

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПЕКТИНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЫРА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С.У.ЕРКЕБАЕВА *, М.Ж.БЕКБОЛ 

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

Способность пектина как гидроколлоида связывать и удерживать влагу является очень важным при производстве сыров, которые склонны к синерезису при хранении. Применение пектина при производстве сыра функционального назначения является необходимым технологическим способом для улучшения качественных показателей. Большое число активных групп низкоэтерифицированных молекул пектина, образуя водородные связи с молекулами воды, способствуют удержанию большего количества влаги в сыре, и тем самым, характеризуются более высокой влагоудерживающей способностью. Данные исследования свидетельствуют о низком значении твердости сыра, полученном без использования пектина. Это связано с тем, что белки молока формируют слабую гелевую сетку без дополнительных стабилизаторов. Исследование влияния различных концентрации низкоэтерифицированного и высокоэтерифицированного пектинов на основные качественные характеристики сыра на основе коровьего молока подтверждают целесообразность применения низкоэтерифицированного пектина для приготовления мягкого сыра. Определено оптимальное количество вносимого пектина, при котором достигается наилучшее сочетание качества и вкусовых характеристик. Применение низкоэтерифицированного пектина при приготовлении сыра в количестве 0,75% к массе молока позволяет получить мягкий сыр с улучшенной структурой. Это особенно полезно для функциональных продуктов, где важны стабильность и органолептические свойства. Добавление пектина при приготовлении сыра обеспечивает им преимущества, превосходящие те, которые обеспечиваются традиционными сырами.

Ключевые слова: низкоэтерифицированный, высокоэтерифицированный, текстура, влагоудерживающая способность, синерезис, степень этерификации.

ФУНКЦИОНАЛДЫ ІРІМШІК ӨНДІРУ ҮШІН ПЕКТИНДІ ТАҢДАУДЫҢ НЕГІЗДЕМЕСІ

С.У.ЕРКЕБАЕВА*, М.Ж.БЕКБОЛ

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

Пектиннің гидроколлоидтар ретінде ылғалды байланыстыру және ұстау қабілеті сақтау барысында синерезиске бейім ірімшіктер өндірісінде өте маңызды болып саналады. Функционалдық ірімшік өндірісінде пектинді қолдану сапалық көрсеткіштерді жақсартудың қажетті технологиялық әдісі болып табылады. Су молекулаларымен сутектік байланыс түзетін төмен этерификацияланған пектин молекулаларының белсенді топтарының көп болуы ірімшікте ылғалдың көбірек сақталуына ықпал етіп, осылайша, жогары ылғал ұстау қабілетімен сипатталады. Зерттеу деректері бойынша пектинді қолданбай алынған ірімшік қаттылығының төмен мәнін көрсетіп, бұл сүт ақуыздары қосымша тұрақтандырғыштарсыз әлсіз гель торын қалыптастыратындығымен байланысты. Сыыр сүтіне негізінде алынған ірімшіктің басты сапалық сипаттамаларына әр түрлі төмен этерификацияланған және жогары этерификацияланған пектин концентрациясының әсерін зерттеу жұмсақ ірімшік жасау үшін төмен этерификацияланған пектиндерді қолданудың орындылығын растайды. Қолданылатын пектиннің сапа мен дәм сипаттамаларының ең жақсы үйлесіміне қол жеткізілетін оңтайлы мөлшері анықталды. Ірімшік дайындау кезінде сүттің массасына 0,75%

мөлшерде төмен этерификацияланған пектинді қолдану құрылымы жақсартылған жұмсақ ірімшік алуға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе тұрақтылық пен түйсіктік қасиеттер маңызды болып саналатын функционалды өнімдер үшін пайдалы. Ірімшік жасау барысында пектинді қосу оларға дәстүрлі ірімшіктермен салыстырғанда артықшылықтары көп.

