



تاثیر ریزپوشانی باکتری‌های استرپتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس بر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی و حسی ماست

فاطمه آدینه پور^۱، سیدمهدی جعفری^۲، مرتضی خمیری^۳، علیرضا صادقی^۴، سودابه خلیلی^۵

۱-دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲-استاد، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- مرکز تحقیقات حلال جمهوری اسلامی ایران، سازمان غذا و داروی ایران، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، تهران، ایران.

۴-استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۵-دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۵-استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه نوشیروانی، بابل.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>تاریخ های مقاله :</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۳</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۳</p>	<p>هدف از پژوهش حاضر ریزپوشانی باکتری‌های استرپتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس با روش کمپلکس کواسرواسیون و پوشش‌های کازئینات سدیم و پکتین بود. کازئینات سدیم و پکتین در pH=۴ با هم جاذبه الکترواستاتیکی داشته و کمپلکس تشکیل می‌دهند. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی، مورفولوژی کواسروات‌ها بررسی شد. ویژگی‌های کمپلکس‌های پکتین و کازئینات سدیم توسط آزمون‌های طیف‌سنجی فرسرخ و اندازه‌گیری اندازه و توزیع ذرات بررسی شد. ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی همچون آب‌اندازی، pH و اسیدیته و ویژگی حسی نیز بررسی گردید. نتایج نشان داد، راندمان ریزپوشانی باکتری‌ها با روش کواسرواسیون ۶۶/۶ درصد بود. اندازه ذرات ۱/۵۶۵ میکرومتر و پتانسیل زتا ۱۶- میلی ولت گزارش شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی، کواسروات‌هایی کروی شکل و بدون سوراخ و چروک در سطح را نشان داد. نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز نیز ایجاد برهمکنش‌های الکتروستاتیک بین پکتین و کازئینات سدیم را نشان داد. همچنین ریزپوشانی باکتری‌ها موجب تغییر معنی داری (p>0/05) در pH (۰/۸±۰/۰۱) و اسیدیته ماست (۱/۰±۱/۰۳) در مقایسه با pH (۴/۶±۰/۱) و اسیدیته ماست (۰/۸±۰/۰۱) تولید شده با باکتری‌های آزاد، نشد. آب‌اندازی ماست‌های تولید شده با باکتری‌های ریزپوشانی (40±1/1 درصد) در مقایسه با ماست‌های تولید شده با باکتری‌های آزاد (۴۵±۰/۹ درصد) کاهش یافت (p<0/05). ریزپوشانی باکتری‌ها تاثیر منفی بر ویژگی‌های حسی همچون رنگ، بو و مزه ماست‌های تولید شده نداشت (p>0/05) ولی تفاوت معنی داری در بافت ماست‌های تولید شده با باکتری‌های ریزپوشانی شده در مقایسه با ماست‌های تولید شده با باکتری‌های آزاد مشاهده شد (p<0/05).</p>
<p>کلمات کلیدی:</p> <p>استرپتوکوکوس ترموفیلوس، لاکتوباسیلوس بولگاریکوس، کواسروات، ریزپوشانی، کازئینات سدیم، پکتین</p>	
<p>DOI:10.22034/FSCT.21.156.137.</p> <p>* مسئول مکاتبات:</p>	

۱- مقدمه

ماست یک فرآورده لبنی است که از تخمیر شیر به دست می‌آید و اهمیت ویژه‌ای در رژیم غذایی مردم سراسر جهان دارد [۱، ۲]. این فرآورده لبنی حاصل تخمیر دو گونه باکتری به نام‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* است [۳].

ویژگی‌های کلی ماست نظیر اسیدیته، میزان اسیدچرب آزاد، میزان ترکیبات آرومایی (دی استیل، استالدهید و استوئین) همراه با خصوصیات حسی و تغذیه‌ای از ویژگی‌های مهم در این محصول می‌باشند. این ویژگی‌ها تحت تأثیر ترکیب شیمیایی شیر اولیه، شرایط فرآیند، اضافه کردن طعم دهنده‌ها و فعالیت باکتری‌های آغازگر در طی تخمیر قرار می‌گیرد.

ریزپوشانی به فرآیندی گفته می‌شود که در آن یک ماده زیست فعال توسط یک ماده دیگر (از جنس بیو پلیمر، پلیمر سنتزی یا ترکیبات لیپیدی) پوشش داده می‌شود و کپسول‌های کوچک تشکیل شده می‌توانند محتوای خود را به صورت کنترل شده تحت شرایط خاص آزاد کنند و محتویات را از تخریب توسط عوامل زیان آور محیط حفظ کنند [۴]. ریزپوشانی موجب افزایش زنده مانی، بهبود عملکرد تخمیر سلولی، افزایش تولید و بازیابی متابولیت‌ها (اتانول، لاکتیک اسید، ریبوفلاوین) نیز می‌شود [۵، ۶]. اخیراً استفاده از ریزپوشانی باکتری‌ها به خصوص پروبیوتیک‌ها در مواد غذایی به خصوص غذاهای تخمیری مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. پریسکو و همکاران [۱۴] ریزپوشانی *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس*، همچنین عملکرد و آزاد سازی هدفمند در دستگاه گوارش را بررسی نمودند که نتایج زنده ماندن باکتری‌ها در حین نگهداری و افزایش کیفیت ماست را نشان داد. همچنین ریزپوشانی *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس دلبروکی* با هدف بررسی عملکرد تولید اسید در ماست توسط جانتر و همکاران [۱۱] بررسی شد. بررسی ریزپوشانی کشت‌های آغازگر ماست توسط حسن و همکاران [۱۵] ویسکوزیته بالاتر و شاخص پایداری بالاتر ماست‌های با

باکتری‌های آغازگر محصور شده را نشان داد. انتخاب ماده دیواره مناسب و روش مناسب ریزپوشانی برای رسیدن به ریزپوشانی موفق، ضروری می‌باشد.

یکی از روش‌های ریزپوشانی که برای ترکیبات حساس بسیار مناسب می‌باشد، کمپلکس کواسرواسیون یا توده‌ای شدن است. اساس این روش ایجاد جاذبه الکترواستاتیکی بین دو ماکرومولکول با بار مخالف می‌باشد [۱۶]. پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها به طور گسترده برای مواد دیواره در این روش استفاده می‌شوند. پلی ساکاریدهای آنیونی به دلیل داشتن گروه‌های کربوکسیلی، فسفات و سولفات دارای بار منفی می‌باشند و پروتئین‌ها در محدوده pH پایین تر از نقطه ایزوالکتریک دارای بار مثبت هستند. زمانی که این پروتئین و پلی ساکارید در یک محیط مایع با هم مخلوط می‌شوند بین بارهای مخالف، پیوند الکترواستاتیک ایجاد شده و همدیگر را خنثی می‌کنند، در نتیجه فاز توده‌ای پلیمرها و فاز سوپرناتانت، جدا شده و رسوب تشکیل می‌شود [۱۷، ۱۸]. عوامل مختلفی مانند نوع پلی ساکارید و پروتئین، pH و قدرت یونی، نسبت مولی دو زیست پلیمر و مرحله اسیدی شدن بر اندازه ذرات و خواص کمپلکس تشکیل شده مؤثر می‌باشد [۱۷].

