مروری بر کاربرد سیانوباکتری ها در افزایش اثرات پروبیوتیک و پری بیوتیک مواد غذایی

سیدامیرعلی انوار[1] و بهاره نوروزی*[2]

۱. گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

***نویسنده مسئول:** *bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

چکیده

پروبیوتیک‌ها از قرن‌های پیش یک منبع غذایی مناسب و سالم برای انسان بوده است. در این میان ریز جلبک‌ها به‌عنوان مکمل‌های غذایی فراسودمند همواره مطرح هستند. ترکیب ریز جلبک‌ها و پروبیوتیک‌ها منجر به تولید محصولات لبنی تخمیر شده‌ای می‌شود که نه‌تنها باعث افزایش کیفیت مواد غذایی می‌شود، بلکه با افزایش تعداد و زمان ماندگاری باکتری‌های پروبیوتیک، ارزش غذایی آن‌ها را برای مصرف‌کنندگان بالا می‌برند. در واقع تعداد با افزایش تعداد پروبیوتیک‌های زنده در غذا، مصرف‌کننده‌ها، پروبیوتیک بیشتری را در زمان مصرف دریافت کنند. در این مقاله مروری سعی گردید تا اثر پروبیوتیک و پری بیوتیک استفاده از مکمل‌های ریز جلبک‌ها بر محصولات لبنی مختلف تخمیر شده بررسی گردد، علاوه بر آن با مروری بر آخرین مقالات موجود، تأثیر استفاده از مکمل‌های غذایی ریز جلبکی بر خصوصیات فیزیولوژی، شیمیایی، میکروبیولوژیکی و حسی محصولات لبنی بررسی گردید.

کلید واژه ها: ریز جلبک‌ها، پروبیوتیک، پری بیوتیک، باکتری‌های لاکتیک اسید.

مقدمه

پروبیوتیک به‌طورکلی به‌عنوان یک مکمل میکروبی زنده تعریف می‌شود که باعث بهبود تعادل میکروبی روده میزبان می‌شود و باعث بهبود عملکرد دستگاه گوارش می‌شود. مصرف منظم میکروارگانیسم پروبیوتیک زنده که شامل پروبیوتیک تحمل‌کننده لاکتوز است، دارای مزایای زیادی برای سلامتی است که شامل تحمل بالای لاکتوز، خواص ضدمیکروبی، خواص ضد سرطان‌زایی و همچنین خواص ضدموتاسیون و اثرات مفید دیگری دارد. طبق سازمان غذا و دارو (FAO) و سازمان بهداشت جهانی (WHO)، پروبیوتیک‌ها به‌عنوان"میکروارگانیسم‌های زنده" توصیف می‌شوند که وقتی به مقدار کافی تجویز می‌شوند، مزایای سلامتی برای میزبان ایجاد می‌کند (Patel et al., 2019). محصولات پروبیوتیک مزایای زیادی ازنظر بالینی را ارائه می‌دهند، که از آن جمله می‌توان به تعدیل سیستم ایمنی بدن میزبان، فعالیت ضد سرطان‌زا و ضد جهش‌زایی، تسکین عدم تحمل لاکتوز و غیره اشاره کرد. برای دستیابی به اثرات سودمند سلامت و خواص عملکردی مطلوب از پروبیوتیک، تعداد کافی باکتری‌های اسیدلاکتیک با خاصیت پروبیوتیکی با سرعت بسیار مناسب باید به روده برسد (Bhowmik et al., 2009). در هند بر طبق نهاد نظارتی، سازمان ایمنی و استاندارد مواد غذایی هند (FSSAI[3])، استاندارد تعدادباکتری های اسید لاکتیک در محصولات پروبیوتیک یک‌میلیون کلنی بر گرم است. حفظ سطح بالایی از تعداد

[1] Food and Agriculture Organization
[2] World Health Organization
[3] Food Safety and Standards Authority of India

سلول‌های پروبیوتیک 10^6 کلنی بر گرم در محصولات پروبیوتیک در طول ماندگاری آن‌ها ضروری است (Mocanu et al., 2013). درواقع پروبیوتیک‌ها اگر در مقادیر کافی در بدن انسان وجود داشته باشند، به‌طور سودمندی با تأثیراتشان بر دستگاه روده (معده –روده‌ای)، روی انسان تأثیرمی گدارند. در حال حاضر، تعداد زیادی از پروبیوتیک‌ها در محصولات لبنی تخمیر شده مانند: ماست، پنیر، کشک، بستنی و غیره موجود هستند (Golmakani et al., 2019). تمامی این محصولات شامل گروه متنوعی از میکروارگانیسم‌ها می‌شوند، که ترجیحاً به باکتری‌های اسیدلاکتیک تعلق دارند (Akalin et al., 2009). بعضی از آن‌ها زیست فعال‌های طبیعی[1] موجود در دستگاه روده هستند و باقی آن‌ها باکتری‌های لاکتیک اسید مقوی هستند که در صنایع غذایی برای انتقال طعم و بافت بهبودیافته، فناوری و خواص نگهدارنده استفاده می‌شوند. برخی گونه‌ها به‌عنوان مکمل‌های میکروبی زنده، تجویز می‌شوند که به شکل مثبتی روی سلامتی کلی با بهبود ترکیب باکتری‌های روده تأثیر می‌گذارند. پروبیوتیک باعث جلوگیری از اسهال در افراد مسن،جلوگیری از یبوست،تحریک سیستم ایمنی،عدم حساسیت به لاکتوز،کاهش سطح کلسترول خون و جلوگیری از سرطان می‌شود. فارغ از این فواید درمانی،پروبیوتیک‌ها همچنین باعث ایجاد محافظتی در مقابل بسیاری از عوامل بیماری‌زا فرصت‌طلب می‌شوند (Nowruzi et al., 2020b). باکتری‌های پروبیوتیک ممکن است به‌طور قطعی باعث بهبود بسیاری از فرایندهای گوارشی و فیزیولوژی میزبان شود. این فرایندها شامل کاهش در آنزیم‌های جهش‌زا[2]مانند بتاگلوکورونیداز، نیتروردوکتاز و کولین گلیسین هیدرولاز می‌شود (Bhowmik et al., 2009).

باکتری‌های پروبیوتیک

پروبیوتیک ها بین باکتری های بدن تعادل ایجاد می کنند و باعث بهبود عملکرد بدن می شوند. برای مشاهده تأثیر مثبت آن‌ها در سلامت مصرف‌کننده، حداقل سطح میکروارگانیسم‌های زنده برای اثرگذاری موردنیاز است. این سطح، با توجه به سویه‌های مورداستفاده باکتری و اثر سلامتی آن، معمولاً بین 10^8 تا 10^{11} کلنی بر گرم است. *Lactobacillus* و *Bifidobacterium* اصلی‌ترین جنس‌های مورداستفاده در محصولات پروبیوتیک هستند (Niccolai et al., 2019). پروبیوتیک‌ها، میکروارگانیسم‌های ضدمیکروبی هستند که از طریق بهبود تعادل میکروبی بر روی میزبان خود اثرات سودمند می‌گذارند. پروبیوتیک‌ها به‌عنوان بستر مناسب رشد به‌صورت انتخابی توسط میکروارگانیسم‌های میزبان، مورداستفاده قرار می‌گیرند و در سلامتی نقش دارند. در حال حاضر بتاگلوکان‌های کلرلا ولگاریس[3]و زیست‌توده اسپیرولینا در حال حاضر به‌عنوان پروبیوتیک‌های غذایی شناخته می‌شوند. (Anvar et al., 2021).

سیانوباکتری‌ها، منبع غنی پروبیوتیک

با گسترش دانش بهداشت عمومی، امروز اولویت اصلی در مصرف با مواد طبیعی و رنگ دهنده‌های طبیعی است. اگر شیرهای تخمیر شده با ویتامین‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای چرب ضروری و عناصر کمیاب با منشا طبیعی غنی شوند، مصرف‌کنندگان نیاز به میزان بسیار کمتری از دارو دارند و مکمل‌های ویتامینی و مواد معدنی مصنوعی تولیدشده را کمتر مصرف می‌کنند (Beheshtipour et al., 2013). یک روش ساده برای دستیابی به این هدف استفاده از سیانوباکتری‌ها در تولید غذاهای لبنی است (Kavimandan, 2015). اسپیرولینا سال‌ها است که به‌عنوان ماده افزودنی استفاده می‌شود، زیرا دارای پروتئین و ارزش غذایی بالایی است. یک رژیم غذایی متعادل و سالم حاوی ویتامین‌ها، مواد معدنی و اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد.

(Anvar et al., 2021) (Nowruzi et al., 2020b).