Негізгі сөздер: төмен этерификацияланған, жоғары этерификацияланған, түзілімі, ылғал ұстау қабілеті, синерезис, этерификация дәрежесі.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF PECTIN FOR THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL CHEESE

S.U.YERKEBAYEVA*, M.ZH.BEKBOL

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

The ability of pectin as a hydrocolloid to bind and retain moisture is very important in the production of cheeses that are prone to syneresis during storage. The use of pectin in the production of functional cheese is a necessary technological way to improve quality indicators. A larger number of active groups of low-esterified pectin molecules, forming hydrogen bonds with water molecules, help to retain more moisture in the cheese, and thus is characterized by a higher moisture retention capacity. These studies indicate a low value of the hardness of cheese obtained without the use of pectin, which is due to the fact that milk proteins form a weak gel network without additional stabilizers. The study of the effect of different concentrations of low-esterified and highly esterified pectins on the main qualitative characteristics of cow's milk cheese confirms the expediency of using low-esterified pectins for the preparation of soft cheese. The optimal amount of pectin applied has been determined, which achieves the best combination of quality and taste characteristics. The use of low-esterified pectin in the preparation of cheese in an amount of 0.75% by weight of milk makes it possible to obtain soft cheese with an improved structure. This is especially useful for functional products where stability and organoleptic properties are important. The addition of pectin in cheese preparation provides them with benefits beyond those provided by traditional cheeses.

Keywords: low-esterified, highly esterified, texture, moisture retention, syneresis, degree of esterification.

Введение

Пектины – природные полисахариды, полученные из клеточных стенок растений [1]. Пектин является гидроколлоидом, то есть способен связывать и удерживать влагу [2]. Это особенно важно для мягких сыров, так как они склонны к синерезису при хранении [3]. Пектин соответствует классу анионного полисахарида, обнаруженного в средней пластинке клеточной стенки высших растений, и отвечает за прочность и структуру растительных тканей, действуя как гидратирующий агент и обеспечивая цементирующий материал для целлюлозной сети [4]. Свойства пектина сильно зависят от степени этерификации. Пектины со степенью этерификации более 50% классифицируются как высокоэтерифицированные (HE), тогда как пектины со степенью этерификации менее

50% известны как низкоэтерифицированные (LE) [5].

Концентрация пектина в молоке играет важную роль в стабильности из-за взаимодействий между казеинами и полисахаридами. Выше определенной концентрации пектина взаимодействия истощения могут вызвать дестабилизацию молока и, следовательно, разделение фаз [6].

Основное применение пектина в молочной промышленности – стабилизация казеинов в подкисленном молоке для предотвращения синерезиса [7]. Вместе с тем, снижению синерезиса способствует влагоудерживающая способность пектина [8]. Применение пектина при производстве мягкого сыра улучшает текстуру и повышает выход сыра за счет связывания воды. Использование пектина при производстве сыра функционального назначения является необходимым технологичес-

ким способом для изменения состава, текстуры и функциональности сыров [9].

Целью исследования является определение оптимального типа и концентрации пектина, улучшающего основные качественные показатели мягкого сыра из коровьего молока.

Материалы и методы исследований

Исследование использования низкоэтерифицированных (LE) и высокоэтерифицированных (HE) пектинов в различных концентрациях в производстве функционального мягкого сыра из коровьего молока включает изучение их влияния на твердость, влагоудерживающую способность и синерезис (отделение сыворотки).

Для исследования были использованы следующие образцы:

- контрольный образец - без добавления пектина;
- образцы с низкоэтерифицированным и высокоэтерифицированным пектином концентрацией 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1,0% и 1,5% к массе молока.

Объекты исследования:

- Коровье молоко по «СТ РК 1063-2002. Сыры. Общие технические условия» жирностью 3,5 %;
- низкоэтерифицированный пектин (**LE**) GENU Pectin LM-104 AS со степенью этерификации $DE < 50\%$;
- высокоэтерифицированный пектин (**HE**) GENU Pectin YM-100H со степенью этерификации $DE > 50\%$.
- Мезофильная закваска *Lactobacillus lactis*.

Приготовление сыров.