کازئین ۷۵-۸۰٪ پروتئین شیر را شامل می‌شود که به شکل میسلی در شیر وجود داشته با برهمکنش‌های مختلف از جمله

برهمکنش‌های الکتروستاتیک، هیدروژنی و آبگریز، به پلی ساکاریدها متصل می‌شود. در صنعت، با افزودن اسیدهای آلی و معدنی به شیر پس چرخ، کازئین را رسوب داده و پس از طی مراحل کازئینات تولید می‌شود که این عمل باعث افزایش پایداری و حلالیت کازئین‌ها می‌گردد [۱۹، ۲۰].

پکتین یک هتروپلی ساکارید آنیونی است که در دیواره سلول گیاهان یافت می‌شود و دارای ساختار شاخه دار می‌باشد. زنجیر اصلی آن از واحدهای اسید گالاکتورونیک با اتصال آلفا-دی (۱ به ۴) تشکیل شده و به طور نسبی با متانول استری

بولگاریکوس (DSM 20081 ۱۷۳۷) از مرکز منطقه‌ای کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های صنعتی ایران (PTCC) خریداری شد.

۲-۲- آماده سازی کشت باکتری

جهت آماده سازی باکتری‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس*، ابتدا ویال پودر خشک شده انجمادی باکتری، دو مرتبه در محیط کشت MRS broth تلقیح و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری شد. بعد از رسیدن به تعداد سلول مورد نظر، سلول‌های باکتری حاصل به مدت ۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، سانتریفیوژ (هرمل، آلمان) شد و سپس سلول‌های جدا شده دو مرتبه با محلول استریل بافر فسفات (pH= 6/8) شستشو داده شده و پس از آن برای ریزپوشانی استفاده گردید.

۲-۳- تهیه کمپلکس کازئینات سدیم و پکتین

محلول کازئینات سدیم (۱درصد وزنی/حجمی) و پکتین (۰/۴۵ درصد وزنی/حجمی) با استفاده از هم‌زن مغناطیسی (-PIT300 ایران) در ۲۰۰ دور بر دقیقه تا انحلال کامل هم‌زده شدند. بعد از حل شدن کامل، محلول‌ها توسط اتوکلاو (رادطب-ایران) استریل شدند. سپس محلول‌های تهیه شده به منظور حداکثر جذب آب به مدت ۲۴ ساعت در دمای یخچال نگهداری شدند. در مرحله بعد دو محلول کازئینات سدیم و پکتین با هم مخلوط شده و ۱۰ دقیقه با هم‌زن مغناطیسی هم‌زده شد و سپس باکتری‌ها به این محلول اضافه و با هیدوروکلریک اسید ۰/۱ نرمال pH محلول را به ۴ رسانده شد تا رسوب کند [۲۳].

۲-۴- کارایی ریزپوشانی

۱ گرم کواسروات به ۹ میلی لیتر بافر فسفات اضافه شده و با دور بالا روی هم‌زن مغناطیسی هم‌زده شد تا کواسروات‌ها تخریب شده و باکتری‌ها آزاد گردند. سپس کارایی ریزپوشانی طبق فرمول زیر محاسبه شد [۲۴]:

شده است. در بخش شاخه دار شامل رامنوز، آرابینوز، گالاکتان و گالاکتورونیک اسید است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که پکتین در محیط اسیدی، روی سطح کازئین با بار مثبت قرار می‌گیرد و با ایجاد دافعه الکترواستاتیکی، از توده‌ای شدن کازئین جلوگیری نموده، و سبب پایداری ذرات در محیط‌های اسیدی می‌شود [۲۱، ۲۲].

ریزپوشانی باکتری‌ها علاوه بر محافظت از آن‌ها در برابر عوامل خارجی، منجر به تراکم سلولی بالاتر شده و در بهبود عملکرد تخمیر سلولی نیز موثر می‌باشد. زمانی که باکتری‌ها در پوشش محاصره می‌شوند، تماس سلول-سلول نزدیک‌تر شده و سرعت انتشار گازها (یعنی اکسیژن) به داخل کپسول‌ها نیز کاهش می‌یابد و موجب افزایش تحمل سلولی به عوامل استرس‌زا می‌گردد. همچنین استفاده از سلول‌های محصور شده در فرآیندهای تخمیری همچون ماست، تولید متابولیت‌ها را افزایش داده و باعث بهبود خواص فیزیکوشیمیایی محصول می‌گردد [۱۰].

لذا هدف از این پژوهش، ریزپوشانی باکتری‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* (باکتری‌های آغازگر ماست) با روش کمپلکس کواسرواسیون در پوشش کازئینات سدیم و پکتین و همچنین بررسی تأثیر ریزپوشانی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (pH، اسیدیته و آب اندازی) و ویژگی‌های حسی (رنگ، طعم و بافت) ماست می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

سدیم کازئینات از شرکت Lactoprot (ریدلینگن، آلمان)، پکتین از شرکت CP KELCO (براندنبورگ، آلمان) خریداری شد. اسیدکلریدریک و سدیم هیدروکسید از شرکت مرک (دارمشتات، آلمان)، و محیط کشت De Man-Rogosa-Sharpe agar (MRS agar) از شرکت زیست کاوش ایرانیان تهیه شد. باکتری‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* (DSM 20617 1738) و *لاکتوباسیلوس*

(رابطه ۱)

جمعیت باکتری‌های آزاد و محصور نشده در سوپرناتانت - جمعیت باکتری‌های ریزپوشانی شده و آزاد
 = کارایی ریزپوشانی = جمعیت باکتری‌های ریزپوشانی شده و آزاد

۲-۵- بررسی مورفولوژی

بررسی مورفولوژی سطحی کواسروات‌های تشکیل شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی (سیگما، آلمان) بررسی گردید.

۲-۶- سنجش اندازه ذرات، شاخص چند پراکندگی و پتانسیل زتا

برای اندازه گیری میانگین اندازه ذرات، شاخص چند پراکندگی و پتانسیل زتا با استفاده از پراکندگی نور دینامیکی (آنتون پار، اتریش)، کواسروات‌ها با آب مقطر مخلوط شدند تا سوسپانسیون با حداکثر غلظت ۱ درصد وزنی تشکیل گردد و سپس نمونه‌ها آنالیز شدند.

