مروری بر خواص پروبیوتیک جلبک اسپرولینا

بهاره نوروزی*

ایران، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده علوم و فناوری های همگرا، گروه بیوتکنولوژی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶

چکیده

اسپیرولینا یک ریز جلبک از شاخه سیانوفیت‌ها، منبع غنی از مواد مغذی آلی است. از این ریز جلبک به‌عنوان پروبیوتیک و مکمل غذایی فراسودمند که موجب افزایش رشد باکتری‌های پروبیوتیکی روده می‌شود، در صنایع غذایی استفاده‌های بسیاری می‌شود. در نتیجه هدف از این مقاله، مروری بر خواص پروبیوتیک *اسپیرولینا* در سلامت انسان است. *اسپیرولینا* شامل بیش از ۷۸ درصد پروتئین، ویتامین، ۴ تا ۷ درصد چربی، مواد معدنی، کربوهیدرات و ریزمغذی‌های بسیار است که در درمان بیماری‌هایی مانند سرطان، فشارخون، دیابت، کم‌خونی و غیره بسیار شفابخش عمل کرده است. *اسپیرولینا* با تولید اگزوپلی ساکاریدهای خارج سلولی نه‌تنها موجب افزایش تعداد و رشد باکتری‌هایی مانند *Lactobacillus bulgaricus*، *Streptococcus thermophilus*، *Lactococcus lactis*، *Lactobacillus acidophilus* و *Lactobacillus casei* می‌شود، بلکه با افزایش زنده ماندن باکتری‌های پروبیوتیک در مدت تولید و ذخیره‌سازی محصولات لبنی تخمیر شده نقش سودمندی را در صنایع غذایی ایفا می‌کند. ترکیب ریز جلبکها و پروبیوتیک ها منجر به تولید محصولات لبنی تخمیر شده ای می شود که نه تنها باعث افزایش کیفیت مواد غذایی می شود، بلکه با افزایش تعداد و زمان ماندگاری باکتری های پروبیوتیک، ارزش غذایی آنها را برای مصرف کنندگان بالا می برند.

کلیدواژگان: پری بیوتیک، پروبیوتیک، *اسپیرولینا*، سلامت انسان، ریزجلبک

* نویسنده مسئول: پست الکترونیکی: bahare77biol@yahoo.com

مقدمه

میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک، مکمل غذایی زنده میکروبی هستند که با بهبود تعادل میکروبی نقش بسیار مهمی در سلامت انسان‌ها دارند. این سطح، بسته به سویه‌های استفاده‌شده و تأثیر سلامتی موردنیاز، معمولاً بین 10^8 تا 10^{11} Cfu / ml است. ماست و سایر شیرهای تخمیر شده با مواد مغذی طبیعی به‌سلامتی کمک کرده و فلور روده را با باکتری‌های اسیدلاکتیک غنی می‌کنند (۱). بنابراین، با فرض مصرف روزانه لبنیات حاوی ۱۰۰ گرم، آن‌ها باید در زمان مصرف بین 10^6 تا 10^9 Cfu / ml از این باکتری‌های زنده داشته باشند. برخی از سویه‌ها متابولیت های تقویت‌کننده سلامتی خاصی ازجمله پروتئین‌ها و اسیدهای چرب را تولید می‌کنند که ازنظر تغذیه‌ای و یا فیزیولوژیکی مطلوب هستند (۲). بااین‌حال باید تأکید کرد که بلع موجودات پروبیوتیک احتمال تولید این متابولیت های سلامتی را نیز در داخل بدن ممکن می‌کند. اثر پروبیوتیکی این میکروارگانیسم‌ها شامل جلوگیری از یبوست در افراد مسن، جلوگیری از اسهال، تحریک سیستم ایمنی، بهبود تحمل لاکتوز، کاهش سطح کلسترول در خون و پیشگیری از سرطان می‌باشد. به‌غیراز این مزایای درمانی، پروبیوتیک‌ها همچنین انسان را از بسیاری از عوامل بیماری زا محافظت می کند. برای مشاهده تأثیری مثبت پروبیوتیک‌ها بر سلامتی، یک‌میزان حداقلی از میکروارگانیسم‌های زنده ضروری است.این میزان بستگی به نژادها (سویه‌های) استفاده‌شده دارد و محدوده تأثیر بر سلامتی که ضروری می‌باشد، بین 10^8 تا 10^{11} Cfu /ml می‌باشد. آن‌ها خواص اصلاح‌کننده علیه بیماری‌های مختلفی مانند سرطان دارند.

پری بیوتیک ها غذاهایی برای باکتری‌های پروبیوتیکی هستند، آن‌ها به‌عنوان مواد غذایی غیرقابل‌هضم یا دیرهضم تلقی می‌شوند که به‌طور انتخابی باعث تحریک رشد یا فعالیت یک یا تعدادمحدودی از باکتری‌های پروبیوتیکی در پس‌روده یا کلون (colon) می‌شوند. این عمل توسط کربوهیدرات‌های قابل تخمیر که غیرقابل‌هضم یا دیرهضم هستند در روده کوچک انجام می‌شود و ترجیحاً باعث تحریک رشد یا فعالیت *bifidobacteria* و برخی باکتری‌های وابسته به باکتری گرم مثبت پروبیوتیکی می‌شوند که

مصرف آنها به انسان‌ها تجویز می‌شوند (۳). کربوهیدرات‌ها از روده کوچک به روده پایینی حرکت کرده، جایی که برای تعدادی از باکتری‌های کولون (روده بزرگ) در دسترس هستند، اما برای اکثریت باکتری‌های حاضر در کلون استفاده نمی‌شوند. لاکتولوز، گالاکتوالیگوساکاریدها، فروکتوزالیگوساکاریدها، اینولین و هیدرولیزهای آن، مالتوالیگوساکاریدها و نشاسته مقاوم، پری بیوتیک‌هایی هستند که معمولاً در تغذیه انسان استفاده می‌شوند. محصولات نهایی اصلی خارج‌شده از سوخت‌وساز کربوهیدرات، اسیدهای چرب زنجیره کوتاه برای مثال استات، بوتیرات و پروپیونات هستند که بیشتر توسط ارگانیسم میزبان به‌عنوان منبع انرژی از آن‌ها استفاده می‌شود. معروف‌ترین الیگوساکاریدها اینولین و هیدرولیزهایش و الیگوفراکتون ها (oligofructans) هستند. آن‌ها را می‌توان در سیب‌زمینی، پیاز، سیر، مارچوبه، کنگر فرنگی، تره‌فرنگی، موز، گوجه و بسیاری دیگر از گیاهان یافت (۳).

الیگوساکاریدهای پری بیوتیکی به سه روش مختلف می‌توانند ساخته شوند. با استفاده از عصاره گیری از مواد گیاهی، سنتز (oligofructans) میکروبیوژیکی یا سنتز آنزیمی و هیدرولیز کردن آنزیمی پلی‌ساکاریدها. در عمل اغلب از ترکیبات مخلوط شده‌ی پری بیوتیک‌ها به‌این‌علت که اثرات هم‌افزایی‌شان را به محصولات غذایی منتقل می‌کنند، استفاده‌شده و بدین سبب به چنین ترکیباتی سینوبیوتیک (synbiotics) گفته می‌شود. تولید پری بیوتیک‌ها در مقیاس صنعتی با چالش‌های مختلفی مواجه می‌شود، چالش‌هایی شامل استفاده از فن‌های جدید و منابع اقتصادی و تولید قیمت پایین. اغلب الیگوساکاریدها با وضعیت پری بیوتیکی، معمولاً با روش‌های آنزیمی از طریق مواد خام ارزانی چون ساکارز، لاکتوز و مشتقات گیاهی به دست می‌آیند. میزان و طبیعت الیگوساکاریدها شکل داده‌شده به ویژگی‌های مختلفی همچون منبع آنزیم و شرایط واکنش‌ها بستگی دارد. با این اوصاف فرایندهای جاری که باعث استخراج الیگوساکاریدها می‌شوند، بازده بسیار کمی دارند، بدین ترتیب پروبیوتیک‌هایی که وابسته به آب دریا و جلبک‌های وابسته به آب شیرین هستند، منابع جایگزین جذابی برای ارتقای رشد *lactobscillus* و *bifidobacterium* spp می‌باشند.

