



مروری بر کاربردهای جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در بهبود خواص تغذیه‌ای و عملکردی محصولات لبنی و استفاده در بازیافت ضایعات صنعت لبنی

حامد حسن زاده^{۱*}، پریسا لطفی^۲، بابک قنبرزاده

۱- گروه بهداشت و صنایع غذایی، دانشکده پیرامپزشکی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

اسپیرولینا (Spirulina) نام کلی ریزجلبک‌های رشته‌ای، چندسلولی و سبز آبی می‌باشد که دو جنس *Arthrospira* و *spirulina* اسپیرولینا های مهم خوراکی هستند. این جلبک رایج‌ترین و پرمصرف‌ترین جنس است که در زمینه‌های متعددی به ویژه صنایع غذایی و پزشکی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل شیمیایی ریزجلبک اسپیرولینا نشان می‌دهد که منبع بسیار خوبی از برخی مواد مغذی درشت و ریز مغذی است. اسپیرولینا سرشار از پروتئین، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه ضروری، مواد معدنی و اسیدهای چرب ضروری می‌باشد که برای سلامتی حائز اهمیت هستند. پوشش سلولی اسپیرولینا از غشا نازک هیدروکربنی است که خیلی سریع توسط شیره معده هضم می‌شود، به همین دلیل اسپیرولینا کاملاً قابل هضم است و از غنی‌ترین منابع غذایی قابل دسترس نیز می‌باشد. با افزودن اسپیرولینا به جای پایدارکننده خواص تغذیه‌ای محصولات لبنی بهتر می‌شود و بافت و ظاهر و رنگ بهتری نسبت به اول خواهند داشت زیرا اسپیرولینا قابلیت استفاده به عنوان پایدارکننده را دارد. اضافه کردن ۱ تا ۱/۵ درصد پودر اسپیرولینا به محصولات لبنی مانند پنیر باعث کاهش آب و رطوبت در آن می‌شود که این سبب نرم‌تر شدن آن خواهد شد و ارتباط مستقیم با افزایش عمر نگهداری آن دارد. صنایع لبنی از صنایع بسیار آلاینده محسوب می‌شود که حاوی محتوای بالای عناصری مانند فسفر، نیتروژن و کربن و... می‌باشد که ریزجلبک‌ها برای حذف کامل آلاینده‌هایی مانند فسفر و نیتروژن و... شناخته می‌شوند که جلبک سبز آبی اسپیرولینا توانایی استفاده از مواد مغذی فاضلاب صنایع لبنی و کاهش بار آلی را تا غلظت‌های پایین‌تر دارند تا آب تصفیه شده قابل استفاده مجدد باشد. به طور کلی افزودن اسپیرولینا باعث افزایش خواص تغذیه‌ای و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خواهد شد و در صنایع مختلف مخصوصاً صنایع لبنی هم کارایی و مزایای متعددی می‌تواند ایجاد کند.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۹

کلمات کلیدی:

اسپیرولینا،
محصولات لبنی،
ضایعات لبنی،
خواص تغذیه‌ای،
خواص عملکردی

DOI: 10.22034/FSCT.20.141.175
DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.141.12.0

* مسئول مکاتبات:

h.hassanzadeh@ilam.ac.ir

۱- مقدمه

با افزایش اطلاعات عمومی نسبت به اهمیت تغذیه در سلامتی، درخواست برای غذاهای فراسودمند نسبت به گذشته توجه چشم گیری داشته است. در میان گونه‌های جلبک‌های شناخته شده، ریزجلبک سبز-آبی اسپیرولینا دارای ویژگی‌های منحصر به فرد و فوق العاده‌ی در حوزه سلامت افزایی و تغذیه‌ای می‌باشد به همین علت این ریزجلبک همواره مورد توجه محققان و صنعتگران حوزه مواد غذایی فراسودمند بوده است (۱).

اسپیرولینا پلاتنسیس سیانوباکتر رشته‌ای میکروسکوپی است و اسم این جلبک از شکل مارپیچی و رشته‌ای آن مشتق شده است که به دلیل خصوصیات تغذیه‌ای خیره کننده‌ای که دارد بهترین جنس شناخته شده سیانوباکتری‌ها می‌باشد و از نوید بخش‌ترین ریزجلبک‌ها می‌باشد. اسپیرولینا با توجه به ترکیب شیمیایی آن که شامل ترکیباتی مثل تمامی اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها، پیگمان‌های طبیعی و اسیدهای چرب ضروری امگا ۳ و به ویژه امگا ۶ مانند لینولنیک اسید و پیش ساز هورمون پروستاگلاندین در بدن می‌باشد و مطالعات متعدد نشان داده است که اسپیرولینا برای سلامتی بسیار مفید است. توده زیستی خشک شده اسپیرولینا حاوی حدود ۱-۲۰٪ کربوهیدرات، ۳-۷٪ رطوبت، ۸-۶٪ لیپید، ۷-۱۰٪ خاکستر، ۵۵-۶۰٪ پروتئین و ۸-۱۰٪ فیبر می‌باشد، اسپیرولینا شامل مقادیر بالایی از پروتئین (۷۰-۶۰٪ وزن خشک آن) می‌باشد (۲).

محتوای پروتئین اسپیرولینا ۵۰٪ بیشتر از گوشت، تخم مرغ، شیر خشک، غلات و دانه‌های سویا است، حاوی تمام اسیدهای آمینه ضروری به ویژه لوسین، والین و ایزولوسین است. با این حال، در مقایسه با پروتئین‌های استاندارد غذایی (شیر، تخم مرغ و گوشت) تا حدودی از نظر متیونین، سیستئین و لیزین غنی نمی‌باشد، در حالی که نسبت

به تمام پروتئین‌های گیاهی از جمله پروتئین‌های حبوبات برتری دارد. اسپیرولینا دارای مقادیر بالای ریز مغذی‌های متعدد به ویژه مواد معدنی (آهن ۸/۱-۵۸/۰، کلسیم ۱۴-۳/۱، فسفر ۷/۶-۰/۹ و پتاسیم ۴/۱۵-۴/۶ گرم بر کیلوگرم) می‌باشد که این سبب شده که به عنوان مکمل غذایی مناسب برای گیاه خواران شناخته شود. محتوای معدنی اسپیرولینا به شرایط منبع و کشت بستگی دارد. اسپیرولینا به عنوان یک غذای غنی از آهن شناخته می‌شود که میزان آهن آن ده برابر بیشتر از غذاهای معمولی غنی از آهن است. جلبک آهن اسپیرولینا ۶۰٪ بیشتر از سولفات آهن (موجود در مکمل‌های آهن) است (۳).

ریز جلبک اسپیرولینا یکی از مواد غذایی با ارزش تغذیه‌ای می‌باشد که سازمان بهداشت جهانی نیز از آن به عنوان یک ماده غذایی با ارزش یاد می‌کند ولی بهتر است زمانی که برای مصارف انسانی می‌خواهند از آن استفاده کنند طی فرآیندهای حرارتی استریل گردد (۴). این جلبک در درمان بیماری نیز مورد توجه است، در آفریقا برای مبارزه با بیماری ایدز و کودکان مبتلا به نقص سیستم ایمنی و کمبود مواد مغذی از اسپیرولینا استفاده می‌شود؛ همچنین مصرف آن برای سایر انسان‌ها نیز همواره سفارش می‌شود به همین دلیل تولید محصولات عاری از هر گونه آلودگی و خطر از اهمیت بسیاری برخوردار است که برخی از اثرات زیستی مطالعه شده میکروجلبک اسپیرولینا در جدول ۱ ذکر شده است. برای اطمینان از کیفیت دقیق تولید و محصولات نهایی از اسپیرولینا، تجزیه و تحلیل خطر، کنترل بحرانی و سایر شیوه‌های تولید محصول خوب باید اجرا شود (۵).

اسپیرولینا دارای کاربردهای متعدد و بالقوه می‌باشد مثلاً به عنوان اجزاء تشکیل دهنده‌ی ماده‌ی غذایی برای بهبود خواص سلامتی بخش محصولاتی مانند مکمل‌های غذایی، نوشیدنی‌ها و شیرهای تخمیر شده، غلات و محصولات

نانوایی، دسرهای، کیک‌ها و محصولات قنادی، بیسکویت‌ها، اسنک‌ها، سوپ‌ها، سس‌های سالاد و محصولات لبنی مانند بستنی، ماست، نوشیدنی‌های بر پایه لبنی و... به کار می‌رود(۶)؛ همچنین در محصولات لبنی نیز، نتایج امیدوارکننده‌ای در مورد غنی سازی ماست (۷) پنیر فراپالایش (۸) و دوغ (۹) با ریزجلبک اسپیرولینا گزارش شده است. فراوانی ترکیبات زیستی مهم در جلبک‌ها، فرصت‌های جدیدی را در تولید محصولات لبنی فراسودمند فراهم می‌کند. محصولات لبنی شامل شیر، پنیر، کره، بستنی و دوغ و... می‌باشند که بخش عمده‌ای از رژیم غذایی افراد را تشکیل می‌دهند. ماست به تنهایی یک غذای سالم است زیرا حاوی ترکیبات سلامت بخش، به ویژه کلسیم بالا، ویتامین و فلور سودمند میکروبی می‌باشد. اما کشت آغازگر ماست، لاکتوباسیلوس بولگاریکوس و استرپتوکوکوس ترموفیلوس، اغلب در مسیر معده زنده مانده بالایی ندارند (۱۰) از این رو، افزودن سویه‌های پروبیوتیک که توانایی عبور و زنده ماندن در دستگاه گوارش را دارند هستند، یک رویکرد مؤثر در تولید ماست عملگرا می‌باشد. همچنین فلور میکروبی ماست همراه باکتری‌های پروبیوتیک که دارای فعالیت پروتئولیتیکی پایینی می‌باشند، به منظور کاهش زمان تخمیر در این محصولات بکار برده می‌شود. ریزجلبک اسپیرولینا باعث ایجاد خواص آنتی اکسیدانی و بهبود رشد باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پاراکازنی می‌شود، خاصیت آنتی اکسیدانی اسپیرولینا عمدتاً به فیکوسیانین، بتاکاروتن و ترکیبات فنلی نسبت داده می‌شود، فراورده‌های لبنی حاوی لاکتوباسیلوس پاراکازنی یک پروبیوتیک به شمار می‌روند و مصرف فراورده‌های پروبیوتیک که حاوی اسپیرولینا بوده می‌تواند خواص سلامت بخشی ماست را افزایش دهند. جنس‌های لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم رایج ترین باکتری‌های پروبیوتیک مورد استفاده در محصولات لبنی می‌باشند (۱۱).

یکی از محصولات جانبی صنایع لبنی در برزیل که اثرات زیست محیطی دارد، آب پنیر است که پسماند تولید انواع پنیر از طریق فرآیندهای مختلف است. نشان داده شده است که تولید توده زیستی ریزجلبک در کشت‌های مخلوط تروفیک با آب پنیر امکان پذیر است زیرا این ضایعات بسترهای مهمی مانند قندها رابه عنوان منبع کربن آلی برای گونه‌های ریزجلبک فراهم می‌کند (۱۲). پنیر از جمله مواد غذایی است که پروتئین آن مرغوب بوده و غنی از اسیدهای آمینه ضروری می‌باشد. پنیر در مقایسه با سایر محصولات لبنی تخمیری، از قبیل ماست و شیرهای تخمیری، به دلیل دارا بودن برخی ویژگی‌ها از قبیل چربی بالا، بافت متراکم و منسجم به عنوان غذای حامل پروبیوتیک‌ها، جهت ماندگاری و حفظ فعالیت زیستی آن‌ها در تمام مراحل عبور از دستگاه گوارش و هضم بسیار مناسب می‌باشد؛ هم چنین دارای pH بالاتری نسبت به شیرهای تخمیری است. این ویژگی می‌تواند به بقای بیشتر پروبیوتیک‌ها کمک کند. افزودن هم زمان جلبک و پروبیوتیک به پنیر باعث افزایش دو چندان ارزش تغذیه‌ای خواهد شد (۱۳). بستنی یکی از محصولات لبنی محبوب در جهان و ایران است که در اکثر گروه‌های سنی طرفداران زیادی دارد. به همین علت، به نظر می‌رسد که بستنی محصول هدف مناسبی برای افزودن اسپیرولینا به زنجیره غذایی عمومی باشد. همچنین به نظر می‌رسد که رنگ سبز-آبی اسپیرولینا، ظاهر جذاب‌تری به بستنی خواهد بخشید. علاوه بر این‌ها، اسپیرولینا می‌تواند به عنوان یک عامل قوام دهنده و پایدارکننده بستنی مورد استفاده قرار بگیرد زیرا دارای ویژگی‌هایی مانند امولسیفایری و جذب آب می‌باشد (۱۴). دوغ به عنوان یک نوشیدنی محبوب و مقبول ملی ایران شناخته می‌شود، دوغ که یک نوشیدنی تخمیری سالم است که می‌تواند ویژگی‌های حسی مطلوبی داشته باشد و از نظر سلامت بخشی بسیار حائز اهمیت باشد. میزان دوغ تولیدی

دوخی که پس از کره گیری باقی می ماند و یا از ماست بدون چربی تهیه کرد (۱۶). در فراوری این محصول سنتی، یک مشکل اساسی که وجود دارد، ماندگاری برخی باکتری های پاتوژن از قبیل اشیریشیا کلای طی دوره تهیه و تخمیر کشک مایع و حتی طی ذخیره سازی آن است که مدت ماندگاری کشک را کاهش می دهد و باعث به خطر افتادن و آسیب به سلامت مصرف کننده خواهد شد که یکی از راه های بالا بردن ارزش تغذیه ای و سلامتی بخشی کشک، غنی سازی آن با جلبک اسپیرولینا می باشد که به علت داشتن رنگ مطلوب و مواد مغذی ضروری بدن در تولید کشک به کار گرفته می شود (۱۷).

