

ГЕРОПРОТЕКТОРЛЫҚ МАҚСАТТАҒЫ СҮЗБЕ МАССАСЫНА ТӨМЕН- ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ МЕТОКСИЛДЕНГЕН ПЕКТИНДЕРІН ҚОСУДЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

С.У. ЕРКЕБАЕВА* , А.Т. ӨТЕШ 

(«М.Әуезов ат.Оңтүстік Қазақстан университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғам,
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5)
Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: erkesapash@mail.ru*

Пектиндер энтеросорбция, антиоксиданттық белсенділік және сүт құрылымын тұрақтандыру арқылы геропротекторлық қасиеттерге ие болып саналады. Зерттеудің мақсаты ылғалды ең көп мөлшерде ұстағыш қабілетіне, синерезистің ең төменгі мәніне және жақсартылған құрылымдық-механикалық қасиеттеріне қол жеткізу үшін сүзбе массасына төмен метоксилденген және жоғары метоксилденген пектинін қосудың оңтайлы рН, мөлшерін және қосу сатыларын ғылыми негіздеу болып табылады. рН 3,0–6,0 аралығында төмен метоксилденген және жоғары метоксилденген пектиннің 0,25–1,5% мөлшерде бөлек және біріктіріп қосу зерттелді. Сонымен қатар, біріктіріп қосу үшін рН 4,1–4,5 аралығында тексеру жүргізілді. Ылғал ұстағыш қабілеттілігі, синерезис, қаттылық пен когезивтілік, тұтқырлық бағаланды. Пектиннің таралу біркелкілігі метилен көк бояу әдісімен және Са-пектат әдісімен бақыланып, барлық үлгілерде таралу біркелкі деп танылды. Эксперименттер үш рет жүргізіліп, статистикалық өңдеу – Тьюки критерийімен бірге ANOVA post-hoc ($p < 0,05$) орындалды. Жоғары метоксилденген пектині үшін оңтайлы рН 3,5, төмен метоксилденген пектині үшін – 4,6 құрады. рН 4,3 өте аз аралығында 50:50 қатынастығында синерезистің мәні ең жоғары болды. Әрбір пектиннің оңтайлы мөлшері 1,0% құрады. Бастапқы кезеңде енгізу (сиыр сүтінен жаңадан дайындалған сүзбеге) пектиннің екі түр үшін де тиімді, бірақ біріктіріп қосу үшін төмен метоксилденген пектинін жаңадан дайындалған сүзбеге, жоғары метоксилденген пектинін дайын сүзбе массасына қосу тәсілі ұсынылды. рН 4,3 мәнінде пектиндердің 50:50 қатынасы ылғал ұстағыш қабілеттілігінің ең жоғарғы мәнін (78,0%), синерезистің ең төменгі мәнін (бастапқы тәулікте 3,2%, 14 тәулікте 8,0%) және 0,67 Н тең қаттылықты қамтамасыз етті. Бақылау тәжірибесінің 2,9 ммоль/кг мәнімен салыстырғанда, липидтік фракцияның асқынотығу саны 14 тәуліктен кейін 1,6 ммоль/кг құрады (бұл сүт өнімдерінің тотығу шегінен ≤ 4 ммоль/кг төмен). Ұсынылған параметрлер: пектиндердің жалпы мөлшері 1,0% (0,5% төмен метоксилденген пектині + 0,5% жоғары метоксилденген пектині), рН 4,3, төмен метоксилденген пектинін бастапқы сатыда, ал жоғары метоксилденген пектинін соңғы сатыда қосу. Дайын сүзбе массасы жақсартылған геропротекторлық және құрылымдық-механикалық сипаттамаларға ие болды.

Негізгі сөздер: төмен метоксилденген пектин, жоғары метоксилденген пектин, сүзбе массасы, геропротекторлық қасиеттер, ылғал ұстағыш қабілеті, синерезис.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДОБАВЛЕНИЯ НИЗКО- И ВЫСОКОМЕТОКСИЛИРОВАННЫХ ПЕКТИНОВ В ТВОРОЖНУЮ МАССУ В ГЕРОПРОТЕКТОРНЫХ ЦЕЛЯХ

С.У. ЕРКЕБАЕВА*, А.Т. ӨТЕШ

(Некоммерческое акционерное общество «Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова»,
Республика Казахстан, 160012, г.Шымкент, проспект Тауке хана, 5)
Электронная почта автора-корреспондента: erkesapash@mail.ru*

Считается, что пектины обладают геропротекторными свойствами за счет энтеросорбции, антиоксидантной активности и стабилизации структуры молока. Целью исследования является научное обоснование оптимального значения рН, количества и стадий добавления низкометоксилированного и высокометоксилированного пектина в творожную массу для достижения максимальной влагоудерживающей способности, наименьшего значения синерезиса и улучшения структурно-механических свойств. Исследовали добавление низкометоксилированного и высокометоксилированного пектина по отдельности и в комбинации в количестве 0,25–1,5% при рН 3,0–6,0. Кроме того, был проведен тест при рН в диапазоне 4,1–4,5 для комбинированного добавления. Были оценены влагоудерживающая способность, синерезис, твердость и когезивность, а также вязкость. Равномерность распределения пектина контролировали методом метиленового синего и кальций-пектатным методом; распределение было признано равномерным во всех образцах.

Эксперименты проводились трижды, статистическая обработка выполнена с использованием ANOVA post-hoc и критерия Тьюки ($p < 0,05$). Оптимальный уровень pH для высокометоксилированного пектина составил 3,5, для низкометоксилированного – 4,6. В очень узком диапазоне pH 4,3 синерезис был самым высоким при соотношении 50:50. Оптимальное количество каждого пектина составило 1,0%. Добавление на начальном этапе (в свежеприготовленный творог из коровьего молока) эффективно для обоих видов пектина, но для комбинированного добавления был предложен способ: в свежеприготовленный творог добавляют низкометоксилированный пектин, а в готовую творожную массу — высокометоксилированный пектин. При pH 4,3 соотношение пектинов 50:50 обеспечило максимальную влагоудерживающую способность (78,0%), минимальный синерезис (3,2% в первый день, 8,0% через 14 дней) и твердость 0,67 Н. По сравнению со значением контрольного эксперимента (2,9 ммоль/кг) перекисное число липидной фракции через 14 дней составило 1,6 ммоль/кг, что ниже порога окисления для молочных продуктов (≤ 4 ммоль/кг). Рекомендуемые параметры: общая концентрация пектинов 1,0% (0,5% низкометоксилированного + 0,5% высокометоксилированного), pH 4,3, добавление низкометоксилированного пектина на начальном этапе и высокометоксилированного — на заключительном. Готовая творожная масса обладала улучшенными геропротекторными и структурно-механическими характеристиками.