ریز جلبک‌ها یک منبع طبیعی غنی از ترکیبات فعال برای

[1] Natural inhabitants
[2] Mutagenic enzymes
[3] *Chlorella Vulgaris*

یک رژیم غذایی سالم هستند. آن‌ها حاوی پروتئین، کربوهیدرات، لیپید، مواد معدنی، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب غیراشباع، کاروتنوئیدها، آنزیم‌ها و فیبر هستند (Patel et al., 2021). سیانوباکتری‌ها و پروبیوتیک‌ها همچنین می‌توانند رشد را افزایش داده و باعث افزایش زنده ماندن و تولید اسید پروبیوتیک در محصولات لبنی و همچنین در دستگاه گوارش می‌شود (Kavimandan, 2015). خواص تحریکی این زیست‌توده‌ی سیانوباکتریایی شامل آدنین، هیپوگزانتین و اسیدهای آمینه آزاد است که این خاصیت به دلیل ویژگی قلیایی آن‌هاست. از طرف دیگر، سیانوباکتری‌های موجود در شیرهای تخمیر شده بر خصوصیات حسی و خواص ارگانولپتیک محصول نهایی تأثیر می‌گذارند (انوار et al., 2021a). امروزه ماکرو جلبک‌ها نیز به‌عنوان یک منبع غنی از پلی‌ساکاریدهای سولفاته شده مورد توجه قرارگرفته‌اند. عمل کلیدی این پلی‌ساکاریدهای با وزن مولکولی نسبتاً بالا این است که آن‌ها غنی از گروه‌های هیدروکسید هستند که آن‌ها را آب‌دوست کرده است.آن‌ها به علت ایجاد پیوندهای هیدروژنی درون زنجیره‌ای به‌عنوان غلیظ کننده‌ها شناخته‌شده‌اند (Niccolai et al., 2019). منظم بودن ساختارشان همچنین باعث ارتقای فعل‌وانفعالات آن‌ها با یون‌های خارجی و پیوندهای هیدروژنی درون زنجیره‌ای می‌شود. عصاره‌های کربوهیدرات‌های مختلف که شامل:اولوان[1]،کاراگین[2] یا اسید آلژنیک می‌شوند از ماکرو جلبک‌ها گرفته‌شده و به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان مواد اولیه کاربردی در صنایع غذایی و دارویی استفاده می‌شود (Gupta et al., 2017).

گونه‌های جلبکی با پتانسیل پروبیوتیک

اسپیرولینا

اسپیرولینا، سبز آبی پلانکتونی رشته‌ای است که در بسیاری از محیط‌های با آب شیرین مانند برکه‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها یافت می‌شود. اسپیرولینا یک میکروارگانیسم فوتواتوتروفیک است که به شکل وسیعی در طبیعت توزیع‌شده و برای قرن‌ها به علت دارا بودن بالاترین ارزش غذایی شناخته‌شده‌اش به‌عنوان مکمل غذایی انسان از آن استفاده‌شده است. اسپیرولینا شامل ۷۸ درصد پروتئین، ویتامین، ۴ الی ۷ درصد چربی، مواد معدنی، کربوهیدرات‌ها (گلوکز، رامنوز، مانوز، زایلوز و گالاکتوز) و برخی ریزمغذی‌های طبیعی می‌شود؛ بنابراین حضور این ریزمغذی‌ها در اسپیرولینا دارای خواص اصلاح‌کننده‌ای علیه بیماری‌های مختلفی چون سرطان، فشارخون، چربی خون، دیابت‌ها، کم‌خونی و غیره می‌باشد. از اسپیرولینا به خاطر منبع پروتئینی بالا و ارزش غذایی‌اش، به‌عنوان غذای انسان استفاده‌شده است. اخیراً محققان تأثیر ارتقای رشدی باکتری‌های اسیدلاکتیک توسط اسپیرولینا را گزارش کرده است (de Caire et al., 2000). درواقع جلبک‌ها نیتروژن را از محیط رشد مصرف می‌کنند و کربوهیدرات‌های برون سلولی (خارج سلولی) و سایر مواد رشدی را آزاد می‌کنند که ممکن است مسئول تحریک رشد *lactobacilli* و سایر سویه‌های تولیدکننده اسیدلاکتیک باشند (Anvar and Nowruzi., 2021).

کلرلا ولگاریس

کلرلا یکی از جلبک‌های سبز تک‌سلولی است که کروی شکل و بدون تاژک است. کلرلا حاوی رنگ‌دانه‌های سبز فتوسنتزی کلروفیل a و b در کلروپلاست خود است. کلرلا از طریق فتوسنتز تکثیر پیدا می‌کند و برای تولیدمثل به آب، دی‌اکسید کربن، نور خورشید و مقدار کمی مواد معدنی نیاز دارد. کلرلا منبع خوبی از مواد مغذی مانند ویتامین‌ها، کالری، چربی و پروتئین‌های باارزش است. تحت بعضی از شرایط رشد کلرلا روغن‌های غنی از چربی اشباع‌نشده تولید می‌کند. به‌عنوان‌مثال *Chlorella minutissima* حاوی ۱۹/۹ درصد EPA است، همچنین

[1] ulvans
[2] carrageenan

کانتاگزانتین، آستاگزانتین و مقادیر کمی بتاکاروتن تولید می‌کند (Patel et al., 2021). کلرلا حاوی آنتی‌اکسیدان‌های دیگری مانند لوتئین و کلروفیل است و یک ماده غذایی غنی است، زیرا حاوی پروتئین ،چربی ، عناصر کمیاب (آلومینیوم، سلنیوم، روی،کلسیم و منیزیم) و ویتامین‌های تیامین، B_1، B_2 ، B_6، آسکوربیک اسید، D، E وK است. کلرلا منبع خوبی از اسیدهای چرب اشباع‌نشده است و ۳۲/۲ درصد کل چربی‌ها را دارد. کلرلا حاوی ۱۵/۴۱ درصد پالمیتیک اسید، ۳/۲۳ درصد حاوی EPA و ۳/۱۱ درصد حاوی دوکوزاپنتانوئیک اسید است. محتوای دوکوزاهگزانوئیک اسید (۲۰/۹۴ درصد) در کلرلا بسیار زیاد است. محتوای PUFA در کلرلا ۳۸/۹۴ درصد و کل مقدار امگا ۳، ۲۹/۲۱ درصد است. کلرلا غنی از فسفر (۱۷۶/۵ میلی‌گرم)، سدیم (۴/۱۳۴۶ میلی‌گرم)، کلسیم (۵۹۳/۷ میلی‌گرم)، منیزیوم (۳/۳۴۴ میلی‌گرم) و آهن (۲۵۹/۱ میلی‌گرم) است. مواد معدنی دیگر شامل: منگنز (۲/۰۹ میلی‌گرم)، روی (۱۹/۱میلی‌گرم)، سلنیم (۰/۰۷ میلی‌گرم)، مس (۰/۶ میلی‌گرم) و کروم (۰/۰۲ میلی‌گرم) هستند. مطالعات نشان می‌دهد که کلرلا دارای اثرات ایمنی‌شناختی مختلف مانند اثرات ضد باکتری و ضدویروسی است، علاوه بر این مصرف کلرلا از مسمومیت ناشی از کادمیوم و استرس اکسیداتیو و آسیب سلولی جلوگیری می‌کند. مصرف کلرلا باعث حفظ ساختار کلیه در برابر استرس اکسیداتیو ناشی از جیوه و جلوگیری از مسمومیت کلیوی می‌شود. منابع متعددی در مورد فایده مصرف کلرلا نشان داده است که مصرف عصاره آن‌ها می‌تواند سطح قند خون را کاهش و غلظت هموگلوبین را افزایش دهد و به‌عنوان عوامل کاهش‌دهنده کلسترول و حفاظت کننده کبد عمل کنند و مسمومیت ناشی از اتیونین را کاهش دهند. مصرف کلرلا برای بهبود حساسیت به انسولین در موش‌های صحرایی مفید است. مصرف کلرلا توسط افراد مسن و حیوانات برای محافظت در برابر بیماری‌های وابسته به سن به‌ویژه فشارخون بالا و چربی خون بالا اثبات‌شده است. همچنین نشان داده‌شده که کلرلا تعدیل‌کننده سیستم ایمنی و دارای اثرات ضد سرطان است. نشان داده‌شده که تغذیه کلرلا توسط موش دارای خواص ضد تومور است. مطالعات دیگر نشان داد، که عملکرد عروقی در موش‌هایی با فشارخون بالا با مصرف خوراکی کلرلا افزایش‌یافته است. نتایج حاصل از مطالعات بالینی بر کلرلا نشان داده است که منجر به سم‌زدایی دیوکسین در انسان و حیوانات، بهبود ناشی از تابش اشعه بر حیوانات، کاهش فشارخون بالا، کاهش سطح کلسترول سرم، تسریع بهبود زخم و تقویت عملکردهای سیستم ایمنی می‌شود. در میان ریز جلبک‌های یوکاریوتی، یک گلیکوپروتئین استخراج‌شده از کشت کلرلا، فعالیت محافظتی در برابر گسترش تومور و سرکوب سیستم ایمنی ناشی از شیمی‌درمانی در موش‌ها نشان داد.

تتراسلمیس[1]

تتراسلمیس یک‌سویه از جلبک‌های سبز است که حدود ۵۰ گونه مختلف دارد. اغلب این‌گونه‌ها از محیط‌های ساحلی نزدیک دریا به‌ویژه از استخرهای جزر و مدی جداسازی می‌شوند. بااین‌حال برخی گونه‌های آب شیرین نیز شناخته‌شده‌اند. دیواره‌های سلولی گونه‌های تتراسلمیس معمولاً از پلی‌ساکاریدهای اسیدی تشکیل‌شده است و ۸۲ درصد از وزن خشک آن‌ها را تشکیل می‌دهد (Camacho et al., 2019).

دونالیلا سالینا[2]

دونالیلا سالینا یک‌گونه تک‌سلولی منحصربه‌فرد از شاخه کلروفیتا است که بدون هیچ دیواره سلولی است و در محیط‌های شور پیدا می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که این جلبک، پلی‌ساکاریدهای برون سلولی تولید می‌کند و با دارا بودن فعالیت‌هایی چون محرک سیستم ایمنی، ضدویروس و ضد توموری شناخته می‌شود (Camacho et al., 2019).

