مورد بررسی بهبود دهد و می‌توان محصولی با کیفیت تغذیه‌ای تولید کرد که باعث حفظ خواص فیزیکی و افزایش ارزش غذایی ماکارونی شود و نیز مورد رضایت و پسند مصرف‌کننده واقع گردد (۷۴، ۷۵)، غنی‌سازی ماکارونی به عنوان محصولی پر مصرف بعد از نان و برنج در سبد غذای خانواده با سیانوباکتر *اسپیرولینا*، می‌تواند باعث انتقال خواص ارشمند این ماده فراسودمند به سبد غذای خانواده و جامعه شود (۷۶).

امروزه از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به منظور جایگزینی با آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی برای به تأخیر انداختن و یا ممانعت از اکسیداسیون روغن‌های خوراکی استفاده می‌شود. در تحقیقی که توسط علوی و همکارانش انجام شد، از سیانوباکتر *اسپیرولینا پلاتنسیس* به عنوان یک ترکیب طبیعی برای بهبود پایداری اکسیداتیو و افزایش زمان ماندگاری روغن زیتون بکر استفاده شد. نتایج نشان داد که *اسپیرولینا* پایداری اکسیداتیو روغن زیتون بکر را نسبت به روغن زیتون کنترل بهبود می‌دهد. در نتیجه‌گیری کلی، وجود ترکیبات فنولی، ترکیبات فلاونوئیدی و داشتن ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی و توانایی مهار رادیکال آزاد نشان داد که *اسپیرولینا* خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد. استفاده از *اسپیرولینا* در روغن زیتون بکر با بررسی فاکتورهای پایداری اکسیداتیو اثبات کرد که *اسپیرولینا* پایداری اکسیداتیو روغن زیتون بکر را نسبت به روغن زیتون کنترل بهبود می‌دهد. استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی در روغن زیتون بکر بر اساس استانداردهای موجود، مجاز نیست. در نتیجه، می‌توان برای افزایش پایداری اکسیداتیو روغن زیتون بکر، از مقدار بیشتری از *اسپیرولینا* به عنوان یک ترکیب طبیعی استفاده کرد. هم- چنین می‌توان از *اسپیرولینا* با ترکیبات طبیعی دیگر که خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند، به عنوان هم افزا در روغن زیتون بکر استفاده کرد (۷۷).

تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه غنی‌سازی و کاربرد سیانوباکترها از جمله *اسپیرولینا پلاتنسیس* در محصولات

تولید شده بر پایه غلات، انجام گرفته است. به عنوان مثال، در مطالعه زاوو و همکارانش، با افزودن ۳ درصد پودر اسپیرولینا پلاتنسیس و نیز ۳ درصد پودر پروتئین سویا به شیر خام و تلقیح آن با استرپتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس، توانستند ماستی غنی از انواع ویتامین‌ها و ریز مغذی‌ها و نیز ۵ درصد پروتئین تولید نموده و ارزش‌های تغذیه‌ای و طعم حاصله را بهبود بخشند (۷۸). De Marco و همکارانش، اثر اختلاط زیست‌توده اسپیرولینا با آرد گندم، به منظور تولید پاستای خشک در سه غلظت ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی را مورد بررسی قرار داده و ویژگی‌های کیفی تغذیه‌ای و تکنولوژیکی حاصله را نسبت به نمونه شاهد ارزیابی نمودند. در مجموع نشان دادند که محتوای پروتئینی افزایش یافته، و در عین حال قابلیت هضم کاهش پیدا نمود. محتوای ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط آزمایشگاهی مورد سنجش قرار گرفت و نتایج دال بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مقدار این مواد، نسبت به نمونه کنترل بود. این شواهد بیانگر ارتقاء ویژگی‌های زیستی عملکردی و تغذیه‌ای پاستای حاوی ریز جلبک اسپیرولینا بوده است (۷۹). افزودن پودر سیانوباکتر اسپیرولینا پلاتنسیس به فرمولاسیون ویفر روکش‌دار، باعث افزایش معنی‌دار مقدار این سه ماده مغذی، پروتئین، آهن و آلفاتوکوفرول در نمونه‌های غنی‌شده نسبت به نمونه شاهد گردیده است. در نتیجه می‌توان اظهار نمود که با استفاده از منبع فراسودمند اسپیرولینا پلاتنسیس در ترکیب و فرمولاسیون ویفر روکش‌دار، به ویژه در سطوح

جایگزینی ۱ درصد وزنی در کرم و ۱/۵ درصد وزنی در نان ویفر روکش‌دار، می‌توان محصولی با کیفیت تغذیه‌ای و حسی مطلوب تولید نمود (۸۰).