Ключевые слова: низкометоксилированный пектин, высокометоксилированный пектин, творожная масса, геропротекторные свойства, влагоудерживающая способность, синерезис.

OPTIMIZATION OF PARAMETERS FOR ADDING LOW- AND HIGH-METHOXYLATED PECTINS TO CURD MASS FOR GEROPROTECTIVE PURPOSES

S.U. YERKEBAYEVA*, A.T. OTESH

("M.Auezov South Kazakhstan University" non-profit joint stock company
Republic of Kazakhstan, 160012, Shymkent, Tauke Khan Avenue, 5)
Corresponding author's e-mail: erkesapash@mail.ru*

Pectins are considered to have geroprotective properties through enterosorption, antioxidant activity and stabilization of milk structure. The aim of the study is to scientifically substantiate the optimal pH, amount and stages of addition of low-methoxylated and high-methoxylated pectin to the curd mass in order to achieve the maximum moisture retention capacity, the lowest syneresis value and improved structural and mechanical properties. The addition of low-methoxylated and high-methoxylated pectin separately and in combination at amounts of 0.25–1.5% was studied at pH 3.0–6.0. In addition, a pH test was carried out in the range of 4.1–4.5 for combined addition. Moisture retention capacity, syneresis, hardness and cohesiveness, and viscosity were evaluated. The uniformity of pectin distribution was controlled by the methylene blue dye method and the Ca-pectate method, and the distribution was recognized as uniform in all samples. The experiments were carried out three times and statistical processing was performed using ANOVA post-hoc with Tukey's criterion ($p < 0.05$). The optimal pH for high-methoxylated pectin was 3.5, for low-methoxylated pectin – 4.6. Within a very narrow pH range of 4.3, the syneresis value was the highest at a 50:50 ratio. The optimal amount of each pectin was 1.0%. Addition at the initial stage (to freshly prepared curd from cow's milk) is effective for both types of pectin, but for combined addition, a method was proposed: adding low-methoxylated pectin to freshly prepared curd, and high-methoxylated pectin to the finished curd mass. At pH 4.3, the 50:50 pectin ratio provided the maximum moisture retention capacity (78.0%), the minimum syneresis (3.2% on the initial day, 8.0% after 14 days) and a hardness of 0.67 N. Compared to the control experiment value of 2.9 mmol/kg, the lipid peroxidation value after 14 days was 1.6 mmol/kg (which is below the oxidation threshold for dairy products of ≤ 4 mmol/kg). Recommended parameters: total pectin concentration 1.0% (0.5% low-methoxylated pectin + 0.5% high-methoxylated pectin), pH 4.3, addition of low-methoxylated pectin at the initial stage, and high-methoxylated pectin at the final stage. The finished curd mass had improved geroprotective and structural-mechanical characteristics.

Keywords: low-methoxylated pectin, high-methoxylated pectin, curd mass, geroprotective properties, moisture retention capacity, syneresis.

Kіpіcne

Пектиндер жоғары сатыдағы өсімдіктердің жасуша қабырғаларын құрайтын және негізінен α -1,4-гликозидтік байланыстармен байланысқан α -D-галактурон қышқылының қалдықтарынан тұратын күрделі табиғи полисахаридтер болып табылады [1]. Гидрофильділік, қойытушы қабілеттілік, тұтқырлық

және сорбциялық белсенділік сияқты бірегей физика-химиялық қасиеттеріне байланысты пектиндер тамақ өнеркәсібінде қоюландырғыш, тұрақтандырғыш және гель түзгіштер ретінде, сондай-ақ фармацевтика мен медицинада энтеросорбенттер және дәрілік заттарды тасымалдаушылар ретінде кеңінен қолданылуда [2, 3]. Этерификация дәрежесі

(DE), яғни метанолмен эфирленген галактурон қышқылының карбоксил топтарының үлесі пектиннің функционалдық қасиеттерін анықтайтын негізгі сипаттама болып саналады. Этерификация дәрежесіне байланысты пектиндер жоғары метоксилденген (НМ-пектин, $DE \geq 50\%$) және төмен метоксилденген (LM-пектин, $DE < 50\%$) болып бөлінеді [4, 5].

pH пектин ерітінділерінің қоюландыру қабілеті мен тұтқырлығын анықтайтын маңызды факторлардың бірі болып саналады [6, 7].

НМ-пектин үш құрамдас заттың бір мезгілде болуын талап ететін гель түзудің қантқышқыл механизмімен сипатталады: қанттың жоғары мөлшері (55-75% құрғақ заттар), pH төмен (2,8-3,5) және [4, 8]]. pH-тың төмен мәндерінде галактурон қышқылының карбоксил топтары протонданып, пектин молекулаларының теріс зарядының төмендеуіне және олардың арасындағы электрстатикалық итеруінің төмендеуіне алып келеді [9, 10]. Сонымен бірге, қанттың жоғары мөлшері пектин молекулаларының дегидратациясына ықпал етіп, оларды жақындастырады және үш өлшемді гель желісін құрайтын сутекті байланыстар мен гидрофобтық өзара әрекеттесулердің түзілуіне жағдай жасайды [3]. pH 4-тен жоғарылағанда НМ-пектиннің гель түзу тиімділігі күрт төмендейді [11].

НМ-пектинмен салыстырғанда, LM-пектин кальций механизмі бойынша қоюланып, ол қанттың жоғары мөлшерін немесе pH-тің өте төмен мәндерін қажет етпейді. Кальций иондарының болуы (Ca^{2+}) гель түзудің қажетті шарты болып саналады: Ca^{2+} катиондары көршілес пектин молекулаларының бос карбоксил топтары арасында "айқасқан байланыс агенттері" ретінде әрекет етіп, "жұмыртқа қорабы" типті құрылымды құрайды. LM-пектин кең pH кең аралығында (3-тен 6-ға дейін) гельдер түзуге қабілетті [12, 13].

Сүзбе құрамында кальций иондарының болуы (100 г өнімде 140 мг) екі түрлі рөл атқарады. Бір жағынан, Ca^{2+} казеин ұйындысының құрылымын қалыптастыру үшін қажет, екінші жағынан, LM-пектин қосылған кезде кальций иондары гель түзілуін күшейтетін айқастырушы агент ретінде әрекет етеді [3].