سندسموس[3]

[1] *Tetraselmis*
[2] *Dunaliella salina*
[3] *Scenedesmus*

گونه‌های سندسموس معمولاً در همه‌جا یافت می‌شوند و اغلب غالب آب‌های شیرین دریاچه‌ها و رودخانه‌ها هستند. آن‌ها به علت ارزش غذایی‌شان شناخته‌شده‌اند. از آن‌ها همچنین برای تولید چربی و کربوهیدرات برای درست کردن سوخت‌های زیستی استفاده می‌شود. تشکیل کلونی در این جلبک منجر به تولید پلی ساکارید می‌شود (Camacho et al., 2019).

کلروکوکوم[1]

کلروکوکوم، جلبک سبز دریایی یک‌سویه کروی و تک‌سلولی است که دارای سلول‌هایی با قطر حدود ۱۰ میکرومتر است که به خانواده کلروکوکاسه تعلق دارد. این جلبک به دلیل تحملش در برابر کربن دی‌اکسید زیاد موردتوجه است و درست مانند سایر ریز جلبک‌ها، می‌تواند محصولات جانبی باارزش افزوده تولید کند. امروزه از این جلبک در صنایع غذایی و دارویی مانند محرک سیستم ایمنی، آنتی‌اکسیدان، ضدویروس و ضد سرطان می‌باشد (Camacho et al., 2019).

سایلندروسپرموم[2]

سایلندروسپرموم معمولاً دریاچه‌های نرم و اسیدی آب شیرین زندگی می‌کند و یکی از سیانوباکتری‌های رشته‌ای، هتروسیست دار و غیر منشعب است و در خانواده نوستوکاسه طبقه‌بندی می‌شود. از این سویه در کشاورزی به‌عنوان کودهای بیولوژیکی و حاصلخیز کننده خاک استفاده می‌شود. درواقع این سویه‌ها قادر به تثبیت نیتروژن اتمسفر هستند و به‌طور مؤثر به‌عنوان کودهای زیستی استفاده می‌شوند (Nowruzi et al., 2018).

ریز جلبک‌ها به‌عنوان غذایی کاربردی

طیف گسترده‌ای از ترکیبات فعال بیولوژیکی در زیست‌توده ریز جلبکی به شکل پروتئین، اسیدهای چرب اشباع‌نشده (PUFA)، رنگ‌دانه‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی، یا به‌عنوان ترکیبات خارج سلولی، مانند الیگوساکاریدها یافت می‌شوند (Malcata et al., 2019). مطالعات نشان دادند که ترکیبات ریز جلبکی بر سلامتی انسان - داروهای ضد سرطان، ضدالتهاب، آنتی‌اکسیدان، ضدمیکروبی و ضد چاقی و کاهش کلسترول نقش عمده‌ای دارند. ازاین‌رو، آن‌ها ممکن است به‌عنوان مواد مغذی استفاده کنند و انتظار می‌رود ارزش بازار آن‌ها در مواد غذایی در کوتاه‌مدت افزایش یابد (Anvar and Nowruzi, 2021). ریز جلبک‌ها نیز به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان مواد مغذی توسط صنایع غذایی - به‌ویژه برای پرورش آبزیان کاربرد دارند و موجب افزایش سیستم ایمنی بدن می‌شوند. متأسفانه، استفاده تجاری به دلیل هزینه‌های بالای تولید مربوط به غلظت و ذخیره‌سازی با دشواری‌هایی روبرو شده است. علاوه بر این، استفاده صنعتی از ریز جلبک‌ها به‌عنوان پروبیوتیک‌ها در تولید خوراک با چالش‌های متعددی روبرو شده است و هنوز فن‌های جدید یا بهبودیافته فرآوری برای کاهش هزینه-های تولید موردنیاز است (Güldaş and Irkin, 2010). کشت درشت جلبک‌ها در دهه ۱۹۶۰ در ژاپن آغاز شد، جایی که *کلرلا*، به‌عنوان افزودنی غذایی استفاده شد. در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، تولید صنعتی جلبک‌های کوچک به ایالات‌متحده آمریکا، چین، تایوان، استرالیا، هند، اسرائیل و آلمان گسترش یافت - با تأکید بر *Spirulina* sp. و *Chlorella* sp. در سال‌های اخیر تولید ترکیبی فعلی تقریباً به حدود به ترتیب ۵۰۰۰ و ۲۵۰۰ تن زیست‌توده خشک می‌رسد که در رفع نیاز پروتئین بازار بسیار مفید بوده است (Pina-Pérez et al., 2019). در همین حال، به دلیل آگاهی روزافزون مصرف‌کنندگان از تأثیر مواد غذایی بر سلامتی انسان، تقاضا برای غذاهای کاربردی در دهه‌های اخیر افزایش‌یافته است. غذاهای کاربردی (یا اجزای تغذیه‌ای موجود در غذا)، بر اساس تعریف، اثرات مفیدی بر عملکردهای فیزیولوژیکی ایجاد می‌کنند، باعث بهبود رفاه و سلامتی مصرف‌کنندگان می‌شوند و خطر بیماری را کاهش می‌دهند (Nowruzi et al., 2020c).

[1] *Chlorococcum*
[2] *Cylindrospermum*

بنابراین، گنجاندن منظم غذای کاربردی در رژیم غذایی باعث افزایش کیفیت زندگی می‌شود و درنهایت هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی را برای کل جمعیت کاهش می‌دهد. ارزش عملکردی ریز جلبک‌هایی که به‌عنوان غذا استفاده می‌شوند از محتوای بالای پروتئین‌ها، اسیدهای چرب اشباع‌نشده، پلی‌ساکاریدها، رنگ‌دانه‌ها، ویتامین‌ها، مواد معدنی، ترکیبات فنولیک، ترکیبات فرار و استرول‌ها ناشی می‌شود (Nowruzi et al., 2020a). ریز جلبک‌ها منابع مهم اسیدهای چرب اشباع‌نشده چند زنجیره‌ای هستند و ازاین‌رو در صنایع غذایی به‌عنوان مکمل استفاده‌شده‌اند. ریز جلبک‌ها همچنین شامل اسید لینولئیک، اسید γ-لینولنیک و اسیدآراشیدونیک و همچنین شامل اسید لینولنیک، اسید ایکوزاپنتانوئیک و اسید دوکوزاهگزانوئیک هستند (انوار et al., 2021a).

جنبه‌های حسی نقشی اساسی در تعیین میزان استقبال مصرف‌کنندگان از مواد غذایی دارند. ازاین‌رو، یکی از مشکلات اصلی در مورداستفاده از زیست‌توده ریز جلبکی در محصولات غذایی پایداری است. به‌عنوان‌مثال، پودرهایی که به‌طور سنتی از میکرو جلبک‌ها به روش فتوسنتزی در استخرهای بیرونی یا در بیوراکتورهای داخلی تهیه می‌شوند، دارای رنگ سبز خیلی تیره (ناشی از کلروفیل)، همراه با طعم نامطبوع شدید هستند که ممکن است استفاده از آن‌ها در فرمولاسیون مواد غذایی را به خطر بیندازد (Güldaş and Irkin, 2010).

ریز جلبک‌ها به‌عنوان خوراک دام‌ها

خوراک غنی‌شده با مقادیر اندک زیست‌توده میکرو جلبکی، با بهبود پاسخ ایمنی، مقاومت در برابر بیماری و عملکرد روده، علاوه بر تقویت محافظت ضدویروسی و ضد باکتریایی و همچنین افزایش عملکرد تولیدمثلی، تبدیل خوراک و افزایش وزن، به فیزیولوژی حیوان کمک می‌کند. به‌طور خاص، استفاده از *Chlorella vulgaris* برای تغذیه گاوهای شیری درواقع باعث کاهش اسیدهای چرب شیر می‌شود، از این طریق مقدار باقی‌مانده اسیدهای چرب اشباع‌شده و به‌طور هم‌زمان نسبت DHA افزایش می‌یابد. افزودن ریز جلبک‌ها به خوراک طراحی‌شده برای بره‌ها و اسب‌ها، محتوای اسید چرب گوشت حاصل را افزایش می‌دهد، درحالی‌که گنجاندن *Arthrospira platensis* در خوراک خوک‌ها و طیور باعث افزایش وزن شد. گنجاندن ریز جلبک‌ها در تغذیه آبزی‌پروری راهی امیدوارکننده برای جایگزینی پایدار و سازگاربامحیط‌زیست برای کشاورزی کلاسیک زمین یا دامداری است (Anvar et al., 2021) (Nowruzi et al., 2020b).تا به امروز، از آستاگزانتین به‌طور عمده در صنعت آبزی‌پروری به‌عنوان افزودنی خوراک استفاده می‌شود تا رنگ ماهی پرورشی و میگو، همراه با تولید غذاهای دریایی باکیفیت خوب برای مصرف افزایش یابد. گزارش‌شده است که افزودن آستاگزانتین به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی آن باعث افزایش سرعت رشد و بقای لارو در آبزی‌پروری و همچنین عملکرد تولیدمثل و کیفیت تخم‌مرغ آبزیان می‌شود. همچنین ثابت‌شده است که این ماده در افزایش مقاومت و پاسخ ایمنی در برابر بیماری‌های عفونی در ماهیان پرورشی مؤثر است (جدول یک و دو) (Malcata et al., 2019).

