



رساله‌ی دکتری: فاطمه حسینی طباطبایی، ۱۴۰۴

فرمولاسیون یک فرآورده صبحانه‌ای سین بیوتیک کم چرب (خامه‌ارده‌ای) حاوی اینولین با استفاده از تکنیک ریزپوشانی باکتری‌های پروبیوتیک

بقای پروبیوتیک‌ها در تولید فرآورده‌های لبنی سین بیوتیک در طول فرآیند، نگهداری و شرایط دستگاه گوارش از اهمیت به‌سزایی در نشان دادن خصوصیات سلامتی بخش آن‌ها برخوردار است. در فاز نخست این پژوهش، دو سویه پروبیوتیک لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس (La5) و بیفیدوباکتریوم بیفیدوم (BB-12) به روش امولسیون‌سازی در بستر آلژینات سدیم (SA) و کازئینات سدیم (SC) در 2 سطح تک‌غلظتی و 3 سطح ترکیبی 25:75 (SA2SC2)، 50:50 (SA1SC3) و 75:25 آلژینات سدیم-کازئینات سدیم (SA3SC1) با هدف افزایش زنده‌مانی، میکروانکپسوله شدند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد میکروکپسول‌ها دارای ساختار کروی و یکنواخت بوده و اندازه ذرات و پتانسیل زتا مناسب برای زنده‌مانی و پایداری کلوئیدی بودند. نتایج آزمون‌های راندمان انکپسولاسیون و زنده‌مانی در شرایط شبیه‌سازی‌شده گوارشی (معدة و روده بدون و با نمک صفراوی) نیز نشان دادند هرچند میکروانکپسولاسیون در بستر ترکیبی آلژینات سدیم و کازئینات سدیم باعث بهبود بقا در هر دو سویه پروبیوتیک شد، اما بیفیدوباکتریوم بیفیدوم (BB-12) نسبت به لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس (La5) زنده‌مانی بالاتری داشت ($p < 0.05$)؛ بنابراین تیمار B-SA3SC1 به‌منظور استفاده در تولید خامه‌ارده‌ای سین بیوتیک در فاز دوم انتخاب شد. در فاز دوم این پژوهش، اثر سطوح مختلف اینولین (5% - In1، In2-BB12 5/5%، BB12) و 6% (In3-BB12) به‌همراه پروبیوتیک میکروانکپسوله‌شده بیفیدوباکتریوم بیفیدوم (BB-12) بر ویژگی‌های شیمیایی، رئولوژیکی و حسی خامه‌ارده‌ای کم‌چرب با 15% چربی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد افزودن اینولین موجب افزایش معنادار در میزان ماده خشک و خاکستر، کاهش سینرسیس و پایداری pH، اسیدیته، اندیس پراکسید و اسیدی و خصوصیات میکروبیولوژیکی نمونه‌ها در طول دوره نگهداری گردید ($p < 0.05$). پروفایل اسیدهای چرب نشان‌دهنده بهبود نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع در تیمارهای غنی‌شده با اینولین و ارده بود. زنده‌مانی پروبیوتیک بیفیدوباکتریوم بیفیدوم (BB-12) در نمونه‌های حاوی اینولین طی 20 روز نگهداری در دمای 4 °C به‌طور معناداری بالاتر از نمونه بدون اینولین بود و در محدوده بالاتر از حداقل توصیه‌شده باقی ماند ($p < 0.05$). از نظر ویژگی‌های رئولوژیکی، افزودن اینولین باعث افزایش ویسکوزیته، قوام و تنش تسلیم بالاتر در نمونه‌های خامه‌ارده‌ای سین بیوتیک گردید و فرآورده از دو مدل رئولوژیکی قانون توان و کاسون پیروی می‌نماید. تحلیل‌های بافت‌سنجی نشان دادند افزایش سطح اینولین با بهبود پارامترهایی نظیر افزایش سختی، پیوستگی و صمغیت و کاهش نیروی چسبندگی و ارتجاع‌پذیری همراه بود که با یافته‌های رئولوژیکی هم‌خوانی داشت. نتایج آزمون ارزیابی حسی نشان داد که افزودن اینولین تفاوت معناداری در رنگ و بو ایجاد نکرد اما در طعم، بافت، احساس دهانی و پذیرش کلی نسبت به نمونه شاهد تأثیر مثبتی داشت ($p < 0.05$). به‌طور کلی، نتایج فاز دوم نشان داد که استفاده از اینولین در سطح 6% علاوه بر ارتقای



