

Влияние условий хранения на цветовой профиль цельного сгущенного молока с сахаром

Е. И. Большакова, И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, Е. С. Орлова

Всероссийский
научно-исследовательский
институт молочной
промышленности, г. Москва,
Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: Расширение логистических путей экспортируемой молочно-консервной продукции в Арктическую зону и районы с жарким климатом актуализирует исследования, направленные на снижение транспортных затрат и сохранение качества молочных консервов в условиях воздействия экстремальных температурных факторов. В данном аспекте цвет продукта является важным органолептическим показателем, формирующим первичное восприятие параметров качества и рассматривается в качестве одного из маркеров активации механизмов порчи цельного сгущенного молока с сахаром (ЦСМС). На сегодняшний день стандартизованные методики оценки органолептических показателей и, в частности, цвета являются качественными и субъективными, что не позволяет достоверно оценить степень цветового различия идентичных по составу пищевых продуктов. В связи с этим оцифровка показателя цвета ЦСМС и сопоставление с изменениями, происходящими в пищевой матрице при воздействии экстремальных температур, является актуальным и своевременным направлением исследований.

Цель: Изучить влияние смоделированных условий транспортирования в диапазоне экстремальных температур от 50°C до минус 50°C и последующего хранения при 5°C, а также эффективности гомогенизации на изменение цвета ЦСМС и ассоциированных с этим процессом физико-химических показателей для расширения допустимых режимов хранения и транспортирования продукции.

Материалы и методы: Объект исследований – ЦСМС от партий с различной эффективностью гомогенизации, подвергнутое хранению при различных температурных условиях. Изменение цвета образцов регистрировали фотофиксацией. Содержание свободных аминокислот определяли методом капиллярного электрофореза. Определение цветового различия, индекса белизны и насыщенности определяли расчётным способом. Определение активной и титруемой кислотности проводили потенциометрическим и титриметрическим методом соответственно. Белковый профиль определяли с помощью электрофореза в полиакриламидном геле.

Результаты: Установлено, что одноступенчатое нагревание до 50°C и хранение при этой температуре в течение 7 и 14 суток вызывает образование высокобелковых агрегатов, изменение содержания свободных аминокислот, pH и потемнение продукта. Выявлено, что многоступенчатые циклы нагревания и замораживания до 50°C и минус 50°C соответственно, как и одноступенчатое замораживание до минус 50°C не оказывают критического влияния на цвет ЦСМС. Обнаружено влияние эффективности гомогенизации на потенциал ЦСМС к потемнению. Результаты анализа кислотности показали, что высокая скорость изменения pH в продукте коррелировала с формированием более темного цвета в продукте в процессе длительного хранения.

Выводы: Полученные данные стали частью научного обоснования разработки новой документации в области стандартизации на ЦСМС, предназначенное для транспортирования в районы Крайнего Севера и регионы с жарким климатом, так как позволили доказать, что многоступенчатый режим изменения температур не вызывает изменения качества продукта.

Ключевые слова: цельное сгущенное молоко с сахаром; цветовой профиль; реакция Майяра, потемнение, цветовое пространство CIELAB

Корреспонденция:
Александр Геннадьевич
Кручинин
E-mail: a_kruchinin@vniimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 03.02.2024

Принята: 15.09.2024

Опубликована: 30.10.2024

Copyright: © 2024 Авторы



Для цитирования: Большакова, Е.И., Барковская, И.А., Кручинин, А.Г., Туровская, С.Н., Илларионова, Е.Е., & Орлова Е.С. (2024). Влияние условий хранения на цветовой профиль цельного сгущенного молока с сахаром. *FOOD METAENGINEERING*, 2(3), 25–40.- <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.62>

The Influence of Storage Conditions on the Color Profile of Sweetened Condensed Whole Milk

E. I. Bolshakova, A.G. Kruchinin, S. N. Turovskaya, E. E. Illarionova, Irina A. Barkovskaya, Elena S. Orlova

All-Russian Scientific Research
Institute of the Dairy Industry,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: The expansion of logistical routes for exported canned dairy products to the Arctic zone and regions with hot climates underscores the need for research aimed at reducing transportation costs and preserving the quality of dairy preserves under extreme temperature conditions. In this regard, product color is an important organoleptic indicator that shapes initial perceptions of quality parameters and is considered one of the markers of spoilage mechanisms in sweetened condensed whole milk (SCWM). Currently, standardized methods for assessing organoleptic indicators, particularly color, are qualitative and subjective, which do not reliably measure the degree of color variation in identical food products. Therefore, digitizing the color indicator of SCWM and correlating it with changes in the food matrix under extreme temperature exposure is a relevant and timely research direction.

Purpose: To study the impact of simulated transport conditions within an extreme temperature range from 50°C to -50°C, and subsequent storage at 5°C, as well as the effectiveness of homogenization on the color of SCWM and associated physicochemical indicators to expand acceptable storage and transport conditions for the product.

Materials and Methods: The study object was SCWM from batches with varying homogenization efficiency, stored under different temperature conditions. Changes in sample color were recorded through photo documentation. The content of free amino acids was determined by capillary electrophoresis. Color difference, whiteness index, and color saturation were calculated. Active and titratable acidity were measured using potentiometric and titrimetric methods, respectively. The protein profile was determined by electrophoresis in polyacrylamide gel.

Results: It was found that a single-stage heating to 50°C and storage at this temperature for 7 and 14 days caused the formation of high-protein aggregates, changes in free amino acid content, pH, and product darkening. Multistage heating and freezing cycles to 50°C and -50°C, as well as single-stage freezing to -50°C, did not critically affect the color of SCWM. The effectiveness of homogenization was found to influence SCWM's susceptibility to darkening. Acidity analysis results showed that a high rate of pH change in the product correlated with the formation of a darker color during prolonged storage.

Conclusion: The obtained data contributed to the scientific basis for developing new standards documentation for SCWM intended for transport to the Far North and hot climate regions, as it was shown that multistage temperature changes do not alter product quality.