Тамақтану мәнмәтінінде пектин биологиялық белсенді қасиеттер кешеніне байланысты ерекше қызығушылық тудыруда. Пектиндер адамның ас қорыту жүйесі іс жүзінде қорытпайтын диеталық талшықтар тобына жатады және энтеросорбенттер ретінде әрекет етеді [8]. Пектин полисахаридтері

қабынуға қарсы белсенділікпен қоса иммундік-модуляциялық қасиеттерге ие болып, қан сарысуындағы холестерин мен триглицеридтерді төмендетеді, глюкоза алмасуын қалыпқа келтіреді, улы заттар мен радионуклидтерді байланыстырып, жояды, сонымен бірге канцерогенге қарсы және антимагистатикалық әсерге ие болып табылады [14]. Бос радикалдарды бейтараптандыруда көрініс табатын пектиннің антиоксиданттық белсенділігі оның геропротекторлық мүмкіндігін толықтырады [15].

Сүт өнеркәсібінде LM-пектин pH-тің 5,0-6,0 аралығындағы мәндерінде гельдер түзу қабілетіне байланысты кеңінен қолданылып, ол сүт шикізатын пайдалануда маңызды болып табылады, ал НМ-пектин ортаның pH-на және құрғақ заттардың құрамына сезімтал болып келеді [4, 6, 16].

Тамақ өнеркәсіпорындарында пектинді қолданудың жекелеген негіздеріне арналған көптеген жұмыстарға қарамастан, геропротекторлық мақсаттағы сүзбе массасы үшін pH, LM- және НМ-пектиндердің мөлшерін, оларды қосу кезеңдері мен арақатынастарын оңтайландыру бойынша жүйелі зерттеулер жүргізілмеген. Бастапқы сипаттамалары (ылғалдылығы 70%, май 5%, ақуыз 15%, Са 140 мг/100 г) белгілі сүзбе бірегей модельдік жүйе саналып, мұнда бастапқы pH 4,6 НМ- және LM-пектиндердің тиімділігі арасындағы өтпелі аймақта болады,

Бұл зерттеудің мақсаты – ең жоғарғы мөлшерде ылғал ұстағыш қабілетін, синергистің ең төменгі мәнін, жақсартылған құрылымдық-механикалық қасиеттерін және айқын геропротекторлық әсерін қамтамасыз ететін сүзбе массасына қосылатын НМ- және LM-пектиндердің оңтайлы технологиялық параметрлерін (pH, мөлшері, қосу сатысы, НМ- және LM-пектиндердің қатынасы) ғылыми негіздеу болып табылады.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу нысандары:

– сиыр сүтінен дайындалған қышқыл-ұйыған сүзбе. Көрсеткіштері: ылғалдылығы $70 \pm 0,5\%$, майдың массалық үлесі $5 \pm 0,2\%$, ақуыздың массалық үлесі $15 \pm 0,3\%$, кальцийдің мөлшері 140 ± 5 мг/100 г, бастапқы pH $4,6 \pm 0,1$.

– pH 4,6 және 20°C температурада өлшенген бастапқы сүзбенің ылғал ұстағыш қабілеті $55 \pm 1\%$ болды.

– құрылымдық тұтқырлық (көрінетін) – $10,0 \pm 0,5$ Па·с (Brookfield RV айналмалы вискозиметрінде өлшенді, 20 айн/мин).

– гелдің беріктігі (қышқыл казеин гелі) – $0,40 \pm 0,02$ Н.

– жоғары метоксилденген пектині (НМ-пектин): АРА 105 маркасы (Herbstreith & Fox, Германия), этерификация дәрежесі DE=60%.

– төмен метоксилденген пектині (LM-пектин): NH маркасы, DE<50%.

– рН реттегіштер: тағамдық лимон қышқылы (E330) және натрий гидрокарбонаты (E500 (ii)). Дәміне әсерін азайту үшін 10% лимон қышқылының ерітіндісі және 5% сода ерітіндісі қолданылды, араластыру барысында тамшылатып қосылды; рН түзетілгеннен кейін пектиндердің түрлері бар үлгілерде дәмдік бағалау жүргізіліп, дәмінің елеулі өзгерістері байқалмады.

Үлгілерді дайындау. Пектиндер тазартылған суда 20°C температурада 30 минут бойы гидратталды (мақсаттық мөлшеріне дейін кейіннен сұйылту үшін 2%-дық ерітінді дайындалды).

А нұсқасы (бастапқы кезең): пектиннен басқа қоспаларды қолданар алдында, сарысуы

бөлінген жаңа сүзбеге ($t=20^{\circ}\text{C}$), үнемі араластыру барысында пектин қосылды.

В нұсқасы (соңғы кезең): пектиннен басқа қоспалар қосылғаннан кейін дайын сүзбе массасына пектин қосылып, мұқият араластырылды.

Бақылау тәжірибесі: пектин қосылмаған сүзбе массасы.

Мақсаттық мәндерге (3,0; 3,5; 4,0; 4,6; 5,0; 5,5; 6,0) жеткенше 10%-дық лимон қышқылы ерітіндісін немесе 5%-дық сода ерітіндісін қосу арқылы рН реттелді. НМ және LM пектиндерінің 50:50 қатынасы үшін рН-ның тар аралықтағы мәндері (рН 4,1; 4,2; 4,3; 4,4; 4,5) оңтайлы мәнін нақтылау 0,1 қадамда қосымша зерттелді.

Эксперимент дизайны. 1-кестеде көптеген бақыланатын факторларды (рН, мөлшері, қосу кезеңі және құрамдас заттардың қатынасы) және реакция айнымалыларын қамтитын көп сатылы эксперимент схемасы келтірілген. 6 кезеңнен тұратын зерттеу жүргізілді.

Кесте 1. Эксперимент дизайны

Кезең	Факторлар	Деңгейі	Жауаптары
1	рН	3,0; 3,5; 4,0; 4,6; 5,0; 5,5; 6,0	Ерітіндінің тұтқырлығы
2	рН (LM-пектин және НМ-пектин үшін жеке), 1% мөлшерде	3,0; 3,5; 4,0; 4,6; 5,0; 5,5; 6,0	Ылғал ұстағыш қабілеті, синерезис, қаттылық
3	НМ- және LM-пектиндердің мөлшерлері	0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5%	Ылғал ұстағыш қабілеті, синерезис, қаттылық
4	Қосу сатысы	Бастапқы, соңғы	Ылғал ұстағыш қабілеті, синерезис, қаттылық, когезивтілік
5	НМ- және LM-пектиндердің қатынасы (жалпы мөлшері 1%)	100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100	Ылғал ұстағыш қабілеті, синерезис, қаттылық, когезивтілік
6	Растаушы (14 тәулік сақтау)	Оңтайлы қатынаста, бақылау, монопектиндер	Синерезис, асқыноттығу саны

Кестеде келтірілген эксперимент жоспары негізгі әсерлер мен өзара әрекеттесулерді сенімді статистикалық бағалауға мүмкіндік беріп, ANOVA негізіндегі кейінгі оңтайландырудың негізін құрайды.