جدول ۱- کاربردهای صنعتی بالقوه ریز جلبک‌ها به‌عنوان پری بیوتیک در خوراک دام بر اساس فرم تجاری زیست‌توده و نوع مدل حیوانی

جنس / گونه‌ها	فرمول تجاری زیست‌توده	ترکیب زیست فعال	باکتری‌های پروبیوتیک	مدل جانوری	مزیت سلامتی
Navicula sp.	منجمد خشک‌شده	الیگوساکاریدها	*Lactobacillus sakei*	*Lutjanus peru*	بهبود سیستم ایمنی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی
Phaeodactylum	منجمد	پروتئین	*Bacillus*	*Gilthead*	بهبود سیستم ایمنی

tricornutum *Tetraselmis chuii*	خشک‌شده		*subtilis*	*seabream*	و افزایش توانایی جذب روده
Arthrospira platensis	منجمد خشک‌شده	فیکوسیانین	*Vibrio Alginolyticus*	*Litopenaeus vannamei*	بهبود سیستم ایمنی و مقاومت در برابر بیماری
Dunaliella tertiolecta	منجمد خشک‌شده	بتا-کاروتن	*Bacillus* sp.	*Artemia franciscana*	بهبود سیستم ایمنی و مقاومت در برابر بیماری
Arthrospira platensis	پودر	فیکوبیلین، فیکوسیانین،آلو فیکوسیانین، گزانتوفیل ها و کاروتنوئیدها	*Pseudomonas fluorescens*	*Oreochromis niloticus L.*	بهبود سیستم ایمنی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی
Euglena gracilis	پودر	پارامیلون	*Streptococcus iniae*	*Sciaenops ocellatus L.*	فعالیت تحریک ایمنی
Arthrospira platensis	پودر	الیگوساکاریدها	*Bacillus subtilis*	*Penaeus merguiensis*	بهبود سیستم ایمنی و مقاومت در برابر بیماری
Euglena gracilis	پودر	بتا-گلوکان	*Bacillus licheniformis* *Bacillus subtilis*	طیور، گاو، اسب، سگ، گربه، خزندگان، پرندگان	بهبود رفاه و سیستم ایمنی بدن

جدول ۲- اثر تغذیه دام‌ها با ریز جلبک‌ها بر اساس نوع محصول و ترکیب زیست فعال

محصول غذایی	فرم تجاری زیست‌توده	ریز جلبک‌ها		فعالیت درمانی	خوراک دام	
		جنس / گونه‌ها	حیوان		محصول	ارزیابی حسی
پودر	PUFA, EPA, DHA	*Schizochytrium* sp.	گاو	بهبود قلب و عروق، مغز و چشم	گوشت	n.a
پودر یا اسپری	مس	*Chlorella vulgarisa* *Spirulina* sp.	بچه خوک	افزایش مواد غذایی	گوشت	n.a
پودر	پروتئین، PUFA	*Arthrospira platensis* *Isochrysis* sp.	بره	پیشگیری از بیماری‌های قلبی	گوشت	بهبود رنگ، بو و عطروطعم
پودر	PUFA	*Arthrospira*	خرگوش	فعالیت ضدالتهابی،	گوشت	n.a

		platensis		افزایش خواص تغذیه‌ای		
		Schizochytrium sp.				
پودر	PUFA،EPA ، DHA	*Arthrospira platensis*	مرغ	فعالیت آنتی‌بیوتیکی، کاهش خطر بیماری‌های مزمن	گوشت	رنگ بهبودیافته (زردی گوشت و قرمزی کبد)
		Chlorella vulgaris				
		Staurosira sp.				
		Schizochytrium sp.				
پودر یا اسپری	پروتئین	*Chlorella vulgaris*	اردک	ایمنی بهبودیافته	گوشت	رنگ بهبودیافته
تخمیر شده	PUFA ،EPA، DHA ، کاروتنوئیدها	*Arthrospira platensis*	مرغ	پیشگیری از بیماری‌های قلبی ضدالتهاب، فشارخون بالا، ضد سرطان، ضدافسردگی و ضد پیری	تخم‌مرغ	رنگ بهبودیافته (زرد تا نارنجی)
		Nannochloropsis gaditana				
پودر یا اسپری	PUFA ،EPA، DHA-بتا ، لینولین	*Porphyridium* sp.	مرغ	بهبود خواص غذایی	تخم‌مرغ	رنگ بهبودیافته (زرد تا نارنجی)
منجمد خشک‌شده	کاروتنوئیدها	*Dunaliella* sp.	میگو	فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مصونیت بهبودیافته	گوشت	n.a.
منجمد خشک‌شده	آستاگزانتین	*Tetraselmis chuii*	میگو	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	گوشت	n.a.
پودر	پروتئین، چربی	*Nanofrustulum* sp.	ماهی سالمان آتلانتیک	بهبود خواص تغذیه‌ای	گوشت	n.a.
		Tetraselmis sp.				
پودر	آستاگزانتین	*Haematococcus pluvialis*	ماهی سالمان و قزل‌آلا	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	گوشت	رنگ بهبودیافته
پروتئین، چربی	تغذیه بهبودیافته	*Arthorospira platensis*	قزل‌آلا	خواص و مصونیت	گوشت	n.a
پودر	کاروتنوئیدها	*Arthrospria maxima*	ماهی قرمز کپور	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	مکمل غذایی	رنگ بهبودیافته (رنگ قرمز)
		Chlorella vulgaris				
		Haematococcus pluvialis				

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

ریز جلبک‌ها به‌عنوان پری بیوتیک

کربوهیدرات‌ها عمده‌ترین محصولات حاصل از فتوسنتز و متابولیسم تثبیت کربن در ریز جلبک ها هستند. بااین‌حال، مشخصات شیمیایی و مسیرهای متابولیکی مربوط به کربوهیدرات‌ها (عمدتاً نشاسته و سلولز) ممکن است به‌طور قابل‌توجهی از گونه‌ای به گونه دیگر از ریز جلبک متفاوت باشد. به‌طور خاص، ضخامت و ترکیب دیواره سلول به گونه‌های ریز جلبک، شرایط رشد و مرحله رشد بستگی دارد. پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی زیست‌توده میکرو جلبکی می‌توانند تا حدی هیدرولیز شوند. این روش به‌طور گسترده‌ای در صنایع غذایی و خوراک برای تولید الیگوساکاریدهای غیرقابل‌هضم استفاده می‌شود که نقش مهمی در سلامت و تغذیه انسان و دام دارند. در حقیقت، الیگوساکاریدهای ریز جلبکی به‌هیچ‌وجه (حداقل، نه به‌طور کامل) توسط میکروبیوتای روده‌ای منظم انسان یا حیوانات قابل تخمیر نیستند (Martelli et al., 2021). بااین‌حال، آن‌ها در صورت وجود در روده بزرگ، رشد و فعالیت باکتری‌های مفید خاص (به‌عنوان‌مثال *Lactobacilli* و *Bifidobacteria*) را تحریک می‌کنند، بنابراین به بهبود سلامت میزبان کمک می‌کنند - در این صورت، آن‌ها به‌عنوان پروبیوتیک عمل خواهند کرد. به‌طور خاص، یک پری بیوتیک ممکن است به‌عنوان یک ترکیب غذایی قابل‌هضم دیده شود که تغییرات خاصی را در فعالیت میکروبیوتای دستگاه گوارش ایجاد می‌کند، بنابراین مزایایی را برای سلامتی میزبان به‌طورکلی ایجاد می‌کند.

چند مطالعه نشان می‌دهد که پری بیوتیک‌ها ویژگی‌های مطلوبی مانند کاهش سندرم روده تحریک‌پذیر، عملکرد به‌عنوان عامل ضد درد و مسکن محیطی و سهم در محافظت از کبد دارند، علاوه بر این به‌عنوان ویروس‌کش، ضد باکتری، ضد قارچ، ضدالتهاب عمل می‌کنند، تعدیل‌کننده سیستم ایمنی، ضد انعقاد / ضدترومبوت، سرکوب‌کننده تومور، ضد تکثیر / تومور، ضد چربی و ضد قند خون و همچنین عامل آپوپتوز و فشارخون پایین هستند (Jafari Porzani et al., 2021). علی‌رغم مزایای مشاهده‌شده در مطالعات حیوانی، اطلاعات قابل‌اعتماد مربوط به انسان بسیار کمیاب است. این تحقق نیازمند تحقیقات گسترده‌تری در مورد مکانیسم عملکرد پری-بیوتیک‌ها در برابر سلامت انسان و تغذیه بالینی است که البته کاری بسیار چالش‌برانگیز است، به دلیل پیچیدگی میکروبیوم روده انسان. مطالعات نشان می‌دهد که پری بیوتیک-ها باعث افزایش جذب کلسیم و منیزیم، تأثیر بر سطح گلوکز و بهبود چربی‌های پلاسما می‌شوند. صنایع غذایی همیشه به دنبال فرآیندهای کارآمدتر، پایدارتر، ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر برای استفاده در مقیاس بزرگ بوده-اند. بااین‌حال، تولید الیگوساکاریدهای پری بیوتیک می‌تواند توسط پیچیدگی ساختاری آن‌ها محدود شود، بنابراین هزینه‌های مرتبط ممکن است رقابت تولید صنعتی را به خطر بیندازد. از طرف دیگر، الیگوساکاریدهای پری بیوتیک را می‌توان در منابع معمولی مواد غذایی نیز پیدا کرد و یا اینکه، از طریق سنتز آنزیمی از دی ساکاریدها یا هیدرولیز پلی‌ساکاریدها تولید شوند. به‌عنوان‌مثال جلبک‌های دریایی و ریز جلبک‌های دریایی یکی دیگر از منابع مرتبط (اگرچه غیرمستقیم) از الیگوساکاریدها هستند.