نتایج:

به دلیل تغییر عادات‌های غذایی مردم، غذاهای فراسودمند محصولات مورد علاقه تعداد بسیار زیادی از مردم هستند. با بالا رفتن سن افراد در کشورهای توسعه یافته و افزایش نگرانی برای حفظ سلامت افراد مسن، که بیش‌تر در معرض بیماری‌ها، به خصوص بیماری‌هایی مانند سرطان، پوکی استخوان، دیابت و بیماری‌های قلبی و سکتی قرار دارند، غذاهای فراسودمند بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند. مسئله‌ای که در حال حاضر بیش‌تر به آن پرداخته می‌شود، دریافت بهینه مواد مغذی، افزایش میانگین طول عمر و شناسایی اجزایی است که وقتی به رژیم غذایی اضافه می‌شوند، بتوانند موجب کاهش ابتلا به بیماری‌ها و افزایش سطح سلامت شوند (۸۱). بنابراین، اسپیرولینا پلاتنسیس به دلیل دارا بودن ویتامین‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای چرب ضروری و عناصر کمیاب با منشأ طبیعی فرصت‌های جدیدی را در تولید محصولات فراسودمند فراهم می‌کند. فراوانی ترکیبات زیستی مهم در جلبک‌ها عامل اهمیت و نقطه قوت آن‌ها است. به همین دلیل، توده‌های سیانوباکتریایی فرصت‌های جدیدی را در تولید محصولات لبنی فراسودمند فراهم می‌کنند. هم‌چنین با توجه به بررسی‌های انجام شده مبنی بر کمبود آهن در کشور و محبوبیت مصرف دوغ در

ایران و همچنین نتایج حاصل از این پژوهش، افزودن سیانوباکتر اسپیرولینا پلاتنسیس به فراورده‌های غذایی می‌تواند به ارتقای سطح سلامت جامعه کمک شایانی نماید. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان اظهار کرد، با به کارگیری منبع ارزان قیمت و فراسودمند سیانوباکتر اسپیرولینا پلاتنسیس در ترکیب کلوچه، میتوان محصولی با کیفیت تغذیه‌ای و حسی مطلوب تولید کرد، با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات غذایی فراسودمند از جمله کولوچه، نان، دوغ، بیسکویت، پنیر و ... پذیرش هرچه بیشتر غذاهای حاوی سیانوباکتر در جهان، هزینه‌های پایین تولید و ارزش تغذیه‌ای بالای این سیانوباکتر، تحقیق و توسعه در این زمینه به منظور افزایش کاربرد آن در صنعت غذای ایران ضروری به نظر می‌رسد (۸۳).

مراجع

- 1- Heer K, Sharma S. Microbial pigments as a natural color: a review. *Int J Pharm Sci Res.* 2017; 8(5):1913-22.
- 2- Aslan S, Kapdan IK. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological engineering.* 2006; 28(1):64-70.
- 3- Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A. Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering.* 2006; 101(2):87-96.
- 4- Selvam R. Calcium oxalate stone disease: role of lipid peroxidation and antioxidants. *Urological Res.* 2002; 30:35-47.
- 5- Tietze H. *Spirulina Micro Food Macro Blessings.* Harald Tietze Publishing P. 1996.
- 6- Gershwin ME, Belay A. *Spirulina in human nutrition and health* CRC. Gorobests O., Blinlova L., Baturo A. 2002. Action of *Spirulina platensis* on bacterial viruses. *Zhurnal Mikrobiol, Epidemiol, Immun.* 2007; 18 (2) 40-49.
- 7- Vonshak A. *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology. Cell-biology and Biotechnology.* 2002; 146-154.
- 8- Tavakoli Lahijani A, Shahidi F, Varidi M and Mohabi M, Application of *Spirulina* microalgae in food products, 20th National Congress of Food Science and Industry, Tehran, Sharif University of Technology. 2019; 287-298.
- 9- Hu Q. Industrial production of microalgal cell mass and secondary products-major industrial species. *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and applied phycology* 2004 (264). United States: Blackwell Publishing Ltd.
- 10- Batista A, Nunes M, Raymundo A, Gouveia L, Sousa I, Cordobes F. Microalgae biomass interaction in biopolymer gelled systems. *Food Hydrocolloids* 2010; 25: 817-825.
- 11- Li B, Zhang X, Gao M, Chu X. Effects of CD59 on antitumoral activities of phycocyanin from *Spirulina platensis*. *Biomed Pharmacol.* 2005; 59: 551-560.
- 12- Shetty K., Paliyath G., Pometto A., and Levin R.E., *Food Biotechnology*, CRC Press, 2006; p. 498.
- 13- Sohaili, M. Optimization of phycocyanin production by spirulina algae. Master thesis of Ferdowsi Univ Mashhad. 2015; 168-175.
- 14- Richmond, A. Mass culture of cyanobacteria. In: Mann, N., Carr, N., Eds. *Photosynthetic prokaryotes.* 2nd ed); Plenum Press, New York and London. 1992; 181-210.
- 15- de Caire GZ, Parada JL, Zaccaro MC, de Cano MM. Effect of *Spirulina platensis* biomass on the growth of

