

The effect of ultrasound extracted inulin from Leek (*Allium porrum* L.) on the physicochemical and microbial properties of synbiotic yogurt

Fatemeh Tahmasvand¹, Marjaneh Sedaghati^{2*}, Amir Abdollah Mehrdad sharif³

¹ MS student of Food Science and Technology, Faculty of Biological Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Biological Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: marjanehsedaghati@yahoo.com

³ Associate Professor, Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:

Received: 2025-01-03

Revised: 2025-03-15

Accepted: 2025-04-25

Keywords:

Inulin
Yogurt
Synbiotic
Probiotic
ultrasound

ABSTRACT

Background and objectives: Inulin is a natural prebiotic found in various plants, including leeks, and is known for its health benefits, particularly in promoting gut health. Inulin can be extracted from plant sources using various physical and chemical methods, and ultrasound-assisted extraction is considered a desirable technique owing to its high efficiency. Combining inulin extracted from leek with foods such as yogurt can increase its nutritional properties while also providing prebiotic benefits. The aim of this study was to investigate the effect of ultrasound-assisted inulin extracted from leek and evaluate its effect on the physicochemical properties and viability of *Lactobacillus plantarum* in synbiotic yogurt.

Materials and methods: In this study, after preparing leek powder by the maceration method and using different solvents (water, methanol, ethanol and water/ethanol (v/v 50/50)), inulin extraction was performed using ultrasound treatment. The total sugar content, reducing sugar, inulin content, degree of polymerization, and production efficiency of the extracted inulin samples were evaluated. To produce yogurt, cow's milk (1.5% fat), inulin powder (0, 1% and 2%) and probiotic bacterium *Lactobacillus plantarum* were used and the physicochemical properties and viability of *Lactobacillus plantarum* in synbiotic yogurt were evaluated during 14 days of storage.

Results: According to the results, the type of solvent (water, ethanol, water/ethanol and methanol), the type of sample (root and stem) and the treatment (without ultrasound and with ultrasound) had a significant effect on the total sugar (%), reducing sugar (%), inulin (%) and the efficiency of the extracted samples ($p < 0.05$). The samples extracted with water had the highest percentage of total sugar (12/08%) and reducing sugar (28/8%), and the samples extracted with methanol had the highest percentage of inulin (36/5%). According to the degree of polymerization, the extracted samples were only affected by the type of solvent and type of sample, and ultrasound treatment did not have a significant effect on the degree of polymerization ($p < 0.05$). Although the addition of up

to 1% inulin did not have a significant effect on the decrease in pH, increase in acidity, and survival of *Lactobacillus plantarum* in yogurt samples, increasing the concentration of inulin up to 2% caused a significant decrease in pH, a significant increase in acidity, and a significant increase in the survival of *Lactobacillus plantarum* (From 7.59 Log cfu/g in the control sample to 7.76 Log cfu/g in the 2% inulin treated sample) in yogurt samples ($p<0.05$).

Conclusion: The results showed that the sample extracted with methanol from leek root and ultrasonically treated had the highest percentage of inulin, degree of polymerization, and extraction efficiency. Although the use of 2% inulin in yogurt samples did not have a positive effect on reducing syneresis, it improved the viability of *Lactobacillus plantarum* in yogurt samples.

Cite this article: Tahmasvand, F., Sedaghati, M., sharif, M., A.A. 2025. The effect of ultrasound extracted inulin from Leek (*Allium porrum* L.) on the physicochemical and microbial properties of synbiotic yogurt. *Food Processing and Preservation Journal*, 17(1), 91-108.



© The Author(s).

DOI: [10.22069/fppj.2025.23145.1853](https://doi.org/10.22069/fppj.2025.23145.1853)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر اینولین استخراج شده از تره‌فرنگی (*Allium porrum* L.) با فراصوت

بر خواص فیزیکوشیمیایی و میکروبی ماست سین‌بیوتیک

فاطمه طهماسوند^۱، مرجانه صداقتی^{۲*}، امیر عبدالله مهردادشریف^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
^۲ استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران، رایانامه: marjanehsedaghati@yahoo.com
^۳ دانشیار، گروه شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: اینولین یک پری بیوتیک طبیعی است که در گیاهان مختلف از جمله تره‌فرنگی یافت می‌شود و به دلیل فواید سلامتی بخش آن به‌ویژه در ارتقای سلامت روده شناخته شده است. اینولین را می‌توان به روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی از منابع گیاهی استخراج کرد و استخراج به کمک فراصوت به دلیل کارایی بالای آن، به عنوان یک تکنیک مطلوب مطرح است. ترکیب اینولین استخراج شده از تره‌فرنگی با مواد غذایی نظیر ماست، می‌تواند خواص تغذیه‌ای آن را افزایش داده و درعین حال مزایای پری بیوتیکی را نیز به همراه داشته باشد. هدف از این مقاله بررسی تأثیر اینولین استخراج شده از تره‌فرنگی با کمک فراصوت و بررسی تأثیر آن بر خواص فیزیکوشیمیایی و زنده ماندن <i>لاکتوباسیلوس پلاننتاروم</i> در ماست سین بیوتیک است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۴ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۵	مواد و روش‌ها: در این پژوهش پس از تهیه پودر تره‌فرنگی از روش ماسراسیون و با استفاده از حلال‌های مختلف آب، متانول، اتانول و آب/اتانول (۵۰/۵۰ v/v) با بکارگیری تیمار فراصوت استخراج اینولین صورت پذیرفت. در ادامه محتوی قند کل، قند احیاکننده، محتوی اینولین، درجه پلیمریزاسیون و راندمان تولید نمونه‌های اینولین استخراج شده ارزیابی شد. جهت تولید ماست، از شیر گاو (۱/۵٪ چربی)، پودر اینولین (۰، ۱، ۲٪) و باکتری پروبیوتیک <i>لاکتوباسیلوس پلاننتاروم</i> استفاده و خواص فیزیکوشیمیایی و زنده ماندن <i>لاکتوباسیلوس پلاننتاروم</i> در ماست سین بیوتیک در طول ۱۴ روز نگهداری ارزیابی شد.
واژه‌های کلیدی: اینولین ماست سین بیوتیک پروبیوتیک فراصوت	یافته‌ها: طبق نتایج حاصل نوع حلال (آب، اتانول، آب/اتانول و متانول)، نوع نمونه (ریشه و ساقه) و تیمار (بدون فراصوت و با فراصوت) تأثیر معنی داری بر درصد قند کل، درصد قند احیا، درصد اینولین و راندمان نمونه‌های استخراج شده داشت ($p < 0/05$). نمونه‌های عصاره استخراج شده با آب بیشترین درصد قند کل (۱۲/۰۸٪) و قند احیا (۸/۲۸٪) و نمونه‌های استخراج شده با متانول بیشترین درصد اینولین (۵/۳۶٪) را به خود اختصاص دادند. طبق درجه پلیمریزاسیون نمونه‌های استخراج شده تنها تحت تأثیر نوع حلال و نوع نمونه بودند و تیمار فراصوت تأثیر معنی داری بر درجه پلیمریزاسیون نداشت ($p < 0/05$). اگر چه افزودن اینولین تا

۱٪ تأثیر معنی‌دار بر کاهش pH، افزایش اسیدیته و زنده مانی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* نمونه‌های ماست نداشت اما افزایش غلظت اینولین تا ۲٪ سبب کاهش معنی‌دار pH، افزایش معنی‌دار اسیدیته و زنده مانی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (از 7.59 Log cfu/g در نمونه شاهد به 7.76 cfu/g در نمونه تیمار با ۲٪ اینولین) نمونه‌های ماست گردید ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل مشخص کرد نمونه عصاره استخراج شده با متانول، از ریشه تره‌فرنگی و با اعمال تیمار فراصوت بیشترین درصد اینولین، درجه پلیمریزاسیون و راندمان استخراج را به خود اختصاص دادند. بکارگیری ۲٪ اینولین در نمونه‌های ماست اگرچه تأثیر مثبت بر کاهش آب اندازی نداشت اما سبب بهبود زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در نمونه‌های ماست گردید.