در ایران و برخی از کشورهای دیگر از جمله ترکیه با نام آیران، هندوستان با نام لاسی، آذربایجان، ارمنستان، افغانستان و... به عنوان یک نوشیدنی مغذی و مقوی در مقایسه با انواع نوشیدنی های دیگر، قابل توجه می باشد، افزودن غلظت های مختلف اسپیرولینا پلاتنسیس ضمن جلوگیری از تغییرات مشخص در pH، اسیدیته دوغ را افزایش می دهد و تاثیر مثبت بر محتوای آهن و پروتئین تیمارها دارد بنابراین با توجه به میزان ویتامین ها، پروتئین ها، اسیدهای چرب ضروری و عناصر کمیاب با منشا طبیعی فرصت های جدیدی را در تولید محصولات فراسودمند فراهم می کند (۱۵).

یکی دیگر از فرآورده های لبنی کشک است که به روش سنتی میتوان آن را از جوشاندن، تغلیظ و یا خشک کردن

Table 1- of some studied biological effects of spirulina microalgae

Biological properties	Special effects	Bioactive components	Reference
Anticancer	Damaged DNA repair, selective inhibition of cyclooxygenase-2	Polysaccharides, C. phycocyanin	18
anti Virus	inhibition of DNA polymerase activity, Blocking virus uptake and penetration into vero cells	Sulfolipids, calcium spirulina (sulfated polysaccharide)	19
antibacterial		Fatty acids such as G	20
Metal protector	Inhibiting lipid peroxidation, eliminating free radicals, increasing the activity of GSH-peroxidase and superoxide dismutase.	Antioxidant components	21
Antioxidants	Free radical scavenging activity	Carotenoids, phycocyanin and chlorophyll	22

۲- کاربرد اسپیرولینا در لبنیات

۲-۱- شیر

اسپیرولینا حاوی بیش از صد نوع ماده مغذی می باشد و یک منبع غنی و ارزان قیمت از پروتئین، اسید آمینه ضروری، اسیدهای چرب امگا ۳ و ۶، مواد معدنی و ویتامین های اساسی به شمار می آید که مورد تأیید سازمان های مختلف ملی و بین المللی متصدی امر غذا و سلامت می باشد. با این حال، به دلیل ویژگی های ارگانولپتیکی ناخوشایند اسپیرولینا، احتمالاً معرفی این جلبک به تنهایی به عنوان یک غذا، با عدم استقبال مصرف کننده روبرو خواهد شد. یکی از راهکارهای مناسب برای وارد کردن این دست اجزای غذایی به سبد غذایی مصرف کننده، استفاده از آن ها در فرمولاسیون محصولات غذایی شناخته شده می باشد.

که تاکنون از اسپیرولینا برای غنی سازی بسیاری از محصولات غذایی همچون نوشیدنی، فراورده های گوشتی، فراورده های پاستا و... استفاده شده است. در استفاده از این جلبک در صنایع لبنی هم نتایج امیدوار کننده ای در مورد غنی سازی شیر، ماست، پنیر فراپالایش و دوغ بدست آمده است.

Vaega و Sziget (۲۰۱۲) شیر را با اسپیرولینا غنی سازی کردند و در دمای ۴ درجه سلسیوس آن ها را نگهداری کردند و آلودگی های کلیفرمی در آن ها مشاهده نکردند ولی وقتی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس نگه داری کردند میزان کلیفرم ها از 10^5 طی ۱۵ روز تغییر کرد (۲۳).

زمانی که پودر اسپیرولینا و نمونه تازه اسپیرولینا برای شمارش کلیفرم ها در محیط کشت ژلوز خوندار مطابق روش های استاندارد کشت داده می شود مشاهده می شود که میزان کلیفرم های شمارش شده در پودر اسپیرولینا کمتر از

نمونه تازه می باشد (۲۴). مطابق با استانداردهای غذایی میزان کلیفرم های موجود در پودر اسپیرولینا برای غذای دام، طیور و آبزیان مناسب است ولی برای تغذیه انسانی مناسب نیست. اسپیرولینا به وضوح نسبت به کنجاله سویا از نظر Content of protein غنی تر است، حتی زمانی که از نیتروژن مخصوص اسپیرولینا استفاده می شود. در مطالعاتی که با هدف جایگزین کردن کنجاله سویا با اسپیرولینا در رژیم غذایی انجام شد تأثیرات بر مصرف خوراک، تولید شیر، چربی شیر، پروتئین یا محتوای لاکتوز مورد بررسی قرار گرفت. شیر گاوهای تغذیه شده با اسپیرولینا، محتوای بتاکاروتن بالاتری داشتند (۰/۲۰۷ در مقابل ۰/۱۳۵ میکروگرم در میلی لیتر) و زردتر بودند. چربی شیر گاوهای تغذیه شده با اسپیرولینا، مشابه لیپیدهای اسپیرولینا، نسبت بیشتری از اسید γ -لینولنیک (۰/۰۵۷٪ در مقابل ۰/۰۳۸٪ متیل استرهای اسید چرب) در مقایسه با چربی شیر حاصل از کنجاله سویا داشتند. گاوهای تغذیه شده همچنین دارای افزایش ترانس-۱۱ C18:1 (اسید واکسینیک) و سایر ایزومرهای ترانس C18:1 هستند. تفاوت حسی بین شیر دو گروه آزمایشی در کنترل جیره مشاهده نمی شود. علاوه بر این، هیچ اثری از جایگزینی کنجاله سویا با اسپیرولینا بر ظرفیت آنتی اکسیدانی کل، آلفا توکوفرول و فنل کل خون و شیر مشاهده نمی شود. به نظر می رسد که اسپیرولینا یک منبع پروتئینی امیدوارکننده برای گاوهای شیری با بهبود خاصی در ترکیب غذایی بهینه شیر و بدون عوارض جانبی بر عملکرد دام در کوتاه مدت است (۲۵).

زردی بیشتر شیر گاوهای تغذیه شده با اسپیرولینا میتواند به محتوای بالاتر بتاکاروتن شیر مربوط باشد با این حال، کاروتن هایی مانند بتاکاروتن انوئیدهای اصلی هویج در اسپیرولینا نیستند، که در آن ۸۳٪ از کل انوئیدهای هویج از زانتوفیل ها (میکسوگزانتوفیل، زاکزانتین، لوتئین، بتاکریپتوگزانتین) تشکیل شده است. زانتوفیل ها به

که تا حدی با ریزجلبک *Spirulina platensis* (Spirulina) جایگزین شده بود بر تولید شیر، استفاده از نیتروژن و AA metabolism گاوهای شیری مورد بررسی قرار گرفت که طبق بررسی‌های انجام شده نتایج نشان داد که پاسخ تولید شیر به گنجاندن اسپیرولینا در رژیم غذایی به منبع پروتئین در جیره پایه بستگی دارد و این مطالعه پاسخ عملکرد کمتر پروتئین را با FB نسبت به کلزا را تایید کرد و نتایج نشان دهنده پروفایل‌های AA مکمل FB و اسپیرولینا است. این پیشنهاد حاکی از پتانسیل بهبود پاسخ تولید شیر از رژیم‌های غذایی حاوی FB با مکمل‌های غذایی غنی از متیونین مانند اسپیرولینا است (۲۹).

در مطالعه‌ای که توسط لویدهارتو و همکاران در سال ۲۰۲۲ انجام شد، اثر افزودن غلظت بالای اسپیرولینا پلاتنسیس در شیرهای تخمیر شده بر رشد سلول‌های میکروبی، تولید اسید و فعالیت آن‌تی اکسیدانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش غلظت اسپیرولینا پلاتنسیس در شیرهای تخمیر شده رشد سلول‌های میکروبی، تولید اسید و فعالیت آن‌تی اکسیدانی را افزایش می‌دهد، در طی تخمیر شیر با افزودن ۰/۳٪ اسپیرولینا پلاتنسیس، سلول‌ها تکثیر شدند و تعداد کل باکتری‌های اسید لاکتیک و سلول‌های پروبیوتیک پس از ۲۴ ساعت به ترتیب به ۸/۷۳ و ۹/۱۹ و ۸/۹۲ رسید و میزان اسیدیته قابل تیتراسیون به ۱/۰۸٪ رسید و pH به ۴/۴۱ کاهش یافت. نتایج نشان داد که ویسکوزیته پس از ۱۲ ساعت تخمیر به طور قابل توجهی در مقایسه با گروه شاهد افزایش می‌یابد و شیرهای تخمیر شده با افزودن اسپیرولینا پلاتنسیس توسط لاکتوباسیلوس پلانتاروم و استرپتوکوکوس ترموفیلوس را می‌توان به عنوان فرآورده‌های شیر تخمیری کاربردی جایگزین توسعه داد (۳۰).

شیر گاو نیز منتقل می‌شوند و بنابراین ممکن است در رنگ زرد شیر نقش داشته باشند (۲۶).

در مطالعه‌ی چریستاکای و همکاران که در سال ۲۰۱۲ برای مطالعه بررسی اثر اسپیرولینا پلاتنسیس جیره بر پروفایل اسیدهای چرب شیر گاوهای شیری انجام شد، ۲۰ نژاد هلشتاین سالم با میانگین سنی ۴/۳ سال در ماه دوم شیردهی در ۲ گروه قرار گرفتند. این آزمایش ۷ هفته به طول انجامید و هر ۱۵ روز یکبار پروفایل اسیدهای چرب شیر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اسپیرولینا غذایی باعث کاهش اسیدهای چرب اشباع شده، در حالی که اسیدهای چرب تک غیراشباع و چند غیراشباع را افزایش می‌دهد. در نتیجه می‌توان گفت که اسپیرولینا یک مکمل غذایی امیدوارکننده برای تقویت شیر گاو با اسیدهای چرب غیراشباع مرتبط با سلامت است (۲۷).

امروزه یکی از مباحث مهم در حوزه لبنیات بحث زنده ماندن باکتری‌های پروبیوتیک در طول تولید و نگهداری شیرهای تخمیری است. اسپیرولینا و کلرلا رایج‌ترین ریزجلبک‌ها برای شیرهای تخمیر شده هستند. آن‌ها علاوه بر برزنده ماندن پروبیوتیک‌ها در محصول نهایی بلکه بر ویژگی‌های حسی آن‌ها نیز تأثیر می‌گذارند. ادغام ریزجلبک‌ها در شیرهای تخمیر شده پروبیوتیک همراه با افزایش زنده ماندن پروبیوتیک‌ها باعث افزایش ویژگی عملکردی آن‌ها می‌شود. آن‌ها به عنوان "غذای کاربردی" شناخته می‌شوند زیرا حاوی طیف گسترده‌ای از مواد مغذی هستند و به عنوان "غذای کاربردی" در نظر گرفته می‌شوند (۲۸).

در مطالعه‌ای که توسط لیمانن و همکاران در سال ۲۰۱۹ انجام شد، اثرات کنجاله کلزا (RSM)^۲ یا باقلا (FB)^۳ به عنوان تنها خوراک پروتئینی یا به عنوان خوراک پروتئینی

1-functional food

2-rapeseed meal

3-faba beans

پودر اسپیرولینا حاوی ویتامین‌های آ، ای و تمام ویتامین‌های گروه ب، پروتئین‌های با کیفیت بالا، ۱۸ اسید آمینه از ۲۰ اسید آمینه شناخته شده، کلسیم و کربوهیدرات و همچنین بسیاری از مواد معدنی و آنزیم‌های ضروری است. مطالعه‌ای توسط ابید و همکاران در سال ۲۰۲۲ به منظور تهیه لبنه پروبیوتیکی سالم اسپیرولینا (SPL)^۱ با بررسی اثر افزودن پودر اسپیرولینا بر خواص فیزیکی و شیمیایی، میکروبیولوژیکی، فعالیت آنتی اکسیدانی و ویژگی‌های حسی در کنار ارزش غذایی در مقایسه با شاهد انجام شد که SPL توسط لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس و استرپتوکوکوس ترموفیلوس تلقیح شد. سپس ریزجلبک به شیر غلیظ گاومیش تخمیر شده توسط اسپیرولینا (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۷ و ۱٪ w/v) به صورت جداگانه اضافه شد. نمونه‌های لبنه پروبیوتیک اسپیرولینا به طور قابل توجهی ($p \geq 0.05$) باعث افزایش زنده‌مانی پروبیوتیک، سطوح بالاتر پروتئین، فیبر غذایی و فعالیت آنتی اکسیدانی شد، در حالی که سینرژیس کمتری نسبت به لبنه شاهد داشت. ویتامین‌های B1، B9 و B12 و همچنین مواد معدنی مانند آهن، روی، پتاسیم و منیزیم در نمونه‌های SPL نسبت به گروه شاهد بالاتر بودند. فیتوپیگمنت‌ها با افزایش سطوح اسپیرولینا با مقادیری از ۰/۱۶ تا ۰/۶۱ برای کلروفیل a و از ۳/۱۰ تا ۴/۸۹ برای فیکوسیانین افزایش یافت. (کلروفیل a، کاروتنوئیدها) با افزایش سطوح اضافه شده از اسپیرولینا نسبت به شاهد افزایش یافت. پس از آن، تولید لبنه پروبیوتیک با فورفیکات توسط اسپیرولینا به عنوان یک منبع بالقوه برای ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی، فیتوپیگمنت‌ها، ویتامین‌ها، فیبر و محتوای بالای مواد معدنی توصیه می‌شود که در شکل ۱ جنبه‌های تکنولوژیکی افزودن میکروجلبک در شیرهای تخمیر شده پروبیوتیک به طور کلی آورده شده است (۳۱).

