Влияние криостабилизаторов в составе творожного сыра на криоскопическую депрессию*

Саргис Симонович Арутюнян, аспирант
Владимир Владимирович Кондратенко, д-р техн. наук, доцент, старший научный сотрудник
Дарья Николаевна Глазунова, инженер
Евгения Юрьевна Агаркова, д-р техн. наук, старший научный сотрудник
E-mail: e.agarkova@vnimi.org
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва

Разработка рецептур молочных продуктов, устойчивых к замораживанию и оттаиванию при транспортировке в условиях низких температур, является актуальной задачей для регионов с экстремальными климатическими условиями, особенно в Арктической зоне, где логистические цепочки сопряжены с длительным воздействием отрицательных температур. Экспериментально определены температуры замерзания капиллярно-связанной влаги для двух блоков вариантов: без пшеничных пищевых волокон (блок *A*) и с их внесением (блок *B*). В контроле температура начала кристаллизации составила −1,3 °С. Максимальная криоскопическая депрессия в блоке *A* достигнута при совместном внесении глицерина, полидекстрозы, сорбитола и сахарозы (вариант A_5) и составила −5,45 °С. Введение пищевых волокон в большинстве случаев снижало криоскопический эффект, причем для варианта с сахарозой это снижение превысило 0,8 °С. Расчет методом сосредоточенной теплоемкости показал, что время охлаждения от +15 до начала процесса кристаллизации влаги при температуре окружающей среды −40 °С в блоке *A* увеличилось только в варианте A_5 (до 71,36 мин), тогда как в блоке *B* – во всех вариантах, кроме B_6. Максимальное время зафиксировано для варианта B_5 (пищевые волокна, глицерин, полидекстроза, сорбитол, сахароза) и составило 80,24 мин, что на 8,88 мин превышает лучший показатель среди образцов без волокон и на 16 мин следующий по величине результат. Рекомендовано использовать данную комбинацию криостабилизаторов для продуктов, предназначенных для длительной транспортировки в условиях Крайнего Севера и Арктической зоны и перепада температур.

Ключевые слова: творожный сыр, криоскопическая депрессия, замораживание, криостабилизаторы, полиолы, пищевые волокна, время охлаждения

Для цитирования: Влияние криостабилизаторов в составе творожного сыра на криоскопическую депрессию / С. С. Арутюнян, В. В. Кондратенко, Д. Н. Глазунова, Е. Ю. Агаркова // Сыроделие и маслоделие. 2026. № 4. С. 59–67. https://doi.org/10.21603/2073-4018-2026-4-77

Введение

Творожные сыры представляют собой ценный молочный продукт, характеризующийся высокой пищевой и биологической ценностью. Благодаря творогу в их составе содержатся полноценные молочные белки, легкоусвояемый кальций, фосфор, а также витамины группы В, играющие важную роль в энергетическом обмене и функционировании нервной системы [1, 2]. Мягкая пластичная консистенция и нейтральный вкус творожнх сыров обеспечивают их широкое применение как в рационе питания, так и в кулинарии, а обогащение их растительными компонентами позволяет дополнительно повышать пищевую ценность и расширять ассортимент [3]. Именно сочетание высокой пищевой ценности, технологической универсальности и относительно длительных сроков хранения делает творожные сыры перспективными продуктами для включения в рационы питания в условиях ограниченного доступа к свежим молочным продуктам.

Особую значимость такие продукты приобретают в контексте продовольственного обеспечения регионов Крайнего Севера и Арктической зоны России. Как показано в обзоре А. В. Истомина и соавторов, в структуре фактического питания населения Арктической зоны Российской Федерации отмечается наибольший дефицит по уровню потребления молока и молочных продуктов при одновременном превышении рекомендуемых норм потребления сахара на 44 % и дефиците эссенциальных белков, большинства витаминов и минеральных веществ [4]. Выявленная несбалансированность рационов отражается на белковом, витаминном и минеральном обменах, показателях антиоксидантного статуса и биологического возраста. В этих условиях творожные сыры, обладающие высокой пищевой ценностью и относительно длительными сроками хранения, могут служить эффективным инструментом коррекции рационов [4, 5].

*Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания FNSS-2025-0003.

Однако реализация этого потенциала осложняется спецификой продовольственного обеспечения северных и арктических территорий. В силу неблагоприятных природных условий, отсутствия благоприятных условий для растениеводства и животноводства основу продовольственного обеспечения этих территорий формирует ввоз продуктов питания из других регионов [4, 5]. Население отдельных арктических территорий испытывает проблемы с доступностью продовольственных товаров: как правило, в этих регионах отмечается продовольственный дефицит на фоне узкого перечня завозимых продуктов и высоких цен. В связи с этим организация бесперебойных поставок качественных молочных продуктов в районы Крайнего Севера является одной из приоритетных задач продовольственной безопасности [4]. При этом наиболее уязвимым звеном в цепочке «производитель – потребитель» становится транспортировка, поскольку именно на этом этапе продукт подвергается наиболее интенсивному воздействию перепадов температур.