استناد: طهماسبوند، فاطمه؛ صداقتی، مرجانه؛ مهردادشریف، امیرعبداله. (۱۴۰۳). تأثیر اینولین استخراج شده از تره‌فرنگی (*Allium porrum* L.) با فراصوت بر خواص فیزیکوشیمیایی و میکروبی ماست سین‌بیوتیک. *فراوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۷ (۱)، ۹۱-۱۰۸.



© نویسندگان.

DOI: [10.22069/fppj.2025.23145.1853](https://doi.org/10.22069/fppj.2025.23145.1853)

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

شناخت روزافزون نقش کلیدی سلامت روده در سلامت بدن منجر به افزایش توجه به مصرف محصولات غذایی سین بیوتیک به‌عنوان غذاهای عملکردی شده است. سین بیوتیک‌ها به‌عنوان مواد غذایی که حاوی پروبیوتیک‌ها به‌عنوان میکروارگانیسم‌های زنده سلامتی‌بخش و پری بیوتیک‌ها به‌عنوان فیبرهای غیرقابل هضم که میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک را تغذیه می‌کنند، شناخته می‌شوند (۱). اهمیت محصولات غذایی سین بیوتیک به جهت کاهش نگرانی‌های سلامتی نظیر اختلالات گوارشی، عملکرد سیستم ایمنی و سلامت متابولیک است. با تقویت میکروبیوم متعادل روده، سین بیوتیک‌ها می‌توانند علائم مرتبط با سندرم روده تحریک‌پذیر، عدم تحمل لاکتوز و بیماری التهابی روده را کاهش دهند (۲).

ماست به‌عنوان یک فراورده لبنی تخمیری نه تنها به دلیل ارزش تغذیه‌ای بلکه به دلیل توانایی منحصر به فردش برای حمل پروبیوتیک‌ها و پری بیوتیک‌ها حائز اهمیت است. ماست علاوه بر طعم و بافت مطلوب، حاوی مقادیر قابل توجهی کلسیم، پروتئین، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین‌هاست (۳). به‌ویژه ماست منبع خوب کلسیم است زیرا جذب آن به‌وسیله گالاکتوالیگوساکاریدها و فسفوپپتیدهای کازئین تسهیل می‌شود و نقش اساسی در ارتقا سلامت استخوان‌ها، محافظت از ماهیچه‌ها و افزایش هضم مواد غذایی دارد. به‌علاوه، ماست حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب کوتاه زنجیر و پپتیدهای زیست فعال است که به کاهش التهابات روده‌ای و ارتقا سیستم ایمنی کمک می‌کند (۴).

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در تولید مواد غذایی پروبیوتیک کاهش بقا این میکروارگانیسم‌های سلامتی-بخش در طول دوره نگهداری می‌باشد. طبق گزارش

FAO ماده غذایی پروبیوتیک استاندارد، ماده غذایی است که در لحظه مصرف حداقل 10^6 - 10^7 cfu/g میکروارگانیسم زنده و فعال پروبیوتیک داشته باشد (۵). برای بهبود بقا باکتری‌های پروبیوتیک از پری-بیوتیک‌ها به‌عنوان الیگوساکاریدهای غیرقابل هضم در ترکیب با پروبیوتیک‌ها به‌صورت مواد غذایی سین بیوتیک استفاده می‌شود. اینولین یک پلی ساکارید ذخیره‌ای در گیاهان از خانواده *Compositae* و *Lilialiaceae* است و در بسیاری از گیاهان مانند ریشه کاسنی، سیر، ریشه مارچوبه، پیاز، گندم، جو، موز و تره‌فرنگی وجود دارد و به‌عنوان یک پری بیوتیک مورد توجه است (۶ و ۷). تره‌فرنگی (*Allium porrum* L) گیاهی دوساله، متعلق به خانواده پیازها و دارای ساقه‌ای بلند، ضخیم و سفیدرنگ است. ویژگی‌های تغذیه‌ای، سلامتی‌بخش، عملکردی تره‌فرنگی و محتوی اینولین در غلظت‌های ۳٪ تا ۱۰٪، این گیاه را مورد توجه محققین قرار داده است (۸).

تاکنون از روش‌های مختلفی نظیر استخراج با آب، حلال‌های اتانول، پروپانل، استون و استونیتریل برای استخراج اینولین از منابع گیاهی استفاده شده است. در تحقیقی برای استخراج اینولین از ریشه گیاه چیکوری استفاده از حلال الکلی منجر به تولید اینولین با راندمان ۴۲/۵٪ شد (۹). در پژوهشی اینولین به روش آبی از ریشه کاسنی بومی استخراج و با تأثیر بر ماست ویسکوزیته نمونه‌های ماست افزایش و سینرسیس کاهش یافت (۶). در گزارشی در زمینه استخراج اینولین از ریشه باباآدم بکارگیری فراصوت سبب بهبود ۱۲٪ راندمان استخراج شد (۱۰). در مطالعه‌ای بکارگیری فراصوت و مایکروویو در استخراج اینولین از غده‌های گل محمدی سبب راندمان استخراج ۴۱٪ و ۴۲٪ شد (۱۱).

بعلاوه آزمون مقاومت به اسید، مقاومت به نمک‌های صفراوی، کاتالاز و تخمیر قند (گلوکز و لاکتوز) بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت (۱۲ و ۱۳).

تهیه پودر تره‌فرنگی: پس از تهیه تره‌فرنگی کشت دزفول از بازار محلی تهران، نمونه‌ها پاک، شسته و بخش ریشه از ساقه جداسازی شدند. در ادامه نمونه‌ها به آون (اینکولب، ایران) منتقل و ۲۴ ساعت در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها به دسیکاتور منتقل و پس از خشک شدن با آسیاب آزمایشگاهی (اسمارت، تایوان) پودر شده و به‌منظور تهیه پودر یکنواخت از الک آزمایشگاهی با مش ۵۰ عبور داده شدند (۱۴).

استخراج اینولین به روش خیساندن^۱ بدون استفاده از فراصوت: به‌منظور استخراج اینولین به روش ماسراسیون، از حلال‌های مختلف آب، متانول، اتانول و آب/ اتانول (۵۰/۵۰ v/v) استفاده شد. برای این منظور، پودر ریشه و ساقه تره‌فرنگی با هر یک از حلال‌های ذکرشده به نسبت (۱:۱۰) مخلوط و عملیات استخراج روی هات پلیت حاوی همزن مغناطیسی در ۲۵۰ rpm به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق انجام شد. نمونه‌ها پس از استخراج، توسط قیف و کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰ فیلتر صاف شده و از آون (اینکولب، ایران) به منظور حذف حلال استفاده شد. سپس از خشک‌کن انجمادی (Telestar، آلمان) به‌منظور خشک کردن عصاره بهره‌گیری شد (۱۰).