۲-۷- طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

برای تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی، نمونه‌ها با بروماید پتاسیم مخلوط و به صورت قرص آماده شدند و طیف حاصل از نمونه‌ها در محدوده موج ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ بر سانتیمتر اندازه‌گیری شد (کری ۶۳۰، آلمان).

۲-۸- تولید ماست

شیر پاستوریزه و هموژنیزه حاوی ۳ درصد چربی از کارخانه پاژن (تهران-ایران) تهیه و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه حرارت داده شد و پس از سرد کردن تا ۴۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. سپس کواسروات‌های حاوی باکتری‌های آغازگر ماست اضافه شده و تا زمان تشکیل لخته و رسیدن pH به ۴/۶ در گرمخانه با دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و پس از تشکیل ماست در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

۲-۹- تعیین اسیدیته و pH

برای تعیین pH از دستگاه pH متر استفاده گردید. برای اندازه‌گیری اسیدیته، ۱۰ گرم نمونه با ۱۰ میلی لیتر آب رقیق شد، سپس اسیدیته از طریق تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال در حضور شناساگر فنل فتالین تا ظهور رنگ ارغوانی تعیین گردید [۲۴].

۲-۱۰- اندازه گیری میزان آب‌اندازی

میزان ۲۰ گرم ماست در کاغذ صافی روی قیف، توزین شد و پس از دو ساعت قرار دادن در دمای یخچال، میزان آب خارج شده توزین گردید و درصد آب‌اندازی طبق فرمول زیر محاسبه گردید [۲۵].

(رابطه ۲)

$$100 \times \frac{\text{وزن نمونه ماست} - \text{وزن آب خارج شده}}{\text{وزن نمونه ماست}} = \text{درصد آب‌اندازی}$$

۲-۹- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه‌های ماست توسط یک پانل ۶ نفره متشکل از ۴ خانم و ۲ آقا در محدوده سنی ۲۵ تا ۳۵ سال انجام شد. امتیازها براساس نمره دهی هدونیک از ۱ تا ۱۰ (امتیاز ۱۰ برای بهترین و امتیاز ۱ برای بدترین حالت) در نظر گرفته شد.

۲-۱۰- آنالیز آماری

جهت بررسی تأثیر ریزپوشانی باکتری‌های آغازگر ماست بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ماست از آنالیز واریانس در سطح معنی داری ۵ درصد استفاده شد. آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد و سپس میانگین و انحراف معیار داده‌ها محاسبه شد. داده‌ها با نرم افزار آماری spss۲۰ تجزیه و تحلیل شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- کارایی ریزپوشانی

کارایی ریزپوشانی، قابلیت روش ریزپوشانی را در به دام انداختن مواد هسته مشخص می‌کند و یکی از فاکتورهای مهم در تعیین پایداری ترکیبات ریزپوشانی شده می‌باشد. با افزایش کارایی ریزپوشانی، پایداری و زنده مانی ترکیبات نیز افزایش می‌یابد [۲۶]. pH و قدرت یونی از عوامل مؤثر در تشکیل کمپلکس‌ها هستند. هر دو بر تعداد بارهای موجود روی پلیمرهای زیستی تأثیر می‌گذارند و شدت برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی را کنترل می‌کنند [۲۷]. پکتین پلی‌ساکاریدی آنیونی می‌باشد که دارای بار منفی است کازئینات سدیم به دلیل داشتن گروه‌های NH_3^+ و کربوکسیلی CO^- هم دارای بار مثبت و هم منفی می‌باشد. در زیر نقطه ایزوالکتریک ($\text{pH}=4.6$) کازئینات سدیم دارای بار مثبت می‌باشد. برای تشکیل کمپلکس، pH محلول را به زیر نقطه ایزوالکتریک ($\text{pH}=4$) رساندیم تا بار مثبت کازئینات سدیم با بار منفی پکتین با هم پیوند الکترواستاتیکی داشته و کمپلکس تشکیل دهند و باکتری‌ها را در کمپلکس محصور کنند [۲۸]. نتایج پژوهش حاضر راندمان ریزپوشانی ۶۶/۶ درصد را نشان داد. داسیلوا و همکاران [۲۷]، کارایی لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس با روش کمپلکس کواسرواسیون را ۹۷/۷۲-۶۸/۲۰ درصد گزارش نمودند. همچنین چاواری و همکاران کارایی ریزپوشانی بیفیدیباکتریوم بیفیدی ریزپوشانی شده با روش کواسرواسیون را ۴۰/۲-۱۹/۵ درصد گزارش نمودند [۲۹]. کارایی ریزپوشانی تحت تأثیر نسبت بیوپلیمرها و تراکم بارهای آن‌ها قرار می‌گیرد. اگر

نسبت بارهای بین پکتین و کازئینات سدیم مناسب باشد، تراکم بارهای ناهمنام آن‌ها در محیط برابر خواهد شد و پکتین به طور کامل سطح کازئینات سدیم را پوشش می‌دهد و نیروی جاذبه بین بارهای ناهمنام شکل خواهد گرفت و شکل گیری کواسروات‌ها به وقوع می‌پیوندد [۳۰، ۳۱]. بر طبق نتیجه کارایی ریزپوشانی پکتین در نسبت ۰/۴۵ درصد و کازئینات سدیم در نسبت ۱ درصد، تعادل بین بارهای ناهمنام گروه‌های آمینی و کربوکسیلی به نحوی مؤثر باعث تشکیل پیوند و شکل گیری کواسروات‌ها شد.

۳-۲- مورفولوژی کواسروات‌ها

برای آگاهی از ریخت‌شناسی ساختار کواسروات‌ها، شکل مورفولوژی سطحی نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داده می‌شود. به طور کلی کواسروات‌های تولیدی دارای ساختار فشرده و توده‌ای و کروی شکل بود و سطح نمونه‌ها صاف و بدون سوراخ و چروکیدگی بود. زمانی که جاذبه الکترواستاتیکی بین دو پلیمر مناسب باشد تعداد کواسروات‌های تشکیل شده زیاد و ساختار توده‌ای تشکیل می‌شود و زمانی که جاذبه قوی باشد، درزبندی کپسول‌ها کامل و بدون هیچ حفره‌ای می‌باشد که نشان دهنده محافظت مناسب پوشش‌ها از ماده هدف می‌باشد [۳۲]. این نتایج (شکل ۱) هم راستا با نتایج ساراوانان و همکاران [۳۳] بود که از پکتین و ژلاتین به عنوان مواد پوشش در روش کمپلکس کواسرواسیون استفاده نمودند. البته حضور کربوهیدرات (پکتین) نیز در توده‌ای شدن (آگلومریزاسیون) مؤثر می‌باشد. نتایج مشابه توسط پنگ و همکاران [۲۹] و سوتانک و همکاران [۳۴، ۳۵] هنگامی که از کربوهیدرات در ترکیب دیواره استفاده کردند، گزارش شده است.