Транспортировка творожных сыров в условиях экстремально низких температур сопряжена с риском возможности незапланированного замораживания продукта. Процессы кристаллизации льда и последующего размораживания приводят к необратимым изменениям структуры белковой матрицы, отделению влаги и ухудшению потребительских свойств [6, 7]. Современные исследования подтверждают, что замораживание и холодильное хранение молочных продуктов сопровождаются перекристаллизацией льда, повреждением белковых комплексов и потерей функциональных свойств [8, 9]. Для практического применения, особенно в регионах с экстремально низкими температурами, критически важной становится устойчивость продукта к замораживанию в процессе транспортировки и хранения. Одним из способов повышения такой устойчивости является снижение температуры замерзания капиллярно-связанной влаги путем введения в рецептуру криостабилизирующих добавок – полиолов, сахарозы и поваренной соли [7, 10].

При этом механизмы их совместного действия в многокомпонентной молочной матрице остаются недостаточно изученными, что не позволяет целенаправленно проектировать рецептуры с заданной криоскопической устойчивостью. Перспективным направлением является использование криостабилизирующих добавок, которые, как показано в работах последних лет, способны снижать повреждение структуры творожного сыра и кисломолочных продуктов при замораживании [11, 12]. Растительные полисахариды рассматриваются как природные криостабилизаторы, механизмы действия которых связаны с подавлением нуклеации и рекристаллизации льда [13]. Кроме того, активно изучаются стратегии криопротекции пробиотических микроорганизмов в различных пищевых матрицах, включая молочные [14], а также антифризные пептиды молочного происхождения [15].

Целью работы являлась оценка влияния последовательного введения криостабилизаторов на криоскопическую депрессию творожного сыра.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали творожный сыр, произведенный из обезжиренного творога с массовыми долями жира и белка 0,2 и 16,0 % и сливок с массовой долей жира 35 %. Было выработано два блока образцов – A и B (каждый блок включал 6 рецептур). Массовая доля творога составила 80 % (T), массовая доля сливок – 20 %. Далее последовательно вносили криостабилизаторы: каждый следующий вариант включал все компоненты предыдущего и дополнительно новый. Массовые доли добавок в готовом продукте составляли: глицерин – 1,5 %, полидекстроза – 4,0 %, сорбитол – 2,5 %, сахароза – 1,0 %, поваренная соль – 0,8 %. Таким образом, вариант A_5 содержал глицерин, полидекстрозу, сорбитол и сахарозу, а вариант A_6 все перечисленные компоненты, включая поваренную соль. В блоке B дополнительно к вышеуказанным компонентам вносили пшеничные пищевые волокна в количестве 0,5 % (сверх указанных компонентов). В качестве пищевых волокон использовали пшеничное волокно «Биоцель XLG200» (ООО «Биофабрика», Россия).

Готовые образцы, помещенные в упаковку из пищевого пластика цилиндрической формы с внутренним диаметром 80 мм слоем 40 мм, охлаждали до комнатной температуры (~23 °C), после чего в геометрический центр каждого образца через крышку упаковки вводили термощуп логгера HiTemp140-PT (MadgeTech, Inc., США). Логгеры закрепляли на упаковках с образцами. Упаковки с образцами и логгерами помещали в морозильную камеру (DW-40W138, Haier Biomedical, Китай),

где выдерживали при температуре −40 °С в течение 24 ч. Температурный режим выбран исходя из среднего температурного режима Крайнего Севера. Температуру в геометрическом центре образцов фиксировали с дискретностью 1 мин. Все исследования проводили в трехкратной повторности. Для всех вариантов на исследуемых временных интервалах полуразмах доверительного интервала не превышал 0,11 °С при α = 0,05.

Для расчета времени охлаждения до достижения точки начала кристаллизации влаги творожного сыра при температуре окружающей среды −40 °С (далее – время охлаждения) использовали метод сосредоточенной теплоемкости (Lumped Capacitance Method) [16], основанный на законе охлаждения Ньютона (Newton's Law of Cooling) [17]:

$$t(\tau) = t_{\infty} + (t_0 - t_{\infty}) \times \exp(-\frac{\tau}{\tau_c})$$

где t_0 – начальная температура, °С; t_{∞} – температура окружающей среды, °С; τ – время охлаждения продукта, с; τ_c – постоянная времени охлаждения, c; $t(\tau)$ – температура продукта после охлаждения в течение времени τ, °С.