استخراج اینولین به روش ماسراسیون با استفاده از فراصوت: برای این منظور، پودر ریشه و ساقه تره‌فرنگی با هریک از حلال‌های ذکر شده در فوق به نسبت (۱:۱۰) مخلوط و در حمام فراصوت (Bandelin، آلمان) با فرکانس ۳۵ کیلوهرتز، توان ۷۰ وات، دمای ۴۵ درجه سانتیگراد و زمان ۶۰ دقیقه قرار

استخراج اینولین از منابع مختلف گیاهی با روش‌های مختلف در تحقیقات قبلی گزارش شده است (۱۰ و ۱۱). بااین‌وجود در تحقیقات قبلی استخراج اینولین از تره‌فرنگی با حلال‌های مختلف و کمک فراصوت گزارش نشده است. همچنین تاکنون تحقیقی در زمینه تأثیر استفاده از اینولین استخراج شده از تره‌فرنگی بر تغییرات کیفی ماست پروبیوتیک انجام‌نشده است. بنابراین این مطالعه با بررسی فرآیند استخراج اینولین از تره‌فرنگی و اثرات تاثیر آن بر کیفیت ماست پروبیوتیک، به رفع این خلأ تحقیقاتی پرداخته است.

مواد و روش‌ها

مواد مورد نیاز: این پژوهش در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران (آزمایشگاه تحقیقاتی گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی) انجام شد. به‌منظور انجام این پژوهش، تره‌فرنگی تازه از بازار محلی تهران تهیه شد. اتانول (۹۶٪)، متانول، اسید سولفوریک (۹۶٪)، هیدروکسید سدیم، محیط کشت MRS آگار، MRS براث، DPPH (۲،۲ دی فنیل -۱ پیکریل هیدرازیل) از شرکت مرک (آلمان) خریداری شد. لاکتوباسیلوس پلانتاروم (ATCC 8014) لیوفیلیزه از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران و استارتر ماست حاوی استرپتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس از شرکت کریستین هانسن خریداری شد.

روش‌ها

آزمون‌های تاییدی باکتری پروبیوتیک: به‌منظور اطمینان از خواص پروبیوتیکی لاکتوباسیلوس پلانتاروم (ATCC 8014) تهیه شده، مورفولوژی کلنی‌های رشد یافته بر محیط کشت MRS آگار حاوی ونکومایسین (۱۰ mg) به‌وسیله مشاهده میکروسکوپی بررسی و آزمون گرم بر روی نمونه‌ها انجام شد.

¹ Maceration

استفاده شد. برای محاسبه درجه پلیمریزاسیون اینولین، نسبت درصد وزنی قند کل به درصد قند احیاکننده محاسبه شد (۶). راندمان تولید اینولین از نسبت حاصل ضرب محتوی اینولین در حجم عصاره به وزن پودر تره‌فرنگی حاصل شد (۱۰).

تولید ماست پروبیوتیک و ارزیابی خواص فیزیکوشیمیایی آن: جهت تولید ماست شیر گاوی (۱/۵٪ چربی شرکت دوشه آمل) هراز با پودر اینولین (۰، ۱٪ و ۲٪) مخلوط و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه پاستوریزه شد و سپس تا دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد خنک شد. پس از افزودن ۰.۰۲٪ استارتر ماست، باکتری پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (10^8 cfu/g) نیز به شیر اضافه شد. در ادامه شیر تلقیح یافته در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت گرم خانه گذاری شد تا pH آن به ۴/۶ برسد. در نهایت نمونه‌ها تا دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) خنک شد و تا زمان آزمون‌های بعدی (روزهای ۱، ۷ و ۱۴) در یخچال نگهداری شد. در ادامه از pH متر دیجیتال (Mettler Toledo، نیوزیلند) برای اندازه‌گیری pH و از تیتراسیون با محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال برای ارزیابی اسیدیته استفاده شد. برای تعیین میزان آب اندازی، ۳۰ گرم نمونه ماست در ۲۸۰۰ g به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰ سانتی‌فرز (Hettich، آلمان) شد و از نسبت وزن سرم جداشده به وزن نمونه اولیه، درصد آب اندازی محاسبه شد (۱۶).

ارزیابی زنده مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم: برای شمارش باکتری‌های *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* با استفاده از سرم فیزیولوژی از نمونه‌های ماست سریال رقت تهیه شده و نمونه‌ها با استفاده از روش پور پلیت، در محیط کشت MRS آگار حاوی ونکومایسین (۱۰ mg) کشت داده شدند. پلیت‌ها به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور CO₂ دار در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد

گرفت. نمونه‌ها پس از استخراج، توسط قیف و کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰ فیلتر صاف شده و از آن (اینکولب، ایران) به‌منظور حذف حلال استفاده شد. سپس از خشک‌کن انجمادی (Telestar، آلمان) به‌منظور خشک‌کردن عصاره بهره‌گیری شد (۱۰).

اندازه‌گیری محتوی قند کل: برای اندازه‌گیری قند کل ابتدا محلول ۱ درصد از عصاره تهیه کرده و با یک میلی‌لیتر محلول فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۶ درصد مخلوط شد. پس از سپری شدن ۱۰ دقیقه و خنک شدن نمونه‌ها جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (PG، انگلیس) در طول‌موج ۴۸۰ نانومتر قرائت شد (با استفاده از اینولین تجاری برای رسم منحنی استاندارد) و مقدار قند کل از رابطه ذیل محاسبه شد (۶):

وزن نمونه تره‌فرنگی/حجم عصاره × رقت × غلظت = میزان قند کل در ۱۰۰ گرم تره‌فرنگی

اندازه‌گیری محتوی قندهای احیاکننده: برای اندازه‌گیری قند احیا ۲/۵ میلی‌لیتر از معرف دی نیتروسالیسیک اسید را به ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره ۱٪ استخراج شده افزوده و در حمام آب ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد، سپس جهت سرد شدن و تثبیت واکنش در حمام آب سرد قرار داده شد تا به دمای محیط برسد سپس ۲/۴ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه‌ها اضافه شد و در نهایت جذب در ۵۴۰ نانومتر خوانده شد. جهت تهیه نمودار استاندارد قند احیا از فروکتوز به‌عنوان استاندارد استفاده گردید؛ غلظت قند احیا نمونه‌ها با قرار دادن میزان جذب خوانده شده در معادله خط نمونه‌های استاندارد محاسبه شد (۱۵).

اندازه‌گیری محتوی اینولین، درجه پلیمریزاسیون و بازده تولید اینولین: برای اندازه‌گیری میزان اینولین تره‌فرنگی از اختلاف مقدار قند کل و قند احیاکننده

گرمخانه گذاری و نتایج شمارش به صورت Log CFU/ml با استفاده از فرمول زیر گزارش شدند (۱۶).