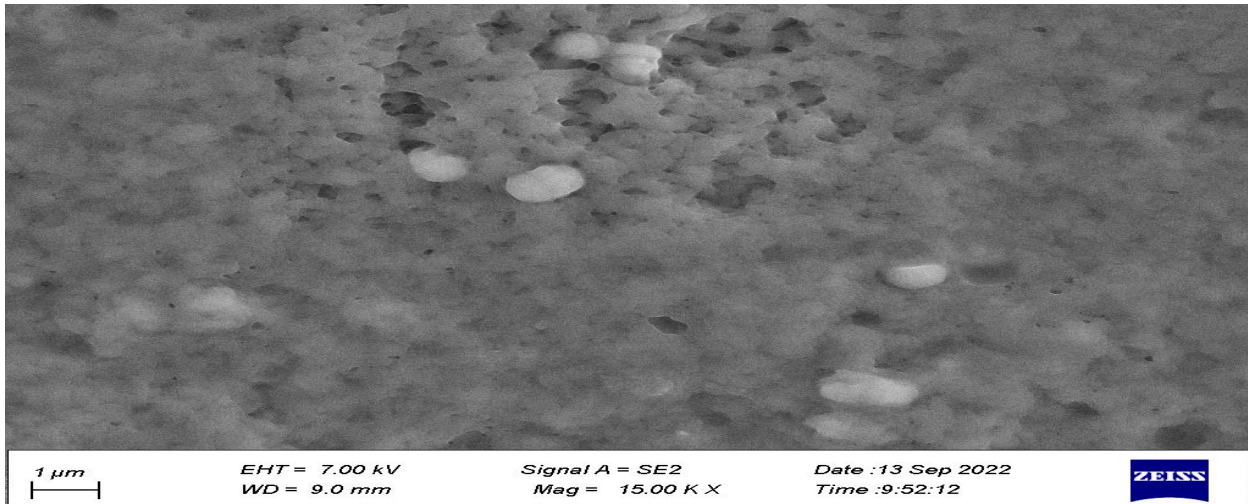


Figure 1- Surface morphology of pectin and sodium caseinate coacervate containing yogurt starter bacteria determined using scanning electron microscope

۳-۳- سنجش اندازه ذرات و پتانسیل زتا

در روش کواسرواسیون، ذرات به دست آمده دارای اندازه‌ای بین ۱ تا ۵۰۰ میکرومتر هستند و ذراتی که اندازه کوچک‌تر از ۱۰۰ میکرومتر دارند برای استفاده در مواد غذایی مناسب هستند [۳۶]. اندازه ذرات بر ویژگی‌های حسی محصول تأثیر می‌گذارد. ذراتی که اندازه بزرگی دارند باعث ایجاد مزه خشن می‌شوند به طوری که کاملاً در زیر زبان احساس می‌شوند که برای مصرف‌کننده ناخوشایند است [۳۷]. اندازه ذرات به دست آمده برای نسبت کازئینات سدیم ۱٪ و پکتین ۰/۴۵٪، ۱/۵۶۵ میکرومتر بود. که با توجه به اینکه اندازه ذرات در این مطالعه کوچکتر از ۱۰۰ میکرومتر بوده، آنها را برای کاربرد در محصولات غذایی جالب می‌کند.

پتانسیل زتا تابعی از pH و قدرت یونی است و پایداری ریزپوشش‌ها را تعیین می‌کند. هنگامی که هدف تشکیل کمپلکس کواسرواسیون است، نقطه زتا باید نزدیک به صفر باشد (بین +۳۰ و -۳۰ میلی‌ولت) زیرا نیروهای الکترواستاتیکی قوی بین بارهای پروتئین و پلی ساکارید باعث تشکیل کمپلکس می‌شود. هنگامی که کمپلکس با حداکثر پایداری تشکیل شد، پکتین به طور کامل سطح کازئینات سدیم را می‌پوشاند و بیشتر بار منفی پکتین با بار مثبت کازئینات واکنش داده و رسوب تشکیل می‌دهد در نتیجه مقدار پکتین آزاد بسیار کم است و پتانسیل زتا بسیار

کم و نزدیک به صفر است [۳۸]. پتانسیل زتا به دست آمده برای نسبت کازئینات سدیم ۱٪ و پکتین ۰/۴۵٪، -۱۶ میلی‌ولت بود که تایید کننده تشکیل کمپلکس بین کازئینات سدیم و پکتین بود. وانگ و همکاران (۲۰۱۹) پتانسیل زتا کمپلکس کازئینات سدیم و پکتین را در pH = ۴ که زیر نقطه ایزوالکتریک بوده و کمپلکس تشکیل می‌شود را -۵ میلی‌ولت گزارش کردند [۳۹].

۳-۴- طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

طیف‌سنجی مادون قرمز تکنیکی کاربردی و مفید برای مطالعه ساختار و برهمکنش‌های سیستم‌های پروتئین - پلی ساکارید است. زمانی که گروه‌های عاملی در سطح مولکولی واکنش می‌دهند تغییرات طیف‌سنجی مادون قرمز مانند ظهور باندهای جدید و تغییرات در شدت و مکان باندهای جذب قابل مشاهده است.

در طیف‌سنجی مادون قرمز کازئینات سدیم، پیوندهای کششی O-H و N-H، پیک بزرگی در محدوده عدد موجی ۳۱۰۰ بر سانتی متر تا ۳۳۰۰ بر سانتی متر نشان دادند. پیک مشاهده شده در عدد موجی ۲۹۵۶ بر سانتی متر نشان دهنده پیوندهای کششی C-H بود. عددهای موجی ۱۶۲۹ بر سانتی متر، ۱۵۱۱ بر سانتی متر به ترتیب مربوط به گروه آمیدی I و گروه آمید II بود. پیک‌های جذبی در عدد موجی ۱۳۸۷ تا

در آنالیز طیف‌سنجی کمپلکس کازئینات سدیم و پکتین، در محدوده عدد موجی ۳۳۲۸ بر سانتی متر پیکی که مشاهده شد مربوط به پیوندهای هیدروژنی است و چون مجموع پیوندهای هیدروژنی کازئینات سدیم و پکتین می‌باشد، در نتیجه شدت پیوند نیز افزایش پیدا کرد. حذف پیک 2930 بر سانتی متر در کازئینات سدیم در طیف کمپلکس نشان دهنده ایجاد پیوند الکترواستاتیکی بین گروه‌های آمینه پروتئین و گروه‌های کربوکسیل پکتین است. انتقال پیوندهای گروه امید I کازئینات سدیم از عدد موجی 1629 و گروه کربوکسیل پکتین از عدد موجی ۱۶۰۴ بر سانتی متر به عدد موجی 1623 بر سانتی متر در کمپلکس‌ها تأییدکننده برهمکنش الکترواستاتیکی بین کازئینات سدیم و پکتین است. به طور کلی جابه‌جایی پیک‌ها و ظهور پیک‌های جدید در طیف کمپلکس‌ها نشان‌دهنده تأیید برهمکنش بین کازئینات سدیم و پکتین می‌باشد.