پلی‌ساکاریدها درحالی‌که دارای ویژگی‌های بیوشیمیایی و تخمیر بی‌نظیری هستند، توسط آنزیم‌های گوارشی در قسمت فوقانی دستگاه گوارش تجزیه نمی‌شوند. تبدیل پلی‌ساکاریدها به الیگوساکاریدها ممکن است به روش‌هایی مانند اولتراسوند، ماکروویو، رادیکال‌های آزاد تولیدشده توسط Cu^{2+}، Fe^{2+} یا H_2O_2، هیدرولیز توسط اسید فسفریک و هیدرولیز اسیدی حرارتی با HCl رقیق انجام شود. فن‌های فیزیکی (به‌عنوان‌مثال، اولتراسوند و ماکروویو) معمولاً عوارض جانبی کمتری دارند یا اصلاً عارضه‌ای ندارند. علاوه بر این، آن‌ها سمی نیستند و از نظر انرژی و زمان کاملاً مؤثر هستند (Martelli et al.,

2021). ترکیبی از منابع ریز جلبکی که دارای خواص پری‌بیوتیکی هستند شامل اینولین، گالاکتو-الیگوساکاریدها، زیلو-الیگوساکاریدها، الیگوساکاریدهای مشتق‌شده از آگارز، نئوآگارو-الیگوساکاریدها، الیگوساکاریدهای مشتق‌شده از آلژینات، آرابینوکسیلان‌ها، β-گالاکتان‌ها است (Malcata et al., 2019). مطالعات محققان نشان داده است که *Arthrospira platensis* تأثیر مثبتی بر زنده ماندن باکتری‌هایی مانند *Lactobacillus casei*، *Streptococcus thermophilus*، *Lactobacillus acidophilus* و Bifidobacteria در بخشی از فلور روده دارد، درحالی‌که باکتری‌های بیماری‌زا مانند *Proteus vulgaris*، *Bacillus subtilis* و *Bacillus pumulis* در طی مطالعات in vitro سرکوب‌شده‌اند. *Spirulina* sp. وقتی به ماست اضافه می‌شود، رشد *L. acidophilus* و *Bifidobacteria* را افزایش داد، درحالی‌که *Isochrysis galbana* که با غلظت‌های بالایی از فیبرهای محلول و نامحلول همراه است، به‌عنوان یک پری بیوتیک مطلوب به نظر می‌رسد. این نتیجه‌گیری از افزایش تعداد باکتری‌های اسیدلاکتیک در اثر آزمایشی بود که روی موش‌هایی که با ریز جلبک‌ها تغذیه‌شده بودند به دست آمد (Alizadeh Khaledabad et al., 2020). عملکردهای بیولوژیکی خاصی که توسط گونه‌های ریز جلبک بازی می‌شود، به کمپلکس‌های قندی مربوط می‌شود، همان‌طور که در مورد *Chlorella pyrenoidosa* و *Chlorella ellipsoidea* نیز وجود دارد. درواقع باقی‌مانده‌های گلوکز و انواع مانوز، گالاکتوز، رامنوز، N-استیل گلوکوزامین، N-استیل گالاکتوزامین و آرابینوز وجود دارد. کمپلکس‌های قندی دارای اثرات تحریک‌کننده سیستم ایمنی و حتی ضد-تکثیری در برابر *Listeria monocytogenes* و *Candida albicans* هستند. کربوهیدرات دیگری که از *Chlorella* sp. مشتق شده است که فعالیت تحریک-کننده سیستم ایمنی را حفظ می‌کند، 1-3،β-گلوکان است. این ترکیب یک یخ زدا فعال رادیکال‌های آزاد است. علاوه بر این، سطح چربی خون را کاهش می‌دهد. اثرات ضدویروسی پلی‌ساکاریدهای استخراج‌شده از *Porphyridium* sp. و *Nostoc flagelliforme* نیز در برابر ویروس *Herpes simplex* اثبات‌شده‌اند (جدول سه) (Jafari Porzani et al., 2021).

محصولات لبنی تخمیر شده به‌عنوان حامل‌های ماده غذایی پروبیوتیک

غذاهای کاربردی، غذاهایی هستند که علاوه بر خواص ثابت تغذیه‌ای همراه با تائید نتیجه‌ی درمانی برای مصرف‌کننده، حداقل یک ماده غذایی برجسته دارند. آن‌ها با افزودن حداقل یک ماده شیمیایی یا جزئی میکروبی به یک غذای پایه مانند شیر و فرآورده‌های شیری، تولید می‌شوند. پروبیوتیک‌ها و سینبیوتیک ها[1] غذاهای کاربردی با غنی‌سازی میکروبی هستند. یکی از بهترین ماده غذایی پایه برای تولید غذاهای کاربردی شیرهای تخمیر شده هستند، به این دلیل که ذاتاً به‌عنوان غذای سالم شناخته می‌شوند که توسط اکثریت‌قریب‌به‌اتفاق مردم در رژیم غذایی طولانی‌مدتشان مصرف می‌شوند (Pina-Pérez et al., 2019) دارای حس خوشایند پذیرش، و ماندگاری طولانی‌تری هستند که توزیع، فروش و مصرف آن‌ها را آسان می‌کند. شیرهای تخمیر شده به‌طور گسترده‌ای در سراسر جهان تولید می‌شوند. تقریباً ۴۰۰ نام عمومی، برای محصولات سنتی و تجاری استفاده می‌شد; ولی در اصل لیست ممکن است شامل گوناگونی‌های کمی باشد (Beheshtipour et al., 2013). ماست به‌عنوان محبوب‌ترین شیر تخمیر شده در جهان در نظر گرفته می‌شود. ارزش بازار جهانی برای اجزای پروبیوتیک، مکمل‌ها و مواد غذایی، ۹/۱۴ میلیارد دلار در ۲۰۰۷ بود و در ۲۰۰۸ به ۱۶ میلیارد دلار رسید. پروبیوتیک‌ها به‌وفور در محصولات لبنی مانند ماست‌ها، کفیر و نوشیدنی‌ها یافت می‌شوند (Kavimandan, 2015). شیرهای تخمیر شده‌ی پروبیوتیک به‌عنوان محبوب‌ترین و مورد بررسی‌ترین غذاهای کاربردی در نظر گرفته می‌شود. علاوه

[1] Sinbioticts

بر این، آن‌ها پرمصرف‌ترین محصولات پروبیوتیک هستند (Alizadeh Khaledabad et al., 2020).

جدول ۳- کاربردهای صنعتی بالقوه ریز جلبک‌ها به‌عنوان پری بیوتیک در تولید مواد غذایی

جنس / گونه‌ها	فرم تجاری زیست‌توده	ترکیب زیست فعال	باکتری‌های پروبیوتیک	تولید- محصول	جلوه حسی	مزیت سلامتی
Arthrospira platensis *Chlorella vulgaris*	پودر	گلوکز، رامنوز، مانوز، زایلوز و گالاکتوز	*Lactobacillus acidophilus* *Bifidobacterium lactis* *Lactobacillus delbrueckii* *Streptococcus thermophilus*	ماست	رنگ، ثبات و بافت بهبودیافته	جلوگیری از یبوست، بهبود سیستم ایمنی بدن افزایش جذب مواد معدنی و لاکتوز، کاهش کلسترول
Arthrospira platensis	پودر	PUFA	*Streptococcus thermophilus* *Lactobacillus delbrueckii spp. bulgaricus* *Lactobacillus lactis ssp. lactis Lactobacillus acidophilus*	شیر	n.a.	بهبود خواص تغذیه‌ای
Cryptheiconidium cohnii	پودر یا منجمد خشک‌شده	فیکوسیانین، ویتامین سی، روی، آهن، منیزیم	*Streptococcus salivarius* *Thermophilus sp.* *Lactobacillus delbrueckii* *Lactobacillus bulgaricus* *Bifidobacterium bifidum* *Lactobacillus acidophilus*	شیر	n.a	فعالیت‌های ضد سرطان و ضدالتهاب، سطح خون و کلسترول را بهبود بخشید
Chlorella sp. *Scenedesmus* sp. *Spirulina* sp.	پودر	کاروتنوئیدها، لاندا- لینولنیک اسید	*Lactobacillus plantarumBifidobacteria*	پنیر	رنگ بهبودیافته (سبز- آبی) و بافت	بهبود خواص تغذیه‌ای

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

ارزش حیاتی در این محصولات، حفظ دوام پروبیوتیک‌ها در حد استاندارد طبق قوانین ملی تا پایان عمر مفید است. گرچه وجود عوامل محیطی مخرب در محصولات فوق‌الذکر (برای مثال، مقادیر pHکم، اسیدیته تیتراسیون نسبتاً بالا، پتانسیل اکسایش، اکسیژن مولکولی، عوامل ضدمیکروبی مثل هیدروژن پراکسید، باکتریوسین[1]

[1] Bacteriosin

،اسیدهای چرب کوتاه زنجیر[1]، برخی طعم‌دهنده‌ها، نمک، شکر، شیرین‌کننده‌ها، مواد افزودنی و رقابت‌های میکروبی) معمولاً باعث از دست دادن دوام پروبیوتیک‌ها در مدت تخمیر و در طول دوره ذخیره‌سازی می‌شود (Akalin et al., 2009).