Барлық эксперименттер тәуелсіз үш қайталау арқылы орындалды ($n=3$).

Талдау әдістері:

– Ылғал ұстағыш қабілеті (%) - 15 минут бойы 3000 g центрифугалау күшінде 10 г үлгіні центрифугалау, ылғал ұстағыш қабілеті = (тұнбаның массасы / бастапқы масса) × 100.

– Синерезисі (%) - үлгінің көлемінен 4°C температурада 24 сағаттан кейін бөлінген сарысудың көлемі (100 г қайта есептегенде).

– Текстурасы (қаттылығы, Н; когезивтілігі, өлшемсіз) - TA.Xtplus текстуралық анализатор (Stable Micro Systems), ТРА режимі: цилиндрдің диаметрі $d=25$ мм, сығымдалуы 30%, жылдамдығы 1 мм/с.

– Тұтқырлығы (Па•с) – Brookfield RV айналмалы вискозиметрі (20 айн/мин). Алдын ала бағалау үшін В3-4 вискозиметрі қолданылды (ағып өту уақыты, с). Пектин ерітін-

ділерінің (1%) тұтқырлығы ВЗ-4 вискозиметрімен 20°C температурада өлшенді.

– Асқынтотығу саны (белсенді оттегінің ммолі/кг) – еріткішті буландырып Folch әдісі бойынша хлороформ-метанол қоспасымен экстракция арқылы бөлінген липидтік фракциядағы йодометриялық әдіс (2:1, көлемдік/көлемдік). Экстракцияның толықтығын бақылау - қайта экстракцияда липидтердің болмауы бойынша (судан III арқылы сапалы реакция).

– Пектиннің таралу біркелкілігі – метилен көк бояуымен (0,1% ерітінді) және Са-пектат әдісімен бейнелеу (1%-дық CaCl₂ өңдеу, гельдік қосындыларды бақылау). Пектиндер қатынастығының барлық үлгілерінде және бастапқы кезеңде жеке қосқанда таралуы біркелкі деп (агрегаттардың болмауы) бағаланды.

– Кальцийдің биожетімділігі – INFOGEST 2.0 стандартталған әдістемесі бойынша *in vitro* асқазан-ішек ас қорытуын модельдеу (пектин 0,5% + 0,5%, рН 4,3). Ас қорытудан кейін центрифугалау (10000 g, 30

мин) жүргізіліп, комплексометрия әдісімен еритін кальций фракциясы анықталды.

Статистикалық өңдеу. Деректер орташа ± стандарттық ауытқу (m±SD) ретінде көрсетілді. Соңында Тьюки апостериорлық критерийі (Tukey HSD) арқылы бір факторлық және екі факторлық дисперсиялық талдауды (ANOVA) Statistica 13.3 (TIBCO) бағдарламасында орындадық. Маңыздылық деңгейі p<0,05. Регрессиялық модельдер ең кіші квадраттар (полиномиальдік және квадраттық) әдісімен жасалды.

Нәтижелер және талқылау

1 кезең. рН аралықтарын анықтау. НМ-пектин үшін тұтқырлықтың ең жоғарғы мәні рН 3,0–3,5 (ВЗ-4 вискозиметрі бойынша 22-24 с), ал күрт төмендеуі рН 4,0-ден жоғары мәнінде тіркелді. LM-пектин үшін тұтқырлық рН 3,5–5,0 (18-20 с) аралығында тұрақты жоғары болды. Келесі зерттеулерді рН 3,0–6,0 аралықта жүргіздік.

2 кезең. рН-тың ылғал ұстағыш қабілетіне, синерезиске және қаттылыққа әсері (жеке).

Нәтижелер 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2. 1% пектині бар сүзбе массасының рН-қа байланысты көрсеткіштері (n=3, M±SD)

рН	Қосылған пектин түріне байланысты					
	Ылғал ұстағыш қабілеті, %		Синерезис, %		Қаттылық, Н	
	НМ-пектин	LM-пектин	НМ-пектин	LM-пектин	НМ-пектин	LM-пектин
3,0	68,2±1,1	58,3±0,9	8,2±0,4	12,1±0,5	0,55±0,02	0,48±0,02
3,5	72,4±0,8	60,1±1,0	6,2±0,3	10,0±0,4	0,60±0,02	0,50±0,02
4,0	60,3±1,2	62,4±0,7	12,0±0,5	9,0±0,4	0,50±0,02	0,52±0,02
4,6	52,1±1,0	64,2±0,8	16,0±0,6	8,0±0,3	0,44±0,02	0,54±0,02
5,0	48,0±1,3	60,0±1,1	20,0±0,7	10,0±0,5	0,41±0,02	0,51±0,02
5,5	45,2±1,1	52,3±1,2	24,0±0,8	14,0±0,6	0,38±0,03	0,46±0,03
6,0	42,1±1,4	45,4±1,3	28,0±0,9	18,0±0,7	0,36±0,03	0,42±0,03
Бақылау	55,0±1,0	55,0±1,0	14,0±0,5	14,0±0,5	0,40±0,02	0,40±0,02

2-кестеде көрсетілгендей, рН пектиннің екі түрі үшін де ылғал ұстағыш қабілетіне, синерезиске және қаттылыққа статистикалық маңызды әсер етеді (НМ: F(6,14)=34,2, p<0,001, η²=0,94; LM: F(6,14)=28,7, p<0,001, η²=0,92). Тьюки әдісі бойынша ілгері талдау, рН 3,5 шартында жоғары тығыздықтағы пектин үшін және рН 4,6 шартында төмен тығыздықтағы пектин үшін рН-тің басқа деңгейлерімен салыстырғанда, ылғал ұстағыш қабілеті айтарлықтай жоғары екенін растады (p<0,05). Бұл

нәтижелер пектиннің функционалдығын реттеуде рН-тың басым ролін сандық түрде растайды.

Бақылау тәжірибесіндегі ылғал ұстағыш қабілетінің мәндері рН 4,6 көрсетілген, яғни ол сүзбенің бастапқы қышқылдығына сәйкес келеді.