حجم نمونه / تعداد کلنی تشکیل شده = CFU/ml
فاکتور رقت × کشت داده شده

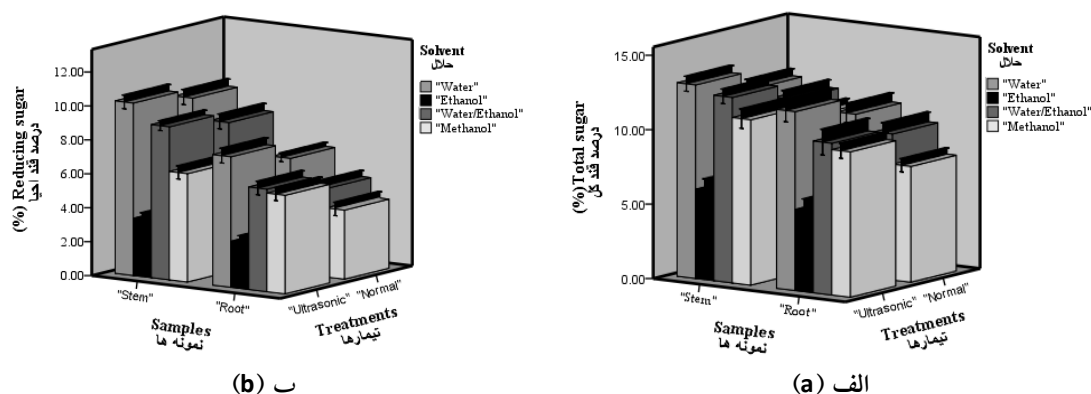
تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق تأثیر نوع حلال، نمونه تره‌فرنگی و تیمار فراصوت بر اساس طرح فاکتوریل سه‌عاملی کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. همچنین داده‌های تأثیر اینولین مستخرج از تره‌فرنگی بر خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی و میکروبی ماست پروبیوتیک براساس طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها به ترتیب با روش ANOVA و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ توسط نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) انجام شد و رسم نمودارها نیز با نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) و اکسل ۲۰۱۰ انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی تغییرات درصد قند کل، قند احیا و اینولین: شکل ۱ و ۲ به ترتیب تغییرات درصد قند کل، درصد قند احیا و درصد اینولین را در نمونه‌های تره‌فرنگی در استخراج با حلال‌های مختلف و تیمار فراصوت نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل نوع حلال (آب، اتانول، آب/اتانول و متانول)، نوع نمونه (ریشه و ساقه) و تیمار (بدون فراصوت و با فراصوت) تأثیر معنی داری بر درصد قند کل، درصد قند احیا و درصد

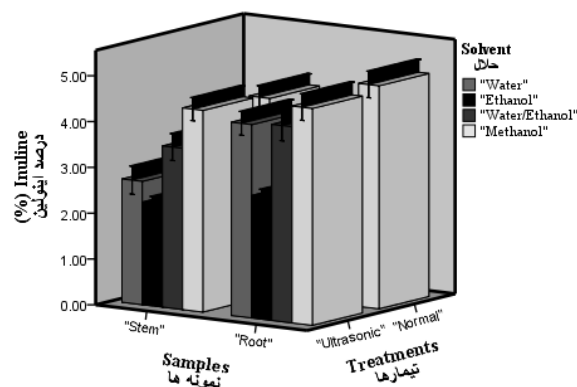
اینولین نمونه‌های استخراج شده داشت ($p < 0/05$). نمونه عصاره استخراج شده با آب بیشترین درصد قند کل ($12/08\%$) و قند احیا ($8/28\%$) و نمونه عصاره استخراج شده با اتانول کمترین درصد قند کل ($5/56\%$) و قند احیا ($4/34\%$) را به خود اختصاص دادند اما نمونه عصاره استخراج شده با متانول بیشترین درصد اینولین ($5/36\%$) و نمونه عصاره استخراج شده با اتانول کمترین درصد اینولین ($3/75\%$) را به خود اختصاص دادند. درصد قند کل و احیا در نمونه‌های ساقه (به ترتیب $10/78\%$ و $7/62\%$) به‌صورت معنی‌دار بیشتر از نمونه‌های ریشه تره‌فرنگی (به ترتیب $8/87\%$ و $4/58\%$) بود ($p < 0/05$) درحالی‌که درصد اینولین در نمونه‌های ریشه ($4/31\%$) به‌صورت معنی‌دار بیشتر از نمونه‌های ساقه ($3/88\%$) تره‌فرنگی بود ($p < 0/05$). همچنین درصد قند کل، درصد قند احیا و درصد اینولین در نمونه‌های استخراج شده با تیمار فراصوت (به ترتیب $10/57\%$ ، $6/45\%$ و $4/57\%$) به‌صورت معنی‌دار بیشتر از نمونه‌های استخراج شده بدون تیمار فراصوت (به ترتیب $8/97\%$ ، $6/03\%$ و $3/61\%$) بود ($p < 0/05$). به نظر می‌رسد مقادیر بالاتر قند کل و قند کاهنده در عصاره‌های آبی در مقایسه با متانول به دلیل حلالیت بالاتر قندهای محلول نظیر گلوکز و فروکتوز در آب است که قطبیت بالاتری از متانول دارد. در مقایسه با آب، متانول ممکن است به‌طور موثرتری اینولین را استخراج کند زیرا توانایی آن در تخریب دیواره سلولی گیاه و حل شدن پلی ساکاریدها بهتر از آب یا مخلوط آب/اتانول است (۱۰).



شکل ۱- تغییرات درصد قند کل (الف) و قند احیا (ب) در نمونه های تره‌فرنگی در استخراج با حلال‌های مختلف و فراصوت
Figure 1. Changes in total sugar (%) (a) and reducing sugar (b) in leek samples during extraction with different solvents and ultrasound

سینگ و سینگ (۲۰۱۰) در بررسی استخراج فروکتوالیگوساکاریدها از منابع گیاهی مختلف مقدار اینولین در تره‌فرنگی را ۳-۱۰٪ گزارش کردند (۱۷). هیلمن و همکاران (۲۰۲۲) در استخراج آبی اینولین با کمک فراصوت از گیاه یام وحشی گزارش کردند محتوی اینولین استخراج شده با بکارگیری فراصوت از ۶٪ به ۱۰٪ افزایش یافت (۱۴). کیو و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تأثیر تیمار فراصوت بر استخراج اینولین افزایش درصد قند احیا و قند کل را از سیب‌زمینی ترشی و کاسنی گزارش کردند (۱۸). میلانی و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی شرایط بهینه استخراج اینولین از سیب زمینی ترشی گزارش کردند بکارگیری فراصوت سبب افزایش معنی‌دار محتوی اینولین استخراج شده گردید (۱۵). ردوندو و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی استخراج اینولین از منابع گیاهی محتوی بالاتر اینولین را در بخش ریشه و غده گیاه کاسنی فرنگی گزارش کردند (۱۹).

سینگ و سینگ (۲۰۱۰) در بررسی استخراج فروکتوالیگوساکاریدها از منابع گیاهی مختلف مقدار اینولین در تره‌فرنگی را ۳-۱۰٪ گزارش کردند (۱۷). هیلمن و همکاران (۲۰۲۲) در استخراج آبی اینولین با کمک فراصوت از گیاه یام وحشی گزارش کردند محتوی اینولین استخراج شده با بکارگیری فراصوت از ۶٪ به ۱۰٪ افزایش یافت (۱۴). کیو و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تأثیر تیمار فراصوت بر استخراج اینولین افزایش درصد قند احیا و قند کل را از

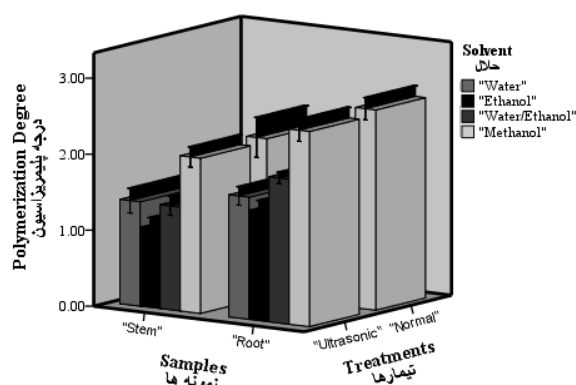


شکل ۲- تغییرات درصد اینولین در نمونه‌های تره‌فرنگی در استخراج با حلال‌های مختلف و فراصوت
Figure 2. Changes in inuline (%) in leek samples during extraction with different solvents and ultrasound