علاوه بر این، حتی محیط شیر (گرچه بسیار مناسب‌تر از انواع دیگر محصولات غیر لبنی تخمیر شده است) دچار کمبود برخی مواد مغذی برای پروبیوتیک‌ها به شکل قابل‌دسترس است (Beheshtipour et al., 2013). بنابراین، تحقیقات بسیاری درزمینه‌ی فناوری پروبیوتیک در مورد غنی‌سازی مواد غذایی پایه با استفاده از عوامل تقویت‌کننده‌ی رشد برای میکروارگانیسم‌های ذکرشده متمرکزشده است. علاوه بر دوام پروبیوتیک‌ها در پنیر، خواص حسی (عطروطعم، بافت و شکل ظاهری) ازنظر مصرف‌کننده از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (Mazinani et al., 2016). مطالعات نشان داده که طعم اولین شاخص برای انتخاب یک ماده غذایی، ملاحظات بهداشتی است. این مطالعات همچنین نشان داده که اگر مواد افزودنی طعم‌های نامطلوبی به محصول بدهند، مصرف‌کنندگان علاقه‌ای به مصرف یک غذای کاربردی ندارند. حتی اگر این امر منجر به مزیتی برای سلامتی آن‌ها شود (Golmakani et al., 2019).

اثرات غنی‌سازی ریز جلبک‌ها بر میزان اسیدی شدن در شیرهای تخمیری حاوی باکتری پروبیوتیک

مطالعات نشان می‌دهد که خواص شیمیایی (pH و اسید تولیدی) محصولات تخمیر شده مانند ماست و محصولات شیر تخمیر شده پروبیوتیک، به دلیل غنی‌سازی با پروبیوتیک‌هایی مانند اینولین، نشاسته مقاوم، فیبر و کلسیم، فیبر خرما، بتاگلوکان و گلوکز بهبود می‌یابد و می‌تواند به دلیل مزایای تغذیه‌ای پروبیوتیک‌ها در افزایش رشد پروبیوتیک‌ها و تقویت تولید اسید در طول تخمیر و ذخیره باشد (Pan-utai et al., 2020). محققان تغییرات ایجادشده در اسید تولیدی توسط باکتری لاکتیک اسید مزوفیل رشد یافته در شیر را موردبررسی قراردادند. نمونه‌های شیر غنی‌شده با اسپیرولینا در غلظت‌های متفاوت (۰، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۸ درصد) به میزان یک درصد با سویه‌های باکتری‌های لاکتیک اسید مزوفیل تلقیح شدند و مورد آزمایش قرار گرفتند (Parada et al., 1998). مقدار pH در فواصل منظم (هر دو ساعت) با محلول‌های بافر استاندارد در pH ۴/۰۱ و ۷/۰۱ اندازه‌گیری شد. نتایج این مطالعات نشان داد که اسپیرولینا توانایی تحریک تولید اسید توسط Lactocucoss را دارد.

نتایج حاصل از مطالعات نشان می‌دهد که زیست‌توده سیانوباکتریوم به میزان ۰/۱ تا ۰/۸ درصد، مقدار تولید اسید را توسط *Lactocucoss* بین ۶ تا ۱۲ ساعت در فرآیند تخمیر افزایش می‌دهد. افزودن اسپیرولینا باعث کاهش مقدار pH در نمونه‌های ماست شد (Pan-utai et al., 2020)، این کاهش احتمالاً به دلیل اثر تحریکی ایجادشده توسط زیست‌توده اسپیرولینا در رشد *L. bulgaricus* در رشد و همچنین به دلیل تعداد زیاد سلول‌های زنده‌ی *L. bulgaricus* در ماست‌های جلبکی در اولین روز ذخیره بود. میانگین کاهش سرعت pH، برای تیمارهای حاوی اسپیرولینا در مقادیر کمتری گزارش گردید. این تیمارها همچنین، میانگین افزایش میزان اسیدیته را به‌طور قابل‌توجهی بیشتر نشان دادند. شرایط مشابهی برای اسیدیته نهایی در تیمارها مشاهده شد، که این ویژگی‌ها را می‌توان به تأثیرات متفاوت ظرفیت بافری در تیمارها نسبت داد. نمونه‌های حاوی اسپیرولینا، ظرفیت بافری بیشتری را نشان دادند. هرچه ظرفیت بافری بیشتر باشد افت pH کندتر می‌شود، درنتیجه، میزان اسیدی شدن باکتری‌های استارتر[2] افزایش می‌یابد، زیرا بعداً در طی تخمیر به میزان قابل‌توجهی مهار می‌شوند (Alizadeh Khaledabad et al., 2020).

علاوه بر آن مطالعات گزارش قابل‌توجهی درباره اسید تولیدی توسط گونه‌های *Enterococcus* در شیر نشان داده‌شده است. به‌طورکلی گونه‌های *Enterococcus*،

[1] Chain fatty acids

[2] Starter bacteria

توانایی کمی در اسیدی کردن شیردارند. همچنین نشان داده‌شده که *E. faecalis* توانایی تولید اسید بیشتری نسبت به *E. faecium* دارند. پتانسیل اسیدی بالایی، در شیر بدون چربی با کاهش pH تقریباً تا ۴/۵، بعد ۲۴ ساعت تخمیر برای سویه‌های *E. faecalis* جداشده از یک پنیر ایتالیایی مشاهده شد. سویه‌ای از *Enterococcus* در آزمایشی با کاهش pH شیر بین ۵/۶ تا ۵/۱۵ پس از ۲۲ ساعت تخمیر در ۳۷ درجه سیلیسیوس، خاصیت اسیدی نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که *L.plantarum* دارای خاصیت اسیدی ضعیف‌تری نسبت به *E.faecium* است، به این دلیل که مقدار pH محصولات به ترتیب بعد از ۲۲ ساعت تخمیر در دمای ۳۰ درجه سیلیسیوس از ۵/۱۵ تا ۵/۳۴ و از ۴/۶۲ تا ۵/۱۰ در نمونه‌های شاهد و غنی‌شده با اسپیرولینا متغیر بود. بااین‌حال، مشابه آنچه با *E.faecium* آزمایش شد، افزودن زیست‌توده ریز جلبک، اثر تحریک‌کننده قابل‌توجهی بر *L.plantarum* در طی فرایند تخمیر داشت (Beheshtipour et al., 2013). علاوه بر این ماست جلبکی حاوی زیست‌توده اسپیرولینا، pH کمتری در مقایسه با ماست طبیعی در ابتدای ذخیره‌سازی دارد. مقادیر pH در شیرهای تلقیح شده با مخلوط کشت‌های *S.thermofilus*، *L.bulgaricus* و *S.platensis* نسبت به نمونه‌های شاهد در ۳ ساعت اول تخمیر با سرعت بیشتری کاهش یافت (Akalin et al., 2009).

محققان همچنین کاهش قابل‌توجهی در مقدار pH شیرABT[1] غنی‌شده با اسپیرولینا، نسبت به شیر ABT کنترل در طول ذخیره‌سازی مشاهده کردند. شیر ABT غنی‌شده با اسپیرولینا دارای تعداد *S.thermofilus* بیشتری نسبت به شیر ABT کنترل پس از ۶ هفته ذخیره‌سازی در یخچال بود. طبق این نتایج، ماست غنی‌شده با اسپیرولینا، پروتئین بیشتری در مقایسه با ماست ساده داشت که به دلیل محتوای بالای پروتئین در ریز جلبک اسپیرولینا بود (Varga et al., 2002; Akalin et al., 2009).

تأثیرات غنی‌سازی ریز جلبک بر ماندگاری باکتری پروبیوتیک

ماست یا محصولات حاصل از ماست به‌عنوان محبوب‌ترین حامل برای ترکیبات پروبیوتیک استفاده می‌شود. باکتری‌های پروبیوتیک به pH، اسیدلاکتیک، پراکسید هیدروژن و اکسیژن محلول در شیر تخمیر شده حساس هستند (Bhowmik et al., 2009). عوامل و فرآیندهای مختلفی به‌طور قابل‌توجهی بر زنده ماندن میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک در شیرهای تخمیر شده تأثیر می‌گذارند که شامل pH، اسیدیته قابل تیتراسیون، اکسیژن مولکولی، پراکسید هیدروژن، باکتریوسین ها، اسیدهای چرب کوتاه زنجیر، مواد طعم‌دهنده، رقابت‌های میکروبی، مواد مورداستفاده در بسته‌بندی و شرایط بسته‌بندی، میزان تلقیح، مراحل تخمیر، غنی‌سازی شیر با مواد مغذی، مواد جامد شیر، فرآیند حرارتی شیر، دمای انکوباسیون، دمای ذخیره‌سازی، افزودن نمک، شکر و شیرین‌کننده‌ها، میزان سرد کردن محصول و مقیاس تولید هستند (Beheshtipour et al., 2012). pH، مهم‌ترین فاکتور کاهش ماندگاری پروبیوتیک‌ها در شیر تخمیر شده است. تلاش‌های زیادی برای بهبود رشد و ماندگاری باکتری‌های پروبیوتیک در مدت ذخیره‌سازی انجام شد، که برخی ازاین‌روش‌ها در بهبود ماندگاری باکتری‌های پروبیوتیک در محصولات ماست موفقیت‌آمیز بوده است. موادی مانند الیگوساکاریدها، مواد قندی و ازت می‌توانند رشد باکتری‌های پروبیوتیک را بهبود بخشند. ویتامین‌ها، دکسترین و مالتوز، رشد گونه‌های بیفیدوباکتریوم را در شیر تحریک می‌کنند. ریز جلبک‌ها ازجمله کلرلا و اسپیرولینا می‌توانند ماندگاری باکتری‌های پروبیوتیک را افزایش دهند (Nowruzi et al., 2020b) (Anvar et al., 2021).