Контрольный сыр. Контрольный сыр был приготовлен с использованием методики, описанной ниже. Первоначально 5 литров сырого молока с pH 6 было профильтровано с помощью сита и хлопчатобумажного полотна. Пастеризованное в течение 20 с при температуре $72 \pm 0,5^\circ\text{C}$ коровье молоко было охлаждено до $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Затем была добавлена мезофильная закваска *Lactobacillus lactis* и 0,015 % хлорида кальция от массы молока. Молочная смесь была осторожно перемешана в течение 5 минут и выдержана в покое в течение 30 минут. С целью для осаждения молочных белков был добавлен сычужный фермент в количестве 1,5 г. После проведения коагуляции длительностью 60 минут, сгусток был нарезан на кубики объемом 8

см³. Полученная смесь была осторожно перемешана в течение 10 минут при медленном повышении температуры до 40°C . После отделения от сыворотки сгусток был перенесен в круглую перфорированную форму и выдержан при комнатной температуре в течение 60 минут. Затем форма вместе с находящимся внутри полупродуктом была перевернута и оставлена в покое в течение 30 минут для стечения сгустка. Сыр был извлечен из формы и проведена посолка поваренной солью и перемешивание в течение 60 минут. Полученный сыр был промыт питьевой водой. Взвешенный на технических весах сыр был завернут в полиэтиленовую пленку и помещен в холодильник при температуре $4^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ для ускорения процессов созревания в течение 20 дней.

Сыры с низкоэтерифицированным и высокоэтерифицированным пектинами. Для приготовления сыров с добавлением пектина использовалась та же методология, что и описанная для приготовления контрольного сыра. В каждом случае было использовано по 5 литров пастеризованного молока ($72 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в течение 20 с), мезофильная закваска *Lactobacillus lactis* и 0,015 % хлорида кальция от массы молока. Добавление низкоэтерифицированного и высокоэтерифицированного пектинов в количестве 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 % и 1,5 % к массе молока проводили перед добавлением 1,5 г сычужного фермента. Дальнейший процесс приготовления сыра был проведен в соответствии с методикой приготовления контрольного сыра.

Полученный вес для сыра с высокоэтерифицированным пектином составил 745 г, а для сыра с низкоэтерифицированным пектином — 753 г (оба с использованием 5 литров свежего молока). Разработанные сыры хранились в холодильнике в течение 20 дней.

Методы определения:

- Определение твердости мягкого сыра методом теста двойного сжатия (TPA);
- Определение синерезиса спектрофотометрическим методом по ISO/TS 11869.
- Определение влагоудерживающей способности методом центрифугирования.

Результаты и их обсуждение

Для определения типа и количества вносимого пектина изучено их влияние на основные качественные показатели мягкого сыра. Основной задачей исследовательской работы было

определение типа и оптимального количества пектина, вносимого в молоко, для возможности получения в меру плотного сычужного сгустка, обладающего хорошими синергетическими свойствами.

Результаты проведенных исследований представлены в нижеследующих рисунках 1, 2 и 3, которые свидетельствуют о влиянии типа и количества вносимого низко- и высокоэтерифицированного пектина на влагоудерживающую способность, синерзис, твердость мягкого сыра.

Влагоудерживающая способность.

Влагоудерживающая способность является одной из основных показателей при производстве сыра, поэтому данный показатель важен не только для текстуры, но и для сохранения более длительного срока хранения [10]. Значения влагоудерживающей способности низкоэтерифицированного и высокоэтерифицированного пектинов при их различной концентрации представлены в соответствии с рисунком 1.