Keywords: sweetened condensed whole milk; color profile; Maillard reaction; darkening; CIELAB color space

Correspondence:

Alexander G. Kruchinin
E-mail: a_kruchinin@vniimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 03.02.2024

Accepted: 15.09.2024

Published: 30.10.2024

Copyright: © 2024 The Authors



To cite: Bolshakova, E.I., Barkovskaya, I.A., Kruchinin, A.G., Turovskaya, S.N., Illarionova, E.E., & Orlova, E.S. (2024). The influence of storage conditions on the color profile of sweetened condensed whole milk. FOOD METAENGINEERING, 2(3), 25-04. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.62>

ВВЕДЕНИЕ

Цельное сгущённое молоко с сахаром (ЦСМС) является одним из наиболее востребованных видов молочных консервов благодаря удобству транспортирования, длительному сроку хранения, повышенной пищевой и энергетической ценности (Ефимова и др., 2022; Ryabova и др., 2022). Данная категория молочной продукции пользуется широким спросом у населения, применяется для промышленной переработки в различных отраслях пищевой промышленности (Petrov и др., 2017; Ryabova и др., 2022), а также включена в номенклатурный перечень продовольственного резерва Российской Федерации и в состав продовольственного обеспечения воинских частей (Усов и др., 2016).

В процессе транспортирования ЦСМС внутри страны и за рубеж для поддержания установленных в ТТИ к ГОСТ 31688–2012 допустимых температурных режимов хранения (максимальная температура — 25 °С, минимальная — минус 30 °С) (Рябова и др., 2023), требуется использование специализированного изотермического транспорта. При этом, в условиях сложившейся геополитической ситуации и изменения логистических путей поставок товаров (Барцаев, 2023; Гаврилов и др., 2024) возникает проблема высокой стоимости холодной логистики, снижающая потенциал молочноконсервных предприятий к расширению поля реализации своей продукции. Таким образом, целесообразным является исследование изменения качества ЦСМС в широком температурном диапазоне, что может позволить обосновать новые допустимые условия хранения и/или транспортирования продукта, тем самым повысить экономическую эффективность молочноконсервных предприятий и экспортный потенциал страны, а также обеспечить регионы с ограниченным молочным животноводством доступной, в том числе и в экономическом аспекте, полноценной молочной продукцией. Данное направление исследований также согласуется с задачами государственной политики в области обеспечения населения страны доступной качественной, безопасной пищевой продукции, отраженными в Доктрине продовольственной безопасности РФ, утвержденной Указом Президента от 21.01.2020 г. № 20.

Работы по исследованию влияния повышенных и пониженных температур хранения на физико-химические, микробиологические и органолептические показатели ЦСМС достаточно немногочисленны. Так, Гурьева К. Б. с соавт. (2019) приводят данные о влиянии хранения

ЦСМС при температуре 45 °С в течение трех месяцев на изменение вкуса и запаха продукта, титруемой кислотности и вязкости. Помимо этого, отмечено незначительное увеличение массовой доли ненасыщенных жирных кислот, а именно олеиновой кислоты на 28 %, снижение индекса насыщенности жирных кислот с 1,96 до 1,79–1,82, что может свидетельствовать о протекании процессов окисления и прогоркания. Рябова и соавт. (2023; 2022) приводят анализ моделирования воздействия колебаний отрицательных температур (с замораживанием до минус 95 °С) на состояние ЦСМС и его модельных систем-аналогов различной концентрации (сахарных, сахарно-молочных, молочных) с изучением фазовых переходов методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Авторами проанализированы и выбраны три температурные программы, различающиеся циклами нагревания/охлаждения при различных скоростях и значениях. Установлено, что продукт температурой 20 °С после циклического температурного воздействия ((–95 °С)→(–35 °С)→(–75 °С)→(+30 °С)) характеризовался криоскопической температурой минус 32,2 ± 0,2 °С, температурой стеклования минус 47,3 °С, энтальпией плавления — 20,5 Дж/г. При этом 6,1 % массовой доли влаги перешло в замороженное состояние. Несмотря на то, что качество продукта объединяет ряд свойств и показателей (Туровская и др., 2018), изменение его вкуса, запаха, консистенции и цвета — первичные индикаторы, которые свидетельствуют о порче ЦСМС.

Изменение цвета сгущенного молока может происходить под воздействием повышенных температур в результате белково-углеводного взаимодействия и образования вкусо-ароматических окрашенных соединений, обуславливающих потемнение продукта (реакция Майяра) (Van den Oever и др., 2021; Xiang и др., 2021). Помимо условий хранения и транспортирования, технологические факторы так же могут оказывать влияние на скорость изменений цветности продукта. Так, известно, что изменение активной кислотности системы стимулирует реакцию Майяра, ускоряя процесс меланоидинообразования. Кроме того, исследованиями (Shao и др., 2023; Tribst и др., 2020) установлено влияние эффективности гомогенизации на скорость и степень изменения цвета молочного матрикса. Авторы работы (Shao и др., 2023) сообщают об обратной пропорциональной зависимости эффективности гомогенизации и изменения цветовых характеристик пастеризованного молока, объясняя данную особенность влиянием

Е. И. Большакова, И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, Е. С. Орлова

размера частиц эмульсии на способность отражать свет. При этом, следует обратить внимание на недостаток общепринятых методик оценки органолептических показателей пищевой продукции, заключающийся в невозможности достоверной оценки степени цветового различия идентичных по составу пищевых продуктов, поскольку применяемые методики являются качественными. Для количественной оценки цветового различия в научных исследованиях применяют систему на основе цветового пространства Lab, позволяющую оцифровать показатель цвета продукта, повышая точность проводимых исследований (Al-Hilphy и др., 2022). Подобного рода эксперименты еще не были проведены для ЦСМС, в связи с чем в данном исследовании, помимо изучения влияния посттехнологических факторов (расширенного диапазона температур хранения), было также определено влияние технологических факторов, таких как режим гомогенизации, на качественные характеристики продукта.

Целью данного исследования являлось изучение влияния смоделированных условий транспортирования в диапазоне температур от 50 °С до минус 50 °С и последующего хранения при 5 °С, а также значимого технологического фактора формирования качества — эффективности гомогенизации на изменение цвета ЦСМС, являющегося одним из первичных индикаторов порчи, а также ассоциированных с этим процессом показателей (кислотности, содержания свободных аминокислот и белкового профиля).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объектом исследований являлось ЦСМС от партий с различной эффективностью гомогенизации (партии №I и №II), произведенное на молочноконсервном предприятии ООО «Промконсервы» и подвергнутое хранению при различных температурных условиях в соответствии с планом эксперимента. Различная эффективность гомогенизации в образцах достигалась применением двух режимов гомогенизации при производстве на первой ступени — 7–10 МПа и 15 МПа. Давление на второй ступени в обоих случаях совпадало и составляло 3 МПа. В Таблице 1 представлены усредненные физико-химические показатели ЦСМС, выработанного для проведения данного исследования.