حلال‌های مختلف و تیمار فراصوت را نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل نوع حلال (آب، اتانول، آب/اتانول و

ارزیابی تغییرات درجه پلیمریزاسیون: شکل ۳ درجه پلیمریزاسیون نمونه‌های تره‌فرنگی در استخراج با

واحدهای فروکتوز که توسط پیوندهای گلیکوزیدی β -(۱-۲) به هم متصل شده و معمولاً به واحد گلوکز منتهی می‌شود. درجه پلیمریزاسیون اینولین از ۲ تا ۶۰ متغیر است و در برخی منابع تا ۲۰۰ نیز گزارش شده است (۲۰). خواص شیمیایی حلال، مانند قطبیت و توانایی حل شدن پلی ساکاریدها، نقش مهمی در تعیین درجه پلیمریزاسیون حاصل از اینولین ایفا می‌کند. طبق نتایج حاصل، استفاده از متانول به عنوان حلال ممکن است نتایج متفاوتی را در مقایسه با آب نشان می‌دهد زیرا متانول می‌تواند دیواره‌های سلولی گیاه را به طور موثرتری مختل کند و درجه پلیمریزاسیون اینولین را تغییر دهد (۱۰).



شکل ۳- تغییرات درجه پلیمریزاسیون در نمونه‌های تره‌فرنگی در استخراج با حلال‌های مختلف و فراصوت

Figure 3. Changes in polymerization degree in leek samples during extraction with different solvents and ultrasound

پلیمریزاسیون ۱۶-۶۶ را برای اینولین استخراج شده با توجه به روش مورد استفاده گزارش کردند. به نظر می‌رسد نوع حلال، غلظت حلال، نسبت حلال به نمونه و بکارگیری تیمارهایی نظیر فراصوت، تیمار حرارتی و ماکروویو در درجه پلیمریزاسیون اینولین تولیدی مؤثر باشد (۲۲).

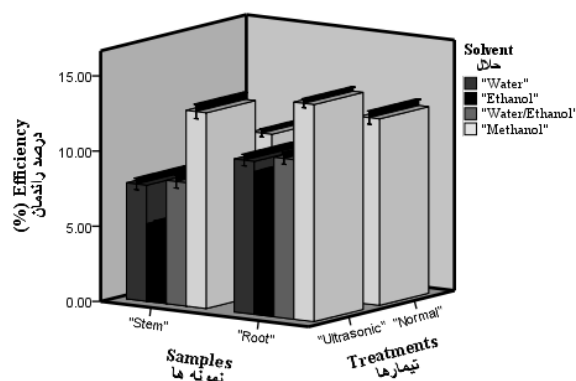
ارزیابی تغییرات راندمان: شکل ۴ تغییرات راندمان استخراج اینولین از نمونه‌های تره‌فرنگی در استخراج با حلال‌های مختلف و تیمار فراصوت را نشان

میتانول) و نوع نمونه (ریشه و ساقه) تأثیر معنی داری بر درجه پلیمریزاسیون نمونه‌های استخراج شده داشت ($P < 0.05$) اما تیمار فراصوت تأثیر غیر معنی داری بر درجه پلیمریزاسیون نمونه‌های استخراج شده داشت ($P < 0.05$). نمونه عصاره استخراج شده با متانول بیشترین درجه پلیمریزاسیون (۲/۲۰) و نمونه عصاره استخراج شده با اتانول (۱/۲۸) کمترین درجه پلیمریزاسیون را به خود اختصاص دادند. درجه پلیمریزاسیون در نمونه‌های ریشه به صورت معنی دار بیشتر از نمونه‌های ساقه تره‌فرنگی بود ($p < 0.05$). درجه پلیمریزاسیون (DP) اینولین معرف تعداد واحدهای فروکتوز متصل به هم در مولکول اینولین است. اینولین پلی ساکاریدی است که از زنجیره‌ای از

بر خلاف نتایج اخیر، دی مارینز و همکاران (۲۰۲۴) در ارزیابی تأثیر روش استخراج بر خصوصیات فروکتان، گزارش کردند استخراج به کمک فراصوت سبب کاهش درجه پلیمریزاسیون فروکتان در مقایسه با روش عادی می‌شود (۲۱). طیبی مقدم و احسانی (۱۳۹۹) درجه پلیمریزاسیون ۱۴/۸۶ را برای اینولین استخراج شده از ریشه کاسنی گزارش کردند (۶). درجانی و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی روش‌های مختلف استخراج کاسنی درجه

افزایش انتقال جرم در نمونه مورد نظر می‌شود. بعلاوه، فرآیند کاویتاسیون در فضای بین سطحی حلال و نمونه به انتقال حلال از طریق حفرات ایجاد شده به سطح کمک می‌کند. همچنین افزایش بازدهی ناشی از افزایش دمای ایجاد شده توسط اولتراسونیک با کاهش ویسکوزیته حلال و افزایش حلالیت اینولین به بهبود انتقال جرم کمک می‌کند (۱۸ و ۲۳). اسماعیلی و همکاران (۲۰۲۱) در استخراج اینولین از ریشه بابا آدم با کمک فراصوت راندمان استخراج ۴/۶۵ تا ۱۳/۴۸ درصد را گزارش کرده و افزایش معنی‌دار راندمان استخراج را با اعمال تیمار فراصوت گزارش کردند (۱۰). هیلمن و همکاران (۲۰۲۲) در استخراج آبی اینولین با کمک فراصوت از گیاه یام وحشی گزارش کردند، راندمان استخراج اینولین با بکارگیری فراصوت از ۲۶/۹۱٪ به ۳۲/۴۷٪ افزایش یافت (۱۴). میلانی و همکاران (۲۰۱۱) در بهینه‌سازی استخراج اینولین از ریشه بابا آدم توسط امواج فراصوت افزایش معنی‌دار راندمان استخراج را با بکارگیری تیمار فراصوت گزارش کردند (۲۴).

می‌دهد. طبق نتایج حاصل نوع حلال (آب، اتانول، آب/اتانول و متانول)، نوع نمونه (ریشه و ساقه) و تیمار فراصوت تأثیر معنی‌داری بر راندمان استخراج نمونه‌های اینولین حاصل داشته است ($p < 0.05$). نمونه عصاره استخراج شده با متانول بیشترین درصد راندمان استخراج (۱۲/۲۳٪) و نمونه عصاره استخراج شده با اتانول کمترین درصد راندمان استخراج (۶/۱۹٪) را به خود اختصاص دادند. درصد راندمان استخراج در نمونه‌های ریشه (۹/۲۷٪) به صورت معنی‌دار بیشتر از نمونه‌های ساقه تره‌فرنگی (۸/۰۶٪) بود ($p < 0.05$). طبق نتایج حاصل راندمان استخراج اینولین از ۴/۰۳-۱۴/۴ درصد در نمونه‌های مختلف استخراج شده متفاوت بود. امواج اولتراسونیک زمانی که از درون حلال عبور می‌کنند سبب تولید حباب‌های کاویتاسیون شده که سرعت انتقال جرم را افزایش می‌دهند. در نتیجه، اینولین به راحتی از دیواره‌های سلولی رها شده و بازدهی استخراج اینولین در حضور فراصوت افزایش می‌یابد. مشخص شده است نیروهای برشی ناشی از اولتراسونیک نیز سبب



شکل ۴- تغییرات درصد راندمان در نمونه‌های تره‌فرنگی در استخراج با حلال‌های مختلف و فراصوت

Figure 4. Changes in efficiency (%) in leek samples during extraction with different solvents and ultrasound

پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلاتاروم نشان می‌دهد. با توجه به نتایج تأیید گرم مثبت بودن باکتری در آزمون مربوطه، تأیید مورفولوژی باکتری در ارزیابی میکروسکوپی، مقاومت باکتری به اسید و نمک‌های

خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست سین بیوتیک: جدول ۱ نتایج آزمون‌های مقاومت به اسید، مقاومت به حرارت، مقاومت به نمک‌های صفراوی، کاتالاز و تخمیر قند (گلوکز و لاکتوز) را بر روی باکتری

صفراوی، کاتالاز منفی بودن و توانایی تخمیر گلوکز و لاکتوز از باکتری *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به عنوان

باکتری پروبیوتیک در تحقیق استفاده شد.