Результаты и их обсуждение

Матрица творожного сыра представляет собой комплекс взаимодействующих компонентов белковой, жировой, углеводной и минеральной природы с разветвленной системой молекулярных связей, в объеме которого присутствует некоторое количество капиллярно-связанной влаги, формирующей в итоге раствор низкомолекулярных и олигомерных подвижных составляющих. В силу второго закона Рауля этот раствор обладает некоторой исходной криоскопической депрессией относительно дистиллированной воды. Внесение в систему криостабилизаторов теоретически должно приводить к увеличению криоскопической депрессии соответственно свойствам добавки и ее моляльной концентрации, что учтено использованием молекулярных масс каждого из введенных криостабилизаторов и исходных компонентов, обладающих криостабилизирующим эффектом, а также значений изотонического коэффициента тех из них, которые являются электролитами. Однако при этом возможно неконтролируемое взаимодействие добавки с элементами творожной матрицы, что в итоге может уменьшить влияние на снижение температуры замерзания. В этой связи были проведены исследования влияния накопительного эффекта последовательного введения криостабилизаторов и вкусовых компонентов (сахароза, хлорид натрия) в рецептуру творожного сыра на проявление криоскопической депрессии.

В исследовании участвовало два блока вариантов A и B, отличающихся отсутствием в составе вариантов блока A пищевых волокон. Каждый из блоков был представлен шестью вариантами: вариант A_1 включал только систему «творог – сливки» при T = 80 %; в вариант A_2 был добавлен глицерин в количестве, соответствующем норме, принятой



Источник изображения: magnific.com

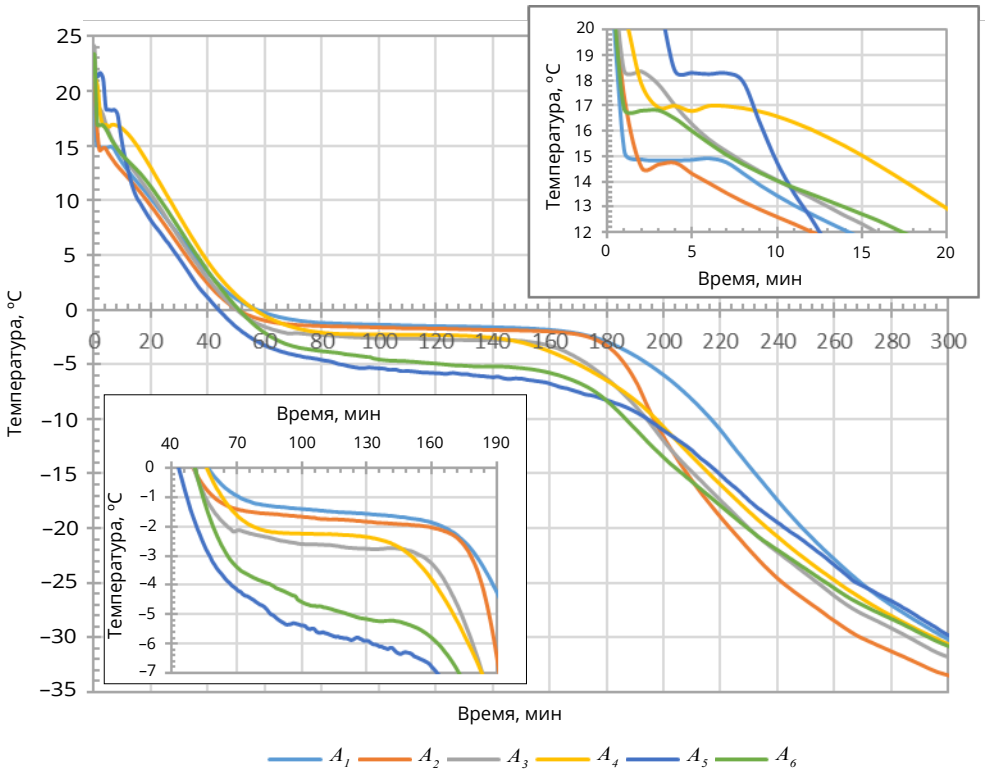
ранее при моделировании (для обозначения внесения каждого дополнительного компонента введем систему условных обозначений: $A_{i+1} = A_i + d_i$, где d_i – криостабилизирующая добавка с порядковым номером i); вариант $A_3 = A_2$ + полидекстроза и вариант $A_4 = A_3$ + сорбитол (количество полидекстрозы и сорбитола также соответствовало норме, принятой при моделировании); вариант $A_5 = A_4$ + сахароза и вариант $A_6 = A_5$ + поваренная соль (массовые доли сахарозы и поваренной соли были приняты 1,0 и 0,8 % соответственно); все варианты блока B могут быть представлены в единой нотации $B_i = A_i$ + пищевые волокна (массовая доля пищевых волокон принята 0,5 % на основании проведенных исследований). Результаты исследования представлены на рисунках 1 и 2.