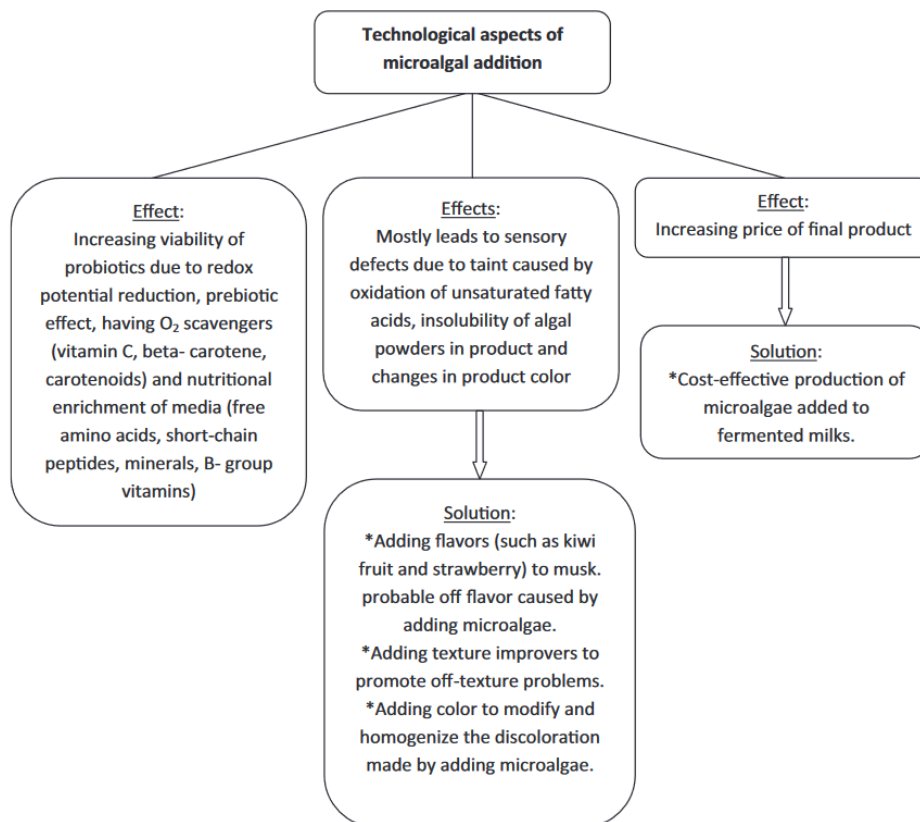


Figure 1- Technological aspects of microalgal addition in probiotic fermented milks [3]

۲-۲- ماست

که پودر زیست توده اسپیرولینا سبب تقویت رشد باکتری‌های اسید لاکتیک در محیط کشت سنتتیک، شیر و ماست می‌گردد (۳۳). پودر اسپیرولینا اضافه شده به ماست یک محیط خوب از باکتری‌های اسید لاکتیک در طی نگهداری در یخچال است. اگر در فرمولاسیون ماست از اسپیرولینا تازه استفاده کنیم منجر به تولید یک غذای غنی‌تر میشود که مصرف کنندگان را راضی می‌کند و به دلیل محتویات تغذیه‌ای عالی آن در مقایسه با اسپیرولینا خشک، فواید سلامتی بیشتری را ارائه خواهد داد. به طور کلی، غنی سازی ماست توسط اسپیرولینا کیفیت عملکردی و تغذیه‌ای و همچنین فواید سلامتی را بدون تغییر قابل توجهی در خواص بافتی بهبود می‌بخشد. پارامترهای بافتی ماست غنی شده با اسپیرولینا تازه و خشک کمی متفاوت است. به دلیل محتوای بالای کربوهیدرات و پروتئین اسپیرولینا بسیاری از نویسندگان بررسی کردند و نتایج همواره نشان می‌دهد که

ماست از جمله مواد غذایی محبوب و پرمصرف در بین فرآورده‌های تخمیری می باشد که به علت ویژگی‌های عملکردی میکروارگانیسم‌های آن دارای فواید سلامتی بخش و ارزش تغذیه‌ای فراوان می‌باشد و همین سبب مقبولیت روزافزون آن شده است. با تغییر در شرایط فرآوری ماست رشد باکتری‌های آغازگر و تولید اسید توسط آن‌ها در طول دوره تخمیر و نگهداری، بافت و طعم ماست قابل تغییر است (۷).

افزودن زیست توده اسپیرولینا پلاتنسیس می‌تواند اثرات متعددی را ایجاد کند به عنوان مثال از یک سو باعث افزایش ارزش تغذیه‌ای و ایجاد رنگ سبز در ماست میگردد و از سوی دیگر، به جهت ترکیب شیمیایی پیچیده سبب ایجاد تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی حسی و میکروبی ماست می‌شود. مطالعات پیشین نشان داده است

بود که نمرات حسی نمونه‌های ماست اضافه شده به پودر اسپیرولینا ۰/۵٪ بهتر از نمونه‌های اضافه شده به پودر اسپیرولینا ۱٪ می‌باشد (۳۷).

درواقع افزودن اسپیرولینا می‌تواند سبب بهبود خواص تغذیه‌ای ماست و لبنیات تخمیری شود و همانطور که گفته شد مطالعات اخیر نشان داده است که اسپیرولینا می‌تواند باعث رشد باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB)^۱ در ماست شود. همین سبب شد که دب بابی و همکاران در سال ۲۰۱۸ مطالعه‌ای با هدف بررسی اثر نگهداری بر کیفیت فیزیکوشیمیایی ماست غنی شده با اسپیرولینا انجام دهند. که در طی این مطالعه زیست توده *platensis* *Spirulina* از *Gatrana SA Sidi Bouzid*، که حاوی ۲۱٪ کربوهیدرات و ۹/۴۱٪ خاکستر، ۱/۵٪ لیپید و ۵۸٪

پروتئین بود تولید شد. ماست با تخمیر شیر پاستوریزه استاندارد شده با کشت ترموفیل استارتر (*Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgaricus*) تولید شد و پودر اسپیرولینا به ازای هر ۱۰۰ میلی لیتر شیر ۰/۲۴ گرم قبل از مرحله‌ی تخمیر به شیر استاندارد شده اضافه شد و محصولات در دمای 4 ± 1 درجه سانتیگراد به مدت ۲۸ روز مطابق با زمان ماندگاری تولید نگهداری شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن اسپیرولینا به دلیل ویژگی‌های بیوشیمیایی آن منجر به افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون، کل مواد جامد، پروتئین‌ها و خاکستر ماست‌ها می‌شود و افزودن اسپیرولینا در محصولات لبنی تخمیر شده رشد و بقای LAB را افزایش می‌دهد که به نوبه خود احتمالاً باعث تبدیل لاکتوز به اسید لاکتیک می‌شود. با اینکه، پروتئین‌ها هم در ماست‌های شاهد و هم در ماست‌های غنی شده در طول ذخیره سازی، احتمالاً به دلیل کیفیت شیر و فعالیت پروتئولیتیک کاهش یافت ولی سطح پروتئین و خاکستر در ماست‌های غنی شده در مقایسه

فیبر غذایی بالا و گلبول‌های چربی شیر موجود در ماست با سینرزیس پایین‌تر همبستگی دارند (۳۴). به عنوان تثبیت کننده در ماست برای کاهش جداسازی سرم و بهبود بافت میتوان از اسپیرولینای خشک یا تازه استفاده شود. طبق مطالعات صورت گرفته ماست غنی شده با اسپیرولینا تازه ارزش سینرزیس یا آب اندازی بالاتری نسبت به سایر فرمولاسیون‌ها دارند. این می‌تواند به دلیل ویژگی‌های فنی عملکردی مختلف اشکال مختلف اسپیرولینا باشد (۳۵). مواد جامد کل، پروتئین، چربی و خاکستر در ماست‌های غنی شده با اسپیرولینا بالاترین میزان را دارند (۲۳). افزودن پودر اسپیرولینا به تیمارهای ماست از نظر پروتئین تفاوت معنی داری دارد، اما در مقادیر رطوبت، خاکستر، کربوهیدرات، چربی و pH میزان این تفاوت با شاهد کمتر می‌باشد (۳۶).

مطالعه‌ای توسط گلداس و همکاران در سال ۲۰۱۰ جهت بررسی تأثیر سیانوباکتریوم/اسپیرولینا پلاتنسیس پودر شده به ماست ساده و ماست حاوی لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس بر بقای میکروبیوتا در طول نگهداری در یخچال انجام شد. ماست‌ها در شرایط بهداشتی آزمایشگاهی تهیه شدند و pH و اسیدیته آن‌ها در طول فرآیند کنترل شد. نمونه‌های ماست در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند و در روزهای ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ مورد آنالیز قرار گرفتند. بررسی نتایج نشان داد که نمونه‌های ماست شاهد حاوی تعداد باکتری‌های اسید لاکتیک کمتری در پایان دوره می‌باشد؛ همچنین بررسی‌ها نشان دادند که افزودن ۱٪ پودر/اسپیرولینا پلاتنسیس به ماست‌ها تفاوت معنی داری بر روی باکتری‌های اسید لاکتیک زنده ایجاد نمی‌کند ($p \leq 0/05$)؛ همچنین نتایج نشان دهنده‌ی تأثیر مثبت پودر توده اسپیرولینا پلاتنسیس بر بقای باکتری‌های اسید لاکتیک در زمان نگهداری ماست بود و در این مطالعه بررسی خواص نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نتایج حاکی از آن

¹ Lactic acid bacteria

با ماست‌های شاهد در طول دوره ذخیره‌سازی بالاتر باقی ماند. همچنین نتایج نشان داد که کل مواد جامد در ماست‌های شاهد در طول ذخیره‌سازی افزایش می‌یابد که احتمالاً به دلیل هم‌افزایی LAB می‌باشد اما در ماست‌های غنی‌شده میزان مواد جامد پایدار بودند که این نتیجه ممکن است به ظرفیت پروتئین‌ها برای نگهداری آب در ماست های غنی شده با اسپیرولینا، محدود کردن پدیده سینترزیس و در نتیجه بهبود شبکه ژل و پایداری بافت مرتبط باشد (۳۸).

از آن جایی که افزودن اسپیرولینا می‌تواند باعث افزایش خواص تغذیه‌ای و فیزیکی در مواد غذایی شود در مطالعه‌ای که توسط ارسال و همکاران در سال ۲۰۲۲ انجام شد، اسپیرولینا با مقادیر مختلف (۰/۵، ۱ و ۱/۵٪) و شاهد بدون اسپیرولینا) به شیر اضافه شد و برای رنگ آمیزی ماست خواص حسی و فیزیکوشیمیایی ماست‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان ماده خشک کل، پروتئین و خاکستر ماست‌ها به دلیل افزودن اسپیرولینا افزایش یافت و از طرفی میزان لیپید کاهش یافت و محتوای کربوهیدرات در سایر ماست‌ها به جز ماست با ۱/۵٪ اسپیرولینا تفاوت معنی داری نداشت ($p < 0/05$) و همانطور که مقدار اسپیرولینا اضافه شده باعث افزایش تجزیه رنگ می‌شود، نسبت فیکوسیانیین افزایش می‌یابد و بنابراین ارزش رنگ آبی ماست افزایش می‌یابد. علاوه بر این، مقدار کمی از کلروفیل از بین می‌رود. در نتیجه تجزیه و تحلیل حسی، بالاترین نمره پذیرش کلی توسط ماست رنگی اضافه شده با ۰/۵٪ درصد اسپیرولینا به دست آمد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که اسپیرولینا به دلیل داشتن مواد مغذی و رنگدانه‌های بالا می‌تواند به عنوان یک ماده طبیعی در غنی سازی ماست استفاده شود (۳۹).

غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵٪ مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که با افزایش سطح اسپیرولینا، میزان پروتئین، چربی و آهن افزایش می‌یابد و همچنین کشک با کیفیت بهتر با افزایش درصد اسپیرولینا مشاهده می‌شود. افزایش اسیدیته با افزایش غلظت اسپیرولینا نیز مشاهده شد. همچنین مشاهده شد که ماست غنی شده با اسپیرولینا رنگ سبز طبیعی دارد. ماست تهیه شده با ۰/۳٪ اسپیرولینا از نظر پارامترهای حسی مانند رنگ و ظاهر، بدن و بافت، جداسازی آب پنیر، طعم و مقبولیت کلی نتایج کلی بهتری نسبت به بقیه درصدها و کنترل داشت. همچنین در این مطالعه مشاهده شد که از طریق کاهش زنده ماندن کشت ماست در طول ذخیره سازی، زنده ماندن کشت‌های ماست در ماست تهیه شده با ۰/۳٪ اسپیرولینا در مقایسه با شاهد در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس بیشتر می‌شود (۴۰).

در پژوهشی که توسط لاهیجانی و همکاران در سال ۲۰۱۵ انجام شد تاثیر افزودن سطوح مختلف زیست توده ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲٪)، در دو مرحله افزودن (قبل پاستوریزاسیون و همزمان با افزودن باکتری‌های آغازگر) بر ویژگی‌های ریزساختاری و توسعه اسیدی شدن در بازه زمانی تخمیر ماست مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که سطح‌های مختلف افزودن زیست توده اسپیرولینا تاثیر زیادی بر پارامترهای توسعه اسیدی ماست و همچنین بر مدت زمان رسیدن به بیشینه سرعت اسیدی شدن دارد ($p < 0/05$) و همچنین مطالعه ریزساختاری شبکه ژلی ماست با استفاده از میکروسکوپ الکترونیکی روشی اثرات مثبت مقادیر ۰/۵٪ و ۱٪ درصد زیست توده اسپیرولینا بر تقویت تراکم شبکه پروتئینی ماست را نشان داد (۷).

