تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد۲٤ / شماره /۷٦ / بهار و تابستان/ ۱٤۰۳ /ص : ۱۱٤ - ۹۵

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: مروری

مروری بر کاربرد ریزجلبک‌ها در افزایش ماندگاری باکتری‌های پروبیوتیک

بهاره نوروزی*

*دانشیار گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲

چکیده

سیانوباکتری‌ها، خصوصاً ریزجلبک اسپیرولینا منابع غنی از مواد مغذی آلی هستند که به عنوان مکمل‌های غذایی فراسودمند، موجب افزایش رشد باکتری‌های پروبیوتیکی روده می‌شوند. هدف از این مقاله مروری، بررسی تأثیر افزودن ریزجلبک‌ها در مواد غذایی بر افزایش زمان ماندگاری باکتری‌های پروبیوتیک است. برای نگارش این مقاله، هم از تجربیات و مقالات نویسندگان مقاله و هم از جدیدترین مقالات موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی وب اف ساینس، پاب مد، گوگل اسکولار، اسکاپوس و ساینس دایرکت استفاده گردیده است. *اسپیرولینا* شامل بیش از ۷۸ درصد پروتئین، ویتامین، ٤ 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 باکتری‌های اسیدلاکتیک مانند *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس*، *استرپتوکوکوس ترموفیلوس*، *لاکتوکوکوس لاکتیس*، *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس کازئی* 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 ریزجلبک‌ها و پروبیوتیک‌ها منجر به تولید محصولات لبنی تخمیر شده‌ای می‌شود که نه تنها باعث افزایش کیفیت مواد غذایی می‌شود، بلکه با افزایش تعداد و زمان ماندگاری باکتری‌های پروبیوتیک، ارزش غذایی آنها را برای مصرف‌کنندگان بالا می‌برند.

واژه‌های کلیدی: پری‌بیوتیک، پروبیوتیک، اسپیرولینا، صنایع غذایی

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 / gL است. ماست و سایر شیرهای تخمیر شده با مواد مغذی طبیعی به‌سلامتی کمک کرده و فلور روده را با باکتری‌های اسیدلاکتیک غنی می‌کنند (Beheshtipour *et al.*, 2012). بنابراین، با فرض مصرف روزانه لبنیات حاوی ۱۰۰ گرم، آن‌ها باید در زمان مصرف بین 10^{9} تا 10^{6} Cfu / g 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 (Malcata *et al.*, 2019). بااین‌حال باید تأکید کرد که بلع موجودات پروبیوتیک احتمال تولید این متابولیت های سلامتی را نیز ممکن است در داخل بدن ایجاد کند. اثر پروبیوتیکی این میکروارگانیسم‌ها شامل جلوگیری از یبوست در افراد مسن، جلوگیری از اسهال، تحریک سیستم ایمنی، عدم تحمل لاکتوز، کاهش سطح کلسترول در خون و پیشگیری از سرطان می‌باشد. به‌غیراز این مزایای درمانی، پروبیوتیک‌ها همچنین از بسیاری از عوامل بیماری‌زای انسان

نگارنده مسئول: Email : bahare77biol@gmail.com

http://doi: 10.22092/FOODER.2024.364914.1383

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نیز محافظت می‌کنند. 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 ۱۰^۸ تا ۱۰^۱۱ Cfu /gL می‌باشد. آن‌ها خواص اصلاح‌کننده علیه بیماری‌های مختلفی مانند سرطان دارند.

پری‌بیوتیک‌ها غذاهایی برای باکتری‌های پروبیوتیکی هستند، آن‌ها به‌عنوان مواد غذایی غیرقابل‌هضم یا دیرهضم تلقی می‌شوند که به طور انتخابی باعث تحریک رشد یا فعالیت یک یا تعداد محدودی از باکتری‌های پروبیوتیکی در کلون[1] می‌شوند. این عمل توسط کربوهیدرات‌های قابل تخمیر که غیرقابل‌هضم یا دیرهضم هستند در روده کوچک انجام می‌شود و ترجیحاً باعث تحریک رشد یا فعالیت باکتری‌های بیفیدوباکتریوم‌ها[2] و برخی باکتری‌های وابسته به باکتری گرم مثبت می‌شوند که این باکتری‌ها متعلق به باکتری‌های پروبیوتیکی هستند که به انسان تجویز می‌شوند (Martelli *et al.*, 2021). کربوهیدرات‌ها از روده کوچک به روده پایینی حرکت کرده، جایی که برای تعدادی از باکتری‌های کولون (روده باریک) در دسترس هستند، اما برای اکثریت باکتری‌های حاضر در کلون استفاده نمی‌شوند. لاکتولوز، گالاکتوالیگوساکاریدها، فروکتوزالیگوساکاریدها، اینولین و هیدرولیزهای آن، مالتوالیگوساکاریدها و نشاسته مقاوم، پروبیوتیک‌هایی 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[3] هستند. آن‌ها را می‌توان در سیب‌زمینی، پیاز، سیر، مارچوبه، کنگر فرنگی، تره‌فرنگی، موز، گوجه و بسیاری دیگر از گیاهان یافت (Martelli *et al.*, 2021).

الیگوساکاریدهای پروبیوتیکی به سه روش مختلف می‌توانند ساخته شوند. با استفاده از عصاره گیری از مواد گیاهی، سنتز الیگوفراکتون ها میکروبیوژیکی یا سنتز آنزیمی و هیدرولیز کردن آنزیمی پلی‌ساکاریدها. در عمل اغلب از ترکیبات مخلوط شده‌ی پروبیوتیک‌ها به‌این‌علت که اثرات هم‌افزایی‌شان را به محصولات غذایی منتقل می‌کنند، استفاده شده و بدین سبب به چنین ترکیباتی سین بیوتیک[4] گفته می‌شود. تولید پروبیوتیک‌ها 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 پروبیوتیکی، 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 لاکتوباسیلوس[5] و بیفیدوباکتریوم ها[6] می‌باشند.