-معرفی سیانوباکتری *اسپیرولینا*

اسپیرولینا یک میکروارگانیسم فوتواتوتروفیک است که به دلیل داشتن مواد مغذی، به‌طور گسترده در طبیعت وجود دارد و توسط انسان‌ها به‌عنوان مکمل غذایی مصرف می‌شوند (۴). زیست‌توده‌ی خشک باکتری *اسپیرولینا* تقریباً حاوی ۳ تا ۷ درصد رطوبت، ۵۵ تا ۶۰ درصد پروتئین ،۶ تا ۸ درصد لیپید، ۱۲ تا ۲۰ درصد کربوهیدرات، ۷ تا ۱۰ درصد خاکستر، ۸ تا ۱۰ درصد فیبر، ۱ تا ۱۵ درصد کلروفیل و طیف وسیعی از ویتامین‌ها می‌باشد. *اسپیرولینا* سرشار از انواع پروتئین‌ها است. پروتئین‌هایی که ازنظر اقتصادی اهمیت بالایی دارند و شامل بیلی پروتئین‌ها هستند که به‌عنوان‌مثال به فیکوسیانین C و آلو فیکوسیانین که رنگ‌دانه‌های آبی این دو پروتئین محلول در آب است می‌توان اشاره کرد (۵). بخش پروتئینی ممکن است دارای۲۰ درصد فیکوسیانین باشد (۶). ترکیب اسیدهای چرب تا حد زیادی تحت تأثیر شرایط محیطی است. ۴۵ تا ۵۰ درصد از چربی های اسپرولینا را اسیدهای چرب اشباع شده و ۵۰ تا ۵۵ درصد از چربی های آن را اسیدهای چرب غیراشباع تشکیل می دهد. حداکثر ۳۰ درصد اسیدهای چرب اسپیرولینا را اسید گاما لینولنیک (Gamma-Linolenic acid) تشکیل می دهد که یک اسید چرب اشباع‌نشده نادر است. از اواخر دهه ۱۹۷۰ ، *اسپیرولینا* به‌عنوان یک ماده غذایی بی‌خطر برای انسان به بازار عرضه و مصرف می‌شود و توسط بسیاری از دولت‌ها، شرکت‌های بهداشتی و انجمن‌های حدود ۸۰ کشور ازجمله ایالات‌متحده و مجارستان برای تغذیه انسان تأییدشده است. *اسپیرولینا* دارای اثرات ضدویروسی، ضدالتهابی و ضد توموری است همچنین باعث کاهش چربی خون، قند خون، وزن بدن و زمان‌ترمیم زخم‌ها در بدن می‌شود. با همه‌ی این خواص، این سیانوباکتری به‌عنوان ماده غذایی و غذایی کاربردی شناخته می‌شوند (۶).

اسپیرولینا در دیواره سلولی خود سلولز ندارد به همین دلیل است یک ماده غذایی مناسب برای بیمارانی است که جذب روده کمی دارند. همچنین برای تغذیه بیماران سالمند مناسب و مهم است. یک پلی ساکارید با وزن مولکولی بالا و با تحریک فعالیت ایمنی از *اسپیرولینا* جداشده و املین (Emmeline) نامیده می‌شود که پلی ساکاریدی باقابلیت انحلال بسیار زیاد در آب است (۶). وزن این ماده خشک

را بین ۰/۵ تا ۲ درصد W/W اندازه‌گیری کرده‌اند. *اسپیرولینا* از گلیکوژن به‌عنوان منبع انرژی اولیه و ذخیره کربن، استفاده می‌کند. *اسپیرولینا* همچنین حاوی مقادیر زیادی از ویتامین‌ها، موادمعدنی (خصوصاً آهن)، اسیدهای چرب ضروری (به‌ویژه اسید گاما لینولئیک)، کاروتنوئیدها و کلروفیل و تعدادی از ترکیبات فعال زیستی کشف نشده است (۷). *اسپیرولینا* چربی خون را کاهش می‌دهد، فشارخون را کاهش می‌دهد، از نارسایی کلیه محافظت می‌کند، باعث رشد لاکتوباسیل روده می‌شود و سطح گلوکز سرم را کاهش می‌دهد (۶). ثابت‌شده است که مصرف *اسپیرولینا* به دلیل ترکیب شیمیایی آن شامل ترکیباتی مانند اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها، رنگ‌دانه‌های طبیعی و اسیدهای چرب، حاوی اسید گاما لینولنیک، هورمون‌های پروستاگلاندین در بدن برای سلامتی مفید است. همچنین گزارش‌شده که *اسپیرولینا* دارای فعالیت ضدمیکروبی است اما باعث رشد باکتری‌های اسیدلاکتیک در شیر تخمیر شده می‌شود (۶).

استفاده از گونه‌های مختلف *اسپیرولینا*، مانند *S. platensis* و *S. maxima* در غذاهایی مانند ماست، اشترودل، ماست پروبیوتیک کاربرد زیادی دارند (۸). *اسپیرولینا* شامل بیشتر از ۱۸ مورد از اسیدهای آمینه، پروتئین‌های باکیفیت بالا، کلسیم زیاد در مقایسه با شیر، ویتامین B_{12} بیشتر در مقایسه با کبد گاو، ویتامینه‌ای E، B_6، B_2، A و K و همچنین مواد معدنی و آنزیم‌ها است (جدول ۱). اسیدهای آمینه با کمیت محدود در *اسپیرولینا* شامل متیونین و سیستئین اند؛ با این حال مقدار آن‌ها بالاتر از غلات ،دانه‌ها، سبزی‌ها و حبوبات و لیزین آن بالاتر از همه سبزی‌ها به‌جز حبوبات است. *اسپیرولینا* اگر بافاصله چند ساعت از غذاهای دیگر خورده شود، مکمل پروتئینی گیاهی است و کیفیت اسیدآمینه را افزایش می‌دهد (۶)