در مطالعه‌ای که توسط بچیر و همکاران در سال ۲۰۱۹ انجام شد اثر ترکیب اسپیرولینا خشک در ماست، در سه

در مطالعه‌ای که توسط پرایانکا و همکاران در سال ۲۰۱۳ انجام شد غنی‌سازی ماست با اسپیرولینا با افزودن آن در

۲-۳- پنیر

پنیر یکی از مواد غذایی غنی از اسیدهای آمینه ضروری است که حاوی پروتئین‌های مرغوب است. پنیر در مقایسه با سایر محصولات لبنی تخمیری، از قبیل ماست و شیرهای تخمیری، به دلیل دارا بودن برخی ویژگی‌ها از قبیل چربی بالا، بافت متراکم و منسجم به عنوان غذای حامل پروبیوتیک‌ها، جهت ماندگاری و حفظ فعالیت زیستی آن‌ها در تمام مراحل عبور از دستگاه گوارش و هضم بسیار مناسب می‌باشد. هم چنین دارای pH بالاتری نسبت به شیرهای تخمیری است امروزه تمایل به توسعه رویکردهایی مانند افزودن ریزجلبک‌ها به پنیر وجود دارد تا مقدار پروبیوتیک‌ها در برخی از محصولات غذایی حفظ یا افزایش یابد (۴۲).

از آنجا که اسپیرولینا می‌تواند در رشد باکتری‌های پروبیوتیک نقش داشته باشد، اثرات اسپیرولینا بر روی باکتری‌های اسیدلاکتیک (LAB) در شرایط آزمایشگاهی نشان می‌دهد که اسپیرولینا به عنوان یک محرک رشد LAB عمل می‌کند. اسپیرولینا می‌تواند جمعیت لاکتوباسیلوس/سیدوفیلوس و بیفیدوباکتريا را افزایش دهد (۸).

یکی از حاملین خوبی که برای این ریزجلبک با روش فراپالایش می‌توان معرفی کرد پنیر سفید ایرانی می‌باشد. غنی سازی این محصول با ریزجلبک فوق منجر به افزایش میزان پروتئین می‌شود. برخلاف سایر میکروارگانیسم‌هایی که به عنوان منبع پروتئینی به کار می‌روند، مثل مخمر، این سلول‌ها دیواره سلولزی ندارند، بنابراین قابلیت هضم بالایی دارند و همچنین برای قابلیت دسترسی پروتئین‌هایش نیازی به پختن و حرارت دادن نیست. قابلیت هضم در این ریزجلبک ۵۳-۶۱٪ است که با کازئین که قابلیت هضم آن ۸۵-۹۲٪ است قابل مقایسه است (۴۳).

غلظت مختلف (۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها برای تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی و قابلیت زنده‌مانی/استریتوکوکوس ترموفیلوس در طول نگهداری آنالیز شدند. روابط متقابل بین پارامترها با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی بررسی شدند. مکمل ماست با هر دو شکل اسپیرولینا توانست محتوای اسیدیت و ویسکوزیته ظاهری و پروتئین را افزایش دهد و سرعت سینریزس را کاهش دهد. نتایج نشان داد که مکمل اسپیرولینا تازه کمی زنده ماندن باکتری را در طول نگهداری کاهش خواهد داد. ماست‌های غنی شده با اسپیرولینا تازه دارای پارامترهای رنگی متفاوت، مقدار کمی پروتئین، خاکستر و ویسکوزیته در مقایسه با ماست مکمل شده با اسپیرولینا خشک بودند. گروه بندی متغیرها در نمودار تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد که هر ماست نیز دارای ویژگی‌های خاصی است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که اسپیرولینا می‌تواند به عنوان یک ماده طبیعی برای تولید ماست جدید با خواص تغذیه‌ای بالا مورد استفاده قرار گیرد (۴۱).

زنده ماندن باکتری پروبیوتیک یا در طی فرآیند تخمیر و متعاقب آن نگهداری در یخچال یک نگرانی عمده در تولید ماست پروبیوتیک یا سایر فرآورده‌های شیری است. افزودن ریزجلبک‌هایی مانند کلرلا می‌تواند سبب افزایش زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها در محصولات لبنی تخمیر شده مانند ماست شوند. با این حال، بر ویژگی‌های حسی محصول نهایی تأثیر منفی می‌گذارد. کشت توام ریزجلبک‌ها و پروبیوتیک‌ها به دلیل خاصیت قلیایی و وجود ترکیبات مؤثری مانند آدنین، هیپوگزانتین و... می‌تواند باعث تحریک رشد و افزایش زنده‌مانی و تولید پروبیوتیک‌ها در محصولات و همچنین در دستگاه گوارش شود (۳).

یکی از مشکلات مهم تغذیه‌ای در جهان مشکل کمبود آهن است. از این رو، همیشه علاقه به یافتن غذاهای غنی از آهن وجود داشته است. نتایج نشان می‌دهند که افزودن پودر سیانوباکتری اسپیرولینا علاوه بر افزایش پروتئین، باعث افزایش سطح آهن در پنیرها می‌شود، این ریزجلبک به عنوان منبع جدیدی از مواد مغذی برای تولید یک غذای کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۴۴).

با وجود آن که استفاده از اسپیرولینا در محصولات غذایی می‌تواند در تولید غذای کاربردی و بهبود ارزش غذایی خیلی حائز اهمیت باشد اما برخی از ترکیبات زیست فعال موجود در اسپیرولینا حساس به حرارت هستند، بنابراین تکنیک‌های پردازش باید به شدت مورد توجه قرار گیرند. استفاده از پودر اسپیرولینا در محصولات مختلف بستنی و پنیر نرم که در آن‌ها کاربرد اسپیرولینا در دمای نسبتاً پایینی است برای محافظت از ترکیبات زیست فعال آن در برابر آسیب ضروری است. در مطالعه‌ی آگاستینی و همکاران در سال ۲۰۱۶ که برای تعیین حداکثر غلظت اسپیرولینا قابل افزودن به محصول و قابل قبول از نظر خواص حسی و فیزیکی انجام شد نتایج نشان داد که افزودن ۱٪ و ۱/۲٪ اسپیرولینا به ترتیب به عنوان بهترین غلظت برای پنیر نرم بستنی می‌باشد و همچنین افزودن اسپیرولینا اثر قابل توجهی بر پروتئین، آب، چربی، بتاکاروتن و بافت (پنیر نرم) و قند کل، بیش از حد، نقطه ذوب و حسی (بستنی) دارد (۴۵).

در مطالعه‌ی بوسنئا و همکاران در سال ۲۰۲۰ که برای غنی سازی پنیر با این ریز جلبک انجام شد، اسپیرولینا پودری در غلظت‌های مختلف (۰/۵، ۰/۲۵، ۱٪ و ۱٪) به پنیر اضافه شد و تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبیولوژیکی و حسی مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های پنیر از نظر pH، چربی (روش گریر وان گولیک)، نمک (روش ولهارد)، پروتئین (کج‌لدال) و میزان رطوبت با خشک کردن تا وزن ثابت در دمای 1 ± 102 سلسیوس مورد بررسی قرار

گرفتند. پنیرها نیز توسط پنج پانل مورد ارزیابی قرار گرفتند. به طور کلی، افزودن اسپیرولینا مقدار پروتئین را کمی افزایش داد و بر رنگ پنیرها تأثیر گذاشت و ویژگی‌های میکروبیولوژیکی پنیر را بهبود بخشید و همه آنها برای مصرف توسط پانل‌ها قابل قبول بودند. با این حال، پنیرهایی با ۰/۲۵٪ و ۰/۵٪ اسپیرولینا به دلیل بو و طعم مشخصه کمتر اسپیرولینا، بیشتر توسط پانل ارزیابی ترجیح داده شدند. نتیجه می‌گیریم که می‌توان با افزودن اسپیرولینا پنیر پخش شده قابل قبولی را بدون تغییرات قابل توجهی در خط تولید پنیر تولید کرد (۴۶).

در مطالعه‌ی دیگری که توسط راتیو و همکاران در سال ۲۰۲۲ انجام شد ارزیابی اثرات افزودن اسپیرولینا به پنیر فرآوری شده به عنوان منبع مواد مغذی و رنگ بررسی شد که در انجام این مطالعه، شیر برای به دست آوردن پنیر نیمه خمیری فرآوری شد و سه دسته به شرح زیر ساخته شد: پنیر دسته کنترل (Lc) بدون افزودن اسپیرولینا، دسته آزمایشی ۱ (Lexp-1) که در آن ۰/۲۵٪ اضافه شد و گروه تجربی ۲ (Lexp-2) که ۰/۵۰٪ اسپیرولینا اضافه شد. پس از اینکه پنیر به مدت ۳۰ روز در طول بلوغ تحت شرایط خاص نگهداری شد، تا پارامترهای فیزیکوشیمیایی اصلی تعیین شود. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده افزایش سطح پروتئین است، بنابراین از ۱۹/۴۷٪ در Lc به ۱۹/۸۷٪ در Lexp-1 و ۲۰/۲۷٪ در Lexp-2 به دست آمده است. تفاوت‌ها را می‌توان از نظر محتوای کل مواد معدنی (خاکستر) نیز مشاهده کرد، مقدار به دست آمده برای Lexp-2 ۳/۳۲ بیشتر از مقدار بدست آمده برای Lc است. بنابراین، نتایج این مطالعه نشان‌دهنده این واقعیت است که ما می‌توانیم با این روش ارزش غذایی محصول را افزایش دهیم (۴۷).

۱-۳-۲- پنیر BAF^۱

اسپیروولینا می‌تواند تأثیرات متعددی بر پنیر BAF داشته باشد به طور کلی محتوای پروتئین و بتاکاروتن پنیر در حضور اسپیروولینا افزایش می‌یابد در حالی که اسپیروولینا روی محتوای خاکستر تأثیر نخواهد گذاشت. اسپیروولینا همچنین می‌تواند علاوه بر محتوای پروتئین، ماده خشک و اسیدیته قابل تیتراسیون پنیر BAF حاوی اسپیروولینا را افزایش دهد. پس به طور کلی میتوان اسپیروولینا را به عنوان یک ماده‌ی غذایی با ارزش با خواص منحصر به فرد برای افزودن به پنیر BAF پیشنهاد داد (۳۳).

۲-۳-۲- پنیر فتا

افزودن ریز جلبک اسپیروولینا در پنیر فتا سبب رشد و زنده ماندن لاکتوباسیل‌ها و لاکتوکوک‌ها می‌شود. با افزودن اسپیروولینا کشت استارتر (کشت باکتری اسید لاکتیک) مورد استفاده در تولید پنیر فتا مختل نمی‌شود و حتی می‌تواند با حضور آن افزایش یابد. ترکیب اسپیروولینا به طور قابل توجهی بر رنگ و حس دهان پنیرهای تولید شده تأثیر می‌گذارد، در حالی که با افزایش محتوای اسپیروولینا به این پنیرها رطوبت بالاتری مشاهده می‌شود. در نتیجه، اسپیروولینا دارای پتانسیل صنعتی شدن بالایی است چون به عنوان یک افزودنی در محصولات لبنی و به ویژه آن‌هایی که توسط لاکتوباسیل‌ها به عنوان کشت آغازگر تولید می‌شوند کاربرد دارد، و به طور موازی ارزش غذایی محصولات را افزایش می‌دهد. اسپیروولینا را به عنوان یک ماده‌ی تقویت عملکردی میتوان مورد استفاده قرار داد و در مطالعه‌ای که توسط تربو و همکاران در سال ۲۰۲۱ انجام شد، استفاده از اسپیروولینا به عنوان مکمل مورد بررسی قرار گرفت و رطوبت، نمک، پایداری میکروبیولوژیکی و پذیرش مصرف کنندگان پس از تولید پنیر حاوی پودر اسپیروولینا (۰/۲۵٪) مورد آزمایش

قرار گرفت و با پنیر فتا سنتی که به عنوان شاهد استفاده شد مقایسه شد. پنیر جدید به ویژگی‌های ارگانولپتیک، فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی استثنایی دست یافت. در نتیجه، اسپیروولینا یک ماده‌ای با پتانسیل صنعتی شدن بسیار است (۴۰).

۳-۳-۲- پنیر موزارلا

پنیر موزارلا نامی عمومی برای انواعی از پنیرهای نیمه نرم ایتالیایی است که منشا آن جنوب ایتالیا است و از شیر گاومیش یا گاو به دست می‌آید. وجود اسپیروولینا می‌تواند اثرات متعددی روی پنیر موزارلا داشته باشند و به طور قابل توجهی بر رنگ و طعم آن تأثیر گذار باشد و سبب افزایش رطوبت در آن شود. مطالعه‌ای که توسط وسگان و همکاران در سال ۲۰۲۱ انجام شد نشان داد که با افزودن اسپیروولینا به این پنیر اثر ضدباکتریایی در آن مشاهده می‌شود و تعداد کل میکروب‌ها و کلیفرم‌ها و مخمر و کپک‌ها کاهش می‌یابد و این اثر بازدارندگی با افزودن نمک افزایش می‌یابد. به طور کلی نشان داده شده است که اسپیروولینا پلاتنسیس فعالیت ضد میکروبی در برابر بسیاری از عوامل بیماری‌زا (باکتری‌ها و قارچ‌ها) دارد و در عین حال ارزش غذایی آن ماده‌ی غذایی را افزایش می‌دهد. اسپیروولینا مانند سایر ریز جلبک‌ها به علت بوی خاصی که دارد میتواند تأثیر زیادی بر خواص حسی غذا بگذارد (۴۴). در واقع، محققان علمی چندین روش کاهش بو را بررسی کرده‌اند که اثربخشی آنها ثابت شده است و در نتیجه سبب می‌شوند که افزودن غلظت‌های مناسب اسپیروولینا بر کیفیت حسی محصولات تأثیر نداشته باشد.