[1] Acidophilus-bifidus-thermophilus (ABT)

ترکیبات تحریک‌کننده رشد زیست‌توده سیانوباکتری‌ها، آدنین، هیپوگزانتین و اسیدآمینه‌های آزاد هستند. به نظر می‌رسد که کشت ریز جلبک‌ها به همراه پروبیوتیک‌ها به دلیل قلیایی بودن آن‌ها و وجود ترکیبات مؤثری مانند آدنین، هیپوگزانتین و اسیدآمینه‌های آزاد، می‌تواند باعث تحریک رشد، افزایش ماندگاری و تولید اسید توسط پروبیوتیک‌ها در محصولات و همچنین در دستگاه گوارش شود.

برخی از محققان مشاهده کردند که رشد LAB در محیط‌های مصنوعی توسط محصول خارج سلولی اسپیرولینا افزایش‌یافته است (de Caire et al., 2000). محققان دیگر گزارش دادند که، زیست‌توده سیانوباکتریوم به‌طور قابل‌توجهی رشد و اسید تولیدی باکتری‌های استارتر گرمادوست را در محصولات لبنی تحریک می‌کند. رشد بیش‌ازحد باکتری‌های ماست طبیعی منجر به سرکوب پروبیوتیک‌ها در شیر تخمیر شده و درنتیجه کاهش ماندگاری آن‌ها می‌شود. بنابراین کنترل افزودن ریز جلبک‌ها بر ماندگاری باکتری‌های ماست در شیر تخمیر شده در مدت تخمیر و ذخیره‌سازی بسیار تأثیر دارد (Beheshtipour et al., 2012). محققان دیگر تأثیر زیست‌توده اسپیرولینا را بر روی رشد LAB در شیر بررسی کردند. این محققان *S. thermophilus* TH4، *L.lactis C2* و *L.delbruekii* YL1 را با افزودن سه میلی‌گرم زیست‌توده‌ی خشک *S. platensis* رشد دادند. بعد از چهار ساعت، میزان افزایش رشد LAB توسط عصاره اسپیرولینا در pH۸/۶، برای C2 TH4 و YL1 به ترتیب ۴۶/۳، ۷۳/۹ و ۷۶/۷ درصد بود و این احتمال به دلیل کاهش میزان عوامل تحریک‌کننده بود. سه سویه‌ی تیمار شده توسط اسپیرولینا بعد از ده ساعت به فاز ثابت رسیدند و تعداد آن‌ها به مدت بیست ساعت ثابت ماند، درحالی‌که همان سویه‌ها بدون اسپیرولینا با سرعت آهسته‌تری رشد کردند و به مدت بیست ساعت رشدشان ادامه داشت. در کل تعداد باکتری‌های LAB، در شیر غنی‌شده با اسپیرولینا بیشتر گزارش گردید.

محققان یافتند که افزودن محصولات خارج سلولی به‌دست‌آمده از کشت اسپیرولینا باعث رشد LAB می‌شود. درنتیجه دریافتند که اسپیرولینا می‌تواند به‌عنوان یک عامل پروبیوتیک، باعث تحریک رشد LAB شود. به‌منظور فهمیدن ترکیب اصلی زیست‌توده‌ی اسپیرولینا، تجزیه‌ی شیمیایی انجام شد. مقادیر شیمیایی یافت شده قبل از رشد اسپیرولینا، ۱/۷ و ۷/۳ و ۲ درصد بودند و بعد از کشت اسپیرولینا به مقادیر ۱۱/۵، ۸/۹ و ۱/۳ درصد رسیدند. تغییرات ثبت‌شده در پارامترهای فوق‌الذکر نشان داد که اسپیرولینا به‌عنوان یک میکروارگانیسم فتواتوتروپیک عمل می‌کند که نیتروژن را مصرف و اگزو پلی ساکارید و سایر ترکیباتی را که مسئول تحریک LAB هستند را آزاد می‌کند. محققان هنگامی‌که شیر را با مخلوط کشت‌های *B.animalis*، *S.t thermophilu* و *S. bifidum* تلقیح کردند، یافتند که زیست‌توده‌ی اسپیرولینا هیچ تأثیری روی فرآیند تخمیر و رشد *bifidum* و B.*animalis* نداشت. به‌طورکلی نمونه‌های ماست غنی‌شده با اسپیرولینا حاوی تعداد بسیار زیادی از سلول‌های *L.b ulgaricus* بودند؛ بنابراین غنی‌سازی با زیست‌توده ریز جلبکی، تعداد *L.bulgaricus* را به‌طور قابل‌توجهی در ماست طبیعی و پروبیوتیک افزایش داد (de Caire et al., 2000) اثر تحریکی زیست‌توده ریز جلبکی بر ماندگاری *L.bulgaricus*، در مدت ذخیره‌سازی قابل‌توجه بود، این تأثیر را می‌توان به حضور ، اسیدهای آمینه، پپتون، آدنین و هیپوگزانتین، در زیست‌توده جلبکی نسبت داد، زیرا این مواد ازته قادر به تحریک رشد *L.bulgaricus* به مقدار قابل‌توجهی هستند (Beheshtipour et al., 2012).

در تحقیقات تکمیلی انجام‌شده توسط محققان، تفاوت قابل‌توجهی در ماندگاری *S.thermophilus*، بین نمونه‌های ماست حاوی اسپیرولینا با نمونه‌های ماست بدون آن وجود داشت. به‌طورکلی، ماندگاری *S.thermophilus* در ماست‌های حاوی اسپیرولینا در مدت ذخیره‌سازی بالاتر بود، بنابراین، افزودن زیست‌توده

جلبکی به‌طور قابل‌توجهی رشد *S.thermophilus* را کاهش داد. تعداد *S.thermophilus* در تمام نمونه‌های ماست در طول ۲۸ روز بیشتر از log8 CUF/ml محاسبه شد. علاوه بر این شیر غنی‌شده با اسپیرولینا حاوی مقادیر بیشتری بیفیدوباکتریوم، نسبت به شیر کنترل‌شده در طول مدت نگهداری بود. علاوه بر آن محققان تعداد *S.thermiphilus* را در ماست طبیعی و جلبکی در مدت ذخیره‌سازی به میزان log8 CUF/ml محاسبه کردند. ماندگاری *S.thermophilus* از دو گونه L.*bulgaricus* و *B.animalis* بیشتر بود (Beheshtipour et al., 2013). محققان دیگر تأثیر زیست‌توده اسپیرولینا را بر روی سویه‌های باکتری‌های اسیدلاکتیک مزوفیل بررسی کردند، اسپیرولینا به‌طور قابل‌توجهی تولید اسید را توسط سویه‌های مختلف باکتری‌های اسیدلاکتیک مزوفیل افزایش داد. زیست‌توده‌ی اسپیرولینا در طول دو هفته نگهداری در یخچال، دمای C^{o} ۴، ماندگاری باکتری استارتر مزوفیل را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد (Mocanu et al., 2013). اسپیرولینا به دلیل خاصیت قلیایی و دارا بودن ظرفیت بافری قابل‌توجه، رشد LAB را در طول فرآیند تخمیر و همچنین در هفته‌ی اول ذخیره‌سازی افزایش داد. در مطالعه دیگری محققان استفاده از زیست‌توده‌ی ریز جلبکی را برای رشد و تحریک تولید اسید توسط *L.plantarum* و *E.faecium*، در شیر مطالعه کردند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، رشد و اسید تولیدی *E.faecium* و *L.p lantarum* در کلیه محیط‌های کشت، توسط اسپیرولینا به میزان قابل‌توجهی تحریک شد محققان دیگر اثرات کلرلا و اسپیرولینا را بر دوام باکتری‌های پروبیوتیک در ماست بررسی کردند (Pan-utai et al., 2020).

با توجه به نتایج آن‌ها، دوام دو باکتری پروبیوتیک *L.acidophilus* و *B.lactis*، در سویه‌های حاوی ریز جلبک، به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از گروه شاهد بود. افزودن اسپیرولینا باعث افزایش تعداد L.*bulgaris* در محیط‌های مصنوعی و در شیر شد. افزایش تعداد *L.bulgaricus* در ماست‌های پروبیوتیک حاوی ریز جلبک، می‌تواند نتیجه همزیستی بین *B.animalis* و *L.bulgaricus* باشد. محققان دیگر گزارش دادند که پروبیوتیک‌ها ازجمله بیفیدوباکتریوم، ماندگاری *L.bulgaricus*را در ماست بهبود می‌بخشند (Fadaei et al., 2013).