Анализ результатов показывает, что в динамике охлаждения и последующего замораживания во всех исследованных вариантах имеют место два плато с различной температурой и временем начала, наклоном и временем окончания. В обоих блоках вариантов плато 1 и плато 2 приходятся на области низких положительных и отрицательных температур соответственно.

На рисунках 1 и 2 основные кривые дополнены увеличенными вставками, которые представляют собой увеличенные фрагменты кривых охлаждения. Верхняя вставка детализирует начальный участок охлаждения (0–20 мин, 12–20 °С), где проявляется верхнее плато, а нижняя вставка – область отрицательных температур, соответствующую нижнему плато.

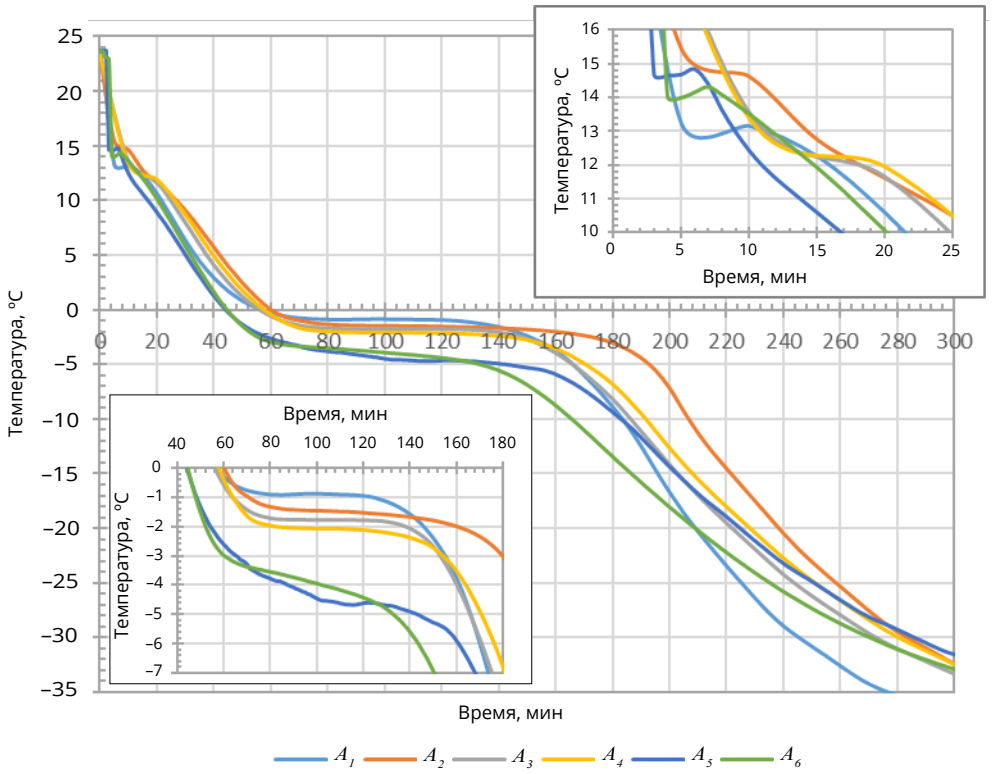
В условиях относительно невысокой жирности творожного сыра, получаемого по рассматриваемой технологии, плато 1, вероятно, обусловлено преимущественно частичным структурированием раствора в объеме капиллярно-связанной влаги, выраженным переходом этого раствора из жидкого состояния в гелеобразное.

Такой переход детерминирован составом раствора, а также взаимодействием его компонентов с функциональными группами макромолекул матрицы продукта – фосфосериновыми остатками казеинов, карбоксильными группами аспарагиновой и глутаминовой кислот, аминогруппами лизина и гуанидиновыми группами аргинина, гидроксильными группами серина и треонина, а также фосфатными



Примечание: на вставках показаны увеличенные фрагменты кривых: верхняя – начальный участок охлаждения, нижняя – область, в пределах которой происходит кристаллизация.

Рисунок 1. Динамика охлаждения и замораживания творожного сыра по вариантам блока A



Примечание: на вставках показаны увеличенные фрагменты кривых: верхняя – начальный участок охлаждения, нижняя – область, в пределах которой происходит кристаллизация.