از آنجایی که اسپیروولینا دارای خواص تغذیه‌ای، عملکردی و سالم بسیار خوبی برای استفاده به عنوان یک غذای مغذی است می‌توان آن را در پنیر موزارلای تهیه شده از شیر گاو

1- bacteriologically acidified feta-type

که منشأ محلی دارد هم استفاده کرد و افزودن آن سبب می‌شود که به یک محصول کاربردی قابل توجه تبدیل شود (۵۱).

۴-۲- بستنی

بستنی از جمله لبنیات بسیار محبوب است که طرفداران بسیاری دارد که میتوان با تلفیق میزان مناسبی از ریزجلبک اسپیرولینا به فرمولاسیون بستنی، محصولی با خصوصیات فیزیکی و ارگانولپتیکی مناسب تولید کرد و همچنین این جلبک سبب ایجاد رنگ سبز روشن طبیعی در بستنی می‌شود.

از اصلی ترین اجزای فرمولاسیون بستنی پایدارکننده‌ها هستند و تعداد زیادی از ویژگی‌های فیزیکی و مطلوبیت بستنی به آن‌ها وابسته است به عنوان مثال ویژگی‌های فیزیکی بستنی‌ها همچون ویسکوزیته، مقاومت به ذوب و به طور کلی بافت بستنی‌ها وابسته به نوع پایدارکننده و میزان حضور آنها در فرمولاسیون بستنی می‌باشد (۴۶) البته باید توجه داشت که نمی‌توان از اسپیرولینا به عنوان تنها عامل پایدارکننده در فرمولاسیون یک بستنی استفاده کرد و لازم است با سایر پایدارکننده‌ها در فرمولاسیون بستنی مورد استفاده قرار بگیرد چرا که اسپیرولینا بر خلاف پایدارکننده‌های معمول مورد استفاده در صنعت بستنی که فاقد رنگ، عطر و طعم خاصی هستند، این‌ها دارای ویژگی‌های ارگانولپتیکی خاصی هستند که ممکن است چندان به مذاق مصرف کننده خوش نیاید پس لازم است که اسپیرولینا در ترکیب با سایر پایدارکننده‌ها، در فرمولاسیون بستنی مورد استفاده قرار بگیرد.

برای بهبود کیفیت غذایی و ویژگی‌های عملکردی بستنی می‌توان از اسپیرولینا بهره جست. باتوجه به ترکیب شیمیایی غنی با مشخصات تغذیه‌ای مفید برای سلامتی و خواص عملکردی اسپیرولینا، می‌توان برای جایگزینی پایدارکننده به

طور جزئی یا کامل در تهیه بستنی با منابع طبیعی از آن استفاده شود، همچنین به دلیل مشخصات غذایی غنی آن، جایگزینی تثبیت کننده با اسپیرولینا در بستنی منجر به افزایش پروتئین، مواد معدنی، اسیدهای چرب ضروری و عناصر کمیاب با منشأ طبیعی می‌شود. اثر جایگزینی تثبیت کننده با اسپیرولینا بر ترکیب ناخالص بستنی طبق مطالعه‌ی مالیک و همکاران که در سال ۲۰۱۳ انجام شد که در جدول ۲ نشان داده شده است. شیر منبع ضعیف آهن است، جایگزینی تثبیت کننده با اسپیرولینا تأثیر مفیدی در افزایش محتوای آهن بستنی نیز دارد. اسپیرولینا علاوه بر اینکه به عنوان یک تثبیت کننده عمل می‌کند به سرعت شلاق بهتر نیز کمک می‌کند. این به دلیل ظرفیت کف کردن و امولسیون کنندگی بیشتر محتوای چربی و پروتئین اسپیرولینا است که به تشکیل و تثبیت گاز پراکنده یعنی هوای موجود کمک می‌کند (۵۴).

Table 2: Effect of replacement of stabilizer with spirulina on gross composition of ice cream

Level Stabilizer Replaced (%)	Total Solids	Protein	carbohydrate	fat	ash	Iron (mg/100 ml)
0	35/73	4/26	20/95	10/11	0/47	0/03
25	35/87	4/31	20/89	10/11	0/49	0/07
50	35/91	4/36	20/83	10/12	0/49	0/11
75	35/96	4/41	20/77	10/12	0/50	0/16
100	36/01	4/45	20/72	10/13	0/51	0/20

اسپیرولینا به دلیل ترکیب شیمیایی غنی آن سبب غنی سازی بستنی می‌شود. علاوه بر غنی سازی، افزودن اسپیرولینا باعث جایگزینی پایدارکننده‌ها در تهیه بستنی می‌شود زیرا ترکیب

آن فقط ۶۰٪ پروتئین است. مطالعه‌ی رابینسون و همکاران در سال ۲۰۰۰ نشان داد که پودر اسپیرولینا را می‌توان با غلظت ۰/۱۵٪ به عنوان جایگزین پایدارکننده ۵۰ درصدی در تهیه بستنی بدون تأثیر بر ویژگی‌های حسی محصول استفاده کرد. افزودن پودر اسپیرولینا نیز به بستنی و ماست غنی شده با آن رنگ سبز روشن (پیستا) طبیعی می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پودر اسپیرولینا پتانسیل زیادی را در صنایع لبنیات برای غنی سازی محصولات لبنی و جایگزینی افزودنی‌های مصنوعی مانند رنگ‌ها، تثبیت کننده‌ها و امولسیفایرها و غیره در محصولات لبنی مختلف ارائه می‌دهد (۵۳).

باتوجه به اینکه بستنی که یک ماده‌ی غذایی خوش طعم است، دارای محتوای چربی و قند بالایی در ترکیب خود می‌باشد، که آن را به محصولی جالب برای مطالعه جایگزین‌هایی تبدیل می‌کند که تغییرات در فرمولاسیون را افزایش می‌دهد. کاهش و یا جایگزینی محتوای چربی و قند، افزایش محتوای پروتئین، علاوه بر استفاده از ترکیبات فعال زیستی، می‌تواند خواص عملکردی و تغذیه‌ای بستنی را بهبود بخشد. طبق گفته سازمان غذا و داروی ایالات متحده (FDA)، جایگزین‌های چربی می‌توانند افزودنی‌های غذایی یا موادی با بیانیه GRAS^۱ ("به طور کلی به عنوان ایمن شناخته می‌شوند") باشند. اسپیرولینا به دلیل خواص تغذیه‌ای و ایمنی آن به عنوان GRAS طبقه بندی می‌شود، فیکوسیانین یک پروتئین آنتی اکسیدانی است که از ریزجلبک اسپیرولینا استخراج می‌شود که زیست توده آن دارای محتوای پروتئین بالا (به طور متوسط ۶۵٪) و پتانسیل آنتی اکسیدانی است. فیکوسیانین یک پروتئین آنتی اکسیدانی است که از ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس استخراج می‌شود که زیست توده آن دارای محتوای پروتئین بالا و پتانسیل آنتی اکسیدانی است. در همین راستا مطالعه‌ای

توسط فاریزین و همکاران در سال ۲۰۲۲ جهت بررسی اینکه آیا اسپیرولینا پلاتنسیس، عصاره فیکوسیانین به دست آمده از زیست توده اسپیرولینا و اینولین می‌تواند به عنوان امولسیفایر و عوامل بافتی در بستنی عمل کنند و میزان چربی و قند را کاهش دهند انجام شد و همچنین این کار با هدف بررسی اثرات جایگزینی شکر و چربی بر ترکیب فیزیکی-شیمیایی فرمولاسیون بستنی و پذیرش حسی و توصیفگرهای حسی با استفاده از یک روش حسی توصیفی که برای مصرف کنندگان بررسی می‌شود (CATA)^۲ انجام شد که نتایج بدست آمده نشان داد که بستنی‌های با عصاره فیکوسیانین و بدون امولسیفایر صنعتی (۹، ۱۲ و ۸) بافت نرم‌تر و نرم‌تری دارند و مقادیر بالای غلاف (به ترتیب ۳۵/۸، ۳۴/۹ و ۳۲/۹) دارند. فرمولاسیون شاخص‌های پذیرش حسی را تا ۷۴٪ نشان داد. ویژگی‌های نرم، کرمی/صاف و ظاهر خامه‌ای تمام فرمولاسیون‌ها را نشان می‌دهد و به بافت و ظاهر مربوط می‌شود که نشان دهنده کیفیت در فرمولاسیون محصول است به طور کلی تا ۵۰٪ کاهش چربی و ۲۵٪ کاهش قند با افزودن اینولین (۲٪) و اسپیرولینا (۱٪) مشاهده خواهد شد. این گونه بستنی‌ها با توجه به اثری که روی چربی و قند می‌گذارند و باعث کاهش آن‌ها می‌شوند، برای مصرف کنندگانی که به سلامت خود اهمیت می‌دهند بسیار حائز اهمیت است (۵۵).

در مطالعه‌ی تئپو و همکاران در سال ۲۰۲۱ که با هدف ریزپوشانی اسپیرولینا در مالتودکسترین و صمغ عربی و ارزیابی تأثیر در مشخصات فیزیکی و حسی بستنی دست ساز انجام شد، نتایج نشان داد که بستنی با اسپیرولینا ۳۵٪ تا ۵۳٪ پروتئین بیشتری نسبت به فرمول استاندارد دارد و همچنین همه بستنی‌ها شاخص پذیرش بالاتر از ۷۰٪ دارند (۵۶).

2 -check-all-that-apply

1- Generally Recognized As Safe

از آن جایی که اکثر ریزجلبک‌ها، دارای بوی نامطلوب هستند. محققان علمی روش‌هایی را برای کاهش بوی مرتبط با جلبک اسپیرولینا با استفاده از جذب زغال فعال، حرارت دادن، هیدرولیز آنزیمی لیزوزیم، گنجاندن در بتا سیکلودکسترین، تخمیر و استخراج حلال بررسی کرده‌اند که در بین آن‌ها تخمیر و استخراج اتانول به عنوان بهترین و کاربردی‌ترین روش برای کاهش بوی جلبک مانند اسپیرولینا ثابت شده است (۵۱).

با توجه به اینکه تاکنون، عملکرد پایدارکننده‌های بسیاری در فرمولاسیون بستنی‌های مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است و از بین آن‌ها، کربوکسی متیل سلولز از جمله کارآمدترین قوام دهنده و پایدارکننده‌ها بوده است. رسولی و همکاران در سال ۲۰۱۷ مطالعه‌ای با هدف دستیابی به فرمولاسیون بهینه بستنی سنتی حاوی اسپیرولینا شامل غلظت مناسب اسپیرولینا و کربوکسی متیل سلولز در جهت تولید یک محصول فراسودمند با ویژگی‌های مطلوب فیزیکی و ارگانولپتیکی انجام دادند. نتایج این پژوهش حاکی از ویسکوزتر بودن نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد بود. درصد مقاومت به ذوب و درصد افزایش حجم نمونه بهینه نیز نسبت به نمونه شاهد بیشتر بود که می‌توان آن را به عنوان پیامد ویسکوزیته بیشتر این نمونه به شمار آورد علاوه بر این، نمونه بهینه به علت خاصیت ضد میکروبی اسپیرولینا نسبت به نمونه شاهد خاصیت میکروبیولوژی بهتری داشت. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از غلظت‌های مناسب اسپیرولینا و کربوکسی متیل سلولز سبب تولید یک فراورده‌ی سالم می‌شود که در مقایسه با نمونه تجاری بستنی سنتی ایرانی، از ویژگی‌های فیزیکی و ارگانولپتیکی خوشایندی برخوردار است در حالی که استفاده از غلظت‌های بالای اسپیرولینا در فرمولاسیون بستنی سنتی ایرانی، ویژگی‌های فیزیکی و ارگانولپتیکی محصول را به گونه‌ای منفی تحت تاثیر قرار می‌دهد (۵۷).

در صنایع غذایی از فیکوسیانیل اسپیرولینا به عنوان رنگ‌کننده و تثبیت‌کننده طبیعی استفاده می‌شود. تاثیر سه غلظت مختلف اسپیرولینا پلاتنسیس (۰/۵، ۱ و ۱/۵٪) بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی، بافتی، آنتی اکسیدانی و حسی بستنی در مطالعه‌ی بویانووا و همکاران در سال ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل مشخصات بافت (سختی، چسبندگی، چسبندگی، صمغی) نمونه‌ها، تفاوت آماری معنی‌داری ($p < 0/05$) بین مقادیر گزارش شده برای نمونه شاهد و نمونه‌های دارای اسپیرولینا نشان داد. نمونه‌های بستنی تکمیل‌شده با اسپیرولینا با افزایش معنی‌دار ($p < 0/05$) در فعالیت آنتی‌اکسیدانی از $2/8 \pm 2/8$ میلی‌مولار TE/100 گرم DW¹ (نمونه شاهد) به $4/1 \pm 112/9$ میلی‌مولار TE/100 گرم (نمونه دارای اسپیرولینا) متفاوت بودند (۵۸).