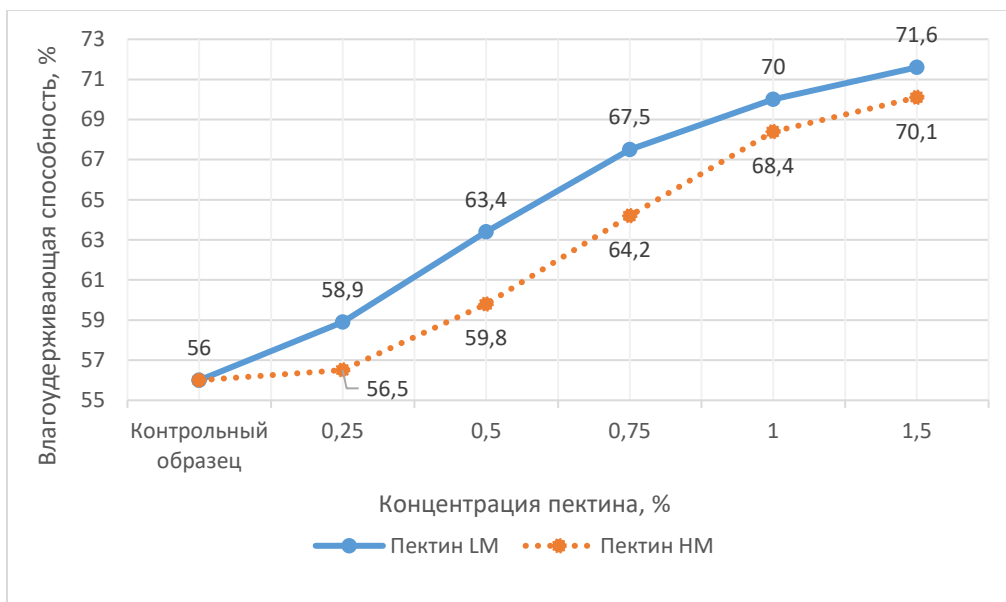


Рисунок 1. Влагоудерживающая способность пектинов

Данные рисунка 1 показывают о том, что низкоэтерифицированный пектин (LM) характеризуется более высокой влагоудерживающей способностью. Это связано с тем, что низкоэтерифицированные молекулы пектина имеют больше активных групп, которые могут образовывать водородные связи с молекулами воды, что способствует удержанию влаги в сыре. Высокоэтерифицированный пектин, наоборот, менее эффективно удерживает воду, так как более этерифицированные молекулы имеют меньше водородных связей, и, следовательно, их способность удерживать воду в сыре снижена [11]. С увеличением концентрации пектина (от 0,25% до 1,0%), влагоудерживающая способность также увеличивается. Это объясняется тем, что большее количество пектина способствует лучшему связыванию воды и удержанию её в структуре

сыра. Однако, если концентрация пектина слишком высокая, это может привести к изменению текстуры сыра, а также появлению нежелательных вкусовых и текстурных изменений [12]. С применением в нашем исследовании низкоэтерифицированного пектина, наблюдается улучшение консистенции сыра, более плотная текстура и более стабильная форма. Наилучшие результаты влагоудерживающей способности наблюдаются при добавлении низкоэтерифицированного пектина в количестве 0,5–0,75% к массе молока, который способствует эффективному удерживанию влаги и улучшению текстуры сыра, не нарушая его органолептических свойств. Высокоэтерифицированный пектин с меньшей степенью этерификации, в количестве 0,25% и 0,5% к массе молока оказал умеренное влияние на влагоудерживающую способность. Вышеприведенные результаты влияния типа и количества вносимого пектина на

влагоудерживающую способность, что для оптимальных показателей влагоудержания сыра в сочетании с хорошими органолептическими свойствами, оптимальным является применение низкоэтерифицированного пектина в количестве 0,5–0,75%.

Твердость сыра. Результаты рисунка 2 свидетельствуют о том, что твердость мягкого сыра с пектином и без пектина может значительно отличаться из-за влияния пектина на структуру сырной массы.