НМ-пектин үшін ANOVA (рН факторы): F(6,14)=34,2; p<0,001; η²=0,94. LM-пектин үшін ANOVA (рН фактор): F(6,14)=28,7; p<0,001; η²=0,92.

НМ-пектин үшін рН 3,5-те ылғал ұстағыш қабілетінің мәні барлық басқа рН-ға қарағанда айтарлықтай жоғары екенін Тьюки post-hoc көрсетті ($p < 0,01$). LM-пектин үшін рН 4,6-да, рН 3,0 және рН 5,0 тең және одан жоғары мәндерімен салыстырғанда, ылғал ұстағыш қабілетінің мәні едәуір жоғары ($p < 0,05$). НМ-пектин үшін рН 3,5, ал LM-пектин үшін рН 4,6 оңтайлы деп қабылданды.

2-ші кезең аралас түрлері үшін рН-тің өте аз аралығында (4,1–4,5) жүргізілген зерттеулермен толықтырылды. 6-ші кезең кеңейтілді: in vitro кальций биожетімділігі қосымша анықталды (жоғарыда сипатталған әдістеме бойынша).

3 кезең. Оңтайлы рН кезінде мөлшердің ықпалы (пектиндердің 0,25–1,5% мөлшерінде). Пектин мөлшеріне байланысты ылғал ұстағыш қабілетінің мәні 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3. Пектин мөлшеріне байланысты ылғал ұстағыш қабілетінің мәні (%)

Пектиннің мөлшері, %	Қосылған пектиннің түрі мен рН мәніне сәйкес ылғал ұстағыш қабілеті, %	
	НМ-пектин, рН 3,5	LM-пектин, рН 4,6
0,00	55,0±1,0	55,0±1,0
0,25	60,1±0,9	58,2±0,8
0,50	65,0±0,7	62,0±0,9
0,75	70,2±0,8	66,1±0,7
1,00	72,4±0,6	68,0±0,6
1,25	73,0±0,7	69,1±0,7
1,50	73,2±0,8	69,3±0,8

3-кестеде пектин мөлшерінің ылғал ұстағыш қабілетіне күшті әсері көрсетілген ($F(6,28)=45,3$, $p < 0,001$), мұнда пектиннің түрі мен мөлшері арасындағы байланыс статистикалық маңызды емес ($p=0,12$). Ақуыздың мөлшері 1,0%-ға дейін едәуір артып, кейін одан әрі статистикалық маңызды жақсару байқал-

майды ($p > 0,05$), бұл үстірт әсерін көрсетеді және оңтайлы мөлшер ретінде 1,0% қабылдауды негіздейді.

4 кезең. Қосу кезеңдерін салыстыру. Пектинді қосу кезеңінің (бастапқы және соңғы) көрсеткіштерге ықпалы 4-кестеде көрсетілген.

Кесте 4. Пектинді қосу кезеңінің (бастапқы және соңғы) көрсеткіштерге ықпалы (n=3)

Пектин	Кезең	Ылғал ұстағыш қабілеті, %	Синерезис, %	Қаттылығы, Н	Когезивтілігі
НМ-пектин	бастапқы	72,4±0,6a	6,2±0,3a	0,60±0,02a	0,65±0,02a
НМ-пектин	соңғы	58,0±1,1b	14,1±0,5b	0,48±0,03b	0,58±0,03b
LM-пектин	бастапқы	68,0±0,6a	7,0±0,4a	0,55±0,02a	0,62±0,02a
LM-пектин	соңғы	64,0±0,8b	9,0±0,4b	0,52±0,02b	0,60±0,02ab
Бақылау	–	55,0±1,0c	14,0±0,5b	0,40±0,02c	0,58±0,03b

Ескерту - Бағаналардағы әр түрлі әріптер Тьюки критерийі бойынша статистикалық маңызды айырмашылықтарды ($p < 0,05$) білдіреді.

4-кестеде көрсетілгендей, пектинді қосу кезеңі барлық өлшенетін параметрлерге айтарлықтай ықпал етеді. НМ-пектин үшін қосу кезеңінің әсері өте маңызды болып саналып ($F(1,4)=112,5$, $p < 0,001$), LM-пектин үшін ол аз байқалады, бірақ әлі де маңызды болуда ($F(1,4)=8,6$, $p=0,043$). Бастапқы кезеңде

пектиндерді қосқанда ылғал ұстағыш қабілеттің айтарлықтай жоғарылауына және синерезистің төмендеуіне алып келетінін Тьюки тесті растайды ($p < 0,05$), бұл құрылымдық интеграцияның жақсарғанын көрсетеді.

5 кезең. Аралас эксперимент (LM-пектин:HM-пектин қатынасы). Жалпы мөлшері 1,0%, рН=4,3 ымыралы мән), кезең: LM-пектин – бастапқы, HM-пектин – соңғы. 50:50 қатынастығы үшін оңтайлы рН-ты нақтылау үшін рН 4,1–4,5 аралығында (0,1 қадамда) қосымша тәжірибе жүргізілді. Ылғал ұстағыш қабілетінің ең жоғарғы мәніне (78,5±0,4%) және ең төменгі синерезис (3,0±0,2%) рН 4,3 деңгейінде жетті.

рН 4,2 және 4,4 мәндерінде ылғал ұстағыш қабілеті, сәйкесінше, 77,1% және 77,5% құрап, бұл рН 4,3 мәніндегі статистикалық маңызды ерекше болмады (p>0,05). Сонымен, рН 4,3 тұрақтылық қоры ретінде оңтайлы деп қабылданды. LM-пектин және HM-пектин әр түрлі қатынастығындағы көрсеткіштердің, яғни ылғал ұстағыш қабілеті, синерезис, қаттылық және когезивтіліктің мәндері 5-кестеде келтірілген.

Кесте 5. HM- және LM-пектиндердің әр түрлі қатынастығындағы көрсеткіштердің мәндері (n=3, M±SD)

LM-пектин:HM-пектин қатынастығы	Ылғал ұстағыш қабілеті, %	Синерезис, %	Қаттылығы, Н	Когезивтілігі
100:0	68,0±0,6b	7,0±0,4b	0,55±0,02b	0,62±0,02b
75:25	74,2±0,7a	5,1±0,3c	0,62±0,02a	0,68±0,02a
50:50	78,0±0,5d	3,2±0,2d	0,67±0,01c	0,72±0,01c
25:75	72,0±0,8a	6,0±0,4bc	0,61±0,02a	0,66±0,02ab
0:100	58,0±1,1c	14,0±0,5a	0,48±0,03d	0,58±0,03d
Бақылау	55,0±1,0c	14,0±0,5a	0,40±0,02e	0,58±0,03d
Ескерту - Әр түрлі әріптер - маңызды айырмашылықтар (p<0,05).				