- lactic acid bacteria in milk. *World J Microbiol Biotechnol.* 2000; 16:563-565.
- 16- Anvar AA, Nowruzi B. Bioactive properties of spirulina: A review. *Microb. Bioact.* 2021; 4:134-42.
- 17- Beheshtipour H, Mortazavian AM, Mohammadi R, Sohrabvandi S, Khosravi-Darani K. Supplementation of *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* algae into probiotic fermented milks. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2013 Mar;12(2):144-54.
- 18- Kavimandan, A. Incorporation of *Spirulina platensis* into probiotic fermented dairy products. *Int. J. Dairy Sci.* 2015;10: 1-11.
- 19- Patel AK, Singhania RR, Awasthi MK, Varjani S, Bhatia SK, Tsai ML, Hsieh SL, Chen CW, Dong CD. Emerging prospects of macro-and microalgae as prebiotic. *Microbial Cell Factories.* 2021. 5; 20(1):112.
- 20- Usharani G, Saranraj P, Kanchana D. *Spirulina* cultivation: a review. *Int J Pharm Biol Arch.* 2012; 3(6):1327-1341.
- 21- Soni RA, Sudhakar K, Rana RS. *Spirulina*—From growth to nutritional product: A review. *Trends in food science & technology.* 2017; 69:157-171.
- 22- Wang HY, Ni YY, Hu XS, Wu JH, Liao XJ, Chen F, Wang ZF. Kinetics of amino acid loss in carrot juice concentrates during storage. *LWT-Food Science and Technology.* 2007; 40 (5):785-92.
- 23- Salehifar M, Shahbazizadeh S, Khosravi-Darani K, Behmadi H, Ferdowsi R. Possibility of using microalgae *Spirulina platensis* powder in industrial production of Iranian traditional cookies. *Iran J Nutrition Sci Food Technol.* 2013; 7(4):63-72.
- 24- Kuddus, M., Singh, P., Thomas, G., & Al-Hazimi, A. 2013. Recent Developments in Production and Biotechnological Applications of C-Phycocyanin. *BioMed Res Int.* 2013; 1–9.
- 25- Danesi ED, Rangel-Yagui CD, Carvalho JC, Sato S. Effect of reducing the light intensity on the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. *Biomass and Bioenergy.* 2004; 26 (4):329-35.
- 26- Ammor MS, Mayo B. Selection criteria for lactic acid bacteria to be used as functional starter cultures in dry sausage production: An update. *Meat science.* 200; 76 (1):138-46.
- 27- Eslami Meshkani A. Fadai Noghani and Khosravi Darani K. Mazinani P. investigating the effect of adding *spirulina platensis* microalgae powder