ویژگی‌های تغذیه‌ای موجب بهبود خصوصیات رئولوژیکی، بافتی و پذیرش حسی خامه ارده‌ای کم‌چرب شد. در مجموع، یافته‌ها نشان دادند که استفاده از تکنیک انکپسولاسیون به‌روش امولسیون‌سازی می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مؤثر در افزایش کارایی محصولات سین‌بیوتیک و تحویل هدفمند پروبیوتیک‌ها به کولون مورد توجه قرار گیرد. همچنین ترکیب این روش با حضور یک پری‌بیوتیک علاوه بر حفظ زنده‌مانی بالای پروبیوتیک‌ها در طول نگهداری و بهبود نسبت میزان اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع، موجب افزایش پایداری رئولوژیکی و ساختاری، بهبود پارامترهای بافتی مانند سختی، پیوستگی و صمغیت و کاهش نیروی چسبندگی و ارتجاع‌پذیری و ویژگی‌های حسی شامل بافت و احساس دهانی و پذیرش بالای مصرف‌کننده گردید. این مطالعه نمونه‌ای موفق از کاربرد همزمان تکنیک میکروانکپسولاسیون پروبیوتیک‌ها و افزودن یک فیبر پری‌بیوتیک جایگزین چربی با هدف ارتقای پایداری میکروبی، عملکرد تغذیه‌ای و ویژگی‌های حسی و فیزیکی در تولید یک فرآورده‌های کم‌چرب سین‌بیوتیک ارائه می‌دهد و می‌تواند یک نمونه علمی برای توسعه محصولات مشابه در صنعت غذایی باشد.

کلیدواژه‌ها: انکپسولاسیون، لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس، بیفیدوباکتریوم بیفیدوم، پری بیوتیک، اینولین، سین بیوتیک

شماره‌ی پایان‌نامه: ۱۲۷۴۸۰۰۶۸۷۸۸۹۲۴۱۳۹۷۱۷۷۶۴۱

تاریخ دفاع: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

رشته‌ی تحصیلی: علوم و صنایع غذایی - تکنولوژی مواد غذایی

دانشکده: کشاورزی و دامپزشکی

استادان راهنما: دکتر امیرحسین الهامی‌راد و دکتر رضا کاراژیان

استادان مشاور: دکتر حجت کاراژیان و دکتر محمد آرمین

Ph.D. Dissertation:

Formulation of a low-fat synbiotic product (Cream Ardeh) containing inulin with the use of probiotic bacterial encapsulation technique

The survival of probiotics during the production, storage, and gastrointestinal passage of synbiotic dairy products is crucial in maintaining their health-promoting properties. In the first phase of this study, two probiotic strains, *Lactobacillus acidophilus* (La5) and *Bifidobacterium bifidum* (BB-12), were microencapsulated using an emulsion technique in sodium alginate (SA) and sodium caseinate (SC) matrices, each applied at two single concentrations and three combined ratios of 25:75 (SA1SC3), 50:50 (SA2SC2), and 75:25 (SA3SC1), with the aim of enhancing cell viability. Scanning electron microscopy (SEM) revealed spherical and uniform microcapsules with appropriate particle size and zeta



potential for cell survival and colloidal stability. The results of encapsulation efficiency and simulated gastrointestinal tolerance (stomach and intestine, with and without bile salts) indicated that although encapsulation in the combined SA-SC matrix improved the survival of both probiotic strains *B.bifidum* (BB-12) exhibited significantly higher viability than *L.acidophilus* (La5) ($p < 0.05$). Therefore, the B-SA3SC1 formulation was selected for use in the second phase to develop a synbiotic sesame-based cream. In the second phase, the effects of different inulin levels 5% (In1-BB12), 5.5% (In2-BB12), and 6% (In3-BB12) combined with microencapsulated *B.bifidum* (BB-12) were evaluated on the chemical, rheological, and sensory properties of a low-fat (15% fat) sesame cream. The results showed that inulin supplementation significantly increased total solids and ash contents, reduced syneresis, and stabilized pH, acidity, peroxide value, acid value, and microbiological quality during storage ($p < 0.05$). The fatty acid profile demonstrated an improved unsaturated-to-saturated fatty acid ratio in the inulin and sesame-enriched treatments. The viability of *B.bifidum* (BB-12) in inulin-containing samples remained significantly higher than that of the control throughout 20 days of storage at 4 °C, maintaining viable counts above the minimum recommended level ($p < 0.05$). Rheological analysis revealed that inulin addition increased viscosity, consistency, and yield stress in the synbiotic sesame cream samples, which followed the Power Law and Casson rheological models. Texture profile analysis showed that increasing inulin concentration enhanced hardness, cohesiveness, and gumminess, while reducing adhesiveness and springiness, consistent with the rheological findings. Sensory evaluation indicated that inulin had no significant effect on color and odor but improved taste, texture, mouthfeel, and overall acceptability compared to the control ($p < 0.05$). Overall, the second phase results demonstrated that incorporating 6% inulin not only improved the nutritional value but also enhanced the rheological, textural, and sensory quality of the low-fat sesame cream. In conclusion, the findings indicate that emulsion-based microencapsulation is an effective strategy for enhancing the functionality of synbiotic products and ensuring targeted probiotic delivery to the colon. Moreover, combining this technique with a prebiotic fiber such as inulin not only preserved high probiotic viability during storage and improved the unsaturated/saturated fatty acid ratio but also increased rheological and structural stability, enhanced texture attributes such as hardness, cohesiveness, and gumminess, reduced adhesiveness and springiness, and improved mouthfeel and consumer acceptance. This study presents a successful example of integrating probiotic microencapsulation with fat-replacing prebiotic fibers to improve microbial stability, nutritional value, physical, and sensory characteristics in the development of low-fat synbiotic food products, providing a practical model for innovation in the food industry.