Рисунок 2. Динамика охлаждения и замораживания творожного сыра по вариантам блока *B*

и холиновыми группами фосфолипидов оболочек жировых шариков. Эти группы, будучи ковалентно связанными с белковой и липидной матрицей и частично ионизированными при pH 4,5–5,0, взаимодействуют с молекулами воды, полиолами, полидекстрозой, сахарозой и ионами NaCl посредством ион-дипольных взаимодействий, водородных связей и электростатического притяжения, что определяет степень структурирования капиллярно-связанной влаги и температуру ее перехода в гелеобразное состояние. Согласно теории преимущественного исключения (preferential exclusion theory) [18, 19], полиолы и сахароза не образуют прочных связей с поверхностью белка, а преимущественно вытесняются из его гидратной оболочки, что термодинамически стабилизирует нативную конформацию макромолекул и увеличивает количество гидратированной воды. Прямые экспериментальные подтверждения этого механизма в случае казеина были описаны в исследованиях A. Mora-Gutierrez и H. M. Farrell с использованием ЯМР-спектроскопии [20].

При этом, в зависимости от природы дополнительно вносимых компонентов, при отсутствии в системе пищевых волокон температурная вариабельность плато 1 в блоке *A* (без пищевых волокон) ограничена интервалом от 14 до 18 °С, тогда как в блоке *B* (с пищевыми волокнами) она смещается к 12–15 °С (рис. 1 и 2 соответственно).

Причем внесение каждого следующего компонента в последовательности $A_i \xrightarrow{+d_i} A_{i+1}\big|_{i\in[1;5],\, i\in\mathrm{N}}$ может оказывать влияние как на температуру, так и на время начала, наклон и продолжительность зоны плато. Так, внесение полидекстрозы и сахарозы приводит к увеличению температуры начала плато, что, вероятно, связано с проявлением ими водосвязывающего эффекта. Такой эффект приводит к пассивному увеличению концентрации коллоидной составляющей и, как следствие, к необходимости меньшего снижения температуры для осуществления фазового перехода. Введение в систему глицерина, сорбитола и поваренной соли оказывает пластифицирующее действие, приводя к частичному «разрыхлению» матрицы, вследствие чего подвижность компонентов увеличивается, а температура гелеобразования раствора капиллярно-связанной влаги снижается.

Введение в вариантах блока B пищевых волокон приводило к систематическому (кроме варианта B_2) снижению температуры начала перехода в зону плато 1, смещая диапазон в границы от 12 до 15 °С. При этом нарушение порядка направленности изменения температуры начала зоны плато в последовательности $B_i \xrightarrow{+d_i} B_{i+1}\big|_{i\in[1;\,5],\ i\in\mathrm{N}}$ по сравнению с таковым в блоке *A* предположительно связано с частичной сорбцией самих вводимых добавок пищевыми волокнами на фоне осуществляемого повышенного влагосвязывания в целом.

Плато 2 на участке кривой, соответствующем области замораживания, соответствует началу процесса кристаллизации капиллярно-связанной влаги. При отсутствии в системе пищевых волокон и добавок температура начала кристаллизации составила −1,3 °С за счет присутствия в системе нативных растворенных компонентов: лактозы и минеральной составляющей. Введение в систему полиолов (кроме сорбитола) и сахарозы в последовательности $A_i \xrightarrow{+d_i} A_{i+1}\big|_{i\in[1;\,4],\ i\in\mathrm{N}}$ приводило к проявлению накопительного эффекта в отношении увеличения криоскопической депрессии продукта по вариантам. Наиболее выраженной она была при введении полидекстрозы и сахарозы. Причем вариант с сахарозой демонстрировал резкий скачок депрессии приблизительно до −5,45 °С, что было проявлением максимального совокупного эффекта введения компонентов среди всех вариантов блока A. Введение сорбитола практически не оказывало влияния на увеличение криоскопической депрессии, приводя лишь к увеличению времени начала кристаллизации, но при этом сокращая его продолжительность в целом. Довольно неожиданным оказался эффект введения в систему поваренной соли. Теоретически, при изотоническом коэффициенте, равном 2, и малой молекулярной массе введение этого компонента должно было привести к снижению температуры замерзания, однако экспериментально был установлен обратный эффект – некоторое ее повышение (разница между вариантами составила 0,35 °С).