۱۴۴۲ بر سانتی متر مربوط به ارتعاشات کشش C-H گروه امید III بود [۴۰، ۴۱].

در طیف مربوط به پکتین، پیک مشاهده شده در عدد موجی ۳۲۵۲ بر سانتی متر پیوندهای هیدروژنی درون مولکولی گروه‌های (O-H) پکتین را نشان می‌دهد. برای تعیین درجه استری شدن پکتین نیز از آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز استفاده می‌شود. پیک مشاهده شده در محدوده های ۱۶۰۴ و ۱۷۲۹ بر سانتی متر به ترتیب مربوط به گروه‌های کربوکسیل استری شده COOCH₃ و گروه‌های کربوکسیل استری نشده COO⁻ را نشان داد. با توجه به شکل ۲، شدت زیر منحنی در عدد موجی ۱۷۲۹ از 1604 بیشتر است که پکتین با درجه استری بالا را نشان می‌دهد. پیک‌های موجود در محدوده عددهای موجی ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ بر سانتی متر نشان دهنده گروه‌های کربوکسیل آزاد و استری شده می‌باشند [۴۰، ۴۲].

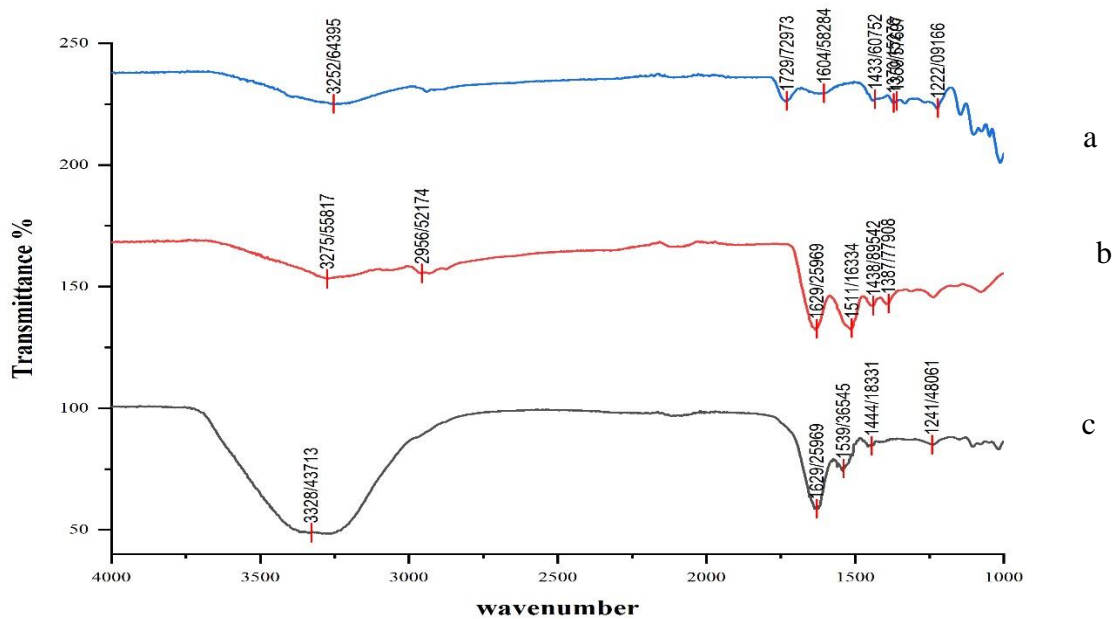


Figure 2-Ftir of pectin (a), sodium caseinate (b), and coacervate (c) containing yogurt starter bacteria

باکتری‌های آغازگر ماست (استرپتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس) در همزیستی زندگی می‌کنند و یک هم افزایی بین این دو باکتری وجود دارد که به یک تحریک متقابل مربوط می‌شود. این تحریک به رشد، اسیدی

۳-۵- خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست تولید شده با باکتری‌های ریزپوشانی شده

۱-۳-۵- اسیدیته و pH

بیشینه ۴/۶) بود (استاندارد ملی ایران به شماره ۶۹۵، ۱۴۰۱). ریزپوشانی باکتری‌های آغازگر ماست موجب افزایش اسیدیته نمونه‌های ماست تولید شده با باکتری‌های ریزپوشانی شده در مقایسه با نمونه‌های حاوی باکتری‌های آزاد نشان داد اما از لحاظ آماری معناداری مشاهده نشد ($P>0/05$). افزایش ماده جامد کل شیر باعث افزایش رشد باکتری‌های آغازگر ماست شده و در نتیجه اسیدیته نهایی محصول کمی افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش با نتایج سپیریئوسانتو و همکاران [۳۳] مطابقت دارد.

شدن و تولید ترکیبات معطر منجر می‌گردد. هر دو گونه، باکتری‌های تخمیری هستند که اسید لاکتیک را از شیر لاکتوز تولید می‌کنند. تولید اسید لاکتیک منجر به کاهش pH می‌شود. طبق نتایج به دست آمده ریزپوشانی باکتری‌های آغازگر ماست با پوشش کازئینات سدیم و پکتین بر pH نمونه ماست تولید شده تأثیر منفی نداشته و اختلاف معنی داری ($P>0/05$) در pH نمونه ماست تولید شده با باکتری‌های ریز پوشانی شده و آزاد مشاهده نشد. این نتایج نشان داد که ریزپوشانی باکتری‌های آغازگر ماست تأثیر منفی بر کیفیت نمونه‌های ماست نداشت و pH تیمار در راستای pH تعیین شده توسط سازمان ملی استاندارد ایران (میزان

Table 1- The pH, acidity and percentage of yogurt produced with microencapsulated and non-encapsulated bacteria

Physicochemical properties	A sample of yogurt produced with microencapsulated bacteria by sodium caseinate and pectin	A sample of yogurt produced with unencapsulated starter bacteria
pH	4/6±0/091	4/6±0/1
Acidity	1/1±0/03	0/8±0/01
Syneresis (%)	40±1/1	45±0/9

The numbers are the average of three repetitions and are the mean ± standard deviation.