Таблица 1
Усредненные физико-химические показатели
свежевыработанного цельного сгущенного молока
с сахаром

Table 1
Average Physicochemical Indicators of Freshly Produced
Sweetened Condensed Whole Milk

Наименование показателя	Значение	
	Партии №I	Партии №II
Массовая доля влаги, %	25,8 ± 0,6	26,0 ± 0,4
Массовая доля сахарозы, %	45,3 ± 0,2	45,0 ± 0,1
Массовая доля жира, %	8,7 ± 0,2	8,8 ± 0,2
Массовая доля белка, %	7,6 ± 0,1	8,2 ± 0,1
Кислотность, °Т	35 ± 1	41 ± 2
Вязкость, Па·с	7,6 ± 0,7	8,4 ± 0,2
Размеры кристаллов молочного сахара, мкм	3,5 ± 0,3	3,5 ± 0,3
Эффективность гомогенизации (ЭГ)		
Степень гомогенизации, %	23	46
Средний размер жировых шариков, мкм	3,4 ± 0,3	2,3 ± 0,1

Дизайн исследования

Исследование заключалось в проведении двух последовательных этапов. На первом этапе была произведена оценка изменения свойств ЦСМС после воздействия варьируемых экстремальных температур хранения в диапазоне от минус 50 °С до 50 °С. Дизайн исследования включал 5 вариантов условий хранения: К, А, Б, В и Г. Описание вариантов условий хранения представлено в таблице 2.

Съем образцов для анализов производился в точках контроля в соответствии с графиком в установленный срок после заданного теплового воздействия (температура, продолжительность). Точки контроля были разделены на две группы: основные и дополнительные. Буквенные обозначения К, А, Б, В, Г в кодификации образцов характеризовали вариант условий хранения, нумерация — последовательность точек контроля, обозначение «Д» подразумевало, что точка контроля, в которой производился съем образцов — дополнительная. Различия образцов по № партий были отражены в кодификации римской цифрой (I или II). Первый этап исследования проводили в соответствии с графиком, представленным на рисунке 1.

Е. И. Большакова, И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, Е. С. Орлова

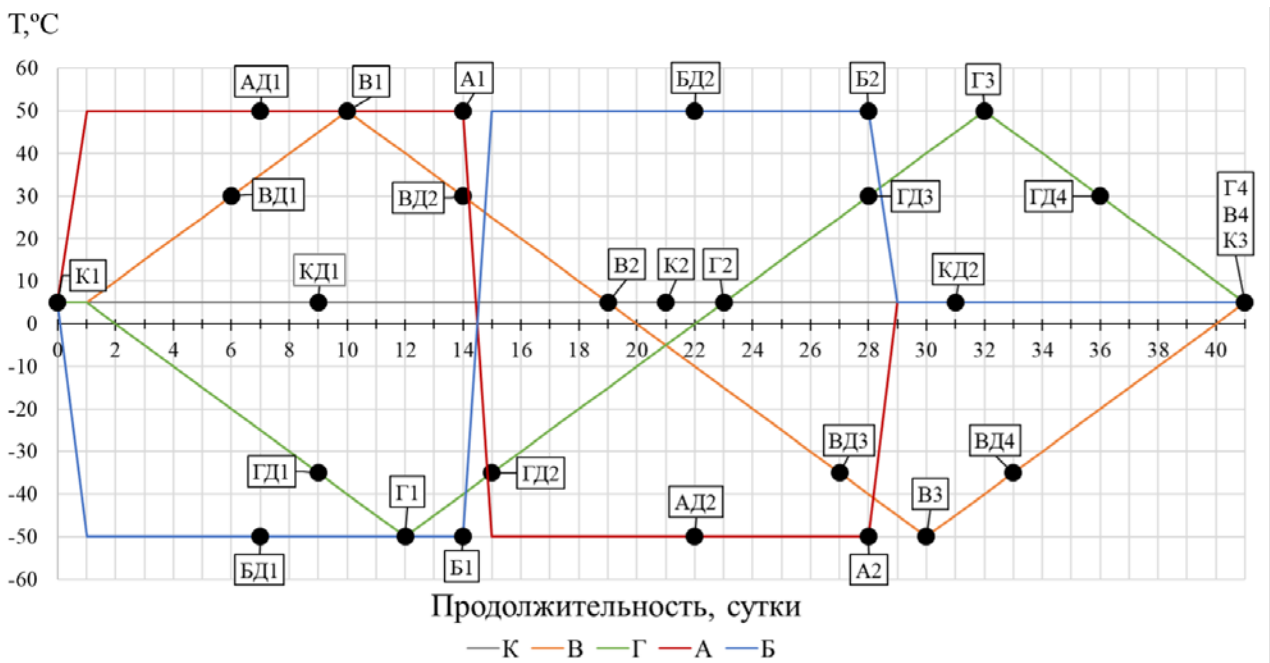
Таблица 2
Описание вариантов условий хранения

Table 2
Description of Storage Condition Variants

Характеристики вариантов условий хранения	Обозначения вариантов условий хранения				
	К	А	Б	В	Г
Температура хранения	const, $t_{\text{в}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Изменяется в диапазоне $t_{\text{в}}$ от минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$			
Режим изменения температуры	—	Одноступенчатый		Многоступенчатый	
		$t_{\text{в}} = \text{const}$, в начальной точке процесса значение температуры окружающего воздуха является максимальным ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) или минимальным (минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) в зависимости от типа теплового воздействия.		$t_{\text{в}} = t_{\text{н}} + 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, значение температуры окружающего воздуха изменяется на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ /сутки до достижения максимального ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) или минимального значения температуры (минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$).	
Цикличность	—	Двухцикловая структура			
Вид циклов (1-прямой; 2-обратный)	—	1. Нагревание до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. Замораживание до минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1. Замораживание до минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. Нагревание до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1. Нагревание до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. Замораживание до минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1. Замораживание до минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. Нагревание до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$
Примечание. $t_{\text{в}}$ — температура окружающего воздуха, $t_{\text{н}}$ — температура продукта.					

Рисунок 1
График хранения образцов ЦСМС

Figure 1
Storage Timeline of SCWM Samples



Второй этап исследования предполагал хранении всех образцов при температуре $5 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 12 месяцев и исследовании изменения свойств ЦСМС в ежемесячных точках контроля.

Инструменты и методы

Фотофиксация изменения цвета

Изменение цвета образцов регистрировали путем фотографирования с помощью 12 МП камеры смартфона Samsung Galaxy Z Flip4 (Samsung, Suwon, South Korea) и светонепроницаемой станции визуализации системы гелевой документации «View» (Хеликон, Россия). Образец располагали на равном расстоянии от сторон светонепроницаемой станции визуализации. Фотографии делали со вспышкой, что обеспечивало единство измерений в части светового потока.