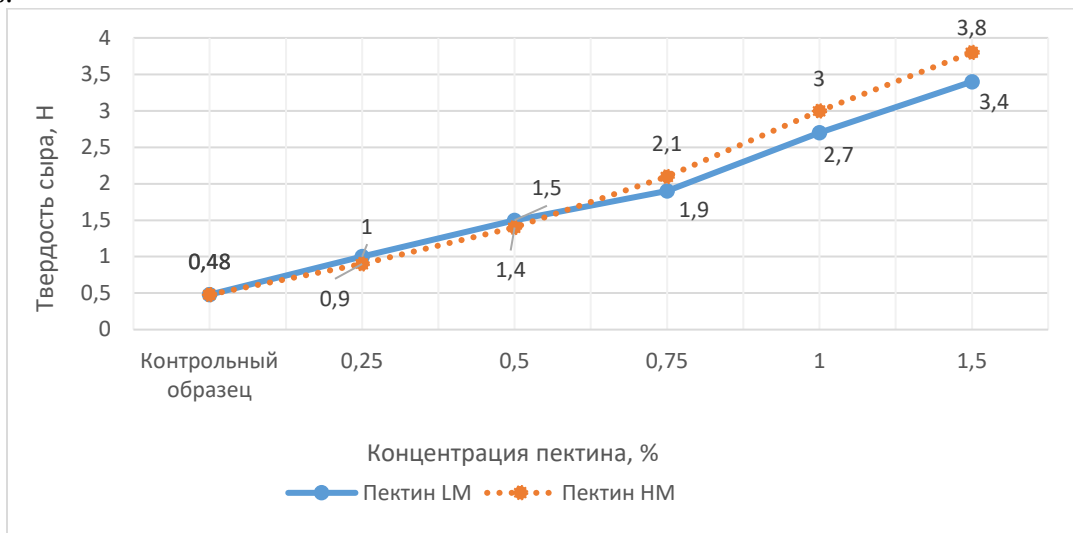


Рисунок 2. Твердость сыра в зависимости от количества пектина

В соответствии с данными, представленными на рисунке 2, твердость сыра, полученного без использования пектина низкая. Это связано с тем, что белки молока формируют слабую гелевую сетку без дополнительных стабилизаторов. Применение пектина при приготовлении мягкого сыра привело к увеличению его твердости, сыр приобрел более плотную, однородную и пластичную консистенцию. Пектин взаимодействует с кальцием и другими ионами, образуя устойчивую сетчатую структуру, что повышает плотность сыра [13]. Увеличение концентрации с 0,25 % до 1,0 % привело к росту твердости из-за взаимодействия с кальцием молока. Низкоэтерифицированный пектин (LE) обеспечивает значительно более плотную текстуру, чем высокоэтерифицированный пектин (HE), по мере увеличения концентрации пектина в молоке [14]. Оптимальной дозировкой был низкоэтерифицированный пектин в диапазоне 0,5–0,75 %. так как при избытке пектина наблюдалась излишняя жесткость.

Консистенция мягкого сыра, полученного без применения пектина, была умеренно мягкой и с заметной упругостью. Низкоэтерифицированный пектин оказал более сильное влияние на твердость сыра по сравнению с высокоэтерифицированным пектином. Высокоэтерифицированный пектин менее эффективен, если не используются дополнительные желирующие условия.

Синерезис. Процесс выделения сыворотки из сырного сгустка (геля) при его уплотнении, т.е. синерезис является одним из важных этапов приготовления сыра. Поэтому регулирование условий синерезиса для достижения нужной влажности является обязательным процессом производства сыра [15, 16]. Сведения в соответствии с рисунком 3 свидетельствуют о том, что низкоэтерифицированный пектин (LE) снижает отделение сыворотки более эффективно, чем высокоэтерифицированный пектин (HE), выше 0,75%.