Significant difference at probability level 5%*

خاصیت ژل کنندگی داشته و دارای ذخیره آب عالی است. در واقع پکتین یک شبکه سه بعدی تشکیل می‌دهد که قادر به تعامل با بارهای مثبت روی سطح پروتئین‌ها و حداکثر جذب آب را داشته و موجب کاهش سینرزیس می‌گردد [۳۲]. کاهش آب‌اندازی ماست در حضور پکتین توسط جنسن و همکاران [۲۱] نیز گزارش شده است. کازئینات سدیم نیز با تحکم ساختار شبکه پروتئینی در ماست، باعث بهبود ثبات (افزایش ویسکوزیته) و کاهش آب‌اندازی می‌شود. رضایی و همکاران [۴۳] گزارش کردند که اضافه نمودن کازئینات سدیم به ماست می‌تواند در کاهش آب‌اندازی در طول زمان نگهداری مؤثر باشد.

۳-۶- ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی ماست مهم‌ترین دلیل محبوبیت این فرآورده نزد مصرف کننده‌ها می‌باشد. طبق استاندارد ملی

۲-۳-۵- آب‌اندازی

آب‌اندازی عبارتست از خروج مایع از ماتریس ژل ماست به علت چروکیدگی در ساختار پروتئینی که منجر به کاهش قدرت پروتئین‌های آب پنیر و جداسازی سرم می‌شود که در کیفیت ماست اثرگذار می‌باشد. آب‌اندازی یکی از عواملی است که ویژگی کیفی محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش، استفاده از پوشش کازئینات سدیم و پکتین موجب کاهش آب‌اندازی ماست در مقایسه با نمونه فاقد کازئینات سدیم و پکتین شد و به $40.1 \pm 1/1$ درصد رسید ($P < 0/05$). در حضور کازئینات سدیم و پکتین، آب‌اندازی ماست کاهش پیدا می‌کند که به دلیل افزایش ماده خشک آن می‌باشد. افزایش ماده خشک موجب افزایش قوام، سفتی و کشش لخته شده و میزان آب‌اندازی را کاهش می‌دهد. طبق نتایج عزیزنیا و همکاران [۳۱] با افزایش ماده خشک، آب‌اندازی ماست کاهش یافت. پکتین یک هیدروکلوئید آنیونی است که

($P <$) و امتیاز ماست تولید شده با باکتری های ریزپوشانی شده $۰/۸۹ \pm ۶/۱۰$ و برای ماست تولید شده با باکتری های آزاد $۰/۴ \pm ۷/۷۳$ گزارش شد، زیرا ماست تولید شده با باکتری های ریزپوشانی شده به دلیل ماده خشک بیشتر (کازئینات سدیم و پکتین) دارای آب اندازی کمتر و بافت بهتری بود زیرا پکتین خاصیت ژل‌کنندگی و غلیظ کننده دارد و حتی در غلظت‌های پایین موجب جذب آب و افزایش ویسکوزیته و سفتی می‌گردد. همچنین بواسطه فرآیند حرارتی اعمال شده روی شیر (۹۰ درجه سانتی‌گراد، ۵ دقیقه) یک ساختار ژل مانند با ریزساختار متقاطع توسط پروتئین‌های آب پنیر دنا توره شده مرتبط با میسل‌های کازئین تشکیل می‌شود که استحکام ژل و بافت ماست را کنترل می‌کند. بنابراین، محتوای پروتئینی بالاتر در ایجاد یک شبکه ژل قوی‌تر مؤثر می‌باشد و موجب می‌شود محصول سفت‌تر گردد، در نتیجه موجب بهبود بافت ماست می‌گردد.

ایران فاکتورهای حسی که در ماست حائز اهمیت می‌باشند شامل رنگ، بو و مزه، بافت می‌باشد. ارزیابی حسی ماست تولید شده با باکتری های ریزپوشانی شده در مقایسه با ماست تولید شده با باکتری های ریزپوشانی نشده در جدول ۳ نمایش داده شده است. طبق نتایج رنگ ماست تولید شده با باکتری ریزپوشانی شده دارای امتیاز $۰/۵۱ \pm ۹/۸۶$ بود که دارای تفاوت معنی داری با رنگ ماست تولید شده با باکتری های آزاد نبود ($P > ۰/۰۵$). امتیاز بوی ماست تولید شده با باکتری های کپسول شده نیز $۰/۹۸ \pm ۹/۱۵$ گزارش شد ($P > ۰/۰۵$). همچنین تفاوت معنی داری در مزه ماست تولید شده با باکتری های ریزپوشانی شده مشاهده نشد ($P > ۰/۰۵$). که نتایج نشان داد وجود کازئینات سدیم و پکتین تاثیر منفی بر رنگ، بو و مزه ماست نداشت. ولی تفاوت معنی داری در بافت ماست تولید شده با باکتری‌های ریزپوشانی با ماست تولید شده با باکتری های آزاد بود ($P > ۰/۰۵$).

Table 2- sensorial evaluation of yogurt produced with microencapsulated and non-encapsulated bacteria

Physicochemical properties	A sample of yogurt produced with microencapsulated bacteria by sodium caseinate and pectin	A sample of yogurt produced with unencapsulated starter bacteria
Colour 1-10	9/86±0/51	9/60±0/54
Flavor 1-10	9/15±0/98	9/00±0/89
Texture 1-10	6/10±0/89	7/73±0/4
General acceptance 1-10	6/00±0/83	7/5±0/5

The numbers are the average of three repetitions and are the mean \pm standard deviation.

Significant difference at probability level 5%*

می‌تواند کمپلکس‌هایی متراکم با مورفولوژی کروی تشکیل دهند که می‌تواند به خوبی از ماده هدف محافظت کند. اندازه کواسرواها $۱/۵۶۵$ میکرومتر گزارش شد که نشان داد برای استفاده در مواد غذایی مناسب می‌باشند. آنالیز طیف سنجی مادون قرمز برهمکنش الکترواستاتیک بین کازئینات سدیم و

۴- نتیجه گیری کلی

این پژوهش با هدف ریز پوشانی باکتری‌های آغازگر ماست با استفاده از تکنیک کمپلکس کواسرواسیون با پوشش کازئینات سدیم و پکتین انجام شد. نتایج نشان داد که پکتین در غلظت $۰/۴۵$ درصد و کازئینات سدیم در غلظت ۱ درصد

باشند و میتوانند به منظور ریزپوشانی باکتری‌های آغازگر ماست و بهبود کیفیت ماست استفاده گردد. البته این ادعا نیاز به انجام مطالعات تکمیلی از جمله برهمکنش بین باکتری‌ها با ترکیبات پوشش دهنده دارد. همچنین به منظور بهبود کیفیت و سلامتی بخشی ماست توصیه میگردد از ریزپوشانی سایر باکتری‌های پروبیوتیک نیز استفاده گردد و طراحی سیستم‌های ره‌ایش کنترل شده پروبیوتیک‌ها در زمان نگهداری و بالابردن اثر سلامتی بخش ماست، نیز توصیه میگردد.