- on some physicochemical and sensory properties of probiotic buttermilk containing mint powder. *Quarterly J Modern Food Sci Technol.* 2013; (2): 59-70.
- 28- Sheehan VM, Ross P, Fitzgerald GF. Assessing the acid tolerance and the technological robustness of probiotic cultures for fortification in fruit juices. *Innovative Food Sci Emerging Technol.* 2007; 8(2): 279-84.
- 29- Sousa I, Gouveia L, Batista AP, Raymundo A, Bandarra NM. Microalgae in novel food products. *Food chemistry research developments.* 2008; 75-112.
- 30- Nakano S, Noguchi T, Takekoshi H, Suzuki G, Nakano M. Maternal-fetal distribution and transfer of dioxins in pregnant women in Japan, and attempts to reduce maternal transfer with *Chlorella* (*Chlorella pyrenoidosa*) supplements. *Chemosphere.* 2005; 61(9):1244-1255.
- 31- Parada JL, de Caire GZ, de Mulé MC, de Cano MM. Lactic acid bacteria growth promoters from *Spirulina platensis*. *International journal of food microbiology.* 1998; 45(3):225-228.
- 32- Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A. Commercial applications of microalgae. *J biosci Bioengin.* 2006; 101(2):87-96.
- 33- Qaini M, Mateen Far M, Romani L, Chubkar N, chemical composition of spirulina microalgae powder. *Amash Shale Biology Quarterly.* 2019; 2 (1): 55 - 61.
- 34- Khazaipour A, Shahidi F., beneficial and brain foods to improve the nutritional value of mid-meals, the first national conference of mid-meals, Mashhad. 2013; 98-117.
- 35- Gupta M, Dwivedi UN, Khandelwal S. C-Phycocyanin: an effective protective agent against thymic atrophy by tributyltin. *Toxicology letters.* 2011; 204 (1):2-11.
- 36- Choonawala, B. *Spirulina* production in brine effluent from cooling towers. *Durban Univ of Technol.* 2007; 421-435.
- 37- Rakin M, Vukasinovic M, Siler-Marinkovic S, Maksimovic M. Contribution of lactic acid fermentation to improved nutritive quality vegetable juices enriched with brewer's yeast autolysate. *Food Chemistry.* 2007; 100 (2):599-602.
- 38- Ciferri O. *Spirulina*, the edible microorganism. *Microbiological reviews.* 1983; 47(4):551-578.
- 39- Chronakis IS. Gelation of edible blue-green algae protein isolate (*Spirulina platensis* strain pacifica): thermal transitions, rheological properties, and molecular forces involved. *Journal of*

- agricultural and food chemistry. 2001; 49(2): 888-98.
- 40- Puyfoulhoux G, Rouanet JM, Besançon P, Baroux B, Baccou JC, Caporiccio B. Iron availability from iron-fortified spirulina by an in vitro digestion/Caco-2 cell culture model. Journal of agricultural and food chemistry. 2001; 49(3):1625-1629.
- 41- Vonshak A. Mass culture of Spirulina outdoors-the earthrise farms experience. In *Spirulina platensis*. Arthrospira. 1997; 21:149-176.
- 42- Ötleş S, Pire R. Fatty acid composition of Chlorella and Spirulina microalgae species. Journal of AOAC international. 2001; 84 (6):1708-1714.
- 43- Ötleş S, Pire R. Fatty acid composition of Chlorella and Spirulina microalgae species. Journal of AOAC international. 2001; 84(6):1708-14.
- 44- Romay CH, Gonzalez R, Ledon N, Ramirez D, Rimbau V. C-phycoyanin: a biliprotein with antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective effects. Current protein and peptide science. 2003; 4(3): 207-16.
- 45- Chen T, Wong YS, Zheng W. Induction of G1 cell cycle arrest and mitochondria-mediated apoptosis in MCF-7 human breast carcinoma cells by selenium-enriched Spirulina extract. Biomed Pharmacy. 2010; 98-110.
- 46- Subhashini J, Reddanna P, Mahipal SVK, Reddy MC, Reddy MM Rachamalla A. Molecular mechanisms in C-Phycocyanin induced apoptosis in human chronic myeloid leukemia cell line-K562. Biochem Pharm. 2004; 68:453-62.
- 47- Vinderola G, Matar C, Palacios J, Perdigon G. Mucosal immunomodulation by the non-bacterial fraction of milk fermented by *Lactobacillus helveticus* R389. Int J Food Microbiol. 2007; 115 (2):180-186.
- 48- Chen T, Wong YS, Zheng W. Induction of G1 cell cycle arrest and mitochondria-mediated apoptosis in MCF-7 human breast carcinoma cells by selenium-enriched Spirulina extract. Biomed Pharmacy 2010; 5 (8): 105-117.
- 49- Regunathan C, Wesley SG. Pigment deficiency correction in shrimp broodstock using Spirulina as a carotenoid source. Aquaculture Nutrition. 2006;12 (6): 425-432.
- 50- Tehami F. therapeutic properties of spirulina algae, special issue of the National Congress of Medicine and Sea. 2010; 4 (2): 60-68.
- 51- Choonawala, B. Spirulina production in brine effluent from cooling towers. 2007; Durban University of Technology. 421-437.