- **باکتری‌های پروبیوتیک**

پروبیوتیک‌ها میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند (باکتری یا قارچ) که میزبانشان را از مزایای سلامتی بهره‌مند می‌کنند. آن‌ها این کار را با حفظ یا بهبود تعادل میکروبیِ محیط روده‌ای انجام می‌دهند، اگر به مقدار کافی تجویز شوند. زنده ماندن باکتری پروبیوتیک در مدت تولید و ذخیره

[1] Colon
[2] *Bifidobacteria*
[3] Oligofructans
[4] Synbiotics
[5] *Lactobscillus*
[6] Bifidobacterium spp

در شیرهای تخمیر شده مهم‌ترین موضوع موردبحث در صنعت لبنیات است. افزودن ریز جلبک به شیر برای تولید شیر تخمیر شده به‌منظور افزایش زنده ماندن پروبیوتیک‌ها موضوع تحقیقات اخیر بوده است. *اسپیرولینا* و *کلرلا* مهم‌ترین ریز جلبک برای شیرهای تخمیر شده هستند (Beheshtipour *et al.*, 2013). آن‌ها نه‌تنها بر زنده ماندن پروبیوتیک‌ها در محصول نهایی، بلکه روی ویژگی‌های حسی آن‌ها نیز تأثیر دارند. افزودن ریز جلبک به شیرهای پروبیوتیکِ تخمیر شده همراه با افزایش دوام پروبیوتیک‌ها، ویژگی‌های عملکردی‌شان را افزایش می‌دهد (Pina-Pérez *et al.*, 2019). این به این دلیل است که حاوی مواد موردتوجه‌ی از مواد مغذی و غذا دارو هستند و به‌عنوان "غذای کاربردی" در نظر گرفته می‌شوند (Camacho *et al.*, 2019). گزارش‌های زیادی وجود دارند که پروبیوتیک‌ها بر عفونت‌های دستگاه گوارش، فعالیت ضدمیکروبی و ضدویروسی (Jafari Porzani *et al.*, 2021)، بهبود در متابولیسم لاکتوز، کاهش سطح کلسترول سرم و فشارخون، بهبود جذب مواد معدن، تثبیت مخاط روده، خواص ضد سرطانی، تحریک سیستم ایمنی، خواص ضد اسهال و ضد یبوست، عفونت‌های ادراری تناسلی، بیماری آتوپیک، بهبود بیماری التهاب روده، و سرکوب عفونت *هلیکوباکتر پیلوری* تأثیر بسیار زیادی دارند (Beheshtipour *et al.*, 2012).

گونه‌های خاصی از بیفیدوباکتری‌ها و لاکتوباسیل‌ها مهم‌ترین پروبیوتیک‌های مورداستفاده در محصولات پروبیوتیک هستند و در حال حاضر، بسیاری از انواع این محصولات در بیشتر بازارهای جهانی موجود هستند. برای به دست آوردن مزایای پروبیوتیک، میزان مصرف این باکتری‌ها باید در زمان مصرف زنده و فراوان باشد و این " ماندگاری " نامیده می‌شود. گرچه هیچ توافق جهانی در سطوح توصیه‌شده حاصل نشده است، اما به‌طورکلی مقادیر 10^6 CUF/ml یا 10^7 یا 10^8 CUF/ml به‌عنوان حداقل و سطح رضایت‌بخش پذیرفته‌شده‌اند. بااین‌حال، یک عامل اصلی در تولید شیرهای پروبیوتیک تخمیر شده، افزایش دوام پروبیوتیک در طول فرآیند تخمیر و همچنین در مدت ذخیره در یخچال است. عوامل متعددی که بر دوام کشت‌های پروبیوتیک در شیرهای تخمیر شده تأثیر می‌گذارند به شرح زیر است: pH، اسیدیته قابل تیتر[1] وجود سایر میکروارگانیسم‌ها، دما، میزان اکسیژن، مواد مغذی و فاکتورهای رشد، استفاده از فن‌آوری‌های جدید مانند میکروکپسولاسیون[2] و فرمول‌بندی محصولات[3] (Beheshtipour *et al.*, 2012).

اخیراً، مطالعاتی برای افزودن ریزجلبک‌ها (زیست‌توده‌ی سیانوباکتریوم) به شیرهای تخمیر شده به‌منظور افزایش ویژگی‌های عملکردی محصول از طریق ارتقای زنده ماندن پروبیوتیک‌ها و همچنین افزایش خصوصیات تغذیه‌ای آغازشده است. *اسپیرولینا* و *کلرلا*، ریزجلبک‌های سبز_آبی هستند که حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بالا، اسیدآمینه‌های فراوان، پروتئین‌هایی باکیفیت بالا، Fe و Ca، اسیدهای چرب اشباع‌نشده و انواع مختلفی از ویتامین‌ها شامل E , B_{12}, B_8, B_6, B_2, A و K هستند (Anvara & Nowruzib)(Nowruzi *et al.*, 2024). این ترکیبات دارای اثرات ضدویروسی (*Jafari Porzani et al.*, 2021)، ضدالتهابی و ضد توموری هستند و باعث کاهش مشخصات چربی خون، قند خون، وزن بدن و زمان‌ترمیم زخم می‌شوند. بنابراین آن‌ها به‌عنوان غذای درمانی و کاربردی شناخته می‌شوند (Camacho *et al.*, 2019). درواقع مشارکت ریزجلبک‌ها و پروبیوتیک‌ها باعث تحریک رشد و افزایش زنده ماندن و تولید اسید باکتری‌های پروبیوتیک

[1] Titratable acidity
[2] Microencapsulation
[3] Formulation of products

می‌شود. از طرف دیگر ریزجلبک‌های موجود در شیرهای تخمیر شده بر خواص حسی محصول نهایی تأثیر می‌گذارند (Beheshtipour *et al.*, 2012).

- **منابع غنی 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 (Pina-Pérez *et al.*, 2019). 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 (جدول ۱) (Nowruzi *et al.*, 2020a). بخش پروتئینی ممکن است دارای۲۰ درصد فیکوسیانین باشد(Valikboni *et al.*, 2024) (Anvara & Nowruzib). ترکیب اسیدهای چرب تا حد زیادی تحت تأثیر شرایط محیطی است. *اسپیرولینا* حاوی ۴۵ تا ۵۰ درصد اسیدهای چرب اشباع‌شده و ۵۰ تا ۵۵ درصد اسیدهای چرب اشباع‌نشده است. حداکثر ۳۰ درصد اسیدهای چرب اسید گاما لینولنیک[1] هستند که اسید لینولنیک یک اسید چرب اشباع‌نشده نادر است که اگر سویه‌های سودمند *اسپیرولینا* را با یک روش فرآوری کارآمد با حداقل یک درصد اسید گاما-لینولنیک تولید کنند دارای خواص دارویی 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 سیانوباکتری‌ها به‌عنوان ماده غذایی و غذایی کاربردی شناخته می‌شوند (Anvara & Nowruzib).(Grosshagauer *et al.*, 2020)

جدول ۱: نمونه‌هایی از کاربردهای تجاری ریزجلبک‌ها در غذا و خوراک (Camacho *et al.*, 2019)
Table 1. Examples of commercial applications of microalgae in food and feed

جنس / گونه‌ها Genus/Species	محصول اصلی Main Product	فواید محصول Product benefits
Arthrospira plantensis	فیکوسیانین Phycocyanin	مواد غذایی و مکمل رنگی Food colorant and supplement
Chlorella vulgaris	لوتئین Lutein	مکمل غذایی Food supplement
Dunaliella salina	بتا-کاروتن _-carotene	رنگ‌دهنده و مکمل غذایی Food colorant and supplement
Haematococcus Pluvialis	آستاگزانتین Astaxanthin	مکمل غذایی Food supplement
Labosphaera incisa	ARA	مکمل غذایی Food supplement
Nannochloropsis sp.	EPA و DHA(امگا3-)	مکمل غذایی Food supplement
Euglena gracilis	پارامیلون / خطی، بتا -۱،۳-گلوکان Paramylon/Linear beta-1,3-glucan	مکمل غذایی Food supplement
Phaeodactylumtricornutum	EPA، فوکوکسانتین EPA , Fucoxanthin	مکمل غذایی Food supplement

[1] Gamma-Linolenic acid

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[1] نامیده می‌شود که پلی ساکاریدی باقابلیت انحلال بسیار زیاد در آب است (Khan *et al.*, 2005)(Anvara & Nowruzib). وزن این ماده خشک رابین 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 (Gupta *et al.*, 2017). *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 (Anvara & Nowruzib) (Kulshreshtha *et al.*, 2008). 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 (Anvara & Nowruzib)(Shah *et al.*, 2024).