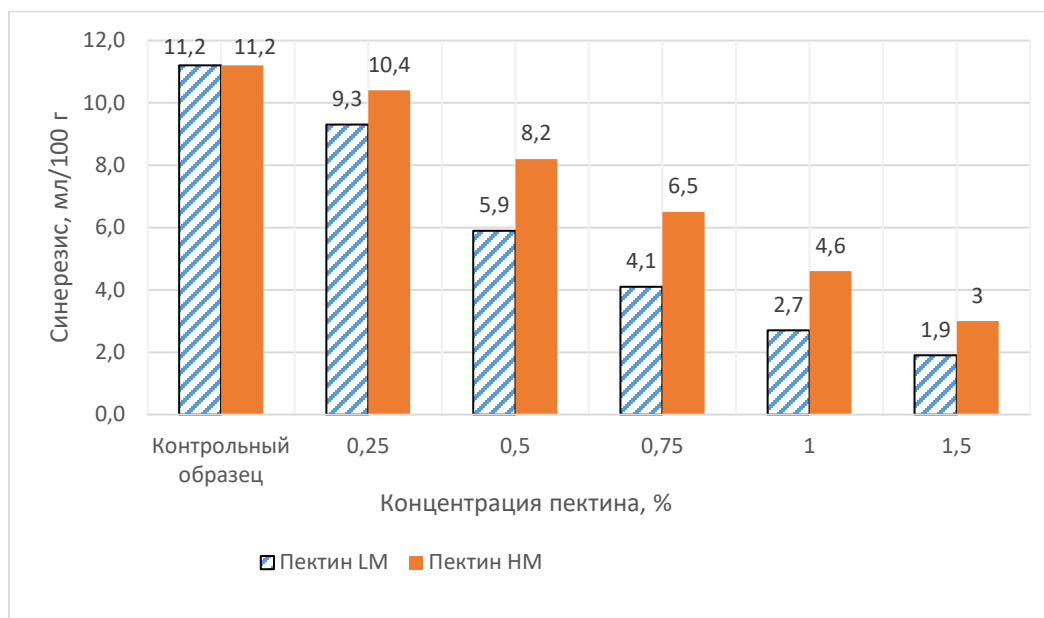


Рисунок 3. Потеря сыворотки через 7 дней при 4°C

Применение пектина привело к увеличению содержания влаги в сыре. Наблюдается увеличение жесткости сычужных гелей и снижение синерезиса по мере увеличения концентрации высокоэтилированного пектина с 0,25 % до 1,5 % из-за более компактной микроструктуры.

На основе результатов, полученных нами при проведении исследования по выявлению оптимального типа и концентрации пектина, улучшающего основные качественные показатели мягкого сыра из коровьего молока, была составлена таблица данных по основным качественным показателям (табл. 1).

Таблица 1. Данные по удержанию влаги, pH, синерезису и текстурным показателям (твердость/упругость) по типу пектина

Концентрация пектина, %	Тип пектина	Влагоудерживающая способность, %	Синерезис, мл/100 г	pH продукта	Твердость, Н	Комментарий
Контрольный образец	Пектин не используется	56	11,2	5,6	0,48	Консистенция умеренно мягкая, с заметной упругостью
0,25	низкоэтилированный пектин	58,9	9,3	6,2	1,0	Слабое гелеобразование, наблюдается отделение влаги
	высокоэтилированный пектин	56,5	10,4	6,0	0,9	Изменения отсутствуют
0,5	низкоэтилированный пектин	63,4	5,9	6,1	1,5	Улучшение текстуры, Наблюдается стабильное удерживание влаги
	высокоэтилированный пектин	59,8	8,2	5,9	1,4	Наблюдается начальное уплотнение массы
0,75	низкоэтилированный пектин	67,5	4,1	6,0	1,9	Оптимальный вариант по структуре и органолептическим свойствам
	высокоэтилированный пектин	64,2	6,5	5,8	2,1	Наблюдается начало "резиновой" текстуры
1,0	низкоэтилированный пектин	70,0	2,7	5,9	2,7	Наблюдается переуплотнение и ломкость
	высокоэтилированный пектин	68,4	4,6	5,7	3,0	Наблюдается избыточная плотность и ухудшение вкуса
1,5	низкоэтилированный пектин	71,6	1,9	5,8	3,4	Структура чрезмерно плотная, нехарактерная
	высокоэтилированный пектин	70,1	3,0	5,6	3,8	Полученная масса вязкая и тяжелая

Примечание - отделившаяся сыворотка за 24 ч хранения при 4°C

Согласно таблице 1 низкоэтерифицированный пектин в количестве 0.75% является оптимальной дозировкой для приготовления мягкого функционального сыра, которая обеспечивает высокую степень удержания влаги, низкий синерезис и сбалансированную текстуру. Высокоэтерифицированный пектин рекомендуется не выше 0.5–

0.75%, особенно в случаях, когда структура продукта должна быть более стабильной при добавлении пребиотических компонентов, но следует контролировать кислотность среды.