تقریباً همه نیازهای اسیدآمینه‌ای ضروری روزانه، برای یک مرد بزرگ‌سال معمولی، فقط با استفاده از ۳۶ گرم *اسپیرولینا* در حدود چهار قاشق غذاخوری تأمین می‌شود. آهن شایع‌ترین کمبود مواد معدنی در سراسر جهان است؛ به‌ویژه برای زنان، کودکان و افراد مسن. خانم‌هایی که رژیم‌های لاغری می‌گیرند، به‌طورمعمول آهن کافی دریافت نمی‌کنند و دچار کم‌خونی (آنمی) می‌شوند. این عنصر معدنی برای تولید گلبول‌های قرمز خون و سیستم ایمنی سالم ضروری است. *اسپیرولینا* یک ماده غذایی غنی از آهن است که به‌راحتی توسط بدن انسان جذب می‌شود. رنگ‌دانه آبی فیکوسیانین، مولکول‌های محلولی را با آهن و سایر مواد معدنی در حین هضم تشکیل می‌دهد که باعث می‌شود این عنصر راحت‌تر در دسترس قرار گیرد (۵). بنابراین، آهن موجود در *اسپیرولینا* بیش از دو برابر آهن موجود در سبزی‌ها قابل‌جذب است؛ *اسپیرولینا* همچنین منبع غنی از کاروتنوئیدها است و شامل پرو ویتامین A است (۹). در کشورهای درحال‌توسعه مانند هند، سوءتغذیه و کمبود ویتامین A در بین کودکان پیش‌دبستانی هنوز یک چالش عمده بهداشت عمومی است. مسئله مهم دیگری که بر سلامت تغذیه‌ای کودکان پیش‌دبستانی تأثیر می‌گذارد، اسهال در اکثر مناطق روستایی هند است. گزارش‌شده است که ماست یک محصول غذایی مهم است که می‌تواند در مقابله با بروز اسهال در کودکان پیش‌دبستانی کمک کند. ماست *اسپیرولینا* ترکیبی منحصربه‌فرد از مزایای پروبیوتیک و افزایش کاروتنوئیدها برای مبارزه با اسهال و کاهش ویتامین A در کودکان پیش‌دبستانی، به‌ویژه در مناطق روستایی است (۸).

جدول ۱- جدول اثرات درمان‌کنندگی و مواد مغذی موجود در *اسپیرولینا* را نشان می‌دهد (۶).

مواد مغذی	اثرات درمانی
آنتی‌اکسیدان، محلول در چربی	کاهش کلسترول خون
کاروتنوئیدها، و محلول در آب	کاهش قند خون و کنترل بیماری دیابت
ویتامینه‌ای k،E،A،B_{12}،B_8،B_6،B_2	کاهش چربی خون
مواد معدنی مثل Fe و Ca	کاهش نارسایی قلبی
سطح بالای باارزش آمینواسیدها و پروتئین‌ها	کاهش کم‌خونی
کربوهیدرات‌ها	کاهش فشارخون
فیبرها	اثرات ضد توموری
اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع	اثرات ضدویروس

-محصولات لبنی غنی‌شده با *اسپیرولینا*

امروزه استفاده از محصولات شیر تخمیر شده یا ماست، ازنظر پروبیوتیک‌هایی که به‌عنوان میکروارگانیسم‌های زنده، باکتری‌ها یا مخمرهایی که مزایای سلامتی (خواص

درمانی) را برای میزبان فراهم می‌کند، در اولویت قرار دارند (۷). پروبیوتیک‌ها، قابلیت هضم مواد غذایی و استفاده در سوخت‌وساز بدن را بهبود می‌بخشند و با تولید اسیدهای چرب فرار به‌طور غیرمستقیم، ریز پرزهای روده را اصلاح می‌کنند (۸).

برخی از جلبک‌ها، به دلیل در دسترس بودن و ارزش غذایی بالا، بستر مناسبی برای تولید غذاهای تخمیر شده محسوب می‌شوند. بسیاری از محصولات تخمیرشده و متنوع شامل پودرها و نوشیدنی‌ها، با استفاده از جلبک‌های دریایی و ریز جلبک‌هایی مانند *Chlorella* و *Dunaliella* و Spirulina و گونه‌های مختلف *Arthrospira* ساخته می‌شوند (۴). در مقایسه با مطالعات متعددی که در مورد نقش جلبک‌ها در تخمیر صورت گرفته است، افراد کمتری در مورد سیانوباکتری‌ها کار می‌کنند (۱۰).

محصولات لبنی تخمیر شده دارای میکروارگانیسم‌های مفید پروبیوتیک هستند و پروبیوتیک‌ها، روده انسان را تقویت می‌کند. حداقل مقدار باکتری‌های پروبیوتیک در زمان مصرف 10^6–10^5 Cfu/ml است و 10^8 –10^6 Cfu/ml مقدار کافی در زمان مصرف است. مواردی که بر زنده‌بودن و افزایش تعداد پروبیوتیک‌ها در شیرهای تخمیری تأثیر می‌گذارد شامل اکسیژن، مواد مغذی، فاکتورهای رشد، مواد افزودنی خوراکی، استفاده از فناوری‌های جدید مانند میکروکپسولاسیون و فرمولاسیون است (Microencapsulation and formulation) (۱۰).

ماست، ماده غذایی غنی، از رایج‌ترین ماده‌های غذایی و محبوب‌ترین خوراک تهیه‌شده از شیر تخمیر شده در سراسر جهان است. ماست از طریق تخمیر شیر تازه یا شیر تولیدشده از شیر خشک، با باکتری‌های اسیدلاکتیک به دست می‌آید و به دلیل اثرات آن در بهبود محیط روده، سیستم گوارش و تقویت ایمنی بدن، توسط مشتریان ترجیح داده می‌شود (۱۱). افزودن باکتری‌های پروبیوتیک به ماست، عملکرد و فواید آن را برای سلامتی بهبود می‌بخشد و فلور روده را با باکتری‌های اسیدلاکتیک غنی می‌کنند. بنابراین، با فرض مصرف روزانه ۱۰۰ گرم از محصولات لبنی تخمیری، آن‌ها باید این کار را انجام دهند. محصولات تخمیری باید حاوی 10^6 تا 10^9 Cfu/ml از این باکتری‌های زنده در زمان مصرف باشند (۸).

در ارگانیسم‌های مختلف پروبیوتیک، جنس بیفیدوباکتریوم به‌طور گسترده در محصولات لبنی تخمیر شده موردمطالعه قرارگرفته و فواید سلامتی ناشی از مصرف بیفیدوباکتریوم به‌خوبی اثبات‌شده است (۳). تعدادی از مطالعات نشان داده که زنده ماندن بیفیدوباکتریوم های گنجانیده شده در ماست اغلب ضعیف است. درمجموع ۵۸ محصول پروبیوتیک به‌دست‌آمده در سراسر جهان وجود دارد، که ادعا می‌کردند حاوی سویه‌های بیفیدوباکتریوم هستند. نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که بیفیدوباکتریوم لاکتیس بیشترین گونه یافت شده بود. محققان، سطح، گونه و مقاومت در برابر اسیدیته و استرس اکسیداتیو بیفیدوباکتریوم را بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که بیفیدوباکتریوم لاکتیس، تنها گونه بیفیدوباکتریوم موجود در ماست‌های سنتی است که در برابر اسیدیته و استرس اکسیداتیو بسیار مقاوم است (۱۰). برخی از این سویه‌ها متابولیت‌های تقویت‌کننده خاصی ازجمله پروتئین‌ها و اسیدهای چرب را تولید می‌کنند که ازنظر تغذیه‌ای و یا فیزیولوژیکی مطلوب هستند و احتمال تولید متابولیک‌های باارزش را در بدن انسان افزایش می دهد. درواقع ماست و به‌ویژه ماست‌های پروبیوتیک با تأمین مواد مغذی طبیعی و غنی‌سازی میکروبیوتای روده به‌سلامت کمک می‌کنند. این ماده غذایی منجر به مقاومت بیشتر در برابر عفونت‌ها، تحریک سیستم ایمنی بدن و جذب بهتر مواد معدنی و لاکتوز می‌شود. فعالیت پروبیوتیک برخی از سویه‌ها با توانایی کلون سازی (Colonize) در تقویت اپیتلیوم روده برای ایجاد ثبات در میکرو فلور روده، به‌ویژه پس از درمان با آنتی‌بیوتیک، به اثبات رسیده است (۱۱)، تحقیقات بسیاری بر پروبیوتیک‌ها در سال‌های اخیر با افزودن *Lactobacillus acidophilus, bifidobacteria*، *Lactobacillus casei, Lactobacillus rhamnosus* و *Lactobacillus reuteri* به محصولات لبنی تخمیر شده مانند ماست انجام‌شده است. پس از مصرف، اعتقاد بر این است که این محیط‌های کشت پروبیوتیک نقش مهمی در سیستم روده در برابر برخی از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا مانند *Helicobacter pylori, Salmonella typhi, Yersinia enterocolitica* دارند (۱۲).