استفاده از گونه‌های مختلف *اسپیرولینا*، مانند *اسپیرولینا پلتنسیس* و *اسپیرولینا ماکسیما* در غذاهایی مانند ماست، اشترودل، ماست پروبیوتیک کاربرد زیادی دارند (Akalin *et al.*, 2009). *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 ۲). اسیدهای آمینه محدود *اسپیرولینا*، متیونین و سیستئین اند؛ اما همچنان مقدار آن‌ها بالاتر از غلات ،دانه‌ها، سبزی‌ها و حبوبات و لیزین آن بالاتر از همه سبزی‌ها به‌جز حبوبات است. *اسپیرولینا* اگر بلافاصله چند ساعت از غذاهای دیگر خورده شود، مکمل پروتئینی گیاهی است و کیفیت اسیدآمینه را افزایش می‌دهد (Ahda *et al.*, 2024)(Anvara & Nowruzib).

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 قوی 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 (Nowruzi *et al.*, 2020a). 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 (Patel *et al.*, 2019). 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، حملات مکرر اسهال در مناطق روستایی هند مشخص‌شده است. گزارش‌شده است

[1] Emmeline

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 (Akalin *et al.*, 2009). ترکیب باکتری‌های پروبیوتیک *اسپیرولینا* در محصولات شیر تخمیر شده، خواص عملکردی و تغذیه‌ای محصول را افزایش می‌دهد؛ بنابراین زیست‌توده *اسپیرولینا* می‌تواند، به‌عنوان یک ماده غذایی مهم برای تهیه فراورده‌های شیر/ماست تخمیر شود تا از اثرات محرک رشد آن بر باکتری‌های پروبیوتیک بهره‌مند شد (Anvara & Nowruzib)(Ahda *et al.*, 2024).

جدول ۲: جدول اثرات درمان‌کنندگی و مواد مغذی موجود در اسپیرولینا را نشان می‌دهد (Camacho *et al.*, 2019)

Table 2: The table shows the therapeutic effects and nutrients in spirulina.

اثرات درمانی **Therapeutic effects**	مواد مغذی **Nutrients**
کاهش کلسترول خون Lowering blood cholesterol	آنتی‌اکسیدان، محلول در چربی Antioxidant, fat soluble
کاهش قند خون و کنترل بیماری دیابت Reducing blood sugar and controlling diabetes	کاروتنوئیدها، و محلول در آب Carotenoids, and soluble in water
کاهش چربی خون Decrease blood fat	ویتامین‌های B_2،B_6،B_8،B_{12}،A،E،k Vitamins B2, B6, B8, B12, A, E, k
کاهش نارسایی قلبی Reduce heart failure	مواد معدنی مثل Fe و Ca Minerals such as Fe and Ca
کاهش کم‌خونی Reducing anemia	سطح بالای باارزش آمینواسیدها و پروتئین‌ها High level of valuable amino acids and proteins
کاهش فشارخون Lower blood pressure	کربوهیدرات‌ها Carbohydrates
اثرات ضد توموری Antitumor effects	فیبرها Fibers
اثرات ضدویروس Antiviral effects	اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع Saturated and unsaturated fatty acids
اثرات ضد آلرژیک Anti-allergic effects	
افزایش سطح ایمنی Increase the level of safety	
کنترل استرس stress control	
اثر محافظتی در برابر مواد شیمیایی Protective effect against chemicals	

- **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 (Gupta *et al.*, 2017). 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 (Akalin *et al.*, 2009).

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 *کلرلا*، *دونالیلا* و *اسپیرولینا* و گونه‌های مختلف اسپیرولینا ساخته می‌شوند (Pina-Pérez *et al.*,

2019). در مقایسه با مطالعات متعددی که در مورد نقش جلبک‌ها در تخمیر صورت گرفته است، افراد کمتری در مورد سیانوباکتری‌ها کار می‌کنند (Kavimandan, 2015). محصولات لبنی تخمیر شده دارای میکروارگانیسم‌های مفید پروبیوتیک هستند و پروبیوتیک‌ها، روده انسان را تقویت می‌کند. حداقل مقدار باکتری‌های پروبیوتیک در زمان مصرف ۱۰۶-۱۰۵ Cfu میلی‌لیتر است و ۱۰۸ -۱۰۶ 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[1] است (Kavimandan, 2015). ماست، ماده غذایی غنی است و یکی از رایج‌ترین ماده‌های غذایی ست 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 (Pan-Utai *et al.*, 2020)، 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 ۴۷۵ باکتری یعنی بین ۱۰۶ تا ۱۰۹ Cfu /g از این باکتری‌های زنده در زمان مصرف باشند (Akalin *et al.*, 2009).

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 (Martelli *et al.*, 2021). 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 (Kavimandan, 2015). برخی از این سویه‌ها متابولیت‌های تقویت‌کننده خاصی ازجمله پروتئین‌ها و اسیدهای چرب را تولید می‌کنند که ازنظر تغذیه‌ای و یا فیزیولوژیکی مطلوب هستند. بااین‌حال، باید تأکید کرد که خوردن پروبیوتیک‌ها ممکن است احتمال انجام متابولیک‌های باارزش را در بدن انسان افزایش 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[2] در تقویت اپیتلیوم روده برای ایجاد ثبات در میکرو فلور روده، به‌ویژه پس از درمان با آنتی‌بیوتیک، به اثبات رسیده است (Pan-Utai *et al.*, 2020)، تحقیقات بسیاری بر پروبیوتیک‌ها در سال‌های اخیر با افزودن بیفیدوباکتری ها، *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *لاکتوباسیلوس رامنوز*، *لاکتوباسیلوس کازیی* و *لاکتوباسیلوس روتری* 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 *یرسینیا انتروکولیتیکا*،

[1] Microencapsulation and formulation

[2] Colonize

سالمونلا تیفی و *هلیکوباکتر پیلوری* دارند (Alizadeh Khaledabad *et al*., 2020).

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 (Pina-Pérez *et al*., 2019). 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 نشان می‌دهد (Camacho *et al*., 2019).