Характеристики сыра, приготовленного с использованием низкоэтерифицированного и высокоэтерифицированного пектинов различной концентрации представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристика сыра, приготовленного с использованием низкоэтерифицированного и высокоэтерифицированного пектинов различной концентрации

Концентрация пектина, %	Характеристика сыра	
	Низкоэтерифицированный пектин	Высокоэтерифицированный пектин
0.25	Незначительное улучшение удержания влаги, структура мягкая, наблюдается слабый синерезис	Эффект не наблюдается, структура рыхлая
0.5	Увеличение вязкости, снижение синерезиса, структура стабильная	Лёгкое уплотнение массы, наблюдается несбалансированная текстура
0.75	Хорошее влагоудержание, однородная структура	Наблюдается повышение плотности и тягучесть
1.0	Слишком плотная структура, наблюдается ломкость	Наблюдается чрезмерная плотность, снижение органолептических показателей
1.5	Чрезмерное гелеобразование, текстура нехарактерна для мягкого сыра	Тяжелая, вязкая масса, наблюдается ухудшение вкусовых характеристик

Результаты, представленные в таблице 2 свидетельствуют, что низкоэтерифицированный пектин в концентрации 0.5–0.75 % показывает оптимальное сочетание текстуры, влагоудержания и органолептических свойств. Добавление 0,75% низкоэтерифицированного пектина (DE 35%) в молоко позволяет получить мягкий сыр с улучшенной структурой: нежный, но устойчивый к деформации, с минимальным отделением сыворотки. Это особенно полезно для функциональных продуктов, где важны стабильность и органолептические свойства.

Закключение, выводы

Результаты экспериментов подтвердили, что концентрация пектина в молоке играет важную роль в стабильности и основных показателях сыра. Исследование поддерживает использование низкоэтерифицированного пектина в концентрации от 0,5% до 0,75% в качестве оптимальной концентрации для производства функциональных мягких сыров. Этот диапазон улучшает текстуру и снижает синерезис без отрицательного влияния на вкус или внешний вид. Низкоэтерифицированные молекулы пектина, имея больше активных групп,

способных образовывать водородные связи с молекулами воды, повышают влагоудерживающую способность в сыре. Низкоэтерифицированный пектин идеально подходит для сыра благодаря своей способности образовывать гели, что делает его пригодным для улучшения структуры и уменьшения отделения сыворотки в мягких сырах.

Благодарность, конфликт интересов (финансирование)

Финансирование не осуществлялось.

Авторы заявляют, что у них нет никакого конфликта интересов, который потенциально мог бы повлиять на содержание данной публикации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zdunek A., Pieczywek P. M., Cybulska J. The primary, secondary, and structures of higher levels of pectin polysaccharides // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2021. – Vol. 20, № 1. – P. 1101-1117. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12689>
2. Christensen S. H. Pectins // Food hydrocolloidsCRC Press, 2020. – P. 205-230.
3. Tabassum N., Joshi S., Islam R. U. Functional and nutritional aspects of hydrocolloids and lipids // Functional food

products and sustainable health. – 2020. – P. 169-189. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4716-4_11

4. Anderson C. T. Pectic polysaccharides in plants: structure, biosynthesis, functions, and applications // Extracellular sugar-based biopolymers matrices. – 2019. – P. 487-514. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12919-4_12

5. Ciriminna R., Fidalgo A., Scurria A., Ilharco L. M., Pagliaro M. Pectin: New science and forthcoming applications of the most valued hydrocolloid // Food Hydrocolloids. – 2022. – Vol. 127. – P. 107483. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107483>

6. Sun W., Zheng Y., Chen S., Chen J., Zhang H., Fang H., Ye X., Tian J. Applications of polysaccharides as stabilizers in acidified milks // Food Reviews International. – 2023. – Vol. 39, № 1. – P. 601-617. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1923732>

7. Ворошилин Р., Махамбетов М., Костельцева Ю., Головкин К., Маклюк В. Актуальность разработки комплексной ресурсосберегающей технологии производства желатина и высокобелковых ингредиентов из вторичных сырьевых ресурсов животного происхождения // Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий: Сборник материалов I Международного конгресса. – 2022. – С.85-86. <https://doi.org/10.21603/I-IC-26>

8. Уткина О., Бычкова В. Использование стабилизаторов в производстве кисломолочных напитков // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1. – С. 14-20. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2020_1_14