مصرف عمومی محصولات لبنی و به‌ویژه محصولات لبنی پروبیوتیک طی سال‌های گذشته به دلیل تأثیرات مطلوب بر سلامتی انسان‌ها که توسط متخصصان تغذیه و پزشکان

گواهی‌شده است، به بعد جدیدی رسیده است (۴). محصولات غذایی حاوی پروبیوتیک را می‌توان به‌عنوان غذاهای عملکردی دسته‌بندی کرد و این مواد همراه با پری بیوتیک‌ها بزرگ‌ترین بخش بازار مواد غذایی کاربردی در اروپا، ژاپن و استرالیا را تشکیل می‌دهند (۱۳).

محققان، نقش زیست‌توده *اسپیرولینا* را در کشت‌های مختلف بررسی کردند. آن‌ها زیست‌توده *اسپیرولینا* را به کشت‌های *Lactobacillus* و *Streptococcus* اضافه کردند و درنهایت حدود ۱۰ ساعت پس از انجام تخمیرهای طبیعی، افزایش تعداد باکتری‌ها را که منجر به افزایش غلظت زیست‌توده شد را مشاهده کردند. در آزمایشی دیگر ماده جداسازی شده از کشت *اسپیرولینا* را به کشت‌های مختلف اسیدلاکتیک که به مدت ۲۴ ساعت تخمیر می‌شدند اضافه کردند، درنهایت اضافه شدن این ماده باعث رشد انواع باکتری‌ها در این کشت‌ها شد. سپس محققان، زیست‌توده *اسپیرولینا* را در غلظت‌های مختلف، به شیر اضافه کرد و سپس سوسپانسیون حاصل از آن را، با ترکیبی از لاکتیک اسید باکتری‌ها تخمیر کردند. چندین محقق دیگر، اثر زیست‌توده *اسپیرولینا* را بر محصولاتی مانند ماست پنیر و شیر تخمیر شده آزمایش کرده‌اند که نتایج آن مثبت بود. نتایج آزمایش شامل افزایش باکتری‌های اسیدلاکتیک و بهبود در کیفیت تغذیه‌ای، در محصول تخمیر شده در طول مدت ذخیره‌سازی بود (۱۴). به‌عنوان‌مثال، پارادا و همکاران، اثرات *اسپیرولینا* را بر روی باکتری‌های اسیدلاکتیک در محیط آزمایشگاه موردمطالعه قراردادند و آشکار کردند که *اسپیرولینا* به‌عنوان یک محرک رشد آزمایشگاهی عمل می‌کند (۱۵). همچنین محققان *اسپیرولینا* را به فرمولاسیون ماست اضافه کردند و زیست پذیری باکتری‌های پروبیوتیک را در طول تخمیر و نگهداری مطالعه کردند. آن‌ها گزارش دادند که *اسپیرولینا* می‌تواند جمعیت *Lactobacillus acidophilus* (باسیل سازنده اسیدلاکتیک از شیر) و *Bifidobacteria* را افزایش دهد (۱۶). علاوه بر این، محققان اثر پودر *اسپیرولینا* را در پنیر پروبیوتیک فتا برای ارزیابی تعداد باکتری‌های لاکتیک بررسی کردند (۱۷). جمعیت *Lactobacillus acidophilus* و همچنین خصوصیات تغذیه‌ای پنیر در طی نگهداری در یخچال موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که محتوای آهن و پروتئین پودر *اسپیرولینا* موجب افزایش زمان زنده ماندن *Lactobacillus acidophilus* گردید (۱۲).

علاوه بر آن محققان در سال ۲۰۱۰ اثر زیست‌توده خشک را بر روی پروبیوتیک‌های ماست و شیر اسیدی مطالعه کردند (۱۸). انگیزه اصلی این مطالعه بررسی تأثیر *اسپیرولینا* خشک بر ماست ساده و ماست حاوی لاکتوباسیلوس‌اسیدوفیلوس در زمان نگهداری در یخچال بود. همه نمونه‌ها در شرایط استریل در آزمایشگاه تهیه شدند. مقدار پودر *اسپیرولینا* به ترتیب ۰/۵ و ۱ درصد وزنی/ حجمی گرفته شد. pHو اسیدیته نمونه در ۴ درجه سانتی‌گراد ذخیره‌سازی و کنترل شد. توانایی زنده ماندن نمونه‌ها در ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ روز در ذخیره‌سازی بررسی شد و درنهایت میزان ماندگاری ماست ساده و ماست حاوی *Lactobacillus delbrueckii* بررسی شد. درنهایت نمونه‌های بدون *اسپیرولینا* ماندگاری کمتری را نشان دادند؛ اما هیچ اختلاف معناداری در نمونه‌های یک درصد غلظت پودر *اسپیرولینا با* نمونه‌های بدون *اسپیرولینا* مشاهده نشد، درحالی‌که تفاوت آشکاری در زنده ماندن باکتری‌ها بین نمونه‌های حاوی *اسپیرولینا* و بدون *اسپیرولینا* وجود داشت. به‌غیراز این تفاوت، تفاوت عمده‌ای بین نمونه‌های غنی‌شده با پودر *اسپیرولینا* وزنی/ حجمی ۰/۵ و ۱ درصد مشاهده نشد (۱۲).

در تحقیقی تأثیر پودر *اسپیرولینا* را روی باکتری‌های شیر تخمیر شده بررسی کردند. ابتدا شیر غنی‌شده و غیر غنی‌شده حاوی *Acidophilus-bifidus-thermophilus* تخمیر شده توسط کشت‌های استارتر دارای *Lactobacillus acidophilus*, bifidobacteria و *Streptococcus thermophilus* تولید شد. نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در گرم‌خانه نگهداری شدند. نتایج نشان داد که پودر *اسپیرولینا* تأثیر مفیدی در بقای کشت استارتر (ABT) *Acidophilusbifidus thermophiles* داشت (۱۹)؛ به دلیل افزودن زیست‌توده سیانوباکتری اسیدآمینه، ویتامینه‌ای ضروری و اسیدهای چرب موجود در شیر بهبود یافت (۷).

محققان در مطالعه ای از سه گرم پودر *اسپیرولینا* را در تولید اسید و رشد باکتری *Lactobacillus plantarum* و *Enterococcus faecium starins* مطالعه کردند. نتایج، تحریک در تولید اسید و افزایش میزان رشد *E.plantarum* و *E.faecium* را نشان داد ($p<۰/۵$). درواقع نتایج نشان داد که

این ماده برای تولید مقرون‌به‌صرفه غذاهای تخمیر شده مناسب است و تولید سریع اسید از رشد میکروارگانیسم‌های نامطلوب جلوگیری می‌کند. در این مطالعه، ثابت شد که *L. plantarum* کمی اسیدی‌تر *از E. faecium* است زیرا pH محصولات بین 5/15، 5/34 و 4/62 کنترل می‌شد (۴).