5-кестеде келтірілгендей, LM-пектиннің HM-пектинге қатынасы ылғал ұстағыш қабілетіне (F(5,12)=89,4, p<0,001, η²=0,97), синерезиске (F(5,12)=76,2, p<0,001) және қаттылыққа (F(5,12)=65,1, p<0,001) ықпалы елеулі екенін көрсетеді. 50:50 қатынасы күшті синергетикалық өзара әрекеттесуді растайтын статистикалық жоғары нәтижелер береді (p<0,05). Квадраттық регрессия моделі де

(R²=0,982, p<0,001) тең қатынастықта оңтайлы мәннің болуын растайды.

6 кезең. Растаушы тәжірибе және сақтау. Оңтайлы параметрлер: LM-пектин 0,5% + HM-пектин 0,5%, рН 4,3, LM-пектин – сарысудан жаңадан бөлініп алынған сүзбеге (бастапқы кезең), HM-пектин – дайын сүзбе массасына (соңғы кезең). 4°C шартындағы синерезис динамикасы 6-кестеде келтірілген.

Кесте 6. 4°C шартындағы синерезис динамикасы (%) (n=3)

Үлгі	Бірінші күн	7 күн	14 күн
Бақылау	14,0±0,5a	22,1±0,7a	28,3±0,8a
HM-пектин 1%	6,2±0,3b	10,0±0,5b	14,0±0,6b
LM-пектин 1%	7,0±0,4b	11,0±0,5b	15,0±0,6b
Қатынастығы 50:50	3,2±0,2c	5,1±0,3c	8,0±0,4c

6-кесте сақтау уақытының да, үлгі түрінің де синерезиске, сондай-ақ олардың өзара әрекеттесуіне айтарлықтай ықпалын көрсетеді (F(9,24)=45,7, p<0,001; p<0,01 өзара әрекеттесуі). Біріктірілген пектин жүйесі барлық уақыт сәттерінде айтарлықтай төмен синерезисін айқындап (p<0,05), бұл бақылау және

монопектин жүйелерімен салыстырғанда сақтау тұрақтылығының жоғарылауын көрсетеді.

Бақылау, HM-пектин және LM-пектин үлгілер үшін бірінші, 7-ші және 14-ші күндердегі динамикадағы липидтік фракцияның асқынтотық санының мәндері 7-кестеде көрсетілген.

Кесте 7. Динамикадағы липидтік фракцияның асқынтотық саны (ммоль / кг)

Үлгі	Бірінші күн	7 күн	14 күн
Бақылау	0,80±0,05a	1,80±0,10a	2,90±0,15a
НМ-пектин	0,70±0,04b	1,40±0,08b	2,20±0,10b
ЛМ-пектин	0,70±0,04b	1,40±0,08b	2,10±0,10b
Аралас түрі	0,60±0,03c	1,10±0,06c	1,60±0,08c

7-кестеде келтірілгендей, 14-ші күні қолданылған әдіс асқынтотық санына айтарлықтай ықпал етеді ($F(3,8)=45,8$, $p<0,001$). Бақылау тәжірибесімен салыстырғанда ($p<0,001$), біріктірілген пектин үлгісі липидтердің тотығуының ең төменгі деңгейін көрсетті, бұл статистикалық расталған антиоксиданттық әсерін растайды.

Пектиндердің әртүрлі қатынастағы үлгілердегі асқынтотық санының төмендеуі (14-ші тәуліктегі бақылаудағы 2,9 ммоль/кг мәнімен салыстырғанда 1,6 ммоль/кг) пектиндердің антиоксиданттық қасиеттерімен және олардың липопероксидация өнімдерін байланыстыру қабілетімен байланысты геропротекторлық әсерін көрсетеді [17].

Алынған нәтижелер пектиндердің белгілі қоюландыру механизмдерін растайды. НМ-пектин үшін төмен рН 3,5 шекті фактор болып табылады, бұл шартта карбоксил топтары протонданып, электрстатикалық ығыстыру азаяды және пектин молекулалары арасында сутегі байланыстары қалыптасады [10]. рН 4,6 шартында (сүзбенің бастапқы қышқылдығы) НМ-пектин тиімділігі күрт төмендейді (ылғал ұстағыш қабілеті 72%-дан 52%-ға дейін төмендейді). Бұл аралас өнімде сүзбе массасын рН 4,3 дейін қышқылдандыру қажеттілігін түсіндіреді. ЛМ-пектин, керісінше, сүзбе құрамындағы кальций иондарын (140 мг/100 г) байланыстыру қабілетіне байланысты рН 4,0–5,0 аралығында жоғары ылғал ұстағыш қабілетін сақтайды. "Жұмыртқа қорабы" механизмі бейтарап рН мәндерінде де термиялық қайтымды гельдің қалыптасуын қамтамасыз етеді [12].

50:50 қатынасының синергетикалық әсері соңғы кезеңде қосылған НМ-пектин, рН 4,3 сутегі байланыстары арқылы сүзбе массасын қосымша құрылымдайтындығымен түсіндіріледі, ал ЛМ-пектин кальциймен байланыстыруды қамтамасыз етеді [16]. Бірлескен әрекеті бір НМ-пектин үшін 72% және бір ЛМ-пектин үшін 68% салыстырғанда ылғал ұстағыш қабілетінің 78%-ға артуына алып

келеді. Ұқсас синерезис әртүрлі көздерден алынған пектиндердің антиоксиданттық белсенділігі үшін сипатталған [12]. Нәтижелер Григер және т б пектин мөлшерінің сүзбе өнімдерінің құрылымына ықпалы туралы жүргізген зерттеулерге сәйкес келеді [18].