نتیجه‌گیری

تخمیر زیست‌توده اسپیرولینا توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک یک فناوری مناسب برای به دست آوردن محصولات کاربردی نوآورانه از زیست‌توده اسپیرولینا است که می‌تواند نیاز مصرف‌کننده را تأمین کند. تخمیر علاوه بر این‌که خواص تغذیه‌ای اسپیرولینا را افزایش می‌دهد، مقدار قابل‌توجهی از سلول‌های باکتری پروبیوتیک *Lactobacillus* را نیز به آن اضافه می‌کند و درنتیجه خواص مطلوب بیشتری را به محصول نهایی ارائه می‌دهد. درواقع ازنظر تغذیه‌ای، محصولات پروبیوتیک حاصل از ریز جلبک‌ها قابل‌مقایسه با پروتئین‌های گیاهی هستند، ما توسعه تجاری آن‌ها به دلیل هزینه‌های زیاد تولید، مشکلات فنی در استخراج و تصفیه و مسائل حسی و خوش‌طعم سازی هنگام تلاش برای تهیه محصولات غذایی جدید، با موانع بسیاری روبه‌رو شده است.

بدون شک، دوام باکتری‌های پروبیوتیک در طول فرآیند تخمیر، پس از فرایند تخمیر و در طول ذخیره‌سازی در یخچال، یک نگرانی عمده در تولید ماست پروبیوتیک یا سایر محصولات شیر است. افزودن ریز جلبک‌ها می‌تواند باعث دوام پروبیوتیک‌ها در محصولات لبنی تخمیری شده مانند ماست شود، بااین‌حال، افزودن آن‌ها بر خواص حسی محصول نهایی اثر نامطلوبی می‌گذارد. تحقیقات بعدی در این زمینه می‌تواند شامل افزودن انواع مختلفی از ریز جلبک‌ها به انواع شیرهای تخمیر شده، به‌غیراز ماست و همچنین بهبود ویژگی‌های حسی محصولات نهایی باشد.

منابع

1. Akalin, A., Unal, G. and Dalay, M. (2009). Influence of Spirulina platensis biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage. Ital. J. Food Saf. 21: 357-364.

2. Alizadeh khaledabad, M., Ghasempour, Z., Moghaddas KIA, E., Rezazad bari, M. and Zarrin, R. 2020. Probiotic yoghurt functionalised with microalgae and Zedo gum: chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics. Int. J. Dairy Technol. 73: 67-75.

3. Anvar AA and Nowruzi B. 2021. Bioactive Properties of Spirulina: A Review. Microbial Bioactives. 4: 134-142.

4. Beheshtipour, H., Mortazavian, A. M., Haratian, P. and Darani, K. K. 2012. Effects of Chlorella vulgaris and Arthrospira platensis addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties. Eur. Food Res. Technol. 235: 719-728.

5. Beheshtipour, H., Mortazavian, A. M., Mohammadi, R., Sohrabvandi, S. and Khosravi-darani, K. 2013. Supplementation of Spirulina platensis and Chlorella vulgaris algae into probiotic fermented milks. Compr. Rev. Food Sci. 12: 144-154.

6. Bhowmik, D., Dubey, J. and Mehra, S. 2009. Probiotic efficiency of Spirulina platensis-stimulating growth of lactic acid bacteria. WJDFS. 4: 160-163.

7. Camacho, F., Macedo, A. and Malcata, F. 2019. Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: A short review. Mar. Drugs. 17: 312.

8. DE Caire, G. Z., Parada, J. L., Zaccaro, M . C. and DE Cano, M. M. S. 2000. Effect of Spirulina platensis biomass on the growth of lactic acid bacteria in milk. World J. Microbiol. Biotechnol. 16: 563-565.

9. Fadaei, V., Mohamadi-alasti, F. and Khosravi-darani, K. 2013. Influence of Spirulina platensis powder on the starter culture viability in probiotic yoghurt containing spinach during cold storage. Eur. J. Exp. Biol. 3: 389-393.

10. Golmakani, M.-T., Soleimanian-zad, S., Alavi, N., Nazari, E. and Eskandari, M. H. 2019 .Effect of Spirulina (Arthrospira platensis) powder on probiotic bacteriologically acidified feta-type cheese. J. Appl. Phycol. 31: 1085-1094.

11. Guldaş, M. and Irkin, R. 2010. Influence of Spirulina platensis powder on the microflora of yoghurt and acidophilus milk. Mljekarstvo. 60: 237-243.

12. Gupta, S., Gupta, C., Garg, A. and Prakash, D. 2017. Prebiotic efficiency of blue green algae on probiotics microorganisms. J Microbiol Exp. 4: 11-12.

13. Jafari porzani, S., Konur, O. and Nowruzi, B. 2021. Cyanobacterial natural products as sources for antiviral drug discovery against COVID-19. J. Biomol. Struct. 1-17.

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

15. Malcata, F., Macedo, Â. and Camacho, F. 2019. Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: a short review. Mar Drugs. 17: 312-326.

16. Martelli, F., Cirlini, M., Lazzi, C., Neviani, E. and 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: 67-78.

17. Mazinani, S., Fadaei, V. and Khosravi-Darani, K. 2016. Impact of Spirulina platensis on physicochemical properties and viability of Lactobacillus acidophilus of probiotic UF feta cheese. J. Food Process. Preserv. 40: 1318-1324.

18. Mocanu, G., Botez, E., Nistor, O. V., Andronoiu, D. and Vlăsceanu, G. 2013. Influence of Spirulina platensis biomass over some starter culture of lactic bacteria. J. Agroaliment. Processes Technol. 19: 474-479.

19. Niccolai, A., Shannon, E., Abu-ghannam, N., Biondi, N., Rodolfi, L. and Tredici, M. R. 2019. Lactic acid fermentation of Arthrospira platensis (spirulina) biomass for probiotic-based products. J. Appl. Phycol. 31: 1077-1083.

20. Nowruzi, B., Haghighat, S., Fahimi, H. and Mohammadi, E. 2018. Nostoc cyanobacteria species: a new and rich source of novel bioactive compounds with pharmaceutical potential. J Pharm Health Serv Res. 9(1):5-12.

21. Nowruzi, B., Fahimi, H. and Sturion lorenzi, A. 2020a. Recovery of pure C-phycoerythrin from a limestone drought tolerant cyanobacterium Nostoc sp. and evaluation of its biological activity. Anales de Biología. 42: 115-128.

22. Nowruzi, B., Sarvari, G. and Blanco, S. 2020b. Applications of cyanobacteria in biomedicine. Handbook of Algal Science, Technology and Medicine. Elsevier. pp. 441-453.

23. Nowruzi, B., Sarvari, G. and Blanco, S. 2020c. The cosmetic application of cyanobacterial secondary metabolites. Algal Res., 49: 101-131.

24. Pan-utai, W., Atkonghan, J., Onsamark, T. and Imthalay, W. 2020. Effect of Arthrospira Microalga Fortification on Physicochemical Properties of Yogurt. Curr. Res. Nutr. Food Sci. 25;8(2):531-40.

25. Parada, J. L., De caire, G. Z., De mule, M. A. C. Z. and De cano, M. M. S. 1998. Lactic acid bacteria growth promoters from Spirulina platensis. Int. J. Food Microbiol. 45: 225-228.

26. Patel, A. K., Singhania, R. R., Awasthi, M . K., Varjani, S., Bhatia, S. K., Tsai, M.-L., Hsieh, S.-L., Chen, C.-W. and Dong, C.-D. 2021. Emerging prospects of macro-and microalgae as prebiotic. Microb. Cell Fact. 20: 1-16.

27. Patel, P., Jethani, H., Radha, C., Vijayendra, S., Mudliar, S. N., Sarada, R. and Chauhan, V. S. 2019. Development of a carotenoid enriched probiotic yogurt from fresh biomass of Spirulina and its characterization. J. Food Sci. Technol. 56: 3721-3731.

28. Pina-perez, M. C., Bruck, W., Bruck, T. and Beyrer, M. 2019 .Microalgae as healthy ingredients for functional foods. The role of alternative and innovative food ingredients and products in consumer wellness. Elsevier.pp. 103-137.

29. Seyed Amir Ali Anvar, Bahareh Nowruzi, Tala, M. 2021. Bioactive products of cyanobacteria and microalgae as valuable dietary and medicinal supplements. Food Hygiene, 11: 99-118.

30. Seyed Amir Ali Anvar , Bahareh Nowruzi. 2021. A Review of Phycobiliproteins of Cyanobacteria: Structure, Function and Industrial Applications in Food and Pharmaceutical Industries. JRIFST, 10: 181-198.

31. Varga, L., Szigeti, J., Kovács, R., Földes, T. and Buti, S. 2002. Influence of a Spirulina platensis biomass on the microflora of fermented ABT milks during storage (R1). J. Dairy Sci, 85: 1031-1038.

A review of the use of cyanobacteria in increasing effects of prebiotic and probiotic on food

Anvar SAA[1] Nowruzi B[2]*

1- Department of Food Hygiene, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Department of Biotechnology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

***Corresponding author**: *bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir*

Received: 01 November 2021 Accepted: 02 February 2021

Abstract

Probiotics have been a good and healthy food source for humans for centuries. In the meantime, microalgae are always considered useful dietary supplements. 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. In fact, as the number of live probiotics in the diet increases, consumers will receive more probiotics at the time of consumption. In this review article, we tried to investigate the effect of probiotics and prebiotics on the use of microalgae supplements on various fermented dairy products. In addition, by reviewing the latest available articles, the effect of using microalgae supplements on the physiological, chemical and microbiological properties and sensory of dairy products were examined.

Keywords: Microalgae, prebiotic, probiotic, *Lactic acid bacteria*.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.
Copyright © 2022 Shahrekord Branch, Islamic Azad University.