مطالعه دیگری توسط موکانو و همکاران در سال ۲۰۱۳ انجام شد که هدف آن بررسی تأثیر زیست‌توده *اسپیرولینا* بر ریزفلور محصولات تخمیر شده بود. شیرها با استفاده شیر خشک و کشت باکتری استارتر *Bifidobacterium animalis* ssp *lactia* و *Lactobacillus acidophilus*تولید شدند و حدود 0/5 و ۱ درصد پودر *اسپیرولینا* به این محصولات اضافه شد. محصولات نهایی به مدت ۱۵ روز در دمای ۵± ۱ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس اسیدیته، pH، سینرزیس (Syneresis)، میزان ظرفیت نگهداری آب و میزان ویسکوزیته نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. با توجه به تخمیر لاکتوز، اسیدیته در طی دوره انکوباسیون به‌سرعت در حال افزایش بود. بیشترین میزان تیتراسیون اسیدیته در ریز جلبک ۱ درصد به همراه *Bifidobacterium animalis ssp lactia* به دست آمد (۲۰). علاوه بر آن در تمام مواردی که به آن‌ها ریز جلبک اضافه‌شده بود، میزان نگهداری آب در پایان ذخیره‌سازی به 13/39درصد کاهش یافت و حداکثر تعداد زنده *Bifidobacterium animalis ssp lactia* در دوره نگهداری $۱۰^۷$ × ۳۳ Cfu / ml اندازه‌گیری گردید (۲۱).

در مطالعه (۱)، اثر *اسپیرولینا* در غلظت در ماست پروبیوتیک مطالعه شد و پارامترهای مختلف مانند pH، اسیدیته قابل تیتراسیون و پتانسیل اکسایش و کاهش زنده ماندن باکتری‌ها در طول تخمیر و ذخیره‌سازی باکتری‌های پروبیوتیک در ۲۸ روز در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد ارزیابی گردید. ترکیب باکتری‌های پروبیوتیک ماست، *Lactobacillus acidophilus LA-6* و *Bifidobacterium lactis BB-12* و *Lactobacillus delbrueekii ssp* بود. مطالعه نمونه‌های تیمار شده با *اسپیرولینا* نشان داد کاهش pH کندتر، افزایش اسیدیته سریع‌تر، زمان کم‌آبی طولانی‌تر و اسیدیته نهایی بیشتر می‌شود. غنی‌سازی یک‌درصدی زیست‌توده جلبکی، نتایج بهتری را در نمونه‌های تلقیح شده از هر دو میکروارگانیسم پروبیوتیک نشان داد. علاوه بر آن نشان داده شد که تا پایان ذخیره‌سازی در نمونه غنی‌شده ۰/۵ درصد، تعداد باکتری بیش از $۱۰^۷$ Cfu در هر میلی‌لیتراست. نتایج حاصل از ارزیابی ارگانولپتیک، نشان داد که افراد طعم را نامطلوب حس می‌کنند، علتِ این مقدار کم به دلیل اکسیداسیون اسید چرب اشباع‌نشده و وجود مواد معدنی به‌عنوان پراکسیدانت است. تغییر رنگ از سبز به آبی و مشاهده دانه‌های ایجادشده توسط ذرات جلبک نامحلول یکی دیگر از دلایل بود. بنابراین، کمترین امتیاز را برای احساس بافت دردهان گزارش کردند. تحقیقی برای استفاده از زیست‌توده *S. platensis* غنی‌شده با عناصر کمیاب برای تولید شیرهای تخمیرشده و تحریک تولید اسید و سرعت رشد لاکتیک اسید باکتری‌ها (LAB) Lactic acid bacteria انجام شد. محیط کشت‌ها با میکروارگانیسم‌های ssp *delbrueckii* و *bulgaricus CH2* و *L. acidophilus La-5* و *Bifidobacteria bifidum B12* و *CH1 thermophiles* تهیه شدند، سپس اثر ۳ گرم بر لیتر *اسپیرولینا* را در شیر همراه با عناصر کمیاب مشاهده و بررسی شد. اجزای زیست‌توده سیانوباکتری حاوی ید، زینک، سلنیوم، ویتامینه‌ای (B کمپلکس، C، A و E) بود. در آزمایش میزان تلقیح باکتری *Bifidobacteria bifidum B12*برابر ۱درصد (v/v) بود. *Streptococcus thermophilus* و *L. bulgaricus* در دمای ۴۲/۵ درجه سانتی‌گراد تلقیح شدند، درحالی‌که *L. acidophilus* و *Bifidobacteria* در ۳۷/۶ درجه سانتی‌گراد تلقیح شدند. pH بافاصله ۱ ساعت بررسی شد و ترکیبات نیتروژن دار (پپتون، آدنین، هیپوگزانتین) آزمایش شدند. نتایج نشان داد که ریز جلبک‌ها تأثیر مثبتی بر روی چهار سویه کشت آغازگر دارند (۲۰). اثر *اسپیرولینا* بر روی *Streptococcus thermophilus* طی ۲-۶ ساعت تخمیر بررسی شد و نتیجه‌گیری شد که به دلیل وجود عنصر کمیاب و اجزای نیتروژن دار (ازت) همراه با ویتامین‌ها، تأثیر زیادی روی *L. bulgaricus* دارد. در مورد *L. acidophilus*، پپتون و ویتامین‌ها از همه مواد مؤثرتر بودند؛ ویتامین E و سلنیوم تولید اسید را مهار می‌کنند، اما در باکتری *Bifidobacteria bifidum B12* فقط پپتون، تولید اسید را به سطح رضایت‌بخشی افزایش می‌دهد. نتایج نشان داد وقتی‌که *L.bulgaricus* یا *L. acidophilus* با *Bifidobacteria bifidum* مخلوط شد، موجب افزایش در رشد لاکتوباسیل های میله‌ای می‌شود.

در مطالعه دیگری، تغییرات تولید اسید توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک مزوفیل رشد یافته در شیر موردمطالعه قرار گرفت (۱۶). نمونه‌های شیر غنی‌شده با *اسپیرولینا* در غلظت‌های مختلف (۰، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۸ درصد) به میزان ۱ درصد با سویه‌های باکتری‌های اسیدلاکتیک مزوفیل مورد آزمایش قرار گرفتند. pH در فواصل منظم بررسی شد. نتیجه مطالعه نشان داد که غلظت *اسپیرولینا* برافزایش اسیدیته لاکتوکوک ها مؤثر است. زیست‌توده سیانوباکتری مورداستفاده در غلظت ۰/۸ درصد به‌طور قابل‌توجهی ($p<0/05$) اسیدیته را توسط لاکتوکوک بین ساعت ششم و دوازدهم از فرآیند تخمیر افزایش داد. درنهایت خواص ارگانولپتیک مطلوب در فرمولاسیون محصول تهیه‌شده با کشت مخلوط *L. lactic ssp. lactic NCAIM B.*2128 و *L. lactic* ssp *cremoris ATCC* 19257 و همراه باده درصد ساکارز، زیست‌توده *اسپیرولینا* ۰/۳ درصد و پوره توت فرنگی-کیوی ۱/۵ درصد به دست آمد.