Определение содержания свободных аминокислот

Содержание свободных аминокислот (САК) определяли методом капиллярного электрофореза с использованием системы «КАПЕЛЬ» (Люмэкс, Санкт-Петербург, Россия) без проведения гидролиза. В качестве фонового электролита использовали фосфат с добавлением бета-циклодекстрина. Разделение свободных аминокислот проводили при 25 кВ при 30 °С при длине волны 254 нм. Содержание свободного триптофана определяли напрямую, а содержание других аминокислот через их фенилтиокарбамильные производные.

Определение цветового различия, индекса белизны и индекса насыщенности

Определение цветового различия, индекса белизны и насыщенности определяли расчётным способом по данным CIELAB, полученным с помощью фотофиксации и анализа посредством ПО ColorMeter (White Marten GmbH, Baden-Württemberg, Germany). Расчет цветового различия (ΔE) производили по формуле (1):

$$\Delta E = \sqrt{(L_k - L_n)^2 + (a_k - a_n)^2 + (b_k - b_n)^2}, \quad (1)$$

где L_k — значение L по системе Lab для конечного образца, L_n — значение L по системе Lab для начального образца, a_k — значение по системе LAB для конечного образца, a_n — значение по системе LAB для начального образца, b_k — значение по системе LAB для конечного образца, b_n — значение по системе LAB для начального образца.

Расчет индекса белизны (WI) производили по формуле (2):

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}, \quad (2)$$

где L, a, b — соответствующие значения образцов по системе Lab.

Расчет насыщенности (Ch) производили по формуле (3):

$$Ch = ((a)^2 + (b)^2)^{0.5} \quad (3)$$

где a, b — соответствующие значения образцов по системе Lab.

Определение кислотности и pH

Определение титруемой кислотности проводили титриметрическим методом в соответствии с ГОСТ 30305.3–95. Определение pH проводили потенциометрическим методом в соответствии с ГОСТ 32892–2014.

Электрофоретическое разделение белков

Качественное определение состава белков проводили с помощью диск-электрофореза в полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия по методике Лэммли в вертикальной камере Mini-PROTEAN® Tetra Cell (Bio-Rad, Калифорния, США).

Обработка полученных данных

Статистический анализ экспериментальных данных проводили с применением однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и апостериорного теста Тьюки с использованием пакета статистических программ RStudio (Posit Software, Массачусетс, США). Все показатели анализировали в 3–5 повторностях. Для множественных сравнений применяли тест Тьюки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Целью данного исследования являлось изучение влияния условий хранения на изменение цвета ЦСМС и ассоциированных с этим процессом показателей (кислотности, содержания свободных аминокислот и белкового профиля). Дизайн эксперимента включал два этапа, соответственно результаты работы разделены на блоки: исследование ЦСМС при экстремальных температурных условиях хранения и в процессе длительного хранения.

Исследование ЦСМС при экстремальных температурных условиях хранения

Изменение цвета

В течение первого этапа эксперимента с помощью фотофиксации для образцов была сформирована цветовая палитра, которая изменялась к концу хранения при экстремальных температурных условиях (Рисунок 2–4).

Степень изменения цвета образцов зависела от варианта условий хранения и эффективности гомогениза-

Е. И. Большакова, И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, Е. С. Орлова

Рисунок 2

Изменение цвета в образцах А и Б

Figure 2

Color Change in Samples A and B



Рисунок 3

Изменение цвета в образцах В

Figure 3

Color Change in Sample C

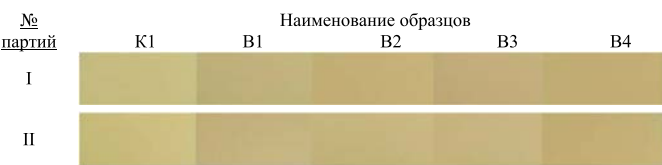
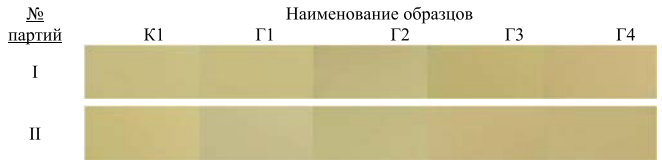


Рисунок 4

Изменение цвета в образцах Г

Figure 4

Color Change in Sample D



ции ЦСМС. Отмечено, что одноступенчатое нагревание до 50 °С вызывает образование коричневого и темно-коричневого цвета в образцах ЦСМС А1, А2, Б1 и Б2 (Рисунок 2). Обнаружен более темный оттенок коричневого в образце II-A2 в сравнении с I-A2 после последовательных циклов одноступенчатого нагревания до 50 °С и замораживания до минус 50 °С с периодом хранения 14 суток. Это согласуется с данными, представленными в работе Tribst и др. (2020), которые исследовали влияние различных физических процессов (перемешивания, диспергирования и гомогенизации при 3,5 МПа и 50 МПа) на изменение цвета образцов свежего, замороженного до минус 18 °С в течение месяца и размороженного при 7 °С овечьего молока. Исследователи установили, что более высокое давление гомогенизации вызывало увеличение цветового различия в образцах как свежего, так и замороженного/размороженного молока.

Исследуя влияние способов размораживания (на воздухе при 20 °С; потоком воды 20 °С; в микроволновой

печи; в поле ультразвука) на изменение свойств замороженного концентрированного молока, ученые выяснили, что наибольшим значением цветового различия обладало концентрированное молоко, размороженное на воздухе при наименьшей скорости (Chen и др., 2021). Авторы подчеркнули, что несмотря на статистическую значимость полученных результатов, цветовой профиль образцов, размороженных различными способами был схож. Данный эффект также наблюдается и для ЦСМС, так как визуальная оценка цвета образцов Б1 и Г2 значительно не отличалась, но при этом скорость размораживания в данных образцах была различной (Рисунок 2,4). Вероятно, это связано с лишь незначительным изменением белковых частиц или жировых шариков, которые обуславливают цвет молока, отражая свет. Помимо цветовых характеристик Chen и др. (2021) исследовали изменение pH, которое находилось в диапазоне от 6,56 до 6,59, что свидетельствует об отсутствии влияния способов размораживания на скорость протекания физико-химических процессов. Это соответствует полученным результатам для образцов ЦСМС Г2 и Б1, кислотность которых не отличалась (Таблица 3).