Источник изображения: magnific.com

Таким образом, проявление криоскопического эффекта всех исследованных добавок оказалось несколько отличным от такового, предсказанного вторым законом Рауля. Это, вероятно, связано с особенностями механизмов взаимодействия полиолов, сахарозы и поваренной соли как с элементами раствора и малоподвижных составляющих матрицы продукта, так и друг с другом. В результате криоскопический эффект глицерина оказался снижен вследствие, предположительно, частичной сорбции белками. Последующее введение полидекстрозы привело к увеличению вязкости капиллярного раствора, затрудняя тем самым диффузию молекул воды к зародышам кристаллов льда. Введение сорбитола, несмотря на его способность к водопоглощению, в условиях повышенной вязкости, обусловленной присутствием полидекстрозы, только лишь способствовало перераспределению молекул воды между молекулами сорбитола и полидекстрозой. Это несколько увеличило подвижность молекул воды в ассоциации с сорбитолом, выравнивая тем самым процесс роста кристаллов и не снижая криоскопической депрессии. Введение в систему сахарозы привело к скачкообразному увеличению депрессии, что предположительно связано с выраженной способностью сахарозы связывать влагу в подвижные упорядоченные некристаллизующиеся структуры. Вследствие этого в присутствии глицерина, полидекстрозы и сорбитола значительно

меняется термодинамика процесса с подавлением нуклеации льда, сопровождаясь удлинением зоны плато. При введении и диссоциации поваренной соли катионы Na^+, конкурентно перераспределяя на себя молекулы воды от сорбитола и сахарозы, увеличивают подвижность воды вследствие малых размеров гидратированных катионов, из-за чего происходит частичное снижение криоскопической депрессии. Этот результат не согласуется с классическим коллигативным поведением NaCl и указывает на то, что в концентрированной многокомпонентной матрице творожного сыра вклад отдельных компонентов не аддитивен. Возможным объяснением может служить конкуренция катионов Na^+ за молекулы воды, связанные с сорбитолом и сахарозой, однако данная гипотеза требует экспериментального подтверждения и будет являться предметом дальнейших исследований.

В случае присутствия в составе творожного сыра пищевых волокон температура замерзания, соответствующая началу зоны плато 2, увеличивается. Это ожидаемо вследствие частичной конкурентной сорбции низкомолекулярных компонентов капиллярного раствора, сродство к которой, предположительно, выражено сильнее, чем сродство к сорбции молекул воды. Вероятно, в силу подобного механизма практически во всех вариантах блока B (кроме варианта с поваренной солью, где изменения температуры начала кристаллизации зафиксировано не было) криоскопическая депрессия была выражена в меньшей степени по сравнению с аналогичными вариантами блока A. Минимальное снижение было отмечено для варианта B_2 (в присутствии только глицерина), тогда как максимальные, превышающие 0,8 °C, имели место в варианте с добавлением сахарозы. Также для всех вариантов было отмечено сокращение продолжительности плато 2, что указывало на увеличение темпа начавшейся нуклеации.

При транспортировке творожного сыра в условиях арктической зимы из точки реализации до потребителя продукт не должен успеть замерзнуть, чтобы при последующем размораживании это не приводило к ухудшению его потребительских свойств. В этой связи далее был проведен анализ времени, необходимого для достижения начала кристаллизации. В качестве исходных условий были использованы следующие: температура хранения творожного сыра на полке в точке продажи (+15 °C), температура воздуха вне помещения (−40 °C).

Анализ полученных данных показал, что при отсутствии пищевых волокон в системе время охлаждения увеличивается (по сравнению с творожным сыром без добавок) только при комплексном введении всех исследованных добавок, кроме поваренной соли. Напротив, при наличии пищевых волокон время охлаждения возрастало почти во всех вариантах, за исключением варианта с поваренной солью.

Результаты расчетов времени охлаждения творожного сыра приведены в таблице.

Максимальное время охлаждения было зафиксировано для варианта, содержащего пищевые волокна, глицерин, полидекстрозу, сорбитол и сахарозу. Это значение превысило следующий по величине показатель на ~16 мин, а лучший результат в блоке A – на ~9 мин.

Таблица. Влияние пищевых волокон, криостабилизаторов, сахарозы и поваренной соли на время охлаждения творожного сыра

Варианты	A		B		Изменение при $A \rightarrow B$	
	τ_c^*, мин	τ_{calc}^{**}, мин	τ_c, мин	τ_{calc}, мин	τ_c, мин	τ_{calc}, мин
1	182,1	64,0	175,0	59,7	−7,1	−4,3
2	148,8	52,9	181,2	64,2	32,4	11,3
3	138,5	52,3	171,7	62,4	33,2	10,1
4	173,1	65,4	169,6	62,7	−3,5	−2,7
5	155,4	71,4	182,1	80,2	26,7	8,8
6	135,4	55,0	135,0	55,0	−0,4	0,0

Примечание: $^*\tau_c$ – постоянная времени охлаждения; $^{**}\tau_{calc}$ – расчетное время охлаждения до начала кристаллизации.