9. Suryawanshi N., Naik S., Eswari J. S., Nazir F., Saeed M., Abbas A., Majeed M., Israr M., Zahid H., Nasir M. Food science and applied biotechnology // Food Science and Applied Biotechnology. – 2022. – Vol. 2022. <https://doi.org/10.30721/fsab2022.v5.i1.165>

10. Nájera A. I., Nieto S., Barron L. J. R., Albisu M. A review of the preservation of hard and semi-hard cheeses: Quality and safety // International journal of environmental research and public health. – 2021. – Vol. 18, № 18. – P. 9789. <https://doi.org/10.3390/ijerph18189789>

11. Liu X., Le Bourvellec C., Renard C. M. Interactions between cell wall polysaccharides and polyphenols: Effect of molecular internal structure // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2020. – Vol. 19, № 6. – P. 3574-3617. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12632>

12. Ibáñez R. A., Waldron D. S., McSweeney P. L. Effect of pectin on the composition, microbiology, texture, and functionality of reduced-fat Cheddar cheese // Dairy Science & Technology. – 2016. – Vol. 96. – P. 297-316. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0265-y>

13. Gao F., Mao X., Wang P., Wang R., Li H., Ma H., Chen C., Song S., Li D. The effect of degree of esterification of pectin on the grainy properties of post-heated fermented milk // Food Hydrocolloids. – 2025. – P. 111484. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111484>

14. Nabyeva Z., Zhaxenbay N., Iskakova G., Kizatova M., Akhmetsadykova S. Devising technology for dairy products involving low esterified pectin products // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 111, № 11. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233821>

15. Bauland J., Roustel S., Faiveley M., Famelart M. H., Croguennec T. Enzymatic Gelation of Milk, Curd Draining and Cheese Yields // Milk and Dairy Products: Some Challenges for the Dairy Industry. – 2024. – P. 129. <https://doi.org/10.1002/9781394312405.ch4>

16. Galli B. D., Hamed A. M., Sheehan J. J., King N., Abdel-Hamid M., Romeih E. Technological solutions and adaptive processing tools to mitigate the impact of seasonal variations in milk composition on Cheddar cheese production—A review // International Journal of Dairy Technology. – 2023. – Vol. 76, № 3. – P. 449-467. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12951>

REFERENCES

1. Zdunek A., Pieczywek P. M., Cybulska J. The primary, secondary, and structures of higher levels of pectin polysaccharides // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. Vol. 20, № 1. P. 1101–1117. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12689>

2. Christensen S. H. Pectins // Food Hydrocolloids. CRC Press, 2020. P. 205–230.

3. Tabassum N., Joshi S., Islam R. U. Functional and nutritional aspects of hydrocolloids and lipids // Functional Food Products and Sustainable Health. 2020. P. 169–189. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4716-4_11

4. Anderson C. T. Pectic polysaccharides in plants: structure, biosynthesis, functions, and applications // Extracellular Sugar-Based Biopolymers Matrices. 2019. P. 487–514. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12919-4_12

5. Ciriminna R., Fidalgo A., Scurria A., Ilharco L. M., Pagliaro M. Pectin: New science and forthcoming applications of the most valued hydrocolloid // Food Hydrocolloids. 2022. Vol. 127. P. 107483. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107483>

6. Sun W., Zheng Y., Chen S., Chen J., Zhang H., Fang H., Ye X., Tian J. Applications of polysaccharides as stabilizers in acidified milks // Food Reviews International. 2023. Vol. 39, № 1. P. 601–617. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1923732>

7. Voroshilin R., Makhambetov M., Kosteltseva Yu., Golovko K., Maklyuk V. Aktual'nost' razrabotki kompleksnoi resursosberegayushchei tekhnologii proizvodstva zhelatina i vysokobelkovykh ingredientov iz vtorichnykh syr'evykh resursov zhivotnogo proiskhozhdeniya [Relevance of developing an integrated resource-saving technology for the production of gelatin and high-protein ingredients from secondary raw materials of animal origin] // Noveishie dostizheniya v oblasti meditsiny, zdravookhraneniya i zdorov'esberegayushchikh tekhnologii: Sbornik materialov I