Таблица 3

Изменение кислотности в образцах ЦСМС
после основных циклов теплового воздействия

Table 3

Acidity Changes in SCWM Samples After Primary Thermal
Exposure Cycles

Образец	Титруемая кислотность, °Т		Активная кислотность, pH	
	I	II	I	II
К				
К	35 ± 1b	41 ± 2c	6,70 ± 0,07a	6,36 ± 0,03ab
К3	34 ± 1b	40 ± 3c	6,63 ± 0,02ab	6,40 ± 0,10a
А				
А1	56 ± 3a	55 ± 2b	6,17 ± 0,06c	6,15 ± 0,10b
А2	56 ± 2a	69 ± 2a	6,19 ± 0,02c	5,79 ± 0,06c
Б				
Б1	36 ± 1b	41 ± 1c	6,59 ± 0,02ab	6,38 ± 0,14a
Б2	57 ± 3a	64 ± 2a	6,10 ± 0,09c	5,93 ± 0,09c
В				
В2	36 ± 1b	42 ± 2c	6,58 ± 0,02ab	6,36 ± 0,01ab
В4	36 ± 1b	41 ± 2c	6,56 ± 0,02b	6,35 ± 0,01ab
Г				
Г2	36 ± 3b	44 ± 1c	6,54 ± 0,02b	6,38 ± 0,01a
Г4	34 ± 3b	42 ± 1c	6,58 ± 0,02ab	6,36 ± 0,06ab

Примечание. а-с Достоверные (P < 0,05) различия помечены строчными буквами.

Note. Significant differences (P < 0.05) are indicated by lowercase letters a-c.

Химические реакции в молоке подчиняются закону Аррениуса, согласно которому повышение температуры приводит к увеличению констант скорости реакций (Halabi и др., 2020), однако степень термоиндуцированных изменений в системе также зависит от скорости изменения температуры (Sahu & Kumar Mallikarjunan, 2016; Anema, 2020). В связи с этим очевидно, что одноступенчатое нагревание до 50°C с хранением до 14 суток, которое было предусмотрено в образцах А1 и Б2 привело к критическим изменениям кислотности (повышение титруемой кислотности на $14 \pm 23^\circ\text{T}$ и снижение pH на $0,21 \pm 0,53$ в сравнении с К), что свидетельствует об активации и протекании физико-химических процессов в системе. Данное не наблюдается для образцов В и Г, что позволяет судить о том, что многоступенчатое нагревание и замораживание, а также их последовательные циклы гарантируют сохранение качества ЦСМС.

Согласно Anema (2020) при постепенном повышении температуры молока до 70°C большая часть денатури-

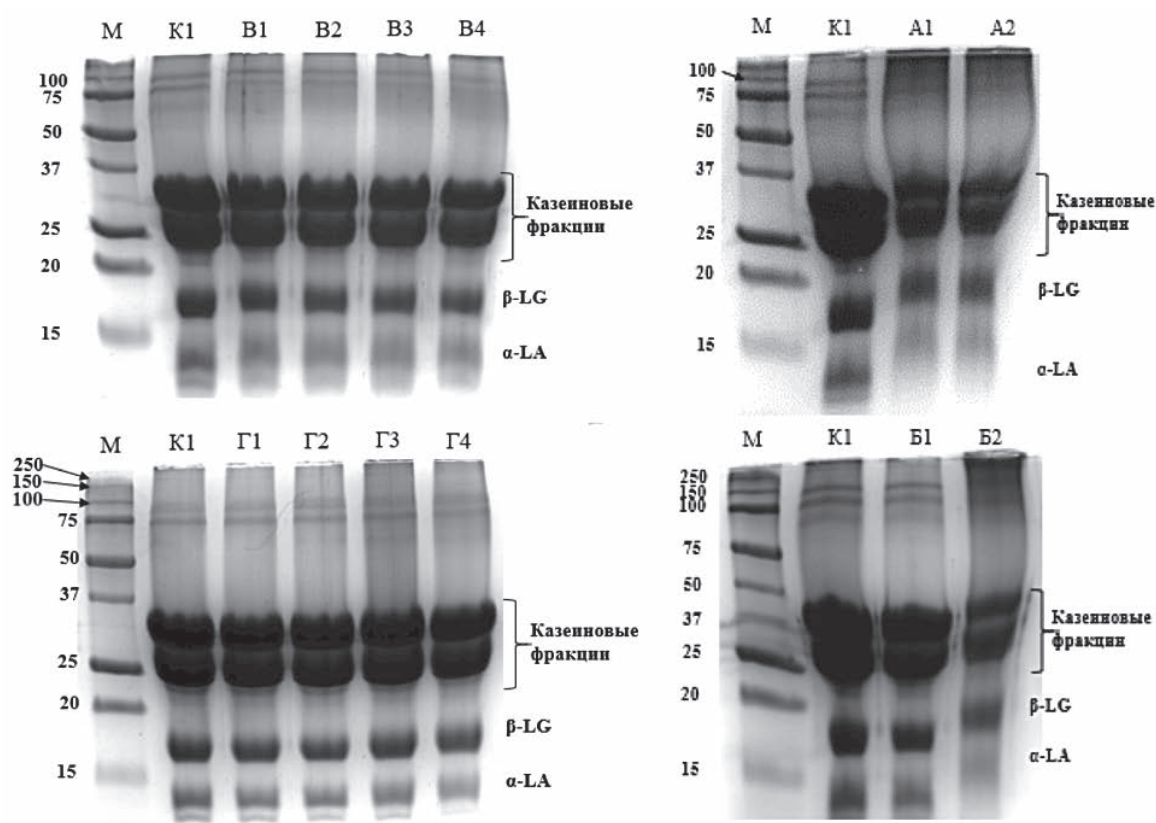
рованного β -LG и α -LA связывается с к-казеином предположительно посредством дисульфидных связей на поверхности мицелл, а при быстром нагревании только половина денатурированных сывороточных белков образует комплексы с казеином, остальная часть остается в растворенной фазе или участвует в процессе агрегации между собой. В нашем исследовании по результатам электрофоретического анализа детектировано снижение содержания сывороточных белков (β -LG, α -LA) и казеина после одноступенчатого нагревания и замораживания, а также образование высокомолекулярных агрегатов (Рисунок 5). Идентичные результаты были получены Meyer и др. (2011) при нагревании молока до 120°C в течение 60 минут. В проведенном исследовании ученые также обнаружили в составе высокомолекулярной фракции карбоксиметиллизин — продукт реакции гликирования белков. В свою очередь Jongberg и др. (2012) изучая вопрос гликирования β -LG в сухой модельной молочной системе установили, что выдержка образца при 60°C в течение 60 минут способна привести

Рисунок 5

Электрофореграммы образцов ЦСМС партий № I

Figure 5

Electrophoregrams of SCWM Samples from Batch No. I



к сдвигу полосы β -LG в сторону большей молекулярной массы на электрофореграмме. Подобное отмечено в работе Liu и др. (2012) и также можно наблюдать в образцах ЦСМС А1, А2 и В2 после одноступенчатого нагревания с хранением до 14 суток (Рисунок 5).