محققان، نقش زیست‌توده *اسپیرولینا* را در کشت‌های مختلف بررسی کردند. آن‌ها زیست‌توده *اسپیرولینا* را به کشت‌های لاکتوباسیلوس و استرپتوکوکوس 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 (Golmakani *et al*., 2019). 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 (Parada *et al*., 1998). 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 *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* (باسیل سازنده اسیدلاکتیک از شیر) و بیفیدوباکتری ها را افزایش دهد (de Caire et al., 2000). علاوه بر این، محققان اثر پودر *اسپیرولینا* را در پنیر پروبیوتیک فتا برای ارزیابی تعداد باکتری‌های لاکتیک بررسی کردند (Mazinani *et al*., 2016). جمعیت *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و همچنین خصوصیات تغذیه‌ای پنیر در طی نگهداری در یخچال موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار آهن و پروتئین پودر *اسپیرولینا* موجب افزایش زمان زنده ماندن *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* گردید (Alizadeh Khaledabad *et al*., 2020).

علاوه بر آن محققان در سال ۲۰۱۰ اثر زیست‌توده خشک را بر روی پروبیوتیک‌های ماست و شیر اسیدی مطالعه کردند (Güldaş & Irkin, 2010). 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. pH و اسیدیته نمونه در ۴ درجه سلسیوس 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 *لاکتوباسیلوس دلبروسکی* بررسی شد. درنهایت نمونه‌های بدون *اسپیرولینا* ماندگاری کمتری را نشان دادند؛ اما هیچ اختلاف معناداری در نمونه‌های یک درصد غلظت پودر *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 (Alizadeh Khaledabad *et al.*, 2020).

در تحقیقی تأثیر پودر *اسپیرولینا* را روی باکتری‌های شیر تخمیر شده بررسی کردند. ابتدا شیر غنی‌شده و غیر غنی‌شده حاوی اسیدوفیلوس- بیفیدوس- ترموفیلوس تخمیر شده توسط کشت‌های استارتر دارای بیفیدوباکتری‌ها، *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* تولید شد. نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس در گرم‌خانه نگهداری شدند. نتایج نشان داد که پودر *اسپیرولینا* تأثیر مفیدی در بقای کشت استارتر *اسیدوفیلوس بیفیدوس ترموفیلس* (ABT) داشت (Varga *et al.*, 2002)؛ به دلیل افزودن زیست‌توده سیانوباکتری اسیدآمینه، ویتامین‌های ضروری و اسیدهای چرب موجود در شیر بهبود یافت (Gupta *et al.*, 2017).

محققان پودر *اسپیرولینا* را در تولید اسید و رشد باکتری *انتروکوکوس فاسیوم* و *لاکتوباسیلوس پلنتاروم* مطالعه کردند. آن‌ها از ۳ گرم پودر اسپیرولینا استفاده کردند و محتوای جامد بین ۳۰-۲۰ درصد بود. نتایج، تحریک در تولید اسید و افزایش میزان رشد انتروکوکوس فاسیوم و لاکتوباسیلوس پلنتاروم را نشان داد ($p<0/5$). 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 *لاکتوباسیلوس پلنتاروم* کمی اسیدی‌تر از *انتروکوکوس فاسیوم* است زیرا pH محصولات بین ۵/۱۵، ۵/۳۴، ۴/۶۲ و ۱۰/۵ می‌شد (Pina-Pérez *et al.*, 2019). 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 *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریوم انیمالیس* تولید شدند و حدود ۱/۵ و ۱ درصد پودر *اسپیرولینا* به این محصولات اضافه شد. محصولات نهایی به مدت ۱۵ روز در دمای ۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. سپس اسیدیته، pH، سینرزیس[1]، 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 *بیفیدوباکتریوم انیمالیس* به دست آمد (Mocanu *et al.*, 2013). علاوه بر آن در تمام مواردی که به آن‌ها ریز جلبک اضافه‌شده بود، میزان نگهداری آب در پایان ذخیره‌سازی به ۱۳/۳۹ درصد کاهش یافت و حداکثر تعداد زنده بی فیدوباکتریوم انیمالیس در دوره نگهداری ۳۳×۱۰^{۷} Cfu اندازه‌گیری گردید (Fadaei *et al.*, 2013).

در مطالعه (Beheshtipour *et al.*, 2012)، 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 سلسیوس ارزیابی گردید. ترکیب باکتری‌های پروبیوتیک ماست، لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس، بیفیدوباکتریوم لاکتیس و لاکتوباسیلوس دلبورکی 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

[1] Syneresis

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 *اسپیرولینا پلتنسیس* غنی‌شده با عناصر کمیاب برای تولید شیرهای تخمیرشده و تحریک تولید اسید و سرعت رشد لاکتیک اسید باکتری‌ها (LAB) انجام شد. محیط کشت‌ها با میکروارگانیسم‌های *بولگاریکوس*، *دلبورسکی*، *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *ترموفیلوس* 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 *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* B12 برابر ۱درصد (v/v) بود.

استرپتوکوکوس ترموفیلوس و *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* در دمای ۴۲/۵ درجه سلسیوس تلقیح شدند، درحالی‌که *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدو باکتریوم* در ۳۷/۶ درجه سلسیوس تلقیح شدند. pH بافاصله ۱ ساعت بررسی شد و ترکیبات نیتروژن‌دار (پپتون، آدنین، هیپوگزانتین) آزمایش شدند. نتایج نشان داد که ریزجلبک‌ها تأثیر مثبتی بر روی چهار سویه کشت آغازگر دارند (Mocanu *et al*., 2013). اثر *اسپیرولینا* بر روی استرپتوکوکوس ترموفیلوس 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 *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* دارد. در مورد *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، پپتون و ویتامین‌ها از همه مواد مؤثرتر بودند؛ ویتامین E و سلنیوم تولید اسید را مهار می‌کنند، اما در باکتری *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* B12 فقط پپتون، تولید اسید را به سطح رضایت‌بخشی افزایش می‌دهد. نتایج نشان داد وقتی‌که *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* یا *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* با *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* مخلوط شد، موجب افزایش در رشد لاکتوباسیل های میله‌ای می‌شود.

در مطالعه دیگری، تغییرات تولید اسید توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک مزوفیل رشد یافته در شیر مورد مطالعه قرار گرفت (de Caire *et al*., 2000). 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 لاکتوکوکوس‌ها 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 لاکتوباسیلوس لاکتیک *NCAIM B*.2128 و *لاکتوباسیلوس لاکتیک سرموریس* *ATCC* 19257 و همراه با ده درصد ساکارز، زیست‌توده *اسپیرولین* 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 (Niccolai *et al*., 2019). 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 LAB داشته باشند، آزاد می‌کند. در تحقیق دیگری نتایج نشان داد که افزودن *اسپیرولینا* باعث کاهش pH نمونه ماست می‌شود (Alizadeh Khaledabad *et al*., 2020). علت این کاهش اثر *اسپیرولینا* بر *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* 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. مشخص شد که ۸-۲ درصد *اسپیرولینا* با ۱۰۰ درصد تفاله پاپایا قابل‌قبول‌تر است. ماست یخزده با ۶ درصد اسپیرولینا و ۱۰ درصد 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 (Fadaei *et al*., 2013).