- 52- Asadi SZ, Beigmohammadi Z, Mirmajidi Hashtjin A. The Effect of Edible Coating Containing *Spirulina platensis*, Chitosan and Gelatin on Physicochemical, Sensory and Nutritional Properties of Dried Kiwifruit. *J Food Sci Technol*. 2020; 17 (102):53-67.
- 53- Mehrabi, Z. Goli, M. Production of dairy dessert based on formulation of date syrup, corn starch and gelatin using Response Surface Methodology (RSM). 2018; 115-125.
- 54- 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. *J Teknol*. 2016; 78(4). 89-98.
- 55- Aminifar M, Miani S, Alami M, Ghaffarpour M, Dastmalchi F, Maghsoodloo Y, Mohammadi M. Investigation on the physicochemical, textural and sensorial properties of functional dairy dessert prepared from hull-less barley malt. *Iran J Biosystems Engineering*. 2016; 47(3):501-509.
- 56- Jridi M, Souissi N, Salem MB, Ayadi MA, Nasri M, Azabou S. Tunisian date (*Phoenix dactylifera* L.) by-products: Characterization and potential effects on sensory, textural and antioxidant properties of dairy desserts. *Food Chemist*. 2015; 188: 8-15.
- 57- El-Garawany GA, Abd El Salam MH. Preparation and rheological properties of a dairy dessert based on whey protein/potato starch. *Food Chemist*. 2005; 91(2):261-267.
- 58- Barkallah M, Dammak M, Louati I, Hentati F, Hadrich B, Mechichi T, Ayadi MA, Fendri I, Attia H, Abdelkafi S. Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage. *Lwt*. 2017; 84:323-330.
- 59- Danesi ED, Navacchi MF, Takeuchi KP, Frata MT, Carvalho JC. Application of *Spirulina platensis* in protein enrichment of manioc based bakery products. *J Biotechnol*. 2010; (150): 311-325.
- 60- Salehifar M, Shahbazizadeh S, Khosravi- Darani K, Behmadi H, Ferdowsi R. Possibility of using microalgae *Spirulina platensis* powder in industrial production of Iranian traditional cookies. *Iran J Nutr Sci Food Technol*. 2013; 7(4): 63-72. [In Persian].
- 61- Geneva, Switzerland: WHO; 2008. World Health Organization. Worldwide prevalence of anaemia 1993-2005.

- 62- Varga, L., Monlar, N. and Szigeti, J. Manufacturing technology for a spirulina enriched mesophilic fermented milk. International. 2012; 98-110.
- 63- Mohammadi F, Fadaee V, Khosravi K. Influence of different concentrations of *Spirulina platensis* on some physicochemical and sensory properties of probiotic spinach yoghurt. Food Res J. 2016; 26 (2):127-43.
- 64- Fadai Noghani, W., Mazinani, S., Khosravi Darani, K., Islami Meshkanani, A., Mirzadeh, A. The effect of *Spirulina platensis* biomass powder on some physicochemical and sensory properties of Iranian probiotic white cheese containing oregano powder prepared by ultra-refining method. New Food Technol Quart. 2014; 7: 1-10.
- 65- Babakhani Zahra, Karmi Mostafa, Reza Bari Mahmoud. The use of *Spirulina platensis* microalgae in the formulation of low-calorie beneficial sauce enriched with iron and zinc. Iran j food Sci Indust. 2020; 15 (84):125-136.
- 66- Babakhani Zahra, Karmi Mostafa, Reza Bari Mahmoud. The use of *Spirulina platensis* microalgae in the formulation of low-calorie beneficial sauce enriched with iron and zinc. Iran J Food Sci Indust. 2017; 15 (84):125-136.
- 67- Toliti Ghazaleh, Bey Mohammadi Zahra, Labiki Ghazal. Feasibility of producing dairy dessert enriched with microalgae *Spirulina platensis* and stevioside and investigating its physicochemical and sensory properties. Iran J food Sci Industry. 1401; 19 (127): 47-60.
- 68- Zanganeh, Negin, Barzegar, Hassan, Alizadeh Behbahani, Behrouz, and Mehrania, Mohammadamin. 2019; 89-98.
- 69- Mamatha B, Namitha K, Senthila A, Smitha J, Ravishankra G. Studies on use of Enteromorpha in snack food . J Food Chem. 2007; 101:1707-13.
- 70- Batista A, Nunes M, Raymundo A, Gouveia L, Sousa I, Cordobes F. Microalgae biomass interaction in biopolymer gelled systems. Food Hydrocolloids 2010; 25: 817-825. Bioactives. 4: 134-142
- 71- Baky H, El baz F, El Barty. Phenolics from *Spirulina maxima*: Over-production and in vitro protective effect of its phenolics on CCl₄ induced hepatotoxicity. J Medicinal Plants Research 2009; 3(1):24-30.
- 72- Belay A. New scientific developments in the health benefits of *Spirulina* (*Arthrospira*): Phycocyanin and its potential health benefits, J Nutrition Sci. 2004; 7(3):165-173.