Liu и др. (2012) при систематизации данных в аспекте гликирования β -LG зафиксировали, что образование высокомолекулярных гликопротеинов зависит от условий хранения молочной системы (температура, pH, продолжительность выдержки) и ее состава, особенно углеводного. Авторами представлены данные о том, что связывание β -LG с глюкозой приводит к образованию большего количества тетрамеров и октамеров, при этом β -LG модифицированный лактозой вызывал увеличение процента содержания октамеров. Вероятно, по данной причине в образцах А1, А2 и В2 можно наблюдать интенсивные полосы в зоне высоких молекулярных масс, так как ЦСМС богато сахарозой, одним из мономеров которой является глюкоза, и содержит около 12,5 % лактозы. Образование агрегатов с высокой молекулярной массой в молочной системе может быть связано как с формированием продуктов гликирования, приводящим к изменению цвета в образцах А1, А2 и В2, так и образованием белковых ассоциатов, которые из-за потери

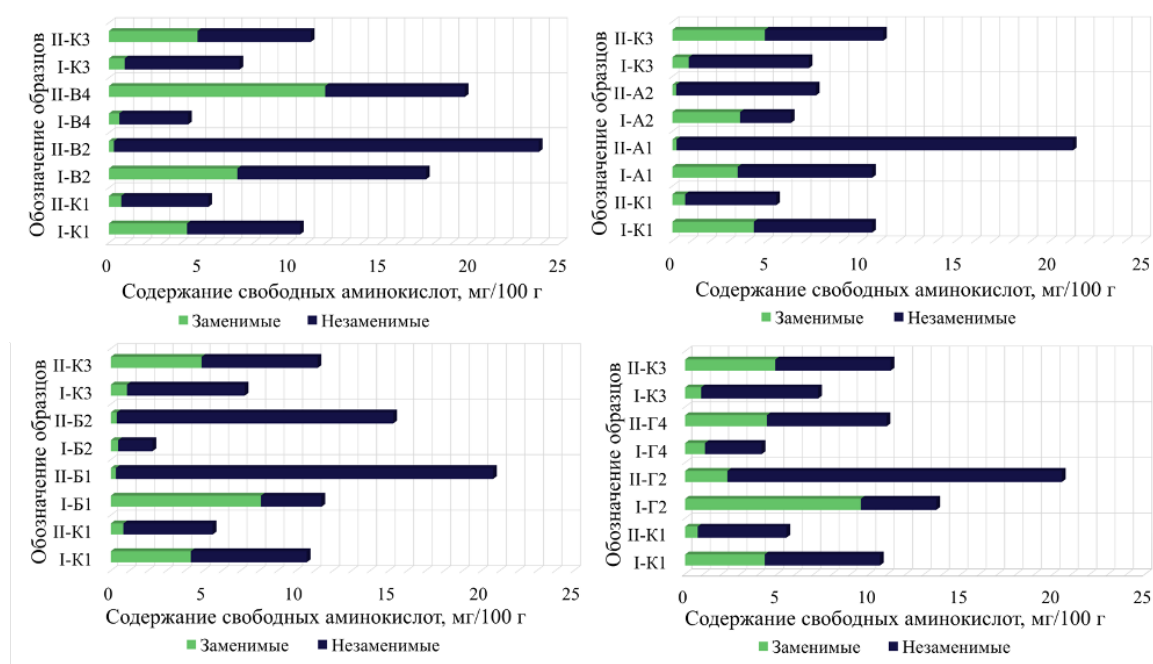
заряда не подвергаются разделению. Sharma и др. (2021) в работе по сравнению методов электрофоретического разделения молочных белков, также подчеркивают, что при проведении электрофореза в денатурирующих условиях с додецилсульфатом в зоне высоких молекулярных масс могут скапливаться агрегаты казеина, неспособные мигрировать в гель. Аналогичные наблюдения представлены в работах (Gazi и др., 2022; Jean и др., 2006; Considine и др., 2007). Также Considine и др. (2007) в обзоре отмечают, что при термической обработке происходит экспозиция ранее скрытых гидрофобных групп аминокислот, которые может привести к инициированию агрегации белков или образованию свободных аминокислот (САК). Fox и др. (2015) сообщают об экспозиции аминокислот и их активации в результате денатурации белков оболочек жировых шариков. Далее эти аминокислоты могут вступать в реакцию образования вкусоароматических веществ или продуктов гликирования. Анализ изменения содержания САК в исследуемом ЦСМС после воздействия экстремальных температурных условий позволил выявить изменения содержания заменимых САК (в основном глутамина и глутаминовой кислоты) в образцах партий №I, а в образцах партий №II — незаменимых (в основном метионина) (Рисунок 6).

Рисунок 6

Изменение содержания свободных аминокислот

Figure 6

Changes in Free Amino Acid Content



Установлена тенденция увеличения содержания свободных аминокислот в образцах партий №I и №II: A1, B1, B2, Г2 и снижения в образцах A2, B2, B4, Г4 партий №I и №II. Bottirolì и др. (2021) исследуя изменения содержания САК в безлактозном молоке ультравысокой тепловой обработки в процессе хранения при различных температурах (4 °C, 20 °C, 30 °C и 40 °C) обнаружили самые высокие уровни содержания для глутаминовой, аспарагиновой кислот и алифатических аминокислот. Увеличение содержания аминокислот в наибольшей степени исследователями было отмечено для молока, хранившегося при температуре ≥ 30 °C. Превалирующий вклад в увеличение концентрации САК внесла именно глутаминовая кислота, что коррелирует с данными, полученными для образцов ЦСМС партий №1. В работе Bottirolì и др. (2021) этот эффект связывают со специфичностью ферментов, обладающих протеолитической активностью, присутствующих в молочной системе. Meltretter и др. (2008) в аспекте изменений метионина и глутаминовой кислоты подчеркивают, что образование карбоксиметиллизина, сульфоксида метионина, циклизация N-концевой глутаминовой кислоты определяются как основные термоиндуцированные изменения в молочной системе, связанные с аминокислотами. Jansson и др. (2020) отмечают, что тепловая денатурация β -LG приводит к высвобождению серосодержащих аминокислот, в том числе и метионина. Согласно Augustin и др. (2007) чем выше давление гомогенизации, тем ниже термостабильность молочной системы после обработки, вероятно по данной причине в образцах партий №II с большей ЭГ в основном изменения содержания свободных аминокислот наблюдаются за счет содержания метионина, который мог высвободиться в результате денатурации β -LG. Зависимость денатурации сывороточных белков от проведения гомогенизации также описывают García-Risco и др. (2002). Авторы также установили, что в цельном молоке, гомогенизированном при 20 МПа, ферментативная деградация α_{s1} -CN и β -CN меньше в среднем на 75,5 %. Казеины — белки, богатые глутаминовой кислотой и глутамином, вероятно с их ферментативной деградацией могут быть связаны изменения содержания глутаминовой кислоты и глутамина в образцах ЦСМС партий №I с меньшей ЭГ. Другим возможным механизмом изменения содержания свободных глутамин и глутаминовой кислоты является — вступление в реакцию Майяра и образование первичных нестабильных продуктов реакции, которые распадаясь могли влиять на повышение концентрации аминокислот (Adrian, 2019).