۵- منابع

- پکتین را تایید کرد. همچنین نتایج نشان داد که ریزپوشانی باکتری‌های آغازگر بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ماست تولیدی تأثیر منفی نگذاشته است. کازئینات سدیم به عنوان گروهی از پلیمرهای زیستی طبیعی، دارای قابلیت هضم عالی و سمیت کم می‌باشد و همچنین پکتین دارای فواید درمانی مانند کاهش کلسترول خون، حذف یون‌های فلزی سنگین از بدن، تثبیت کننده فشار خون و تسهیل فعالیت روده ای می‌باشد و در صنایع داروسازی نیز کاربردهای زیادی دارد. در نتیجه پوشش‌های استفاده شده آثار منفی بر سلامتی نداشته بلکه برای سلامتی مفید نیز می‌باشد.
- survival rate of Lactobacillus acidophilus La5 and sensory properties in Iranian white brined cheese.* Food Chemistry, 2012. **132**(4): p. 1966-1970.
- [9] Alonso, S., M. Rendueles, and M. Díaz, *A novel approach to monitor stress-induced physiological responses in immobilized microorganisms.* Applied microbiology and biotechnology, 2015. **99**: p. 3573-3583.
- [10] Gao, M., et al., *Culture of low density E. coli cells in alginate-chitosan microcapsules facilitates stress resistance by up-regulating luxS/AI-2 system.* Carbohydrate polymers, 2016. **141**: p. 160-165.
- [11] Junter, G.-A., et al., *Immobilized-cell physiology: current data and the potentialities of proteomics.* Enzyme and Microbial Technology, 2002. **31**(3): p. 201-212.
- [12] Doleyres, Y., I. Fliss, and C. Lacroix, *Increased stress tolerance of Bifidobacterium longum and Lactococcus lactis produced during continuous mixed-strain immobilized-cell fermentation.* Journal of Applied Microbiology, 2004. **97**(3): p. 527-539.
- [13] Krishnan, S., et al., *Physiological and morphological changes in immobilized L. plantarum NCIM 2084 cells during repeated batch fermentation for production of lactic acid.* Food Biotechnology, 2001. **15**(3): p. 193-202.
- [14] De Prisco, A., et al., *Microencapsulated starter culture during yoghurt manufacturing, effect on technological*
- [1] Mahmoudi, M., Z. Amiri, and M. Alimi. *Evaluation of the effect of maltodextrin as a fat substitute on the quality of low-fat yogurt.* in *The 20th National Congress of Food Science and Technology.* 2011.
- [2] Lucey, J., *Formation and physical properties of milk protein gels.* Journal of dairy science, 2002. **85**(2): p. 281-294.
- [3] Lee, W.-J. and J. Lucey, *Formation and physical properties of yogurt.* Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2010. **23**(9): p. 1127-1136.
- [4] Rashidinejad, A., et al., *Co-encapsulation of probiotics with prebiotics and their application in functional/synbiotic dairy products.* Critical reviews in food science and nutrition, 2022. **62**(9): p. 2470-2494.
- [5] Rathore, S., et al., *Microencapsulation of microbial cells.* Journal of food engineering, 2013. **116**(2): p. 369-381.
- [6] Westman, J.O., et al., *Effects of encapsulation of microorganisms on product formation during microbial fermentations.* Applied microbiology and biotechnology, 2012. **96**: p. 1441-1454.
- [7] Champagne, C.P., C. Lacroix, and I. Sodini-Gallot, *Immobilized cell technologies for the dairy industry.* Critical Reviews in Biotechnology, 1994. **14**(2): p. 109-134.
- [8] Mirzaei, H., H. Pourjafar, and A. Homayouni, *Effect of calcium alginate and resistant starch microencapsulation on the*

- features*. Food and bioprocess technology, 2017. **10**: p. 1767-1777.
- [15] Hassan, A., et al., *Observation of encapsulated lactic acid bacteria using confocal scanning laser microscopy*. Journal of Dairy Science, 1995. **78**(12): p-۲۶۲۴ . ۲۶۲۸
- [16] Ru, Q., et al., *Turbidity and rheological properties of bovine serum albumin/pectin coacervates: Effect of salt concentration and initial protein/polysaccharide ratio*. Carbohydrate Polymers, 2012. **88**(3): p. 838-846.
- [17] Jain, A., et al., *Formation and functional attributes of electrostatic complexes involving casein and anionic polysaccharides: An approach to enhance oral absorption of lycopene in rats in vivo*. International journal of biological macromolecules, 2016. **93**: p. 746-756.
- [18] Matalanis, A., O.G. Jones, and D.J. McClements, *Structured biopolymer-based delivery systems for encapsulation, protection, and release of lipophilic compounds*. Food hydrocolloids, 2011. **25**(8): p. 1865-1880.
- [19] Chen, L., G.E. Remondetto, and M. Subirade, *Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems*. Trends in Food Science & Technology, 2006. **17**(5): p. 272-283.
- [20] Noreen, A., et al., *Pectins functionalized biomaterials; a new viable approach for biomedical applications: A review*. International journal of biological macromolecules, 2017. **101**: p. 254-272.
- [21] Jensen, S., C. Rolin, and R. Ipsen, *Stabilisation of acidified skimmed milk with HM pectin*. Food hydrocolloids, 2010. **24**(4): p. 291-299.
- [22] Girard, M., S.L. Turgeon, and S.F. Gauthier, *Thermodynamic parameters of β -lactoglobulin-pectin complexes assessed by isothermal titration calorimetry*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003. **51**(15): p. 4450-4455.
- [23] da Silva, T.M., et al., *The effect of enzymatic crosslinking on the viability of probiotic bacteria (Lactobacillus acidophilus) encapsulated by complex coacervation*. Food Research International, 2019. **125**: p. 108577.
- [24] de Souza, V.B., et al., *Functional properties and encapsulation of a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (Cinnamomum zeylanicum) by complex coacervation using gelatin and different polysaccharides*. Food Hydrocolloids, 2018. **77**: p. 297-306.
- [25] Al-Kadamany, E., et al., *Estimation of shelf-life of concentrated yogurt by monitoring selected microbiological and physicochemical changes during storage*. LWT-Food Science and Technology, 2003. **36**(4): p. 407-414.
- [26] Reque, P.M. and A. Brandelli, *Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry*. Trends in Food Science & Technology, 2021. **114**: p. 1-10.
- [27] Tavares, L. and C.P.Z. Noreña, *Encapsulation of ginger essential oil using complex coacervation method: Coacervate formation, rheological property, and physicochemical characterization*. Food and Bioprocess Technology, 2019. **12**: p. 1405-1420.
- [28] Liang, L. and Y. Luo, *Casein and pectin: Structures, interactions, and applications*. Trends in Food Science & Technology, 2020. **97**: p. 391-403.
- [29] Chávarri, M., et al., *Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastro-intestinal conditions*. International journal of food microbiology, 2010. **142**(1-2): p. 185-189.
- [30] Espinosa-Andrews, H., et al., *Determination of the gum Arabic-chitosan interactions by Fourier Transform Infrared Spectroscopy and characterization of the microstructure and rheological features of their coacervates*. Carbohydrate Polymers, 2010. **79**(3): p. 541-546.
- [31] de Matos, E.F., B.S. Scopel, and A. Dettmer, *Citronella essential oil microencapsulation by complex coacervation with leather waste gelatin and sodium alginate*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2018. **6**(2): p. 1989-1994.