مطالعه‌ی سزمجدا و همکاران در سال ۲۰۱۸ با هدف طراحی خط تولید بستنی انجام شد که نشان داد افزودن عصاره جلبک به بستنی سبب افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی آن می‌شود و آن را از بستنی‌های معمولی متمایز می‌کند. مطالعاتی که تاکنون انجام شده‌اند همگی نشان می‌دهند که بستنی می‌تواند به عنوان حامل باکتری‌های پروبیوتیک ارتقاء دهنده سلامتی بسیار حائز اهمیت باشد، که به نوبه خود استفاده از سایر میکروارگانیسم‌ها به ویژه جلبک‌های سوبه‌های خاص (مانند اسپیرولینا پلاتنسیس) را به عنوان مکمل بستنی تشویق می‌کند. در تحقیقات ارائه شده، سطح پلی‌فنل‌ها و فعالیت آنتی اکسیدانی بیان شده به عنوان درجه بازدارندگی تولید رادیکال آزاد کاتیونی از محلول DPPH مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج اولیه بر اساس آزمایش‌های فعالیت آنتی‌اکسیدانی اندازه‌گیری شده با پتانسیل برای خاموش کردن رادیکال‌های آزاد نشان داده‌اند که فرمول‌های بستنی غنی شده با عصاره جلبک پتانسیل

1 -dry weight

بالاتری برای دستیابی به سطح بازدارندگی ۳۹/۷٪ در نمونه‌های بستنی نعنای در مقایسه با نمونه بدون جلبک با سطح بازدارندگی ۳۲/۸٪ برای کنترل نشان می‌دهند. علاوه بر این، هر یک از نمونه‌های مورد بررسی (لبنیات، پسته، نعنای) نسخه‌های بستنی مکمل با اسپیرولینا با فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی تقویت‌شده به عنوان پتانسیل برای خاموش کردن رادیکال‌های آزاد و محتوای کاروتنوئید شناخته شدند (۵۹).

در مطالعه‌ای که توسط نورانسیا و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام شد پایداری و ماندگاری بستنی /اسپیرولینا پلاتنسیس در طول نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها در دمای ۱۵- برای ماه اول و ۱۰ درجه سلسیوس برای ماه بعد نگهداری شدند. درصد DPPH و پایداری امولسیون در طی نگهداری در دو تکرار مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد که پایداری امولسیون در طول دوره نگهداری اندکی کاهش می‌یابد. در ابتدای نگهداری ۱۵- درجه سلسیوس، پایداری امولسیون ۹۸٪ و در پایان نگهداری ۹۳٪ بود. در دمای ۱۰- درجه سلسیوس، پایداری امولسیون از ۹۱٪ به ۸۶٪ کاهش یافت. در دمای ۵- درجه سلسیوس، پایداری امولسیون از ۸۶٪ به ۸۲٪ کاهش یافت. نگهداری طولانی‌تر باعث کاهش کیفیت بافت بستنی و محتوای آنتی اکسیدان می‌شود. نتایج بدست آمده نشان داد که افزایش دمای نگهداری تاثیر بیشتری بر کاهش کیفیت بافت بستنی /اسپیرولینا پلاتنسیس دارد. تجزیه و تحلیل ASLT بر روی پارامترهای انتخاب شده نشان می‌دهد که ماندگاری بستنی اسپیرولینا به ترتیب ۲۵، ۲۴ و ۲۱ روز در دمای ۱۵- و ۱۰- و ۵- درجه سلسیوس است (۶۰).

۲-۵- دوغ

یکی از نوشیدنی‌های تهیه شده از ماست، دوغ می باشد که اولین بار هندی‌ها آن ها را تحت نام لاسی تهیه کردند که دو

طعم شور و شیرین داشت که علاوه بر مزایای تغذیه‌ای برای سلامت دستگاه گوارش هم بسیار حائز اهمیت بود چون میتواند حاوی باکتری‌های مفیدی باشد، به طوری که مصرف مداوم آن میتواند موجب عدم رشد میکروارگانیسم‌های مضر شود. در بررسی‌های انجام شده توسط مشکنانی و همکاران در سال ۲۰۱۳ که غلظت‌های مختلف پودر سیانوباکتر اسپیرولینا به دوغ افزوده شد ضمن جلوگیری از تغییرات مشخص در pH، اسیدیته دوغ افزایش یافت. به طور کلی افزودن جلبک نمی‌تواند دو فاز شدن دوغ را به میزان مطلوب کاهش دهد اما افزودن اسپیرولینا تأثیر مثبت بر محتوای آهن و پروتئین تیمارها دارد.

زنده ماننی باکتری‌های پروبیوتیک با افزایش زمان نگهداری و افزایش میزان صمغ شاهی و /اسپیرولینا پلاتنسیس به طور معنی داری کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد با افزودن ۰/۰۵٪ وزنی /اسپیرولینا پلاتنسیس به دوغ پروبیوتیک حاوی لاکتوباسیلوس /اسیدوفیلوس و بیفیدوباکتریوم لاکتیس می توان به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی مطلوب رسید (۹).

۲-۶- کشک

یکی دیگر از محصولات لبنی تخمیری که به عنوان یک فراورده‌ی سنتی شناخته شده است و در بین مصرف‌کنندگان مقبولیت خاص و ویژه‌ای دارد کشک می‌باشد. فراوانی ترکیبات زیستی مهم در جلبک‌ها، فرصت‌های جدیدی را در تولید محصولات لبنی فراسودمند فراهم می‌کند. مطالعه‌ای توسط علیخانی در سال ۲۰۱۳ انجام شد که برای اینکه کشک فراسودمند با جلبک اسپیرولینا تولید شود، عصاره‌ی جلبک اسپیرولینا با روش‌های مختلف مثل استفاده از اسپری درایر پودر شد و اندازه ذرات به مقدار نانو کاهش یافت که بررسی نتایج نشان داد که افزایش درصد جلبک اسپیرولینا سبب افزایش مقدار pH می‌شود، در نتیجه کاهش

۳- تصفیه و بازیافت پسماندهای صنعت لبنیات با

استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس

صنایع لبنی از صنایع بسیار آلاینده محسوب می‌شود. پساب لبنیات حاوی بار آلی بالایی است. اگر فاضلاب نیمه تصفیه شده یا تصفیه نشده در بدنه‌های آبی طبیعی دفع شود، به دلیل محتوای بالای عناصری مانند فسفر، نیتروژن و کربن و غیره، احتمال اوتریفیکاسیون وجود دارد. ضایعات لبنی منبع غنی پروتئین‌هایی مانند کازئین و قندهایی مانند لاکتوز نیز می‌باشند. اسپیرولینا پلاتنسیس به دلیل ماهیت ترکیبی آن، پتانسیل کاهش BOD فاضلاب حاوی کربن بالا را دارد. در مطالعه کولکاری و همکاران در سال ۲۰۱۶ که با هدف بررسی زیست پالایی پساب لبنیات با استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس انجام شد مشاهده شد که اسپیرولینا پلاتنسیس که در غلظت‌های مختلف پساب لبنی کشت شد عملکرد بهتری نسبت به مجموعه شاهد دارد و در حذف COD/phosphate/EC در تمام غلظت‌ها بسیار کارآمد می‌باشد و همچنین مطالعه نشان داد که میزان کلروفیل، پروتئین و کربوهیدرات در اسپیرولینا با استفاده از غلظت‌های مختلف پساب لبنی به عنوان خوراک جایگزین افزایش می‌یابد (۶۲).

ریزجلبک‌ها برای حذف کامل آلاینده‌هایی مانند فسفر، نیتروژن و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند، بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که ریزجلبک‌ها مانند اسپیرولینا پلاتنسیس توانایی استفاده از مواد مغذی فاضلاب صنایع لبنی و کاهش بار آلی را تا غلظت‌های پایین‌تر دارند تا آب تصفیه شده قابل استفاده مجدد باشد. بازیافت آب تصفیه شده به حفظ آب کمک می‌کند (۶۳). از آنجا که کشت ریزجلبک‌ها در فاضلاب‌های لبنی مورد توجه عمده برای حذف مواد مغذی و تولید زیست توده میکروجلبکی پایدار است. در مطالعه‌ی زاپاتا و همکاران در سال ۲۰۲۱ مقایسه تولید زیست توده، مورفولوژی و سطوح فیتوهورمون در

اسیدیته را به همراه دارد؛ همچنین با اضافه کردن پودر جلبک، به طور کلی میزان رطوبت افزایش می‌یابد و دانسیته توده بیشتر می‌شود (۱۶).

۷-۲- کفیر

کفیر، یک نوشیدنی تخمیرشده مایل به زرد است که با افزودن میوه‌ها و دانه‌های کفیر در محلول آب و ساکارز تولید می‌شود. که دارای ترکیباتی مانند: دی اکسید کربن، اسیدهای لاکتیک و استیک، اتانول و میکروارگانیسم‌های مفید برای سلامتی که قندها را متابولیزه می‌کنند می‌باشد. در میان میکروارگانیسم‌های موجود در کفیر، بیفیدو باکتری‌ها، باکتری‌های اسیدلاکتیک (LAB)^۱ و باکتری‌های اسیداستیک (AAB)^۲ برجسته‌تر هستند. در بررسی‌های انجام شده به این نتیجه رسیدند که باقی مانده‌ی آناناس و اسپیرولینا دارای محتوای کربوهیدرات بالایی هستند و بسترهای خوبی برای فرآیند تخمیر کفیر مبتنی بر آب در نظر گرفته می‌شوند. در طول فرآیند تخمیر، مشاهده شد که فرمولاسیون با افزودن عصاره باقیمانده آناناس و اسپیرولینا در مقایسه با نوشیدنی شاهد، محتوای جامدات محلول بالاتر و اسیدیته کمتری را دارند که نشان می‌دهد احتمالاً نوشیدنی‌ها طعم شیرین‌تری دارند که به مقبولیت محصول کمک میکند. در میان فرمولاسیون‌ها، افزودن عصاره باقیمانده آناناس و اسپیرولینا و رابطه با پارامترهای فیزیکی-شیمیایی پایدارتر وجود نداشت، بنابراین، جایگزین مناسبی برای نوشیدنی تخمیرشده طبیعی، بدون افزودنی، غنی از مواد مغذی و با پتانسیل پری بیوتیک و پروبیوتیک بود (۶۱).

1- Lactic acid bacteria

2 -Acetic acid bacteria

اسپیروولینا پلاتنسیس (UTEX LB1926) رشد یافته بر روی پساب‌های لبنی، در مقایسه با محیط کشت زاروک مورد بررسی قرار گرفت. غلظت فیتوهورمون‌ها به طور گسترده‌ای با محیط کشت و شرایط نور متفاوت بود. شدت نور کم به طور قابل توجهی باعث شد که رشته‌های *اسپیروولینا پلاتنسیس* در فاضلاب، به ویژه در آب پنیر، طولانی‌تر و ضخیم‌تر شوند و برداشت زیست‌توده را افزایش دهند. کشت *اسپیروولینا پلاتنسیس* در فاضلاب‌های لبنی امکان تولید بیوماس و فیتوهورمون‌ها را با هزینه کم و در عین حال تصفیه این آب‌ها فراهم می‌کند (۶۴).

در مطالعه‌ی تانگ چانگ و همکاران در سال ۲۰۱۳ به طور سیستماتیک توانایی حذف CO_2 را از طریق شستشوی مرطوب با استفاده از فاضلاب رقیق شده به عنوان مایع شستشو و پتانسیل رشد زیست توده در فاضلاب غنی شده با CO_2 نشان داده شد، در حقیقت رقیق کردن فاضلاب لبنیات خام (فرآوری شیر) ضروری بود زیرا نیاز شیمیایی بالای اکسیژن (COD) بارگیری رشد اسپیرولینا ماکسیما را مهار خواهد کرد. با این حال، با رقت کافی، از آنجایی که COD کمتر از ۳۰۰ میلی گرم در لیتر بود، COD به طور موثر (۷۹٪) در طول دوره کشت ریزجلبک‌ها حذف شد، همانطور که NH_4^+ (۵۱٪) و PO_4 (۳۵٪) به میزان کمتری حذف شدند. جذب کربن آلی نشان داد که اسپیرولینا به صورت مخلوط در فاضلاب رشد می‌کند. علاوه بر این، به دلیل واکنش هیدروکسید با CO_2 که کربنات‌های آبی را تشکیل می‌دهند (کاهش pH) و فعالیت فتوسنتزی که کربنات‌ها را مصرف می‌کند (افزایش pH)، pH محلول می‌تواند به طور موثر به عنوان پارامتر کنترل کننده در عملکرد سیستم استفاده شود (۶۵).