Исследование ЦСМС в процессе длительного хранения

В процессе длительного хранения образцов ЦСМС был произведен анализ изменения цветовых характеристик продукта. На Рисунке 7 представлены данные о цветовом различии.

В соответствии с результатами анализа цветового различия образцов очевидно отсутствие значимых различий между образцами I-K и II-K. Для образцов I-B и I-Г отмечается меньший разброс данных и большая концентрация значений цветового различия выше или в зоне верхних квартилей наборов данных образцов II-B и II-Г. Этот факт указывает на определенную стабильность цвета образцов I-B и I-Г, но при этом их больший потенциал к потемнению в сравнении с образцами II-B и II-Г. Аналогичный эффект получен в работе китайских исследователей Shao и др. (2023), которые изучили влияние давления гомогенизации на изменения цветовых характеристик пастеризованного молока в процессе хранения. Согласно их результатам наименьшим изменением цветового различия после хранения в течение 1 и 7 суток характеризовались образцы, подвергнутые гомогенизации при самом высоком давлении 30 МПа. Авторы объясняют это тем, что размер частиц эмульсии влияет на отражательную способность света и соответственно цвет молока.

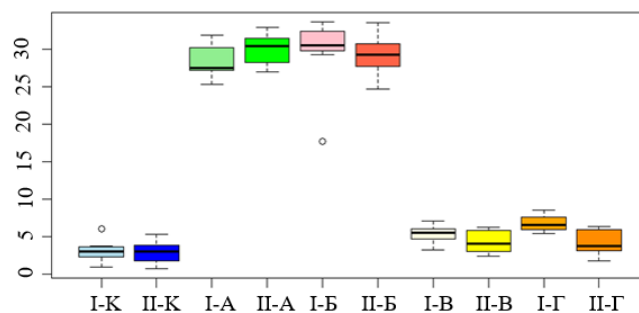
Значения цветового различия в образцах A и Б партий №I и №II (24÷34) оказались значительно больше в сравнении с образцами К, В и Г (1÷9) в течение всего срока хранения. Это указывает на сохранение тенденции, отмеченной для образцов ЦСМС после хранения в экс-

Рисунок 7

Изменение цветового различия

Figure 7

Changes in Color Difference



тремальных температурных условиях. Скорость нагревания и продолжительность хранения при высокой температуре, которые были наибольшими для образцов А и Б, определили высокую степень изменения составных компонентов молочной системы, что согласуется с результатами работ (Oldfield и др., 2005; Manzo и др., 2015). При оценке предельных значений цветового различия в образцах А и Б партий №I и №II выявлено, что ЭГ или последовательность циклов нагревания/замораживания оказывает незначительное влияние в процессе всего 12-месячного эксперимента, так как в обоих вариантах условий хранения был запущен процесс меланоидинообразования и на протяжении 14 суток поддерживались оптимальные условия для его развития. В образцах А и Б на каждом отдельном этапе хранения вероятно были образованы ранние, промежуточные и конечные продукты гликирования в различных концентрациях с отличной химической структурой и свойствами, которые после понижения температуры до 5 °С могли обладать как потенциалом, так и ограниченными возможностями для дальнейших преобразований в коричневые пигменты. Данная гипотеза находит тео-

ретическое подтверждение в работе Van Boekel (2001), который подчеркивает, что каждый из этапов реакции Майяра имеет разную чувствительность к температуре, от температуры зависит преобладающий путь реакции и активность реагентов. Это может являться причиной нивелирования влияния различий вариантов условий хранения и режимов гомогенизации ЦСМС на конечное формирование цвета в продукте.

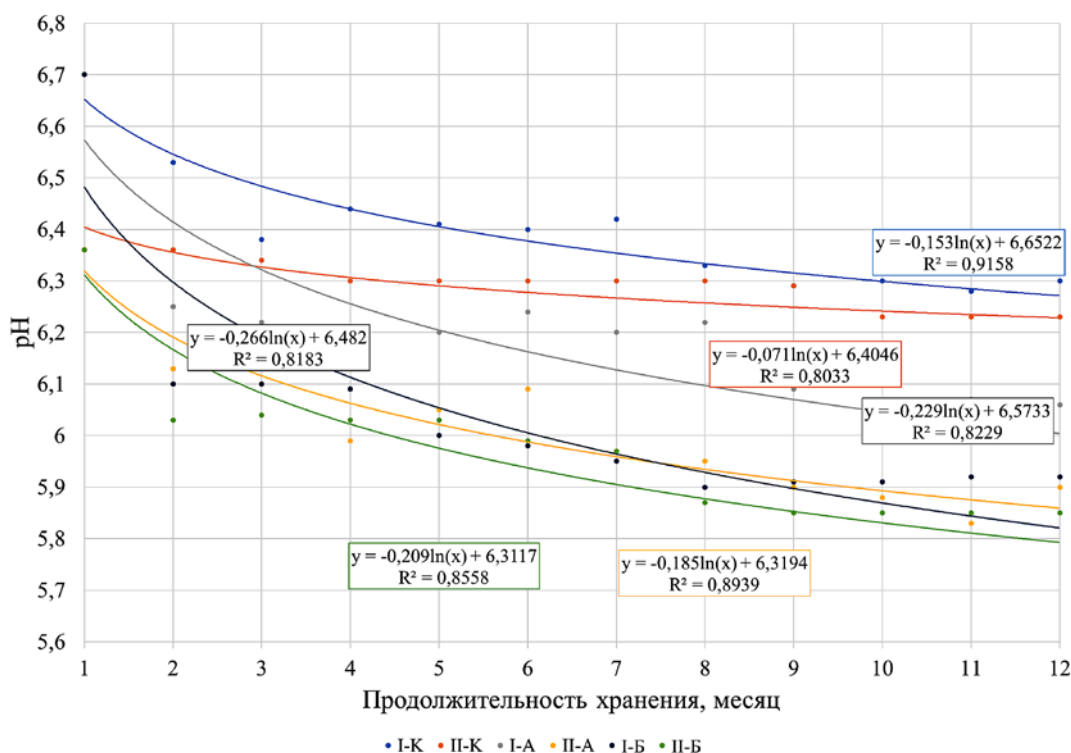
Несмотря на то, что к концу эксперимента варианты условий хранения А и Б приводят к схожим предельным значениям цветового различия (33–34), образцы I-Б характеризуется наименьшим разбросом данных, находящимся в основном в зонах верхних квартилей данных образцов I-A, II-A, II-Б. Это указывает на то, что наибольшее влияние на первичное изменение цвета в ЦСМС оказывает совокупность более низкого значения ЭГ и варианта условий хранения, предусматривающего первичное замораживание перед нагреванием. Стимулирующее влияние предварительного замораживания до минус 50 °С перед нагреванием до 50 °С на потемнение в образцах I-Б возможно сопряжено с тем, что ско-