- **تأثیرات غنی‌سازی ریزجلبک‌ها بر خواص حسی محصولات لبنی تخمیر شده**

افزودن ریزجلبک‌ها 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 (Beheshtipour *et al*., 2013). افزودن ریزجلبک‌ها به ماست بر اساس نوع و غلظت ریزجلبک‌های 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. از نظر بافت تفاوت قابل‌توجهی بین تیمارها وجود نداشت، بااین‌حال، تفاوت ازنظر بافت خوراکی قابل‌توجه بود. به‌طورکلی، تیمارهای *کلرلا* خواص حسی بهتری نسبت به *اسپیرولینا* داشتند (Malcata *et al*., 2019). 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 (Golmakani *et al*., 2019). بنابراین پنیرهای فرآوری شده با *کلرلا* و بدون *کلرلا* تهیه شدند. پنیرها در دمای ۱۰ درجه سلسیوس، 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 (Beheshtipour *et al*., 2013).

- **اثرات درمانی تغذیه با محصولات پروبیوتیک**

میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک نقشی اساسی در رژیم غذایی مدرن انسان دارند (جدول ۳)؛ بنابراین اکنون محققان برای افزایش کیفیت، از ریزجلبک‌ها در محصولات لبنی تخمیر شده استفاده می‌کنند. به‌عنوان‌مثال محققان آزمایشی

را برای مشاهده تحریک رشد سه باکتری اسیدلاکتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *لاکتوباسیلوس کازئی* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* 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 *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *لاکتوباسیلوس کازئی* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* مشاهده شد (Niccolai *et al.*, 2019).

محققان پیش‌بینی کردند که هرچه تعداد بیفیدوباکتریوم 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 *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* در ۱۰ mg/ml نمونه *اسپیرولینا* غنی‌شده در مقایسه با سایر باکتری‌های اسیدلاکتیک را نشان داد (Parada *et al.*, 1998). 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 *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* 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 سلسیوس نگهداری شدند و در مدت‌زمان ذخیره‌سازی در طی ۱، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز ارزیابی شدند. نتایج تعداد قابل‌قبول تمام باکتری‌های اسیدلاکتیک را در تمام محصولات مکمل *اسپیرولینا* تا پایان ذخیره‌سازی به بیش از log ۶ 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 *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* است و ماست با ۰/۸ درصد *اسپیرولینا* حداکثر تأثیر را در کاهش 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 (Fadaei *et al.*, 2013).

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

جدول ۳: کاربردهای صنعتی بالقوه ریزجلبک‌ها در غذاهای کاربردی بر اساس نوع محصول و ترکیب زیست فعال (Nowruzi *et al.*, 2020b).

Table 3. Potential industrial applications of microalgae in functional food, sorted by type of food, commercial form of biomass, and bioactive compound.

مزیت سلامتی **Health Benefit**	ترکیب زیست فعال **Bioactive Compound**	فرم تجاری **Commercial Form**	ارزیابی حسی **Sensory E_ect**	تولید - محصول **Product**	جنس / گونه‌ها **Genus/Species**
کاهش خطر کم‌خونی Reduced risk of anemia	پروتئین، PUFA، EPA و DHA Protein, PUFA-! 3, EPA *, DHA	پودر یا مایع Powder or liquid	عطروطعم بهبودیافته است Improved flavor and mouthfeel	شیر Milk	*Chlorella sp.* *Sprirulina sp.*
ضد سرطان آنتی‌اکسیدان و ضدالتهاب Anticancer; antioxidant and anti-inflammatory	فیکوسیانین Phycocyanin	عصاره Extract	بافت و ویسکوزیته بهبودیافته Improved texture and viscosity	ماست Yoghurt	*Arthrospira platensis*
ضد سرطان، کاهش خطر زخم معده، یبوست، کم‌خونی، فشارخون بالا، دیابت، بهبود سو تغذیه نوزاد و اختلالات روانی Anticancer; reduced risk of gastric ulcers, constipation, anemia, hypertension, diabetes, infant malnutrition, neurosis	پروتئین، کربوهیدرات، PUFA Protein, carbohydrates, PUFA-! 3	پودر Powder	بافت بهبودیافته Improved texture	پنیر Cheese	*Arthrospira platensis* *Chlorella sp.*
سیستم ایمنی و لنفاوی بهبودیافته، محافظت در برابر سرطان و زخم Improved immune and lymphatic systems, protection against cancers and ulcers	پروتئین، کلروفیل، فیکوسیانین Protein, chlorophylls, phycocyanin	پودر یا مایع Powder or liquid	رنگ و طعم ترش بهبودیافته Improved color and sour taste	نوشیدنی بدون الکل Alcohol-free beverage	*Spirulina sp.*
فعالیت آنتی‌اکسیدانی، جلوگیری از یبوست Antioxidant activity, prevention of constipation	پروتئین، ویتامین‌ها، مواد معدنی Protein, vitamins, minerals	پودر یا آرد Powder or flour	بهبود رنگ و ثبات Improved color and stability	دسرها Desserts	*Arthrospira maxima* *Chlorella protothecoides* *Haematococcus pluvialis*
فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	پروتئین، PUFA، EPA، DHA و آستاگزانتین Protein, PUFA-!3, EPA, DHA, astaxanthin	پودر یا آرد Powder or flour	رنگ، ثبات و بافت بهبودیافته Improved color, stability and texture	کلوچه و بیسکویت Cookies and biscuits	*Arthrospira platensis* *Chlorella vulgaris* *Hematococcus pluvialis* *Phaeodactylum tricornutum* *Tetraselmis suecica*
سطح چربی و کلسترول را کاهش می‌دهد، باعث سیری می‌شود Reduced fat and cholesterol levels, induced satiety	پروتئین، ویتامین‌ها، مواد معدنی Protein, vitamins, minerals	پودر یا آرد Powder or flour	عطروطعم، بافت و ظاهر بهبودیافته Improved flavor, texture and appearance	نان و کلوچه Bread and cookies	*Arthospira platensis* *Chlorella sp.*