جدول ۱- نتایج آزمون‌های تاییدی باکتری پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*

Table1. Results of confirmatory tests of <i>Lactobacillus plantarum</i> probiotic bacteria					
لاکتوز	گلوکز	کاتالاز	مقاومت به نمک صفراوی	مقاومت به اسید	آزمون
Lactose	Glucose	Catalase	Bile salt resistance	Acid resistance	Test
(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	<i>لاکتوباسیلوس پلانتاروم</i>

ماست کاهش pH نمونه‌های ماست را در حضور اینولین و در طول دوره نگهداری گزارش کردند (۲۵). طبیعی مقدم و احسانی (۱۳۹۹) در بررسی تأثیر اینولین استخراج شده از کاسنی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست کاهش pH نمونه‌های ماست را در حضور اینولین مشاهده کردند (۶).

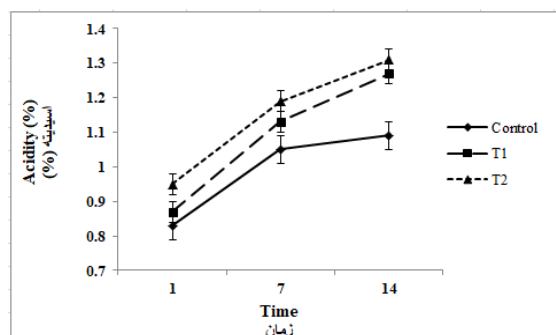
شکل ۶ تغییرات آب اندازی نمونه‌های ماست سین بیوتیک حاوی درصد‌های مختلف اینولین را در طول زمان نگهداری نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل افزودن اینولین و زمان نگهداری تأثیر معنی‌داری بر افزایش آب اندازی نمونه‌های ماست سین بیوتیک داشته است ($p < 0.05$). نمونه شاهد در روز اول نگهداری کمترین درصد آب اندازی (۰.۶٪) و نمونه تیمار حاوی ۱٪ اینولین در روز هفتم نگهداری بیشترین درصد آب اندازی (۱.۴٪) را نشان دادند. آب اندازی انقباض شبکه ژلی ماست است که در طول ذخیره‌سازی منجر به خروج رطوبت از شبکه ژلی می‌شود. کاهش میزان جامد کل شیر، اسیدیته بالا، نسبت نامناسب آب پنیر به کازئین، زمان انکوباسیون طولانی و حمل‌ونقل نامناسب از مهم‌ترین عواملی هستند که بر پایداری ماست تأثیر می‌گذارند. به نظر می‌رسد اینولین ظرفیت نگهداری آب بالایی دارد که غلظت ۱٪ با ایجاد اختلال در شبکه پروتئین سبب جدا شدن آب بیشتر و افزایش آب اندازی می‌شود. با این حال، با افزایش غلظت اینولین به ۲٪، شبکه ژلی

جهت تهیه تیمارهای ماست پروبیوتیک از اینولین استخراج شده از ریشه تره‌فرنگی با حلال متانول و تیمار فراصوت استفاده شد. شکل ۵ تغییرات pH و اسیدیته نمونه‌های ماست سین بیوتیک حاوی درصد‌های مختلف اینولین را در طول زمان نگهداری نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل اگر چه افزودن اینولین تا ۱٪ تأثیر معنی‌دار بر کاهش pH و افزایش اسیدیته نمونه‌های ماست نداشت اما افزایش غلظت اینولین تا ۲٪ سبب کاهش معنی‌دار pH و افزایش معنی‌دار اسیدیته نمونه‌های ماست گردید ($p < 0.05$). نمونه ماست شاهد در روز اول نگهداری بیشترین pH (۴/۳۹) و کمترین اسیدیته (۰/۸۳) و نمونه ماست حاوی ۲٪ اینولین در روز چهاردهم نگهداری کمترین pH (۳/۹۳) و بیشترین اسیدیته (۱/۳۱) را به خود اختصاص دادند. به نظر می‌رسد فعالیت باکتری‌های لاکتیکی در حضور اینولین به عنوان یک ترکیب پری-بیوتیک، تجزیه لاکتوز به اسیدلاکتیک و سایر اسیدهای آلی در کاهش pH نمونه‌های تیمار مؤثر بوده است. از طرفی اسیدی شدن پس از تخمیر^۱ در طول دوره نگهداری ناشی از ادامه فعالیت متابولیکی باکتری‌های آغازگر می‌باشد. ابراهیمی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی تأثیر اینولین بر رشد باکتری پروبیوتیک *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و خصوصیات فیزیکوشیمیایی

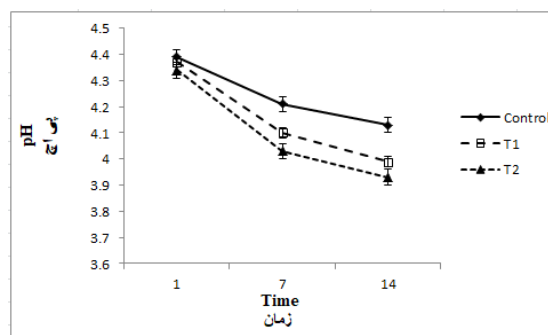
^۱ Post-fermentation acidification

است اما با گذشت زمان تا ۱۴ روز اثرات تثبیت کنندگی اینولین در ادامه دوره نگهداری منجر به بهبود قابلیت جذب آب و کاهش آب اندازی می‌شود (۲۶).

پایداری با میسل‌های کازئین تشکیل می‌دهد و آب اندازی کاهش می‌یابد (۶). اگرچه گذشت زمان تا ۷ روز سبب افزایش آب اندازی نمونه‌های ماست شده



ب (b)

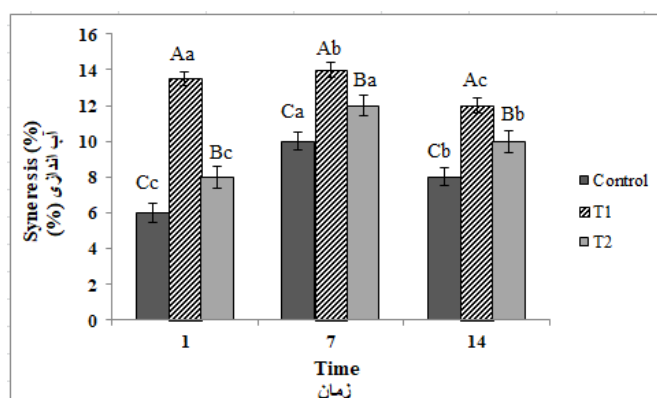


الف (a)

شکل ۵- تغییرات pH (الف) و اسیدیته (ب) در نمونه‌های ماست سین بیوتیک حاوی ((شاهد (۰٪ اینولین)،