در مطالعه دیگری، اثر تحریک‌کننده افزودن *اسپیرولینا* بر رشد باکتری‌های شکل کوکوس موردمطالعه قرار گرفت. این اتفاق به دلیل وجود محصولات خارج سلولی در فاز تأخیری *اسپیرولینا* رخ داد؛ بنابراین پیشنهاد شد که محصولات خارج سلولی که از فاز تأخیری کشت *اسپیرولینا* به دست می‌آید، باعث تحریک زنده ماندن لاکتیک باکتری‌ها می‌شوند (۲۲). در این تحقیق، *اسپیرولینا* به محیط کشت MRS آگار اضافه شد و به‌وسیله آن رشد باکتریایی تمام سویه‌ها افزایش یافت. نتایج نشان داد که اسپیرولینا به‌عنوان یک میکروارگانیسم فوتواتوتروفیک عمل می‌کند که نیتروژن را از محیط کشت مصرف می‌کند و اگزوپلی ساکارید و سایر ترکیبات را که می‌توانند اثر تحریک‌کننده بر LABداشته باشند، آزاد می‌کند. در تحقیق دیگری نتایج نشان داد که افزودن *اسپیرولینا* باعث کاهش pH نمونه ماست می‌شود (۱۲). علت این کاهش اثر *اسپیرولینا* بر *L. bulgaricuss* بود. در تحقیق دیگری، تولید ماست منجمد کم‌چرب و حاوی پروتئین همراه با تفاله پاپایا و *اسپیرولینا* را گزارش کردند. هدف از این مطالعه به دست آوردن ماست منجمد باکیفیت بهتر با غلظت مطلوب *اسپیرولینا* بود. ماست یخزده با ۶٪ *اسپیرولینا* و ۱۰٪ تفاله پاپایا با امتیاز ۶/۸ در ویژگی‌های حسی در بین تمام عملکردها، بهترین نتیجه را یافت. درواقع درنهایت مشخص شد که سطح بالاتر *اسپیرولینا* به‌شدت بر خصوصیات ارگانولپتیک ماست منجمد تأثیر می‌گذارد (۲۱).

-تأثیرات غنی‌سازی ریزجلبک‌ها بر خواص حسی محصولات لبنی تخمیر شده

افزودن ریز جلبک‌ها به شیرهای تخمیر شده می‌تواند خواص حسی نامطلوب را تغییر دهد. محققان گزارش کردند که تیمارهایی که مقادیر بالاتری از *اسپیرولینا* رادارند، دارای خواص حسی ضعیف‌تری نسبت به گروه کنترل‌شده هستند. *اسپیرولینا* در مقایسه با *کلرلا* عطروطعم نامطلوبی از خود نشان داد (۲۳). افزودن ریز جلبک‌ها به ماست بر اساس نوع و غلظت ریز جلبک‌های اضافه‌شده، رنگ ماست را به سبز یا مایل به آبی تغییر داد، که این‌یک ویژگی ظاهری نامناسب بود، که توسط *اسپیرولینا* ایجاد شد. در تیمارهایی دارای ۱ درصد ریز جلبک نامحلول، حالت دانه‌دانه‌ای به وجود آمد. ازنظر بافت تفاوت قابل‌توجهی بین تیمارها وجود نداشت، بااین‌حال، تفاوت ازنظر بافت خوراکی قابل‌توجه بود. به‌طورکلی، تیمارهای کلرلا خواص حسی بهتری نسبت به *اسپیرولینا* داشتند (۲). تفاوت زیادی بین تیمارهای حاوی هر دو ریز جلبک به میزان ۰/۵ تا ۰/۲۵ درصد وجود نداشت. محققان همچنین تهیه‌ی ماست منجمد کم‌چرب و پروپروتئین غنی‌شده با پالپ های میوه پاپایا و *اسپیرولینا* را باهدف یافتن سطح مطلوبی از *اسپیرولینا* که می‌تواند برای به دست آوردن ماست منجمد باکیفیت استفاده شود، مطالعه کردند. ماست منجمد تهیه‌شده با *اسپیرولینا* (۶ درصد) و پالپ پاپایا (۱۰ درصد)، دارای خواص حسی بهتری در مقایسه با سایر تیمارهایی موردمطالعه بود. سطوح بالاتر *اسپیرولینا* بر ویژگی‌های حسی ماست منجمد، تأثیر منفی گذاشت. علاوه بر آن محققان تأثیر افزودن کلرلا را بر خواص حسی پنیر فرآوری شده بررسی کردند (۱۴). بنابراین پنیرهای فرآوری شده با کلرلا و بدون کلرلا تهیه شدند. پنیرها در دمای ۱۰°C، نگهداری شدند. در مقایسه با گروه کنترل، نمرات توصیفی برای رنگ و ویژگی خوراکی پنیر فرآوری شده با کلرلا، بیشتر بود. به‌منظور تهیه‌ی ماست‌های آشامیدنی، انواع جدیدی از ماست‌های نوشیدنی توسط محققان از شیر بدون چربی تهیه شد، که حاوی ۲۵ درصد پودر عصاره‌ی کلرلا و ۲/۵ تا ۱۰ درصد عصاره کلرلا

به‌صورت مایع بود و سپس خواص حسی محصول مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی خواص حسی ماست‌های نوشیدنی حاوی عصاره کلرلا نشان داد که رنگ، طعم، مزه و پذیرش کلی در تیمارهای بدون افزودن عصاره کلرلا نسبت به بقیه نمونه‌ها مقبولیت بیشتری دارد. همچنین امتیازات ماست حاوی ۲۰ درصد الیگوساکارید، ازنظر طعم و خواص حسی، به‌طور معناداری بیشتر از سایر گروه‌ها بود (۲۳).

-اثرات درمانی تغذیه با محصولات پروبیوتیک

میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک نقشی اساسی در رژیم غذایی مدرن انسان دارند (جدول ۲)؛ بنابراین اکنون محققان برای افزایش کیفیت، از ریز جلبک‌ها در محصولات لبنی تخمیر شده استفاده می‌کنند. به‌عنوان‌مثال محققان آزمایشی را برای مشاهده تحریک رشد سه باکتری اسیدلاکتیک *L. acidophilus MTCC447* ،*L. Casei MTCC1423* و *Streptococcus thermophilus MTCC1938* با افزودن زیست‌توده *اسپیرولینا* در مقادیر مختلف، ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر انجام دادند. متوجه شدند که این میکروارگانیسم‌ها در pH=۶/۲، بیشترین میزان رشد رادارند. علاوه بر آن حداکثر رشد در غلظت ۱۰mg/ml *اسپیرولینا* تا ۱۰ ساعت به میزان ۱۴۵/۹۰، ۱۷۱/۶۷ و ۱۸۵/۸۴ درصد به ترتیب در میکروارگانیسم‌های *L. Casei* و *L. acidophilus* و *S. thermophilus* مشاهده شد (۲۲).

محققان پیش‌بینی کردند که هرچه تعداد *Bifidobacterial* و *اسپیرولینا* در طی نگهداری و دوره ورود به سیستم بیشتر باشد، باعث کنترل بیشتر محصولات می‌شود. یکی از دلایل وجود *اسپیرولینا* این است که باعث تحریک تولید اسید در نمونه‌ها می‌شود؛ بنابراین، مقدار pH در آن نمونه کمتر می‌شود. نتایج مشابهی نیز در مطالعات قبلی به دست آمد و حداقل رشد در *S. thermophilus* در ۱۰ mg/ml نمونه *اسپیرولینا* غنی‌شده در مقایسه با سایر باکتری‌های اسیدلاکتیک را نشان داد (۱۵).