مزیت سلامتی Health Benefit	ترکیب زیست فعال Bioactive Compound	فرم تجاری Commercial Form	ارزیابی حسی Sensory E_ect	تولید – محصول Product	جنس / گونه‌ها Genus/Species
فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	پروتئین، ویتامین‌ها، مواد معدنی Protein, vitamins, minerals	پودر Powder	کمی طعم جلبک دریایی است Slightly seaweed taste	میسو miso	*Dunaliella sp.* *Spirulina sp.*
بهبود ایمنی و فشارخون Improved immunity and blood pressure	n.a	پودر Powder	بدون عطروطعم و بو No flavor or smell	کوجی koji	*Chlorella sp.* *Sprirulina sp.*
فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	پروتئین، کاروتنوئیدها Protein, carotenoids	پودر Powder	رنگ و بافت بهبودیافته Improved color and texture	ماکارونی Pasta	*Dunaliella salina*
محافظت در برابر زخم معده، جلوگیری از یبوست، کاهش کم‌خونی و دیابت، بهبود فشارخون Protection against gastric ulcers, prevention of constipation, reduced anemia and diabetes, improved blood pressure	پروتئین، PUFA، DHA، EPA و کاروتنوئیدها Protein, PUFA-!3, EPA, DHA, astaxanthin	پودر Powder	بهبود رنگ، طعم، بافت و صلابت Improved flavor, texture and appearance	ماکارونی Pasta	*Diacronena volkianum* *Isochrysis galbana*
فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	GLA ،DHA ،EPA ،PUFA کاروتنوئیدها PUFA, EPA, DHA, GLA ***, carotenoids	ژل‌ها Gels	بهبود رنگ و استحکام Improved color and firmness	ژل‌های غذایی گیاهی Vegetarian food gels	*Arthrospira maxima* *Diacronena volkianum* *Haematococcus pluvialis*
فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	پروتئین، کاروتنوئیدها Protein, carotenoids	روغن یا امولسیون Oil or emulsions	بهبود رنگ و ثبات Improved color and stability	امولسیون یا مایونز گیاهی Emulsions or vegetarian mayonnaise	*Chlorella vulgaris* *Haematococus pluvialis*
فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	کاروتنوئیدها Carotenoids	روغن Oil	بهبود رنگ و ثبات Improved color and stability	روغن سویا Soybean oil	*Chlorella vulgaris*
فعالیت‌های ضدمیکروبی و ضدویروسی	کاروتنوئیدها Carotenoids	روغن Oil	n.a	n.a	*Arthrospira platensis*
فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	کاروتنوئیدها Carotenoids	پودر Powder	عطروطعم بهبودیافته Improved flavor	چاشنی آشپزی بانمک دریا Culinary condiment with sea salt	*Dunaliella salina*

مزیت سلامتی **Health Benefit**	ترکیب زیست فعال **Bioactive Compound**	فرم تجاری **Commercial Form**	ارزیابی حسی **Sensory E_ect**	تولید - محصول **Product**	جنس / گونه‌ها **Genus/Species**
پیشگیری از یبوست، ایجاد سیری Prevention of constipation, induction of satiety	پروتئین‌ها، PUFA Proteins, PUFA	پودر، قرص یا مایع Powder, flour, tablet or liquid	n.a	مکمل غذایی Food supplement	*Chlorella sp.* *Schizochytrium sp.* *Thraustochytrium sp.*
n.a.	پروتئین Protein	کپسول Capsules	n.a.	مکمل غذایی Food supplement	*Dunaliella sp.* *Phaeodactylum tricornutum* *Nannochloris sp.* *Nannochloropsis sp.*
سلامت چشم و مغز، محافظت در برابر اشعه ماورا بنفش و سلامت پوست، ضد انعقادی و ضدالتهابی در دیابت، تعدیل سیستم ایمنی بدن، سلامت قلب و عروق Improved eye and brain health, UV protection and skin health, anti-coagulatory and anti-inflammatory e_ects in diabetes, immune system modulation, cardiovascular health	آستاگزانتین Astaxanthin	کپسول Capsules	n.a.	مکمل غذایی Food supplement	*Haematococcus pluvialis*
n.a.	ARA	پودر یا قرص Powder or tablet	n.a	مکمل غذایی Food supplement	*Parietochoris incisa*
پیشگیری از چاقی و دیابت Prevention of obesity and diabetes	n.a	عصاره Extract	n.a.	مکمل غذایی Food supplement	*Tetraselmis sueci*

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

- **تأثیر سین بیوتیکی[1] الیگوساکاریدهای جلبکی**

ترکیبی از پروبیوتیک‌ها و پروبیوتیک‌هایی که سین بیوتیک را تشکیل می‌دهند، می‌توانند باعث تحریک و افزایش بقای پروبیوتیک و سویه‌های باکتریایی در دستگاه روده شوند. پروبیوتیک‌ها می‌توانند یک روش درمانی امیدوارکننده، برای حفظ و بازسازی محیط روده باشد (Patel *et al*., 2021). مصرف میکروارگانیسم‌های زنده سالم مانند باکتری‌های اسیدلاکتیک با پروبیوتیک‌هایی مانند اینولین، گالاکتوالیگوساکارید و اولیگوفروکتوز ممکن است باعث تقویت ترکیب میکروبی شود (Bhowmik *et al*., 2009). این ترکیبات ممکن است با افزایش تأثیر بر روده بزرگ باعث بهبود بقای باکتری‌های روده شوند. مطالعات تحقیقاتی متنوعی نشان داده‌اند که عصاره‌های آبی جلبک‌هایی مانند *کلرلا*، *اسپیرولینا*، دونالیلا و کلروکوکوک مانع بالقوه‌ای برای تولید پروبیوتیک هستند (Beheshtipour *et al*., 2013) و تأثیرات تحریکی بر روی رشد سه باکتری پروبیوتیکی *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس*، *لاکتوباسیلوس لاکتیس* و *بیفیدوباکتریوم لانگوم* دارند. درواقع تولید زایلوز و گالاکتوز و الیگوساکاریدها تحریک‌کننده ترکیبات پروبیوتیکی هستند، بنابراین دامنه‌ی وسیعی برای تولید موفق پروبیوتیک‌ها از منابع جلبکی وجود دارد (Patel *et al*., 2021).

نتیجه‌گیری

در آینده‌ای نزدیک غذای پروبیوتیک مکمل جلبکی با هزینه کمتر و احتمال آلودگی کمتر به‌طور وسیع تولید می‌شود؛ بنابراین، به‌راحتی می‌توان هم‌زمان از هر دو منبع با هزینه مشابه بهره برد. همان‌طور که می‌دانیم *اسپیرولینا* که غنی از ویتامین و اسیدآمینه و باکتری‌های اسیدلاکتیک می‌باشد و برای سلامت روده مصرف می‌شود. 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 ساکارومایسس سرویزیه و آسپرجیلوس نایجر مواد غذایی مطلوب‌تری را برای مصرف‌کنندگان ازنظر سلامتی ایجاد کرد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

مراجع

Akalin, A., Unal, G., & Dalay, M. (2009). Influence of Spirulina platensis biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage. *Italian Journal of Food Science*, *21*(3), 357-364.

Alizadeh Khaledabad, M., Ghasempour, Z., Moghaddas Kia, E., Rezazad Bari, M., & Zarrin, R. (2020). Probiotic yoghurt functionalised with microalgae and Zedo gum: chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics. *International Journal of Dairy Technology*, *73*(1), 67-75.

Anvara, A. A., & Nowruzib, B. Bioactive Properties of Spirulina: A Review.