T₁ (۱٪ اینولین)، T₂ (۲٪ اینولین) در طول دوره نگهداری

Figure 1. Changes in pH (a) and acidity (%) (b) in synbiotic yogurt samples during storage



شکل ۶- تغییرات آب اندازی (%) در نمونه‌های ماست سین بیوتیک حاوی ((شاهد (۰٪ اینولین)، T₁ (۱٪ اینولین)، T₂ (۲٪ اینولین) در طول دوره نگهداری

میانگین‌ها و حروف بزرگ (A-C) تفاوت معنی داری ($p < 0.05$) بین تیمارها را در یک زمان و حروف کوچک (a-c) تفاوت معنی داری را ($p < 0.05$) در تیمارها در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد

Figure 6. Changes in syneresis (%) in synbiotic yogurt samples during storage (Control (0% inulin), T1 (1% inulin), T2 (2% inulin))

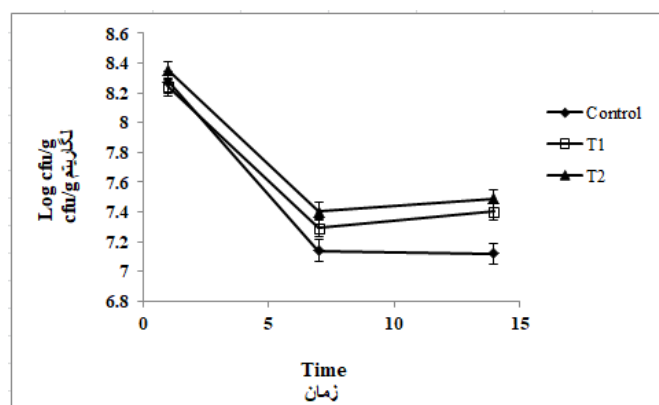
Means and uppercase letters (A-C) indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments at one time and lowercase letters (a-c) indicate significant differences ($p < 0.05$) within treatments during the storage

نگهداری مشاهده کردند (۶). غیبی و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اینولین و صمغ دانه به بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست کم‌چرب کاهش درصد آب اندازی را در نمونه‌های ماست گزارش

مشابه، طیبی مقدم و احسانی (۱۳۹۹) در بررسی تأثیر اینولین استخراج شده از کاسنی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست افزایش درصد آب اندازی نمونه‌های ماست را در حضور اینولین و در طول زمان

بیشترین زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم را نشان دادند. افزایش بقای لاکتوباسیلوس پلانتاروم در غلظت‌های بالاتر اینولین با کاهش در pH نمونه‌های ماست همراه است و نشان می‌دهد که اینولین به عنوان ترکیب پری بیوتیک به بهبود بقا و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم در نمونه‌های ماست کمک می‌کند. احتمالاً کاهش معنی‌دار pH مشاهده شده با افزایش غلظت اینولین، ناشی از رشد باکتری‌های پروبیوتیک، از جمله لاکتوباسیلوس پلانتاروم در شرایط کمی اسیدی ماست، تخمیر لاکتوز و تولید اسیدلاکتیک است. از طرفی کاهش PH می‌تواند پایداری و زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها را با ایجاد محیطی که برای باکتری‌های بیماری‌زا کمتر مساعد است، افزایش دهد. عواملی نظیر درجه پلیمریزاسیون اینولین، برهمکنش باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم و محیط رشد، ترکیبات مواد غذایی بر فعالیت پری‌بیوتیکی اینولین تاثیرگذارند (۲۷).

کردند. به نظر می‌رسد علت تفاوت نتیجه حاصل می‌تواند به دلیل تفاوت درجه پلیمریزاسیون نمونه‌های اینولین مورد استفاده باشد (۲۶). شکل ۷ تغییرات زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم در نمونه‌های ماست سین بیوتیک حاوی درصدهای مختلف اینولین را در طول زمان نگهداری نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل اگر چه افزودن اینولین تا ۱٪ تاثیر معنی‌دار بر زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم نمونه‌های ماست نداشت (Log cfu/g ۷/۵۹) اما افزایش غلظت اینولین تا ۲٪ سبب افزایش معنی‌دار زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم نمونه‌های ماست (Log cfu/g ۷/۷۶) گردید ($p < 0.05$). همچنین زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم در نمونه‌های ماست در طول زمان نگهداری کاهش معنی‌دار یافت ($p < 0.05$). نمونه شاهد در روز چهاردهم نگهداری با Log cfu/g ۷/۱۲ کمترین زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم و نمونه تیمار حاوی ۲٪ اینولین در روز اول نگهداری با Log cfu/g ۸/۳۵



شکل ۷- تغییرات زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم در نمونه‌های ماست سین بیوتیک حاوی ((شاهد) ۰٪ اینولین)، T1 (۱٪ اینولین)، T2 (۲٪ اینولین) در طول دوره نگهداری

Figure 1. Changes in *L. Plantarum* (cfu/ml) in synbiotic yogurt samples during storage (Control (0% inulin), T1 (1% inulin), T2 (2% inulin))

افزایش غلظت اینولین گزارش کردند (۲۷). اریس و همکاران (۲۰۲۴) در بررسی تأثیر اینولین استخراج شده از سیب‌زمینی ترشی بر زنده‌مانی باکتری‌های

مشابه‌ها صداقتی و کاوند (۲۰۲۲) در بررسی خواص فیزیکیوشیمیایی پنیر ریکوتا سین بیوتیک افزایش زنده‌مانی لاکتوباسیلوس/اسیدوفیلوس را با

پروبیوتیک بهبود بقا باکتری‌های پروبیوتیک را در حضور ۷٪ اینولین گزارش کردند (۲۸). لی و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی تأثیر اینولین بر ماست هم زده بقا بالاتر استارترهای ماست را با افزایش اینولین به ماست گزارش کردند (۲۹).

نتیجه‌گیری

ریشه و ساقه تره‌فرنگی حاوی مقادیر قابل توجهی اینولین با خواص پری بیوتیکی است که می‌توانند با روش‌های کارآمد استخراج و در مواد غذایی استفاده شود. در میان حلال‌های مورد مطالعه با استفاده از روش استخراج ماسراسیون، متانول دارای بالاترین محتوی اینولین، درجه پلیمریزاسیون و راندمان استخراج بود و ریشه نسبت به ساقه در فاکتورهای فوق برتری داشت. همچنین تیمار فراصوت نیز با ایجاد کاویتاسیون سبب افزایش سرعت انتقال جرم و

بازدهی استخراج گردید. لذا جهت تهیه تیمارهای ماست پروبیوتیک از اینولین استخراج شده از ریشه تره‌فرنگی با حلال متانول و تیمار فراصوت استفاده شد. نتایج ارزیابی خواص فیزیکی‌شیمیایی و میکروبی ماست سین بیوتیک حاوی اینولین مشخص کرد اگر چه افزودن اینولین تا ۱٪ تأثیر معنی‌دار بر زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس پلاتناروم* نمونه‌های ماست ندارد اما افزایش غلظت اینولین تا ۲٪ سبب افزایش معنی‌دار زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس پلاتناروم* نمونه‌های ماست می‌شود که ناشی از اثر پری بیوتیکی اینولین است. از طرفی اینولین ظرفیت نگهداری آب بالایی دارد و در غلظت ۱٪ با ایجاد اختلال در شبکه پروتئین سبب جدا شدن آب بیشتر و افزایش آب اندازی می‌شود. باین حال، با افزایش غلظت اینولین تا ۲٪، شبکه ژلی پایداری با میسل‌های کازئین تشکیل می‌دهد و آب اندازی را کاهش می‌دهد.