مطالعه مشابه در سال ۲۰۱۳ انجام شد. در این مطالعه با افزودن اسفناج در ماست غنی‌شده با *اسپیرولینا* تفاوت را با بقیه نمونه‌ها مشاهده کردند. آن‌ها این اثر را بر تعداد محصولات *L. bulgaricus* و *S. thermophilus* مشاهده کردند. آن‌ها ۰/۳، ۰/۵ و ۸۰ درصد وزنی وزنی *اسپیرولینا* را آماده کردند و آن را به نمونه‌های ماست اضافه کردند. آن‌ها از اسفناج به میزان ۱۰ و ۱۳ درصد وزنی بر وزنی در محصولات غنی‌شده با *اسپیرولینا* استفاده کردند. نمونه‌های ماست در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و در مدت‌زمان ذخیره‌سازی در طی ۱، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز ارزیابی شدند. نتایج تعداد قابل‌قبول باکتری‌های اسیدلاکتیک را در تمام محصولات مکمل *اسپیرولینا* تا پایان زمان ذخیره‌سازی به بیش از ۶ log Cfu/ml ($p\leq0.01$) گزارش کرد. علاوه بر آن نمونه حاوی ۰/۵ درصد وزنی وزنی *اسپیرولینا* و ۱۰ درصد اسفناج به‌عنوان مهم‌ترین عامل دوام *S. thermophilus* نشان داده شد و ماست با ۰/۸ درصد *اسپیرولینا* حداکثر تأثیر را در تعداد باکتری‌های زنده داشت. بر اساس استانداردهای فدراسیون بین‌المللی لبنیات با افزودن دو غلظت اسفناج می‌توان باعث افزایش ۰/۵ درصد *اسپیرولینا* شد و در ارزیابی حسی نمونه‌ها مؤثر بود (۲۱).

در مطالعاتی در سال ۲۰۱۲، محققان در مورد تأثیر *اسپیرولینا* در رشد و تولید اسید (pH) در بسیاری از سویه‌های *lactococcus* و *Leuconostoe* در شیر کارکردند. با بررسی شیر حاوی *اسپیرولینا* کشت‌شده و بررسی تأثیر آن بر میزان زنده ماندن لاکتوکوکوس و سپس با خنک کردن آن دریافتند که استفاده از زیست‌توده *اسپیرولینا* ۰/۳ درصد برای بسیاری از سویه‌های LAB مزوفیل مؤثر بود (۱). ازآنجایی‌که اغلب تعداد *Bifidobacterium* در فراورده‌های لبنی تخمیر شده کم است، محققان اثر اولیگوفروکتوز (Oligofructose)، انسولین، عسل و پودر *اسپیرولینا* را بر روی باکتری‌های پروبیوتیک موجود در شیر در طی تخمیر و هم در یخچال مخصوصاً در میکروارگانیسم *Bifidobacterium* spp بررسی کردند. نتایج نشان داد که زیست‌توده سیانوباکتریایی اثر تحریک‌کننده‌ای بر روی *Bifidobacterium animalism* ssp دارد. درواقع *Bifidobacterium lactis BB-12* با کاهش pH زیست‌توده جلبکی در شیر با نسبت مشابه در مقایسه با شاهد و نمونه کشت، مؤثر گزارش گردید. بااین‌وجود، در مقایسه با شاهد، تغییر قابل‌توجهی در تعداد میکروارگانیسم زنده در شیر گزارش گردید (۵).

جدول ۲- کاربردهای صنعتی بالقوه ریز جلبک‌ها در غذاهای کاربردی بر اساس نوع محصول و ترکیب زیست فعال (۲۴).

جنس / گونه‌ها	تولید - محصول	ارزیابی حسی	فرم تجاری	ترکیب زیست فعال	مزیت سلامتی
Sprirulina sp.	شیر	عطروطعم بهبودیافته است	پودر یا مایع	پروتئین، PUFA، EPA و DHA	کاهش خطر کم‌خونی
Sprirulina sp.	ماست	بافت و ویسکوزیته بهبودیافته	عصاره	فیکوسیانین	ضد سرطان آنتی‌اکسیدان و ضدالتهاب
Sprirulina sp.	پنیر	بافت بهبودیافته	پودر	پروتئین، کربوهیدرات، PUFA	ضد سرطان، کاهش خطر زخم معده، یبوست، کم‌خونی، فشارخون بالا، دیابت، بهبود سو تغذیه نوزاد و اختلالات روانی
Spirulina sp.	نوشیدنی بدون الکل	رنگ و طعم ترش بهبودیافته	پودر یا مایع	پروتئین، کلروفیل، فیکوسیانین	سیستم ایمنی و لنفاوی بهبودیافته، محافظت در برابر سرطان و زخم
Sprirulina sp.	دسرها	بهبود رنگ و ثبات	پودر یا آرد	پروتئین، ویتامین‌ها، مواد معدنی	فعالیت آنتی‌اکسیدانی، جلوگیری از یبوست
Sprirulina sp.	کلوچه و بیسکویت	رنگ، ثبات و بافت بهبودیافته	پودر یا آرد	پروتئین، PUFA، EPA، DHA و آستاگزانتین	فعالیت آنتی‌اکسیدانی
Sprirulina sp.	نان و کلوچه	عطروطعم، بافت و ظاهر بهبودیافته	پودر یا آرد	پروتئین، ویتامین‌ها، مواد معدنی	سطح چربی و کلسترول را کاهش می‌دهد، باعث سیری می‌شود
Spirulina sp.	میسو (miso)	کمی طعم جلبک دریایی است	پودر	پروتئین، ویتامین‌ها، مواد معدنی	فعالیت آنتی‌اکسیدانی
Sprirulina sp.	کوجی (koji)	بدون عطروطعم و بو	پودر	n.a.	بهبود ایمنی و فشارخون
Sprirulina sp.	ژل‌های غذایی گیاهی (Vegetarian food gels)	بهبود رنگ و استحکام	ژل‌ها	PUFA، EPA، DHA، GLA کاروتنوئیدها	فعالیت آنتی‌اکسیدانی
Sprirulina sp.	n.a	n.a	روغن	کاروتنوئیدها	فعالیت‌های ضدمیکروبی و ضدویروسی

n.a. – اطلاعات موجود نیست. EPA: ایکوزاپنتانوئیک اسید، DHA: دوکوزاهگزانوئیک اسید، GLA: گاما لینولنیک اسید، ARA: اسیدآراشیدونیک اسید

بحث و نتیجه‌گیری

در آینده‌ای نزدیک، محصولات مکمل پروبیوتیک جلبکی با هزینه کمتر و احتمال آلودگی کمتر، به‌طور وسیع تولید می‌شود؛ ریزجلبکها منبع غنی از ویتامین، اسیدآمینه و باکتری‌های اسیدلاکتیک می‌باشند و برای حفظ سلامت روده همواره توصیه می شوند. درواقع مصرف منظم *اسپیرولینا* نه‌تنها باکتری‌های اسیدلاکتیک روده را بهبود می‌بخشد، بلکه از رشد بیماری‌های مضر انسانی نیز جلوگیری می‌کند و درنهایت منجر به بهبود جذب روده می‌شود. ترکیب *اسپیرولینا* و باکتری‌های اسیدلاکتیک فرصت جدیدی در رابطه با ارزیابی حسی برای تولیدکننده ایجاد می‌کند. ترکیب این دو با سایر منابع غذایی مانند میوه‌ها و سبزی‌ها می‌تواند غذاهای سالم و خوش‌طعم جدیدی ایجاد کند و علاوه بر ایجاد طعم، رنگ، عطر، بافت و بالا بردن کیفیت برخی از غذاهای تخمیر شده سنتی، این فرصت را برای برخی غذاهای تخمیر شده جدید نیز با همان هزینه به وجود می‌آورد. حتی می‌توان با کشت هم‌زمان جلبک‌ها با میکروارگانیسم‌های تخمیری (غیر از باکتری‌های لاکتیک اسید)، به‌عنوان‌مثال *Saccharomyces cerevisiae* و *Aspergillus niger* مواد غذایی مطلوب‌تری را برای مصرف‌کنندگان ازنظر سلامتی ایجاد کرد.