[1] Synbiotic

Beheshtipour, H., Mortazavian, A. M., Haratian, P., & Darani, K. K. (2012). Effects of Chlorella vulgaris and Arthrospira platensis addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties. *European Food Research and Technology*, *235*(4), 719-728.

Beheshtipour, H., Mortazavian, A. M., Mohammadi, R., Sohrabvandi, S., & Khosravi-Darani, K. (2013). Supplementation of Spirulina platensis and Chlorella vulgaris algae into probiotic fermented milks. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, *12*(2), 144-154.

Bhowmik, D., Dubey, J., & Mehra, S. (2009). Probiotic efficiency of Spirulina platensis-stimulating growth of lactic acid bacteria. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, *4*(2), 160-163.

Camacho, F., Macedo, A., & Malcata, F. (2019). Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: A short review. *Marine drugs*, *17*(6), 312.

de Caire, G. Z., Parada, J. L., Zaccaro, M. C., & de Cano, M. M. S. (2000). Effect of Spirulina platensis biomass on the growth of lactic acid bacteria in milk. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *16*(6), 563-565.

Fadaei, V., Mohamadi-Alasti, F., & Khosravi-Darani, K. (2013). Influence of Spirulina platensis powder on the starter culture viability in probiotic yoghurt containing spinach during cold storage. *European Journal of Experimental Biology*, *3*(3), 389-393.

Golmakani, M.-T., Soleimanian-Zad, S., Alavi, N., Nazari, E., & Eskandari, M. H. (2019). Effect of Spirulina (Arthrospira platensis) powder on probiotic bacteriologically acidified feta-type cheese. *Journal of Applied Phycology*, *31*(2), 1085-1094.

Güldaş, M., & Irkin, R. (2010). Influence of Spirulina platensis powder on the microflora of yoghurt and acidophilus milk.

Gupta, S., Gupta, C., Garg, A., & Prakash, D. (2017). Prebiotic efficiency of blue green algae on probiotics microorganisms. *J Microbiol Exp*, *4*(4), 00120.

Jafari Porzani, S., Konur, O., & Nowruzi, B. (2021). Cyanobacterial natural products as sources for antiviral drug discovery against COVID-19. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 1-17.

Kavimandan, A. (2015). Incorporation of Spirulina platensis into probiotic fermented dairy products. *Int. J. Dairy Sci*, *10*, 1-11.

Malcata, F., Macedo, Â., & Camacho, F. (2019). Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: a short review.

Martelli, F., Cirlini, M., Lazzi, C., Neviani, E., & Bernini, V. (2021). Solid-state fermentation of Arthrospira platensis to implement new food products: evaluation of stabilization treatments and bacterial growth on the volatile fraction. *Foods*, *10*(1), 67.

Mazinani, S., Fadaei, V., & Khosravi-Darani, K. (2016). Impact of Spirulina platensis on physicochemical properties and viability of Lactobacillus acidophilus of probiotic UF feta cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, *40*(6), 1318-1324.

Mocanu, G., Botez, E., Nistor, O. V., Andronoiu, D., & Vlăsceanu, G. (2013). Influence of Spirulina platensis biomass over some starter culture of lactic bacteria. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, *19*(4), 474-479.

Niccolai, A., Shannon, E., Abu-Ghannam, N., Biondi, N., Rodolfi, L., & Tredici, M. R. (2019). Lactic acid fermentation of Arthrospira platensis (spirulina) biomass for probiotic-based products. *Journal of Applied Phycology*, *31*(2), 1077-1083.

Nowruzi, B., Sarvari, G., & Blanco, S. (2020a). Applications of cyanobacteria in biomedicine. In *Handbook of Algal Science, Technology and Medicine* (pp. 441-453). Elsevier.

Nowruzi, B., Sarvari, G., & Blanco, S. (2020b). The cosmetic application of cyanobacterial secondary metabolites. *Algal Research*, *49*, 101959.

Pan-Utai, W., Atkonghan, J., Onsamark, T., & Imthalay, W. (2020). Effect of Arthrospira Microalga Fortification on Physicochemical Properties of Yogurt. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, *8*(2), 531-540.

Parada, J. L., de Caire, G. Z., de Mulé, M. a. C. Z., & de Cano, M. M. S. (1998). Lactic acid bacteria growth promoters from Spirulina platensis. *International journal of food microbiology*, *45*(3), 225-228.

Patel, A. K., Singhania, R. R., Awasthi, M. K., Varjani, S., Bhatia, S. K., Tsai, M.-L., . . Dong, C.-D. (2021). Emerging prospects of macro-and microalgae as prebiotic. *Microbial Cell Factories*, *20*(1), 1-16.

Patel, P., Jethani, H., Radha, C., Vijayendra, S., Mudliar, S. N., Sarada, R., & Chauhan, V. S. (2019). Development of a carotenoid enriched probiotic yogurt from fresh biomass of Spirulina and its characterization. *Journal of food science and technology*, *56*(8), 3721-3731.

Pina-Pérez, M. C., Brück, W., Brück, T., & Beyrer, M. (2019). Microalgae as healthy ingredients for functional foods. In *The role of alternative and innovative food ingredients and products in consumer wellness* (pp. 103-137). Elsevier.

Varga, L., Szigeti, J., Kovács, R., Földes, T., & Buti, S. (2002). Influence of a Spirulina platensis biomass on the microflora of fermented ABT milks during storage (R1). *Journal of Dairy Science*, *85*(5), 1031-1038.

Ahda, M., Suhendra, & Permadi, A. (2024). Spirulina platensis microalgae as high protein-based products for diabetes treatment. *Food Reviews International*, *40*(6), 1796-1804 .

Akalin, A., Unal, G., & Dalay, M. (2009). Influence of Spirulina platensis biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage. *Italian Journal of Food Science*, *21*(3), 357-364 .

Alizadeh Khaledabad, M., Ghasempour, Z., Moghaddas Kia, E., Rezazad Bari, M., & Zarrin, R. (2020). Probiotic yoghurt functionalised with microalgae and Zedo gum: chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics. *International Journal of Dairy Technology*, *73*(1), 67-75 .

Beheshtipour, H., Mortazavian, A. M., Haratian, P., & Darani, K. K. (2012 .(Effects of Chlorella vulgaris and Arthrospira platensis addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties. *European Food Research and Technology*, *235*(4), 719-728 .

Beheshtipour, H., Mortazavian, A. M., Mohammadi, R., Sohrabvandi, S., & Khosravi-Darani, K. (2013). Supplementation of Spirulina platensis and Chlorella vulgaris algae into probiotic fermented milks. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, *12*(2), 144-154 .

Bhowmik, D., Dubey, J., & Mehra, S .(۲۰۰۹) .Probiotic efficiency of Spirulina platensis-stimulating growth of lactic acid bacteria. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, *4*(2), 160-163 .

Camacho, F., Macedo, A., & Malcata, F. (2019). Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: A short review. *Marine drugs*, *17*(6), 312 .

de Caire, G. Z., Parada, J. L., Zaccaro, M. C., & de Cano, M. M. S. (2000). Effect of Spirulina platensis biomass on the growth of lactic acid bacteria in milk. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *16*(6), 563-565 .