منابع

1. Parhi, P., Liu, S. Q., & Choo, W. S. (2024). Synbiotics: Effects of prebiotics on the growth and viability of probiotics in food matrices. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 32, 100462.
2. Swanson, K. S. Gibson, G. R., Hutkins, R., Reimer, R. A., Reid, G., Verbeke, K., Scott, K. P., Holscher, H. D., Azad, M. B., Delzenne, N. M., & Sanders, M. E. (2020). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 17, 687–701.
3. Savaiano, D. A., & Hutkins, R. W. (2021). Yogurt, cultured fermented milk, and health: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 79, 599–614.
4. Koichiro, S., Ryoichi, T., Kae, Y., Kyosuke, N., Takefumi, I., Chiaki, S., & Koichi, N. (2023). Nutritional value of yogurt as a protein source: Digestibility/absorbability and effects on skeletal muscle. *Nutrients*, 15(20), 4366.
5. Vasheghani Farahani, M., Sedaghati, M., & Mooraki, N. (2022). Production and characterization of synbiotic *Doogh* by Gum Tragacanth, Date Seed Powder, and *L.casei*. *Journal of Food Process and Preservative*, 46, e16946.
6. Tayyebmoghdam, S. E. M., & Ehsani, M. R., (2020). Comparison of the effect of extracted inulin from native chicory root with commercial inulin on the viability of probiotics and physicochemical, rheological and sensory properties of synbiotic yogurt. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 17, 91–110. (In Persian).
7. Lou, X., Luo, D., Yue, C., Zhang, T., Li, P., Xu, Y. F., Xe, B., & Xiang, J. (2022). Effect of ultrasound treatment on the physicochemical and structural properties of long-chain inulin. *LWT—Food Science and Technology*, 154, 112578.

8. Shahrajabian, M. H., Sun, W., & Cheng, Q. (2021). A review of Leek (*A. ampeloprasum* L.), and important vegetable and food ingredient with remarkable pharmaceutical activities. *Pharmacognosy Communications*, 11(1), 9–12.
9. Tavakoli Kurdler, S., Ramezan, Y., & Abdollahian Noqabi, M. (2018). Investigation of inulin extraction from roots of chicory (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 9(3), 25-35.
10. Esmaeili, F., Hashemiravan, M., Eshaghi, M. R., & Gandomi, H. (2021). Optimization of aqueous extraction conditions of inulin from the *Arctium lappa* L. roots using ultrasonic irradiation frequency. *Journal of Food Quality*, 2021, 5520996.
11. Petkova, N., Sherova, G., & Denev, P. (2018). Characterization of inulin from dahlia tubers isolated by microwave and ultrasound-assisted extractions. *International Food Research Journal*, 25(5), 1876–1884.
12. Zawistowska-Rojek, A., Zaręba, T., & Tyski, S. (2022). Microbiological Testing of Probiotic Preparations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 5701.
13. Ansari, J. M., Colasacco, C., Emmanouil, E., Kohlhepp, S., & Harriott, O. (2019). Strain-level diversity of commercial probiotic isolates of *Bacillus*, *Lactobacillus*, and *Saccharomyces* species illustrated by molecular identification and phenotypic profiling. *Plos One*, 14, e0213841.
14. Hilman, A., Harmayani, E., & Cahyanto, M. N. (2018). Inulin extraction and characterization of fresh and chip gembili (*Dioscorea esculenta*) Extract by ultrasound-assisted extraction. In: *Proceedings of ICOSTEER Indonesia*, 47–53.
15. Milani, E., Kadkhodai, R., Goli Movahed, G. H., & Hosseiny, F. (2011). Response Surface Methodology for Optimization of Ultrasound-assisted Inulin Extraction from Burdock Tuberos. *Journal of Medicinal Plants*, 2(9), 68-76.
16. Moradi, H., Sedaghati, M., and Jahanbakhshian, N. (2023). Evaluation and improvement of antioxidant activity and physicochemical properties of yogurt enriched with persian gum (*Amygdalus scoparia* Spach) and fennel (*Foeniculum Vulgare*) extract. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 22(4), 431-440.
17. Singh, R. S., & Singh, R. P. (2010). Fructooligosaccharides from inulin as prebiotics. *Food Technology and Biotechnology*, 48, 435–450.
18. Xu, H., Gunenc, A., & Hosseinian, F. (2022). Ultrasound affects physical and chemical properties of Jerusalem artichoke and chicory inulin. *Journal of Food Biochemistry*, 46, 1–10.
19. Redondo-Cuenca, A., Herrera-Vázquez, S. E., Condezo-Hoyos, L., Gómez-Ordóñez, E., Rupérez, P. (2021). Inulin Extraction from Common Inulin-Containing Plant Sources. I *Industrial Crops and Products*, 170, 113726.
20. Zhang, Y., Liu, R., Song, B. Li, L., Shi, R., Ma, X., Zhang, I., & Li, X. (2024). Recent advances in inulin polysaccharides research: extraction, purification, structure, and bioactivities. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11, 136.
21. De Marins, A. R., Ribeiro, S. T. C., De Oliveira, M. C., Cardozo Filho, L., De Oliveira, A. J. B., Gonçalves, R. A. C., Gomes, R. G., & Feihrmann, A. C. (2024). Effect of extraction methods on the chemical, structural, and rheological attributes of fructan derived from *Arctium lappa* L. roots. *Carbohydrate Polymers*, 15, 324:121525.
22. Darjani, P., Hosseini Nezhad, M., Kadkhodae, R., Milani, E., & Balandari, A. (2015). Methods of isolating and physiochemical properties of inulin ractions with different chain lenghts from chicory plants. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Industry*, 4(3), 247-256.
23. Ji, J.-B., Lu, X.-H., Cai, M.-Q., & Xu, Z.-C. (2006). Improvement of leaching process of Geniposide with ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 13,(5), 455–462.
24. Milani, E., Pourazarang, H., Kadkhodai, R., Vakilian, H., & Vatankhah, S. H.,. (2010). Investigation of the effectiveness of ultrasound waves in extracting inulin from pickled

- potato tubers and optimization of extraction conditions using the response surface methodology (RSM). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 6(2), 113-120.
25. Ebrahimi, F., Habibi, N., & Hosseini, M. (2022). The effect of inulin on the growth of *Bifidobacterium bifidum* probiotic strain and chemical properties of yogurt. *Iranian Journal of Food Science and Industry*, 129(19), 27-40.
26. Gheybi, N., & Ashrafiyorganloo, R. (2019). The Effect of Inulin and Quince Seed Gum Powder on the Physicochemical and Qualitative Properties of Low Fat Yogurt. *Iranian Journal of biosystem engineering*, 50(4), 963-975.
27. Sedaghati, M., & Kavand R. (2022). The physicochemical, sensory and viability characteristics of *Lactobacillus acidophilus* in synbiotic ricotta cheese enriched with inulin and calcium chloride. *Journal of Applied Microbiology in Food Industry*, 10(3), 54-66.
28. Eris, F. R., Pamela, V. Y., Kusumasari, S., & Meindrawan, B. (2024). Extraction of inulin from Beneng tuber (*Xanthosoma undipes*) and its application to yogurt. *Future Foods*, 9, 100339.
29. Li, Y., Shabani, K. I., Qin, X. L., Yang, R., Jin, X. D., Ma, X. H., Liu, X. (2019). Effects of cross-linked inulin with different polymerisation degrees on physicochemical and sensory properties of set-style yoghurt. *International Dairy Journal*, 94, 46–52