ملاحظات اخلاقی: کلیه ملاحظات اخلاقی مربوط به نگارش مقالات مروری رعایت گردید.

محدودیت ها: محدودیت اصلی این مطالعه عدم دسترسی به فایل کامل برخی از مقالات بود.

پیشنهادات

این مقاله مروری با تلاش و کوشش نویسندگان در جهت تامین منابع فارسی برای دانشجویان و محققان انجام شده است. پیشنهاد می شود با مطالعه دقیق این مقاله، برای انتخاب موضوع پایان نامه ها و رساله های خود نهایت بهره را ببرند. بدیهی است که تجاری سازی استفاده از ریز جلبکها، افق تازه ای جهت بهبود سلامت مصرف کنندگان مواد غذایی پروبیوتیک در آینده خواهد بود.

میزان مشارکت نویسندگان

مطالعه، تحقیق، تدوین و ترجمه به صورت مساوی توسط نویسندگان انجام شده است.

تضاد منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

حمایت مالی: ندارد

منابع

1. Beheshtipour H, Mortazavian AM, Haratian P, Darani KK. Effects of Chlorella vulgaris and Arthrospira platensis addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties. European Food Research and Technology. 2012;235(4):719-28.
2. Malcata F, Macedo Â, Camacho F. Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: a short review. 2019.
3. Martelli F, Cirlini M, Lazzi C, Neviani E, Bernini V. Solid-state fermentation of Arthrospira platensis to implement new food products: evaluation of stabilization treatments and bacterial growth on the volatile fraction. Foods. 2021;10(1):67.
4. Pina-Pérez MC, Brück W, Brück T, Beyrer M. Microalgae as healthy ingredients for functional foods. The role of alternative and innovative food ingredients and products in consumer wellness: Elsevier; 2019. p. 103-37.
5. Nowruzi B, Sarvari G, Blanco S. Applications of cyanobacteria in biomedicine. Handbook of Algal Science, Technology and Medicine: Elsevier; 2020. p. 441-53.
6. Anvara AA, Nowruzib B. Bioactive Properties of Spirulina: A Review.
7. Gupta S, Gupta C, Garg A, Prakash D. Prebiotic efficiency of blue green algae on probiotics microorganisms. J Microbiol Exp. 2017;4(4):00120.
8. Akalin A, Unal G, Dalay M. Influence of Spirulina platensis biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage. Italian Journal of Food Science. 2009;21(3):357-64.
9. Patel P, Jethani H, Radha C, Vijayendra S, Mudliar SN, Sarada R, et al. Development of a carotenoid enriched probiotic yogurt from fresh biomass of Spirulina and its characterization. Journal of food science and technology. 2019;56(8):3721-31.
10. Kavimandan A. Incorporation of Spirulina platensis into probiotic fermented dairy products. Int J Dairy Sci. 2015;10:1-11.
11. Pan-utai W, Atkonghan J, Onsamark T, Imthalay W. Effect of Arthrospira Microalga Fortification on Physicochemical Properties of Yogurt. Current Research in Nutrition and Food Science Journal. 2020;8(2):531-40.
12. Alizadeh Khaledabad M, Ghasempour Z, Moghaddas Kia E, Rezazad Bari M, Zarrin R. Probiotic yoghurt functionalised with microalgae and Zedo gum: chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics. International Journal of Dairy Technology. 2020;73(1):67-75.
13. Camacho F, Macedo A, Malcata F. Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: A short review. Marine drugs. 2019;17(6):312.
14. Golmakani M-T, Soleimanian-Zad S, Alavi N, Nazari E, Eskandari MH. Effect of Spirulina (Arthrospira platensis) powder on probiotic bacteriologically acidified feta-type cheese. Journal of Applied Phycology. 2019;31(2):1085-94.
15. Parada JL, de Caire GZ, de Mulé MaCZ, de Cano MMS. Lactic acid bacteria growth promoters from Spirulina platensis. International journal of food microbiology. 1998;45(3):225-8.
16. de Caire GZ, Parada JL, Zaccaro MC, de Cano MMS. Effect of Spirulina platensis biomass on the growth of lactic acid bacteria in milk. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2000;16(6):563-5.
17. Mazinani S, Fadaei V, Khosravi-Darani K. Impact of Spirulina platensis on physicochemical properties and viability of Lactobacillus acidophilus of probiotic UF feta cheese. Journal of Food Processing and Preservation. 2016;40(6):1318-24.
18. Güldaş M, Irkin R. Influence of Spirulina platensis powder on the microflora of yoghurt and acidophilus milk. 2010.
19. Varga L, Szigeti J, Kovács R, Földes T, Buti S. Influence of a Spirulina platensis biomass on the microflora of fermented ABT milks during storage (R1). Journal of Dairy Science. 2002;85(5):1031-8.

20. Mocanu G, Botez E, Nistor OV, Andronoiu D, Vlăsceanu G. Influence of Spirulina platensis biomass over some starter culture of lactic bacteria. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies. 2013;19(4):474-9.

21. Fadaei V, Mohamadi-Alasti F, Khosravi-Darani K. Influence of Spirulina platensis powder on the starter culture viability in probiotic yoghurt containing spinach during cold storage. European Journal of Experimental Biology. 2013;3(3):389-93.

22. Niccolai A, Shannon E, Abu-Ghannam N, Biondi N, Rodolfi L, Tredici MR. Lactic acid fermentation of Arthrospira platensis (spirulina) biomass for probiotic-based products. Journal of Applied Phycology. 2019;31(2):1077-83.

23. 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;12(2):144-54.

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

Probiotic properties of *Spirulina*, a review

Norouzi B.

Dept. of Biotechnology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, I.R. of Iran

Abstract

Spirulina is a microalgae of the cyanophyte division, a rich source of organic nutrients. This microalgae is widely used in the food industry as a probiotic and a beneficial food supplement that increases the growth of intestinal probiotic bacteria. Therefore, the purpose of this article is to review the probiotic properties of *spirulina* in human healthcare. *Spirulina* contains proteins (more than 78 percent), vitamins, fat (4-7 percent), minerals, carbohydrates and many micronutrients that have been very healing in the treatment of diseases such as cancer, hypertension, diabetes, anemia, etc. By producing extracellular exopolysaccharides, *Spirulina* not only increases the number and growth of bacteria such as *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*, but also increases bacterial viability and survival in bacteria. Fermented dairy products play a beneficial role in the food industry. The combination of microalgae and probiotics leads to the production of fermented dairy products that not only increase the quality of food, but also increase their nutritional value for consumers by increasing the number and shelf life of probiotic bacteria.

Keywords: prebiotic, probiotic, *Spirulina*, human health, microalgae