به طور کلی کشت سیانوباکتری می‌تواند برای تصفیه پساب‌های مختلف صنعتی مانند پساب لبنیات و کاهش علت آلودگی استفاده شود. آب پنیر یک محصول جانبی آبی

در صنایع لبنی است. تولید سالانه در سراسر جهان بیش از ۸۰ میلیون تن است که حاوی بیش از ۱ میلیون تن لاکتوز و ۰/۲ میلیون تن پروتئین شیر است. این مواد برای نگهداری و حمل و نقل گران است. بنابراین می‌توانیم از آب پنیر برای کشت انبوه اسپیرولینا و اسیلاتوریا استفاده کنیم. در سال‌های اخیر باتوجه به اهمیت و کاربردهای متنوع جلبک‌ها علاقه‌ی زیادی به بهرمندی از متابولیت‌های ریزجلبکی ایجاد شده است. که برای بهرمندی از این جلبک باید همواره تحقیقات و مطالعات متعددی برای محصولات ارزش افزوده جلبک سبز آبی به روشی مقرون به صرفه انجام شود. در مطالعه‌ای که توسط کالانداول و همکاران در سال ۲۰۰۷ انجام شد، پروتئین، رنگدانه‌های مختلف (کلروفیل a، کاروتنوئیدها، فیکوبیلین‌ها) جلبک سبز آبی *اسپیروولینا پلاتنسیس* و *اسیلاتوریا* در محیط مصنوعی و پساب لبنیات مورد بررسی قرار گرفتند. غلظت پروتئین و تولید رنگدانه از *اسپیروولینا پلاتنسیس* و *اسیلاتوریا* رشد کرده در محیط مصنوعی و پساب لبنیات در شکل ۲ نشان داده شده است. غلظت پروتئین *اسپیروولینا پلاتنسیس* و *اسیلاتوریا* کشت شده در محیط مصنوعی 0.19 mg/ml و 0.36 mg/ml در حالی که در پساب لبنیات به ترتیب 0.20 mg/ml و 0.38 mg/ml بود. نتایج این مطالعه نشان داد که محتوای پروتئین در پساب لبنیات نسبت به محیط مصنوعی افزایش یافته است. غلظت کلروفیل، کاروتنوئید و رنگدانه فیکوبیلین *اسپیروولینا پلاتنسیس* و *اسیلاتوریا* همچنین افزایش نسبی رنگدانه‌ها را هنگام رشد در پساب لبنیات نشان می‌دهند. افزایش قابل توجه در تمام پارامترهای مشاهده شده نشان می‌دهد که پساب لبنیات باعث افزایش رشد می‌شود و تأثیر زیادی در تغییر یا افزایش پارامترهای فیزیکی سیانوباکتری‌ها خواهد داشت. Kanikasharma و همکاران (۲۰۰۳) همچنین افزایش قابل توجه پروتئین و محتوای کلروفیل a سیانوباکتری‌های رشد یافته در پساب

توانایی حذف نیتрат ۸۰٪، فسفر فعال ۷۲٪ و سولفات ۶۱٪ در حالی که سختی کل ۵۶٪، قلیائیت ۷۱٪، کلرید ۵۶٪، C.O.D 77 درصد، T.D.S 54 درصد، کلسیم ۹٪ و سختی ۵٪ را خواهد داشت (۶۷).

۴- نتیجه گیری

افزودن توده زیستی اسپیرولینا پلاتنسیس به فراورده‌های تخمیری لبنی بر قابلیت زیستی باکتری‌های آغازگر تأثیر مثبت دارد، محتوای اسیدهای آمینه، اسید چرب و ویتامین‌ها را بهبود می‌بخشد، خواص حسی و تغذیه‌ای محصول را ارتقاء می‌دهد و همچنین، غنی سازی محصول از نظر آهن و پروتئین را در بر دارد. این ریز جلبک باعث تحریک تولید اسید شده و از رشد میکروارگانیسم‌های ناخواسته جلوگیری می‌نماید؛ همچنین، رشد سایر پاتوژن‌های بیماریزا را مهار می‌کند و دارای خواص ضد ویروسی و ضد سرطانی است. اسپیرولینا پلاتنسیس باعث تقویت سیستم ایمنی بدن شده و در پیشگیری از بیماری‌های دیابت، آنمی، تصلب شرائین و چاقی مؤثر است. اسپیرولینا می‌تواند رشد و توسعه باکتری‌های گرم مثبت از جمله استافیلوکوکوس اورئوس و همچنین باکتری‌های گرم منفی را مهار کند. استفاده از زیست جلبک‌ها در فرآورده‌های لبنی در دهه اخیر روند روبه رشدی داشته است. طراحی و توسعه این محصولات مستلزم بررسی‌های پایه‌ای بیشتری می‌باشد. تأثیر زیست توده ریزجلبک‌ها در سیستم‌های غذایی وابسته به شرایط عملیاتی، نوع و شدت فرآیند (حرارتی، مکانیکی) و برهمکنش با سایر ترکیبات مواد غذایی (پروتئین، پلی ساکارید، لیپید، نمک، قند) است که مطالعه در این زمینه موجب بهبود روند طراحی و توسعه فرآورده‌های غنی شده با ریزجلبک‌ها می‌گردد.

لبنیات را گزارش کردند و همچنین اهمیت سیانوباکتری‌ها را در تصفیه پساب پیشنهاد کردند (۶۶).

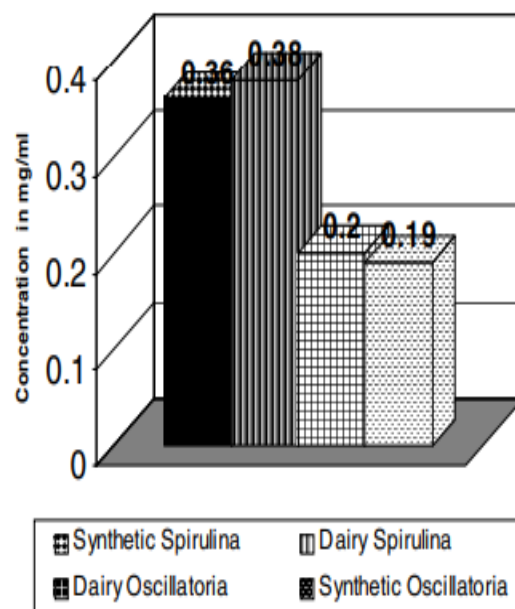


Figure 2- Protein concentration in Synthetic medium and Dairy effluent

مطالعه‌ای توسط چالی و همکاران در سال ۲۰۱۴ به مدت یک سال با هدف بررسی تجزیه و تحلیل آب ماهیانه برای عوامل مختلف فیزیکوشیمیایی جهت تصفیه فاضلاب لبنیات با استفاده از ریز جلبک در شهر کربلا - عراق انجام شد. از آنجایی که جلبک اسپیرولینا از جمله جلبک‌های سبزآبی است که برای درمان بیولوژیکی بسیار حائز اهمیت است، نتایج این مطالعه هم نشان داد که این جلبک‌ها می‌توانند غلظت مواد مغذی فاضلاب مانند نیترات، فسفر و سولفات را کاهش دهند. علاوه بر این، توانایی این جلبک‌ها در کاهش سختی کل، قلیائیت، کلرید، C.O.D، T.D.S، سختی کلسیم و منیزیم قابل مشاهده است. باتوجه به نتایج بدست آمده مشاهده شد که در روز دهم این جلبک دارای

۵- منابع

- [1] Rabiei, S., Rezaei, M., Nikoo, M., Khezri, M., Rafieian-Kopai, M. & Anjomshoa M. 2022. Antioxidant properties of Klunzinger's mullet (*Liza klunzingeri*) protein hydrolysates prepared with enzymatic hydrolysis using a commercial protease and microbial hydrolysis with *Bacillus licheniformis*. *Food Science and Technology International*. 28 (3): 233-246.
- [2] Shahosseini, S.R., Javadian, S.R. & Safari, R. 2022. Effects of Molecular Weights -Assisted Enzymatic Hydrolysis on Antioxidant and Anticancer Activities of Liza abu Muscle Protein Hydrolysates. *International Journal for Peptide Research & Therapeutics*. 28 (72): 1-13.
- [3] Behfar, S., Tababeiyazdi, F., Alizade, A., Kaviani, M. & Irajifar M. 2013. Effect of grape seed extract polyphenols on growth of bacteria. *21st Iranian Food Science and Technology Congress*.
- [4] Varedesara, M. S, Ariaai, P. & Hesari J. 2021. The effect of grape seed protein hydrolysate on the properties of stirred yogurt and viability of *Lactobacillus casei* in it. *Food Science and Nutrition*. 9: 2180–2190.
- [5] Mirsadeghi Darabi, D., Ariaai, P., Safari, R. & Ahmadi, M. 2022. Effect of clover sprouts protein hydrolysates as an egg substitute on physicochemical and sensory properties of mayonnaise. *Food Science & Nutrition*. 10: 253–263.
- [6] Ates E. 2011. Influence of some hard seedednessbreaking treatments on germination in Persian clover (*Trifolium resupanatum* ssp. typicum Fiori Et Paol.) seeds. *Rom. Agric. Res*. 28: 229-236.
- [7] Zhu, K.X, Zhou, H.M. & Qian, H. 2006. Antioxidant and free radicalscavenging activities of wheat germ protein hydrolysates (WGPH) prepared with alcalase. *Process Biochemisrty*. 41: 1296–1302.
- [8] Hassan, H.M.M., Afify, A.S., Basyiony, A.E., Ahmed, A.E., & Ghada, T. 2010. Nutritional and functional properties of defatted wheat protein isolates. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 4(2): 348–358.
- [9] Gomez, M., Gonzalez, J. & Oliete, B. 2012. Effect of extruded wheat germ on dough rheology and bread quality. *Food Bioprocess Technology*. 5(6): 2409-2418.
- [10] Sheng, L., Olsen, S. A., Hu, J., Yue, W., Mean, W. J. & Zhu, M. J. 2016. Inhibitory effects of grape seed extract on growth, quorum sensing, and virulence factors of CDC “top-six” non-O157 Shiga toxin producing *E. coli*. *International Journal of Food Microbiology*. 229: 24-32.
- [11] Javadian, S. R., Shahoseini, S. R. & Ariaai, P. 2016. The effects of liposomal encapsulated thyme extract on the quality of fish mince and *Escherichia coli* O157: H7 inhibition during refrigerated storage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 26 (1): 115-123.
- [12] Moghadam, R.M., Ariaai, P. & Ahmady, M. 2022. The effect of microencapsulated extract of pennyroyal (*Mentha pulegium*. L) on the physicochemical, sensory, and viability of probiotic bacteria in yogurt. *Food Measure*. 15: 2625–2636.
- [13] Wen, P., Zhu, D. H., Wu, H., Zong, M. H., Jing, Y. R. & Han, S. Y. 2016. Encapsulation of cinnamon essential oil in electrospun nanofibrous film for active food packaging. *Food Control*. 59: 366-376.
- [14] Tiwari, G., Tiwari, R., Sriwastawa, B., Bhati, L., Pandey, S., Pandey, P. & Bannerjee, S. K. 2012. Drug delivery systems: An updated review. *Int. J. Pharm. Investig*. 2(1): 2–11.
- [15] Tometri, S.S., Ahmady, M., & Ariaai, P..2020. Extraction and encapsulation of *Laurus nobilis* leaf extract with nano-liposome and its effect on oxidative, microbial, bacterial and sensory properties of minced beef. *Food Measure*. 14: 3333–3344.
- [16] Makri, E. A., Papalamprou, E. M. & Doxastakis, G. I. 2006. Textural properties of legume protein isolate and polysaccharide gels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86(12): 1855-1862.
- [17] Dorvaj Z., Javadian S.R., Oveissipour, M. & Nemati. M. 2013.. Use of Protein Hydrolysates From Caspian Sea Sprat (*Clupeonella Cultiventris*) As A Nitrogen Source For Bacteria Growth Media (*Vibrio Anguillarum*, *Bacillus Licheniformis*, *Bacillus Subtilis*). *Journal of Aquatic animals & Fisheries*. 4(15): 11-18.
- [18] Nemati, M., Javadian, S. R., Ovissipour, M. & Keshavarz, M. 2012. A study on the properties of alosa (*Alosa caspia*) by-products protein hydrolysates using commercial enzymes. *World Applied Sciences Journal*. 18 (7): 950-956.
- [19] Kristinsson, H. G. & Rasco, B. A. 2000. Fish protein hydrolysates: Production, biochemical and functional properties. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 40(1):43-81.
- [20] Bougatef, A., Hajji, M., Balti, R., Lassoued, I., Triki-Ellouz, Y. & Nasri, M. 2009. Antioxidant & free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*) muscle protein hydrolysates