- 73- Fradique M, Batista AP, Nunes MC, Gouveia L, Bandarra NM, Raymundo A. Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010; 15;90(10):1656-1564.
- 74- Vinderola G, Matar C, Palacios J, Perdigon G. Mucosal immunomodulation by the non-bacterial fraction of milk fermented by *Lactobacillus helveticus* R389. *Int J Food Microbiol*. 2007; 115 (2):180-186.
- 75- Ouzyurt G, Uslu L, and Yuvka I, Gokdokan S, Atci G, Burcu AK, et al. Evaluation of the cooking quality characteristics of pasta enriched with *Spirulina platensis*. *J Food Qual* 2015; 38(4): 268-272.
- 76- Mostolizadeh S, Moradi Y, Mortazavi MS, Motallebi A, Ghaeni M. Application effects of *Spirulina* powder on the fatty acid and amino acid composition of pasta. *Iran Sci Fisheries J*. 2017; 26(4):119-30.
- 77- Alavi N, Golmakani M, Taghi A, Lari M, Karamat M, Shakarforosh Shahram, Norouzi Masoud. Improving the oxidation stability of virgin olive oil using spirulina microalgae as a natural antioxidant. *Nutrition Sci Food Indust*. 2015; 10 (4): 63-74.
- 78- Zhao X, Zhao X. Study on *Spirulina Platensis* Nutritious Yogurt. *China Dairy Indust*. 1999; 27:168- 179.
- 79- De-Marco ER, Steffolani ME, Martínez CS, León AE. Effects of spirulina biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. *Food Sci Technol*. 2014; 58(1):102-108.
- 80- Sozankar, R, Mohed, S, and Chaichi Nosrati, A. Enrichment of coated wafer using *Arthrospira Spirulina platensis* microalgae powder. *J Nutrition Sci Food Indust*. 2017; 13 (2), 51-60.
- 81- Heydari Vala, H. familiarity with super-beneficial foods; 2005
- 82- Salehifar M, Shahbazizadeh S, Khosravi- Darani K, Behmadi H, Ferdowsi R. Possibility of using microalgae *Spirulina platensis* powder in industrial production of Iranian traditional cookies. *Iran J Nutr Sci Food Technol*. 2013; 7(4): 63-72.

Cyanobacterium spirulina: a versatile food additive

Fatemeh Shayesteh^{1*}, Ali Sharifzadeh², Sara Arti³

1-teacher of education department Ministry of Education, Borujen, Iran

2- Department of Veterinary Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran

3- Research expert, University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

* Corresponding author: fatemeh.shayesteh2024@gmail.cim

Abstract

Some cyanobacteria are considered important biological resources in the production of food products due to the existence of balance in chemical compounds and can be used as improvers and enhancers of the nutritional value of foods in humans and animals. Spirulina platensis is the richest additive in terms of protein, some vitamins, especially vitamin B12 and the precursor of vitamin A, minerals, especially iron and calcium, and other biologically active compounds, including antioxidant compounds, the important natural pigment phycocyanin and essential fatty acids such as gammalinolinic acid. . This cyanobacterium has been introduced by the World Health Organization as "the best food" and also as "the best solution for tomorrow". The benefits and superiority of this cyanobacterium compared to other food plant sources and other algae, along with not having a cellulose cell wall, made it easier to absorb its nutrients and play a distinct role in improving the value of healthy food products. In this research, the medicinal properties and the role and importance of this nobacterium in enhancing the nutritional value of foods have been investigated.

Keyword: Beneficial Food, Nutritional Value, Spirulina