- [32] Dong, X., et al., *Preparation and characterization of soybean Protein isolate/chitosan/sodium alginate ternary complex coacervate phase*. LWT, 2021. **150**: p. 112081.
- [33] Saravanan, M. and K.P. Rao, *Pectin–gelatin and alginate–gelatin complex coacervation for controlled drug delivery: Influence of anionic polysaccharides and drugs being encapsulated on physicochemical properties of microcapsules*. Carbohydrate Polymers, 2010. **80**(3): p. 808-816.
- [34] Peng, Z., et al., *Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours*. LWT-Food Science and Technology, 2013. **51**(1): p. 348-355.
- [35] Hundre, S.Y., P. Karthik, and C. Anandharamakrishnan, *Effect of whey protein isolate and β -cyclodextrin wall systems on stability of microencapsulated vanillin by spray–freeze drying method*. Food Chemistry, 2015. **174**: p. 16-24.
- [36] Fávaro-Trindade, C.S., S.C.d. Pinho, and G.A. Rocha, *Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios*. Brazilian Journal of Food Technology, 2008. **11**(2): p. 103-112.
- [37] Holkem, A.T. and C.S. Favaro-Trindade, *Potential of solid lipid microparticles covered by the protein-polysaccharide complex for protection of probiotics and proanthocyanidin-rich cinnamon extract*. Food Research International, 2020. **136**: p. 109520.
- [38] Muhoza, B., et al., *Gelatin and pectin complex coacervates as carriers for cinnamaldehyde: Effect of pectin esterification degree on coacervate formation, and enhanced thermal stability*. Food Hydrocolloids, 2019. **87**: p. 712-722.
- [39] Wang, J., E. Dumas, and A. Gharsallaoui, *Low Methoxyl pectin/sodium caseinate complexing behavior studied by isothermal titration calorimetry*. Food hydrocolloids, 2019. **88**: p. 163-169.
- [40] Santos, E.E., et al., *Extraction of pectin from agroindustrial residue with an ecofriendly solvent: Use of FTIR and chemometrics to differentiate pectins according to degree of methyl esterification*. Food Hydrocolloids, 2020. **107**: p. 105921.
- [41] Ng, S.W., et al., *The effect of atmospheric cold plasma treatment on the antigenic properties of bovine milk casein and whey proteins*. Food Chemistry, 2021. **342**: p. 128283.
- [42] Sato, M.d.F., et al., *Chemical and instrumental characterization of pectin from dried pomace of eleven apple cultivars*. Acta Scientiarum. Agronomy, 2011. **33**: p. 383-389.
- [43] Razaei, A., et al., *Effect of addition of sodium caseinate and peppermint extract on viability of Lactobacillus casei and physicochemical properties and antioxidant activity of non-fat probiotic yogurt*. 2013.



Scientific Research

The effect of microencapsulation of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* bacteria on the physicochemical and sensory properties of yogurt

Fateme Adinepour ¹, Seid Mahdi Jafari ², Morteza Khomeiri ³, Alireza Sadeghi ⁴, Soudabeh Khalili ⁵

1- PhD student, Department of Food Materials and Process Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2- Professor, Department of Food Materials and Process Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2-Halal Research Center of IRI, Iran Food and Drug Administration, Ministry of Health and Medical Education, Tehran, Iran

3- Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

5- Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Noshirvani University, Babol

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2024/4/22

Accepted: 2024/7/3

Keywords:

Streptococcus thermophilus,
Lactobacillus bulgaricus,
coacervate,
microencapsulation,
sodium caseinate,
pectin

DOI: 10.22034/FSCT.21.156.137.

*Corresponding Author E-

The aim of the current research was microencapsulation of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* bacteria by coacervation complex method and sodium caseinate and pectin coatings. Sodium caseinate and pectin have electrostatic attraction together at pH=4 and form a complex. Using a scanning electron microscope, the morphology of coacervates was investigated. The properties of pectin and sodium caseinate complexes were investigated by infrared spectrometry tests and measuring the size and distribution of particles. Physicochemical characteristics such as water absorption, pH and acidity and sensory characteristics were also investigated. The results showed that the efficiency of microencapsulation of bacteria by coacervation method was 66.6%. The particle size was 1.565 micrometers and the zeta potential was reported as -16 mV. Electron microscope images showed spherical coacervate without holes and wrinkles on the surface. The results of infrared spectroscopy also showed the creation of electrostatic interactions between pectin and sodium caseinate. Also, microencapsulation of bacteria caused a significant change ($p > 0.05$) in pH (4.6 ± 0.091) and yogurt acidity (1.1 ± 0.03) compared to pH (4.6 ± 0.1). And the acidity of yogurt (0.8 ± 0.01) produced with free bacteria did not. The water content of yogurts produced with microencapsulated bacteria (40 ± 1.1) was reduced compared to yogurts produced with free bacteria (45 ± 0.9) ($p < 0.05$). Bacterial encapsulation has a negative effect on color sensory characteristics. It did not have the smell and taste of the produced yogurts ($p > 0/05$), but a significant difference was observed in the texture of the yogurts produced with microencapsulated bacteria compared to the yogurts produced with free bacteria ($p < 0/05$).