- obtained by gastrointestinal proteases. *Food Chemistry*. 114: 1198-1205.
- [21] Alemán, A., Pérez-Santín, E., Bordenave-Juchereau, S., Arnaudín, I., Gómez-Guillén, M. C. & Montero P. 2011. Squid gelatin hydrolysates with antihypertensive, anticancer and antioxidant activity. *Food Res Int*. 44:1044-51.
- [22] Bera, M.B. & Mukherjee, R.K. 1989. Solubility, emulsifying, and foaming properties of rice bran protein concentrates. *J. Food Sci*. 54(1), 142-145.
- [23] Slizyte, R., Mozuraitytė, R., Martínez-Alvarez, O., Falch, E., Fouchereau-Peron, M. & Rustad, T. 2009. Functional, bioactive and antioxidative properties of hydrolysates obtained from cod (*gadus morhua*) Backbones. *Process Biochemistry*. 44:668-677.
- [24] Ahmed, S. A., Saleem, M. F. & Hassanzadeh, H. 2023. Optimization of solvent evaporation method in liposomal nanocarriers loaded-garlic essential oil (*Allium sativum*) based on the encapsulation efficiency, antioxidant capacity, and instability. *IETN biotechnol*. 17(5), 438-449.
- [25] Liu, W. L., Ye, A., Liu, C. M., Liu, W. & Singh H. 2012. Structure and integrity of liposomes prepared from milk or soybean derived phospholipids during in vitro digestion. *Food Res Internat*. 48(2): 499-506.
- [26] Liu, W., Ye, A., Liu, W., Liu, C., Han, J. & Singh, H. 2015. Behavior of liposomes loaded with bovine serum albumin during in vitro digestion. *Food Chem*. 175: 16-24.
- [27] Ghanbarinia, S. H., Ariaii, P., Safari, R. & Najafian, L. 2022. The effect of hydrolyzed sesame meal protein on the quality and shelf life of hamburgers during refrigerated storage. *Animal science journal*. 93: 1, e13729.
- [28] Chalamaiah, M., Dinesh Kumar, B., Hemalatha, R. & Jyothirmayi, T., 2012. Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. *Food Chemistry*. 135: 3020-3038.
- [29] Ovissipour, M., Rasco, B., Shiroodi, S.G., Modanlow, M., Gholami, S. & Nemat, M. 2013. Antioxidant activity of protein hydrolysates from whole anchovy sprat (*Clupeonella engrauliformis*) prepared using endogenous enzymes and commercial proteases. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 93: 1718-1726.
- [30] Pezeshk, S., Ojagh, S., Rezaei, M. & Shabanpour, B. 2017. Antioxidant and Antibacterial Effect of Protein Hydrolysis of Yellowfin Tuna Waste on Flesh Quality Parameters of Minced Silver Carp. *Journal of Genetic Resources*. 3(2): 103-112.
- [31] FAO/WHO. 1990. Energy and protein requirements. Report of joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation Technical Report. FAO/WHO and United Nations University, Geneva, Series No. 724.
- [32] Gao, D., Chang, T., Li, H., & Cao, Y. 2010. Angiotensin I-converting enzyme inhibitor derived from cottonseed protein hydrolysate. *African Journal of biotechnology*. 9: 8977-8983.
- [33] Yathisha, U.G., Vaidya, S. & Bangera Sheshappa, M. 2022. Functional Properties of Protein Hydrolyzate from Ribbon Fish (*Lepturacanthus Savala*) as Prepared by Enzymatic hydrolysis. *International Journal of Food Properties*. 25 (1): 187-203.
- [34] Mahdabi, M., Shamsaie Mehrgan, M. & Rajabi Islami, H. A. 2022. Comparison of the proximate compositions and amino acids profiles of protein hydrolysates produced from fishmeal effluents (stickwater), fishmeal and muscle of Anchovy sprat. *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 30(6): 43-61.
- [35] Purwin, C., Fijałkowska, M., Lipiński, K., Wierzbowska, J., Kobzhasarov, T.Z. & Michalski J. 2015. Changes in amino acid composition during ensiling lucerne and red clover in round bales. *J. Elem*. 20(4): 965-973.
- [36] Mazloomi, N., Sadeghi Mahoonak, A., Ghorbani, M., Houshmand, G. & Toldra F. 2020. Processing Optimization of Production of Hydrolyzed Protein from Orange Seed Waste with Pepsin Enzyme. *Iranian J Nutr Sci Food Technol*. 15 (1): 35-48.
- [37] Sun, Q., Shen, H. & Leu Y. 2011. Antioxidant activity of hydrolysates and peptide fractions derived from porcine hemoglobin. *J Food Sci and Technol*. 21:6646- 6652.
- [38] Torruco-Uco, J., Chel-Guerrero, L., Martínez-Ayala, A., Da'vila-Ortiz, G. & Betancur-Ancona, D. 2009. Angiotensin converting enzyme inhibitory and antioxidant activities of protein. *LWT - Food Sci Technol*. 42:1597- 1604.
- [39] Nalinanon, S., Benjakul, S., Kishimura, H. & Shahidi F. Functionalities and antioxidant properties of protein hydrolysates from the muscle of ornate threadfin bream treated with pepsin from skipjack tuna. *Food Chem*. 124(4):1354-62.
- [40] Vogelsang-O'Dwyer, M., Sahin, A.W., Arendt, E.K. & Zannini, E. 2022. Enzymatic Hydrolysis of Pulse Proteins as a Tool to Improve Techno-Functional Properties. *Foods*. 11: 1307- 1320.
- [41] Fan, Y., Yu, Z., Zhao, W., Ding, L., Zheng, F., Li, J. & Liu, J. 2020. Identification and Molecular Mechanism of Angiotensin-converting Enzyme Inhibitory Peptides from *Larimichthys Crocea* Titin. *Food Sci. Hum. Wellness*. 9: 257-263.

- [42] Gumus, C.E., Decker, E.A. & McClements, D.J. 2017. Formation and Stability of ω -3 Oil Emulsion-Based Delivery Systems Using Plant Proteins as Emulsifiers: Lentil, Pea, and Faba Bean Proteins. *Food Biophys.* 12: 186–197.
- [43] Ghelich, S., Ariaii, P. & Ahmadi, M. 2022. Evaluation of Functional Properties of Wheat Germ Protein Hydrolysates and Its Effect on Physicochemical Properties of Frozen Yogurt. *Int J Pept Res Ther.* 28: 69- 75.
- [44] Chen, L., Chen, J., Ren. J. & Zhao M. 2011. Modifications of soy protein isolates using combined extrusion pre-treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improved emulsifying properties. *Food Hydrocoll.* 25(5):887– 97.
- [45] Jamdar, S. N., Rajalakshmi, V., Pednekar, M. D., Juan, F., Yardi, V. & Sharma A. 2010. Influence of degree of hydrolysis on functional properties, antioxidant activity and ACE inhibitory activity of peanut protein hydrolysate. *Food Chem.* 121(1):178–84.
- [46] Reyhani Poul, S., Yeganeh, S. 2022. Physicochemical and antioxidant properties of chitosan-coated nanoliposome loaded with bioactive peptides produced from shrimp wastes hydrolysis. *Iranian Journal of Fisheries Sciences.* 21(4): 987-1003.
- [47] Hasani, S., shahidi, M., Ojagh, S. M. 2019. The Production and Evaluation of Nanoliposomes Containing Bioactive Peptides Derived from Fish Wastes Using the Alkalase Enzyme. *Research and Innovation in Food Science and Technology.* 8(1): 31-44.
- [48] Da Silva, I.M., Boelter, J.F., Da Silveira, N.P. & Brandelli, A. 2014. Phosphatidylcholine nanovesicles coated with chitosan or chondroitin sulfate as novel devices for bacteriocin delivery. *Journal of Nanoparticle Research.* 16: 2479.
- [49] Hosseini, S.F., Ramezanzade, L. & Nikkhah, M. 2017. Nano-liposomal entrapment of bioactive peptidic fraction from fish gelatin hydrolysate. *International Journal of Biological Macromolecules.* 105(2): 1455-1463.
- [50] Mozafari, M.R., Flanagan, J., Matia-Merino, L., Awati, A., Omri, A., Suntres, Z.E. & Singh, H. 2006. Recent trends in the lipid-based nanoencapsulation of antioxidants and their role in foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 86(13) :2038-2045.
- [51] Bao, Jie, Xia Zhang, Jia-Hui Zheng, Di-Feng Ren, and Jun Lu. (2018). "Mixed fermentation of *Spirulina Platensis* with *Lactobacillus Plantarum* and *Bacillus Subtilis* by Random-Centroid Optimization." *Food Chemistry*, 264, 64–72.
- [52] Eghdai, S. A., Alami, M., Rezaei, R., Dadpour, M. and Khameri, M. (2012) "The effect of basil and Saffron basil and saffron seeds mucilage on the physicochemical, rheological and sensory Characteristics of soft ice cream". *Journal of research and innovation in food science and industry*, 1(1), 23-3 [In Persian].
- [53] Robinson, R. K., Carl, A. B. & Pradip, D. P. (2000). "Encyclopedia of Food Microbiology. In: Single- Cell Protein/The Algae." *Academic Press, A Harcourt Sc. and Tech. Company*, 3, 2025–26.
- [54] Malik, Priyanka, C. Kempanna, and Aman Paul. (2013). "Quality Characteristics of Ice Cream enriched With *Spirulina* powder." *International Journal of Food and Nutritional Sciences International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 2(1), 44–50.
- [55] da Silva Faresin, Larissa, Rafaela Julyana Barboza Devos, Christian Oliveira Reinehr, and Luciane Maria Colla. (2022). "Development of Ice Cream with Reduction of Sugar and Fat by the Addition of Inulin, *Spirulina Platensis* or Phycocyanin." *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27, 100445.
- [56] Tiepo, Caroline Balensiefer Vicenzi, Franciele Maria Gottardo, Letícia Moreira Mortari, Charise Dallazem Bertol, Christian Oliveira Reinehr, and Luciane Maria Colla. (2021). "Addition of *Spirulina Platensis* in Handmade Ice Cream: Phisicochemical and Sensory Effects / Adição de *Spirulina Platensis* Em Sorvete Caseiro: Efeitos Físico-Químicos e Sensoriais." *Brazilian Journal of Development*, 7(9), 88106–88123.
- [57] Rasouli, F., Berenji, S., & Shahab Lavasani, A. (2017). "Optimization of traditional Iranian ice cream formulation enriched with *Spirulina* using response surface methodology." *Journal of Food Technology and Nutrition*, 14(3):15–28.
- [58] Boyanova, Petya, Dilyana Gradinarska, Valentina Dobрева, Petar Panayotov, Maria Momchilova, and Gabor Zsivanovits.(2022). "Effect of *Spirulina Platensis* on the quality and antioxidants characteristics of ice Cream." *BIO Web of Conferences*, 45, 01009.
- [59] Szmajda, Klaudia, Robert Duliński, Łukasz Byczyński, Adrian Karbowski, Tomasz Florczak, and Krzysztof Żyła. (2018). "rospira *Platensis*) Extract." *Biotechnol Food Science*, 82(1):41–48.
- [60] Noorannisa, S., & Ekantari, N. (2020). "Stability Of *Spirulina platensis* Ice Cream and Shelf Life Prediction Using Accelerated Shelf

Life Test Method Based On Physical and Antioxidant Analysis". In *E3S Web of Conferences*, 147.

[61] da Fontoura Prates, D., Radünz, M., Gomes, R., de Menezes, J. L., Spinosa, W. A., Costa, J. A. V., ... & Gandra, E. A. (2022). "Development, fermentation, and storage of kefir with extract of pineapple residues and *Spirulina* sp". *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11), 7078.

[62] Kulkarni, S. D., Auti, T., & Saraf, S. (2016). "Bioremediation study of dairy effluent by using *Spirulina platensis*. Res. J. Life Sci. Bioinform". *Pharm. Chem. Sci*, 1(6), 325.

[63] Ritambhara, Zainab, Vijayaraghavalu, S., Prasad, H. K., & Kumar, M. (2019). "Treatment and Recycling of wastewater from dairy industry". *Advances in Biological Treatment of Industrial Waste Water and their Recycling for a Sustainable Future*, 91-115.

[64] Zapata, D., Arroyave, C., Cardona, L., Aristizábal, A., Poschenrieder, C., & Llugany, M. (2021). "Phytohormone production and morphology of *Spirulina platensis* grown in dairy wastewaters". *Algal Research*, 59, 102469.

[65] Chang, Wei-Tung, Mengshan Lee, and Walter Den. (2013). "Simultaneous Carbon Capture, Biomass Production, and Dairy Wastewater Purification by *Spirulina Maxima* Photobioreaction." *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(5), 2046–2055.

[66] Kulandaivel, S., R. Prakash, R. Anitha, and N. Arunnagendran. (2007). "Comparative Studies on Biochemical Profile of *Spirulina Platensis* and *Oscillatoria* Sp. on Synthetic Medium and Dairy Effluent." *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 1(1), 109–12.

[67] Ghali, Suad, and Suad G. K. Al Ahmed. (2014). "Dairy wastewater treatment using microalgae in karbala city-Iraq." *Ecology, Family and Urban Studies*, 4(2), 13–22.



Scientific Research

An overview of the applications of *Spirulina platensis* algae in improving the nutritional and functional properties of dairy products and its use in the recycling of dairy industry waste.

Hamed Hassanzadeh^{*1}, Parisa Lotfi², Babak Qanbarzadeh³

1- Department of Health and Food Industry, Faculty of Paraveterinary Medicine, Ilam University, Ilam, Iran

2- Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran

3- Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran

ABSTRACT

ARTICLE INFO

Spirulina (*Spirulina*) is the general name of filamentous, multicellular and blue-green microalgae, of which the two genera *Arthrospira* and *spirulina* are important edible spirulina. This algae is the most common and widely used species that has been studied and investigated in many fields, especially food and medical industries. Chemical analysis of spirulina microalgae shows that it is an excellent source of some macronutrients and micronutrients. Spirulina is rich in protein, vitamins, essential amino acids, minerals and essential fatty acids that are important for health. The cell cover of spirulina is made of a thin hydrocarbon membrane that is very quickly digested by gastric juice, for this reason spirulina is completely digestible and one of the richest food sources available. By adding spirulina instead of stabilizer, the nutritional properties of dairy products will improve and they will have a better texture, appearance and color than before because spirulina can be used as a stabilizer. Adding 1 to 1.5% of spirulina powder to dairy products such as cheese reduces water and moisture in it, which makes it softer and is directly related to increasing its shelf life. Dairy industry is one of the most polluting industries that contain high content of elements such as phosphorus, nitrogen and carbon. Microalgae can be used to completely remove pollutants such as phosphorus and nitrogen. Spirulina blue-green algae are known to have the ability to utilize the nutrients of dairy wastewater and reduce the organic load to lower concentrations so that the treated water can be reused. In general, the addition of spirulina will increase the nutritional properties and improve the physical characteristics, and in various industries, especially the dairy industry, it can create many benefits

Article History:

Received: 2023/5/2

Accepted: 2023/7/31

Keywords:

Spirulina,
dairy products,
dairy waste,
nutritional properties,
functional properties

DOI: 10.22034/FSCT.20.141.175

DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.141.12.0

*Corresponding Author E-Mail:
h.hassanzadeh@ilam.ac.ir