Fadaei, V., Mohamadi-Alasti, F., & Khosravi-Darani, K. (2013). Influence of Spirulina platensis powder on the starter culture viability in probiotic yoghurt containing spinach during cold storage. *European Journal of Experimental Biology*, *3*(3), 389-393 .

Golmakani, M.-T., Soleimanian-Zad, S., Alavi, N., Nazari, E., & Eskandari, M. H. (2019). Effect of Spirulina (Arthrospira platensis) powder on probiotic bacteriologically acidified feta-type cheese. *Journal of Applied Phycology*, *31*(2), 1085-1094 .

Grosshagauer, S., Kraemer, K., & Somoza, V. (2020). The true value of Spirulina. *Journal of agricultural and food chemistry*, *68*(14), 4109-4115 .

Güldaş, M., & Irkin, R. (2010). Influence of Spirulina platensis powder on the microflora of yoghurt and acidophilus milk .

Gupta, S., Gupta, C., Garg, A., & Prakash, D. (2017). Prebiotic efficiency of blue green algae on probiotics microorganisms. *J Microbiol Exp*, *4*(4), 00120 .

Jafari Porzani, S ,.Konur, O., & Nowruzi, B. (2021). Cyanobacterial natural products as sources for antiviral drug discovery against COVID-19. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 1-17 .

Kavimandan, A. (2015). Incorporation of Spirulina platensis into probiotic fermented dairy products. *Int. J. Dairy Sci*, *10*, 1-11 .

Khan, Z., Bhadouria, P., & Bisen, P. (2005). Nutritional and therapeutic potential of Spirulina. *Current pharmaceutical biotechnology*, *6*(5), 373-379 .

Kulshreshtha, A., Jarouliya, U., Bhadauriya, P., Prasad, G., & Bisen, P. (2008). Spirulina in health care management. *Current pharmaceutical biotechnology*, *9*(5), 400-405 .

Malcata, F., Macedo, Â., & Camacho, F. (2019). Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: a short review .

Martelli, F., Cirlini, M., Lazzi, C., Neviani, E., & Bernini, V. (2021). Solid-state fermentation of Arthrospira platensis to implement new food products: evaluation of stabilization treatments and bacterial growth on the volatile fraction. *Foods*, *10*(1), 67 .

Mazinani, S., Fadaei, V., & Khosravi-Darani, K. (2016). Impact of Spirulina platensis on physicochemical properties and viability of Lactobacillus acidophilus of probiotic UF feta cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, *40*(6), 1318-1324 .

Mocanu, G., Botez, E., Nistor, O. V., Andronoiu, D., & Vlăsceanu, G. (2013). Influence of Spirulina platensis biomass over some starter culture of lactic bacteria. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, *19*(4), 474-479 .

Niccolai, A., Shannon, E., Abu-Ghannam, N., Biondi, N., Rodolfi, L., & Tredici, M. R. (2019). Lactic acid fermentation of Arthrospira platensis (spirulina) biomass for probiotic-based products. *Journal of Applied Phycology*, *31*(2 .۱۰۷۷-۱۰۸۳ ,(

Nowruzi, B., Anvar, S. A. A., & Shafaroodi, A. (2024). Study of phycocyanin powder on probiotic bacteriologically and antioxidant properties of yogurt at 4° C. *Nutrire*, *49*(2), 42 .

Nowruzi, B., Sarvari, G., & Blanco, S. (2020a). Applications of cyanobacteria in biomedicine. In *Handbook of Algal Science, Technology and Medicine* (pp. 441-453). Elsevier .

Nowruzi, B., Sarvari, G., & Blanco, S. (2020b). The cosmetic application of cyanobacterial secondary metabolites. *Algal Research*, *49*, 101959 .

Pan-Utai, W., Atkonghan, J., Onsamark, T., & Imthalay, W. (2020). Effect of Arthrospira Microalga Fortification on Physicochemical Properties of Yogurt. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, *8*(2), 531-540 .

Parada, J. L., de Caire, G .Z., de Mulé, M. a. C. Z., & de Cano, M. M. S. (1998). Lactic acid bacteria growth promoters from Spirulina platensis. *International journal of food microbiology*, *45*(3), 225-228 .

Patel, A. K., Singhania, R. R., Awasthi, M. K., Varjani, S., Bhatia, S. K ,.Tsai, M.-L., . .. Dong, C.-D. (2021). Emerging prospects of macro-and microalgae as prebiotic. *Microbial Cell Factories*, *20*(1), 1-16 .

Patel, P., Jethani, H., Radha, C., Vijayendra, S., Mudliar, S. N., Sarada, R., & Chauhan, V. S. (2019). Development of a carotenoid enriched probiotic yogurt from fresh biomass of Spirulina and its characterization. *Journal of food science and technology*, *56*(8), 3721-3731 .

Pina-Pérez, M. C., Brück, W., Brück, T., & Beyrer, M. (2019). Microalgae as healthy ingredients for functional foods. In *The role of alternative and innovative food ingredients and products in consumer wellness* (pp. 103-137). Elsevier .

Shah, M. A. R., Zhu, F., Cui, Y., Hu, X., Chen, H., Kayani, S.-I., & Huo, S. (2024). Mechanistic insights into the nutritional and therapeutic potential of Spirulina (Arthrospira) spp.: Challenges and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, 104648 .

Valikboni, S. Q., Anvar, S. A. A., & Nowruzi, B. (2024). Study of the effect of phycocyanin powder on physicochemical characteristics of probiotic acidified feta-type cheese during refrigerated storage. *Nutrire*, *49*(2), 41 .

Varga, L., Szigeti, J., Kovács, R., Földes, T., & Buti, S. (2002). Influence of a Spirulina platensis biomass on the microflora of fermented ABT milks during storage (R1). *Journal of Dairy Science*, *85*(5), 1031-1038 .

Food Engineering Research/Vol.24/No.76/ Spring& Summer/ 2024/P: 95 - 114
Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Review

A review of using the microalgae in increasing the shelf life of probiotic bacteria

B. Nowruzi*

***Corresponding Author:** Associate professor of Department of Biotechnology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
Email: bahare77biol@gmail.com
Received:3 February 2024 **Accepted**: 11 June 2024
http://doi:. 10.22092/FOODER.2024.364914.1383

ABSTRACT

Cyanobacteria, especially spirulina microalgae, are rich sources of organic nutrients that, as beneficial food supplements, increase the growth of intestinal probiotic bacteria. The purpose of this review article is to investigate the effect of adding microalgae to food on increasing the shelf life of probiotic bacteria. A detailed search was carried out, both the experience and articles of authors and the latest articles in the PubMed, Web of Science, Google Scholar, ScienceDirect, Scopus, Medline, and Scientific Information Database databases. *Spirulina* contains more than 78 percent protein, vitamins, 4 to 7 percent fat, 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 lactic acid 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*, Food industry

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).