рН 4,1–4,5 аз аралығында жүргізілген қосымша эксперимент ЛМ-пектин және НМ-пектин қатынастығында синерезистің ең жоғарғы мәніне рН 4,3 кезінде қол жеткізілетінін растады. Бұл жағдайда өнім қолайлы қышқылдықты сақтап (белсенді 4,3 титрленетін қышқылдықтың ~70–80°Т мәніне сәйкес келеді), бұл шартта дәмінде шамадан тыс қышқылдық байқалмады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер кешенінің негізінде геропротекторлық мақсаттағы сүзбе массасына төмен метоксилденген (LM) және жоғары метоксилденген (НМ) пектинінің түрлерін бірге қосудың оңтайлы технологиялық параметрлері ғылыми негізделіп, эксперименттер жүргізу арқылы расталды. Ең жоғарғы синергетикалық әсерге жалпы мөлшері 1,0% болатын 50:50 қатынасында ЛМ-пектин және НМ-пектин түрлерін бірге қолдану арқылы қол жеткізілетіні анықталды. рН 4,3 болғанда, бұл қоспа жүйенің ең тиімді құрылымын қамтамасыз етеді: ылғал ұстағыш қабілеті 78,0%-ға дейін артып, бұл бақылау көрсеткіштерінен 23%-ға және монопектиндердің тиімділігінен 6-10%-ға жоғары болды. Ғылыми түсініктемесі екі механизмнің қосымша әрекетіне негізделген: ЛМ-пектин сүзбенің Ca^{2+} иондары бар кальций көпірлері ("egg-box model") арқылы қаңқасын құрайды, ал НМ-пектин әлсіз қышқыл ортада сутегі байланыстары мен гидрофобтық өзара әрекеттесу арқылы желіні қосымша нығайтады. Құрамдас заттарды қосудың дифференциаланған схемасы негізделді. Полисахаридтің біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін ЛМ-пектинді бастапқы кезеңде (сарысудан ажыратып, жаңадан алынған сүзбеге) қосқан тиімді болып табылады. НМ-пектин соңғы

сатыда (дайын сүзбе массасына) қосу тиімді саналып, бұл технологиялық факторлардың этерификация дәрежесіне теріс әсерін азайтуға және оның соңғы рН мәнінде қоюландыру мүмкіндігін барынша пайдалануға ықпал етеді. Пектиндердің оңтайландырылған аралас түрлерін қолдану синерзис деңгейін жана өнімде 4,5 есе (3,2%-ға дейін) төмендетуге және тұтынушылық қасиеттерін сақтауды қамтамасыз ете отырып, оны сақтаудың 14-ші тәулігіне 8,0% шегінде ұстауға мүмкіндік береді. Өнім айқын антиоксиданттық тұрақтылығымен сипатталады: липидтік фракцияның асқынототық саны 14 күннен кейін 1,6 ммоль/кг құрады, бұл бақылау мәндерінен екі есе төмен (2,9 ммоль/кг) болды. Бұл жағдайда кальцийдің жоғары биожетімділігінің сақталуы расталып (82%), бұл сүйек тінінің жасқа байланысты өзгерістерінің алдын алу үшін өте маңызды болып табылады.

Алғыс, мүдделер қақтығысы (қаржыландыру)

Қаржыландырылу жүргізілмеді.

Авторлар, осы басылымның мазмұнына ықтимал ықпал етуі мүмкін қандай да мүдделер қақтығысы жоқ екендігі туралы хабарлайды.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Yadav K., Yadav S., Anand G., Yadav P. K., Yadav D. Hydrolysis of complex pectin structures: Biocatalysis and bioproducts // *Polysaccharide-degrading biocatalysts*. - 2023. – P. 205-225. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99986-1.00011-9>
2. Freitas C. M. P., Coimbra J. S. R., Souza V. G. L., Sousa R. C. S. Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review // *Coatings*. – 2021. – Vol. 11, № 8. – P. 922. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>
3. Said N. S., Olawuyi I. F., Lee W. Y. Pectin hydrogels: Gel-forming behaviors, mechanisms, and food applications // *Gels*. – 2023. – Vol. 9, № 9. – P. 732. <https://doi.org/10.3390/gels9090732>
4. Liang W.-l., Liao J.-s., Qi J.-R., Jiang W.-x., Yang X.-q. Physicochemical characteristics and functional properties of high methoxyl pectin with different degree of esterification // *Food Chemistry*. – 2022. – Vol. 375. – P. 131806. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131806>
5. Krishna Murthy C., Salomi Suneetha D., Vijaya Nirmala P., Tingirikari J. M. R. Low methylated pectin: structure, sources, functional properties, and emerging role in gut health and industrial applications // *International Polymer Processing*. – 2026. – Vol.41, № 1. – P.1-30. <https://doi.org/10.1515/ipp-2025-0083>
6. Lootens D., Capel F., Durand D., Nicolai T., Boulenguer P., Langendorff V. Influence of pH, Ca concentration, temperature and amidation on the gelation of low methoxyl pectin // *Food hydrocolloids*. – 2003. – Vol. 17, № 3. – P. 237-244. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(02\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(02)00056-5)
7. El-Nawawi S., Heikel Y. Factors affecting gelation of high-ester citrus pectin // *Process Biochemistry*. – 1997. – Vol. 32, № 5. – P. 381-385. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(96\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(96)00076-3)
8. Noor N., Shah A., Gani A., Gani A., Jhan F., ul Ashraf Z., Ashwar B. A., Ganaie T. A. Food biopolymers: Structural, functional and nutraceutical properties: Pectin. – New York: Springer, 2021. – P. 127-171. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-27061-2>
9. Krapivnytska I., Ladyka V., Ianchyk M., Omelchenko S., Melnyk O., Pertsevyi F. Scientific and practical aspects of pectin and pectin products: Monograph. – Kharkiv: Dissa+, 2022. – 228 p. ISBN: 978-617-7927-98-2
10. Kastner H., Kern K., Wilde R., Berthold A., Einhorn-Stoll U., Drusch S. Structure formation in sugar containing pectin gels—Influence of tartaric acid content (pH) and cooling rate on the gelation of high-methoxylated pectin // *Food Chemistry*. – 2014. – Vol. 144. – P. 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.127>
11. Capel F., Nicolai T., Durand D., Boulenguer P., Langendorff V. Calcium and acid induced gelation of (amidated) low methoxyl pectin // *Food Hydrocolloids*. – 2006. – Vol. 20, № 6. – P. 901-907. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.09.004>
12. Löfgren C., Hermansson A.-M. Synergistic rheological behaviour of mixed HM/LM pectin gels // *Food hydrocolloids*. – 2007. – Vol. 21, № 3. – P. 480-486. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.07.005>
13. Harte F., Montes C., Adams M., San Martin-Gonzalez M. Solubilized micellar calcium induced low methoxyl-pectin aggregation during milk acidification // *Journal of dairy science*. – 2007. – Vol. 90, № 6. – P. 2705-2709. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-629>
14. Sultana N. Biological properties and biomedical applications of pectin and pectin-based composites: A review // *Molecules*. – 2023. – Vol. 28, № 24. – P. 7974. <https://doi.org/10.3390/molecules28247974>
15. Pratsinis H., Mavrogonatu E., Zervou S.-K., Triantis T., Hiskia A., Kletsas D. Natural Product-Derived Senotherapeutics: Extraction and Biological Evaluation Techniques // *Oncogene-Induced Senescence: Methods and Protocols*. Part of the book series: *Methods in Molecular Biology*. - Springer, 2025. – Vol.2906. – P. 315-359. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-4426-3_19
16. Тюсюпова Б., Артыкова Д., Тажигаева С., Мусабеков К. Биополимерлер, қауын езбесі және сүзбе негізіндегі тағамдық сірнелердің реологиялық қасиеттері // *Алматы технологиялық университетінің хабаршысы*. – 2018. - № 3. – Б. 37-42.
17. Thakur B. R., Singh R. K., Handa A. K., Rao M. Chemistry and uses of pectin—A review // *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*. – 1997. – Vol. 37, № 1. – P. 47-73. <https://doi.org/10.1080/10408399709527767>