Выводы

В работе исследовано влияние последовательного введения криостабилизаторов (глицерина, полидекстрозы, сорбитола, сахарозы и поваренной соли) на криоскопическую депрессию творожного сыра. Установлено, что совместное внесение добавок приводит к накопительному снижению температуры замерзания капиллярно-связанной влаги, однако наблюдаемый эффект не всегда соответствует закону Рауля, что обусловлено сорбционными взаимодействиями компонентов с белковой матрицей и перераспределением воды между растворенными веществами. Наиболее выраженная криоскопическая депрессия (до –5,45 °С) достигнута при введении комплекса глицерина, полидекстрозы, сорбитола и сахарозы. Присутствие пищевых волокон в большинстве случаев снижает криоскопический эффект за счет конкурентной сорбции низкомолекулярных компонентов, за исключением варианта с сахарозой, где депрессия сохраняется на высоком уровне.

Расчет времени охлаждения продукта от +15 до начала процесса кристаллизации при температуре окружающей среды –40 °С методом сосредоточенной теплоемкости показал, что максимальное время (~80 мин) достигается в варианте с пищевыми волокнами, глицерином, полидекстрозой, сорбитолом и сахарозой, что на 9 мин превышает лучший показатель среди образцов без волокон.

Полученные результаты создают предпосылки для дальнейших исследований, включающих оценку сохранения показателей качества творожного сыра после цикла замораживания и оттаивания. Окончательные рекомендации по составу рецептур для длительной транспортировки в условиях Крайнего Севера и Арктической зоны могут быть сформулированы после проведения таких испытаний. ■

Поступила в редакцию: 11.09.2026

Принята в печать: 17.10.2026

Effect of Cryomodulators in Cream Cheese on Cryoscopic Depression

Sargis S. Arutyunyan, Vladimir V. Kondratenko, Daria N. Glazunova, Evgeniya Yu. Agarkova
All-Russian Dairy Research Institute, Moscow

Dairy supply chains for Arctic regions have to adapt to prolonged exposure to sub-zero temperatures. Therefore, the dairy industry needs new formulations for dairy products that withstand freezing and thawing during low-temperature transport. This research featured dairy products without wheat dietary fiber (Set *A*) and those with wheat dietary fiber (Set *B*). Their capillary-bound moisture was experimentally determined at freezing temperatures. The control sample started to freeze at –1.3 °C. The greatest cryoscopic depression (5.45 °C) in Set *A* was achieved for the samples that combined glycerol, polydextrose, sorbitol, and sucrose (Variant A_5). In most cases, dietary fiber reduced the cryoscopic effect. For the variant with sucrose, this reduction exceeded 0.8 °C. The lumped heat capacity method showed that the cooling time from +15 °C to the onset of freezing (at an ambient temperature of –40 °C) increased only for Variant A_5 in Set *A* (71.36 min). In Set *B*, it increased for all variants except B_6. The longest time was recorded for Variant B_5 (dietary fiber + glycerol + polydextrose + sorbitol + sucrose) at 80.24 min. This effect exceeded the best result for the fiber-free samples by 8.88 min and the next-best result by 16 min. This combination of cryomodulators can be recommended for products intended for long-distance transport involving temperature fluctuations in the Arctic regions.

Keywords: curd cheese, cryoscopic depression, freezing, cryomodulators, polyols, dietary fibers, cooling time

Список литературы:

1. **Зобкова, З. С.** О некоторых технологических аспектах производства творога и творожных продуктов / З. С. Зобкова // Молочная промышленность. 2025. № 2. С. 32–35. https://elibrary.ru/kjgrko

2. **Зобкова, З. С.** К вопросу разработки научно обоснованных технологий кисломолочных продуктов с повышенной относительной биологической ценностью / З. С. Зобкова, Е. Г. Лазарева, И. Р. Шелагинова // Молочная промышленность. 2021. № 6. С. 40–42. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-06-40-42; https://elibrary.ru/ctjsaa

3. **Решетник, Е. И.** Творожный сыр, обогащенный соево-грибным компонентом / Е. И. Решетник, О. В. Литвиненко, Н. Ю. Корнева // Сыроделие и маслоделие. 2025. № 1. С. 26–31. https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-1-27; https://elibrary.ru/wzrbra

4. **Истомин, А. В.** Питание и север: гигиенические проблемы арктической зоны России (обзор литературы) / А. В. Истомин [и др.] // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97, № 6. С. 557–563. https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-557-563; https://elibrary.ru/xvlspz

5. **Шишигина, А. Н.** К вопросу о продовольственной безопасности России и ее северных территорий / А. Н. Шишигина // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2024. Т. 19, № 3. С. 29–44. https://doi.org/10.51823/74670_2024_3_29; https://elibrary.ru/lmxldq

6. **Анистратова, О. В.** Использование жидкого азота в технологии резервирования творога / О. В. Анистратова, Б. Н. Семенов, Л. Т. Серпунина // Вестник международной академии холода. 2013. № 2. С. 69–72. https://elibrary.ru/qcoodp

7. **Буянова, И. В.** Технологические аспекты холодильного хранения белковых молочных продуктов / И. В. Буянова, С. М. Лупинская, Е. М. Лобачева // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48, № 4. С. 5–11. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-5-11; https://elibrary.ru/vtsycu

8. **Alinovi, M.** Freezing as a solution to preserve the quality of dairy products: The case of milk, curds and cheese / M. Alinovi [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021. Vol. 61(20). P. 3340–3360. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1798348

9. **Digvijay, D.** Ice crystallization and structural changes in cheese during freezing and frozen storage: Implications for functional properties / D. Digvijay, A. L. Kelly, P. Lamichhane // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2025. Vol. 65(3). P. 527–550. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2277357

10. **Буянова, И. В.** Холодильное хранение творожных продуктов / И. В. Буянова, Ж. К. Имангалиева // Молочная промышленность. 2017. № 12. С. 58–60. https://elibrary.ru/zuvpud

11. **Sevilla, C.** Complexing whey protein isolate with polysaccharide to ameliorate freezing-induced damage of cream cheese / C. Sevilla [et al.] // International Journal of Dairy Technology. 2025. Vol. 78(3). Art. no. e70053. https://doi.org/10.1111/1471-0307.70053

12. **Vaughan, R.** Protein and polysaccharide complexes for alleviating freeze-induced damage in sour cream and yogurt / R. Vaughan [et al.] // Foods. 2025. Vol. 14(24). Art. no. 4193. https://doi.org/10.3390/foods14244193

13. **Zhang, A.** Plant polysaccharides as natural cryoprotectants: From structure to antifreeze mechanisms in frozen food systems / A. Zhang [et al.] // Food Research International. 2026. Vol. 242(5). Art. no. 120248. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2026.120248

14. **Kumawat, L.** Cryoprotective strategies for probiotics in diverse food matrices: from dairy to plant-based applications / L. Kumawat [et al.] // Journal of Agricultural Engineering (India). 2026. Vol. 63(2). P. 368–386. https://doi.org/10.52151/jae2026632.2009

15. **Fomich, M.** Glycosylated peptides isolated from cheese whey have antifreezing activity / M. Fomich [et al.] // Food Chemistry. 2025. Vol. 469. Art. no. 142530. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142530

16. **Bergman, T. L.** Fundamentals of heat and mass transfer / T. L. Bergman, A. S. Lavine, Incropera [et al.]. – John Wiley & Sons, 2017. – 1046 p.

17. **Shigenao, M.** Newton's Law of Cooling: Follow up and exploration / M. Shigenao, M. Shuichi // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2021. Vol. 164. Art. no. 120544. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120544

18. **Timasheff, S. N.** The control of protein stability and association by weak interactions with water: How do solvents affect these processes? / S. N. Timasheff // Annual Review of Biophysics and Biomolecular Structure. 1993. Vol. 22. P. 67–97. https://doi.org/10.1146/annurev.bb.22.060193.000435

19. **Arakawa, T.** Preferential interactions of proteins with solvent components in aqueous amino acid solutions / T. Arakawa, S. N. Timasheff // Archives of Biochemistry and Biophysics. 1983. Vol. 224(1). P. 169–177. https://doi.org/10.1016/0003-9861(83)90201-1

20. **Mora-Gutierrez, A.** Sugar–Casein interaction in deuterated solutions of bovine and caprine casein as determined by oxygen-17 and carbon-13 nuclear magnetic resonance: A case of preferential interactions / A. Mora-Gutierrez, H. M. Farrell // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2000. Vol. 48(8). P. 3245–3255. https://doi.org/10.1021/jf990580n

ALTALACT®

Качество, которому доверяют
Решения, которые работают



- *Закваски для кисломолочных продуктов*
- *Закваски для сыров*
- *Ферменты*
- *Наполнители для сыров*
- *Покрытия для сыров*
- *Структурообразователи*
- *Тесты для определения антибиотиков*
- *Пищевые добавки для увеличения сроков годности*
- *Красители*
- *Ароматизаторы*
- *Консерванты*

www.altalact.ru

г. Москва
+7 (495) 785-09-13
msk@altalact.ru

г. Барнаул
+7 (3852) 505- 546
brn@altalact.ru