18. Gryger T., Stěnička M., Vincová A., Lorencová E., Šantová K., Salek R.-N. Role of pectin in maintaining the physicochemical, textural, rheological, and organoleptic properties of model quark cheese spreads during simulated vibrations and storage // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2025. – Vol. 310, Part 3. – P. 143449. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143449>

REFERENCES

1. Yadav K., Yadav S., Anand G., Yadav P. K., Yadav D. Hydrolysis of complex pectin structures: Biocatalysis and bioproducts // *Polysaccharide-degrading biocatalysts*. - 2023. – P. 205-225. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99986-1.00011-9>
2. Freitas C. M. P., Coimbra J. S. R., Souza V. G. L., Sousa R. C. S. Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review // *Coatings*. – 2021. – Vol. 11, № 8. – P. 922. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>
3. Said N. S., Olawuyi I. F., Lee W. Y. Pectin hydrogels: Gel-forming behaviors, mechanisms, and food applications // *Gels*. – 2023. – Vol. 9, № 9. – P. 732. <https://doi.org/10.3390/gels9090732>
4. Liang W.-l., Liao J.-s., Qi J.-R., Jiang W.-x., Yang X.-q. Physicochemical characteristics and functional properties of high methoxyl pectin with different degree of esterification // *Food Chemistry*. – 2022. – Vol. 375. – P. 131806. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131806>
5. Krishna Murthy C., Salomi Suneetha D., Vijaya Nirmala P., Tingirikari J. M. R. Low methylated pectin: structure, sources, functional properties, and emerging role in gut health and industrial applications // *International Polymer Processing*. – 2026. – Vol.41, № 1. – P.1-30. <https://doi.org/10.1515/ipp-2025-0083>
6. Lootens D., Capel F., Durand D., Nicolai T., Boulenguer P., Langendorff V. Influence of pH, Ca concentration, temperature and amidation on the gelation of low methoxyl pectin // *Food hydrocolloids*. – 2003. – Vol. 17, № 3. – P. 237-244. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(02\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(02)00056-5)
7. El-Nawawi S., Heikel Y. Factors affecting gelation of high-ester citrus pectin // *Process Biochemistry*. – 1997. – Vol. 32, № 5. – P. 381-385. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(96\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(96)00076-3)
8. Noor N., Shah A., Gani A., Gani A., Jhan F., ul Ashraf Z., Ashwar B. A., Ganaie T. A. Food biopolymers: Structural, functional and nutraceutical properties: Pectin. – New York: Springer, 2021. – P. 127-171. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-27061-2>
9. Krapivnytska I., Ladyka V., Ianchyk M., Omelchenko S., Melnyk O., Pertsevyi F. Scientific and practical aspects of pectin and pectin products: Monograph. – Kharkiv: Dissa+, 2022. – 228 p. ISBN: 978-617-7927-98-2
10. Kastner H., Kern K., Wilde R., Berthold A., Einhorn-Stoll U., Drusch S. Structure formation in sugar containing pectin gels–Influence of tartaric acid content (pH) and cooling rate on the gelation of high-methoxylated pectin // *Food Chemistry*. – 2014. – Vol. 144. – P. 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.127>
11. Capel F., Nicolai T., Durand D., Boulenguer P., Langendorff V. Calcium and acid induced gelation of (amidated) low methoxyl pectin // *Food Hydrocolloids*. – 2006. – Vol. 20, № 6. – P. 901-907. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.09.004>
12. Löfgren C., Hermansson A.-M. Synergistic rheological behaviour of mixed HM/LM pectin gels // *Food hydrocolloids*. – 2007. – Vol. 21, № 3. – P. 480-486. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.07.005>
13. Harte F., Montes C., Adams M., San Martin-Gonzalez M. Solubilized micellar calcium induced low methoxyl-pectin aggregation during milk acidification // *Journal of dairy science*. – 2007. – Vol. 90, № 6. – P. 2705-2709. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-629>
14. Sultana N. Biological properties and biomedical applications of pectin and pectin-based composites: A review // *Molecules*. – 2023. – Vol. 28, № 24. – P. 7974. <https://doi.org/10.3390/molecules28247974>
15. Pratsinis H., Mavrogonatou E., Zervou S.-K., Triantis T., Hiskia A., Kletsas D. Natural Product-Derived Senotherapeutics: Extraction and Biological Evaluation Techniques // *Oncogene-Induced Senescence: Methods and Protocols*. Part of the book series: *Methods in Molecular Biology*. - Springer, 2025. – Vol.2906. – P. 315-359. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-4426-3_19
16. Tüsiupova B., Artykova D., Tajibaeva S., Musabekov K. Biopolimerler, qayn ezbesi jáne süzbe negizindegi taghamdyq sirnelerdiń reologialyq qasıetteri [Rheological Properties of Food Gels Based on Biopolymers, Melon Pulp and Cottage Cheese] // *Almaty tehnologialyq ýniversitetiniń habarshysy*. – 2018. - № 3. – B. 37-42. [In Kazakh]
17. Thakur B. R., Singh R. K., Handa A. K., Rao M. Chemistry and uses of pectin—A review // *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*. – 1997. – Vol. 37, № 1. – P. 47-73. <https://doi.org/10.1080/10408399709527767>
18. Gryger T., Stěnička M., Vincová A., Lorencová E., Šantová K., Salek R.-N. Role of pectin in maintaining the physicochemical, textural, rheological, and organoleptic properties of model quark cheese spreads during simulated vibrations and storage // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2025. – Vol. 310, Part 3. – P. 143449. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143449>