Рисунок 8

Изменение pH в образцах А и Б в процессе длительного хранения

Figure 8

pH Changes in Samples A and B During Prolonged Storage



рость изменения pH в образцах I-B была выше относительно образцов I-A, II-A и II-B (Рисунок 8). Liu и др. (2008) в работе по изучению кинетики изменения цвета на модельных системах галактозы и глицина отметили линейную зависимость изменения pH от продолжительности нагревания и логарифмическую зависимость pH от температуры. Ученые подчеркивают, что исходное значение pH в системе существенно влияет на протекание реакции Майяра. Аналогичные наблюдения зафиксированы в работах (Van Boekel и Berg, 2005; Stojanovska и др., 2017). Liu и др. (2008) представляют данные о влиянии снижения pH, которое индуцировано взаимодействием сахаров с аминокислотами в процессе протекания реакции Майяра, на замедление потемнения в белково-углеводной системе. Учитывая, что в образцах I-B скорость изменения pH была наибольшей, можно выдвинуть предположение о высокой скорости образования продуктов гликирования.

Согласно Pathania и др. (2019), Alinovi и др. (2020) процессы замораживания/размораживания могут стать причиной изменения физико-химических свойств белков, а вследствие и их функциональности, что способно привести к их частичной денатурации в молочной матрице. Частичная денатурация белков заключается в изменении структуры, а соответственно приводит к экспонированию аминокислот, которые до теплового воздействия были скрыты для взаимодействия. Вероятно, в связи с тем, что в образцах I-B ЭГ была ниже, процесс замораживания/размораживания мог привести к большим изменениям составных компонентов,

что стало причиной более быстрого развития потемнения ЦСМС и ассоциированных с этим реакций.

Результаты изменения индекса белизны и насыщенности подтверждают выводы, сделанные по данным индекса цветового различия (Рисунок 9, 10).

Межквартильные диапазоны данных по индексу белизны образцов I-B и I-Г, равные $59 \div 60$ и $58 \div 59$ соответственно, находятся в зоне медианного значения межквартильных диапазонов II-B и II-Г или ниже ($\leq 59-60$), что также указывает на их больший потенциал к потемнению (Рисунок 9). Согласно наборам данных для образцов А и Б партий №I и №II по медианному значению индекса белизны ($40 \div 41$) образцы I-A, II-A и II-B характеризуются, как схожие, но отличаются от более низкого медианного значения образцов I-B (38). При этом, отмечено, что практически весь набор данных образцов I-B ($32 \div 40$) находится ниже медианного значения, индекса белизны образцов II-B, равного 40, что характеризует образцы I-B как менее белые. Значения индекса белизны в межквартильном диапазоне образцов II-K составляют $61 \div 62$ и находятся в зоне выше верхнего квартиля данных образцов I-K ($60 \div 61$), что свидетельствует о том, что образцы партий №II на протяжении 12-ти месячного хранения были более белые. Оценка изменения насыщенности цвета образцов позволила выявить, что насыщенность была в среднем выше для образцов I-K в сравнении с образцами II-K; для образцов I-B и I-Г в сравнении с II-B и II-Г, что подтверждает общую гипотезу о том, что эффективность гомогенизации ЦСМС влияет на потенциал молочной системы к потемнению.

Рисунок 9

Зависимость индекса белизны ЦСМС от режима хранения и эффективности гомогенизации

Figure 9

Dependence of SCWM Whiteness Index on Storage Conditions and Homogenization Efficiency

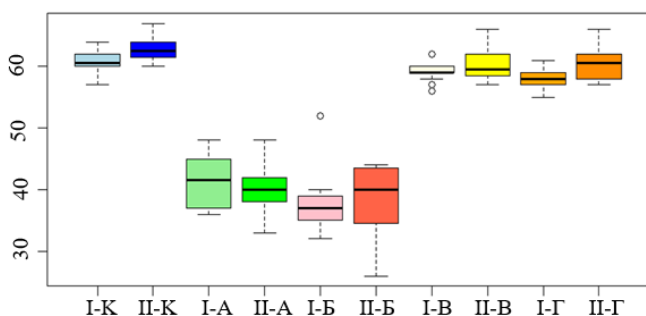
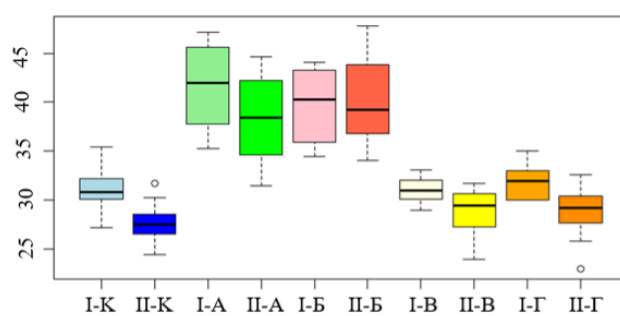


Рисунок 10

Зависимость насыщенности цвета ЦСМС от режима хранения и эффективности гомогенизации

Figure 10

Dependence of SCWM Color Saturation on Storage Conditions and Homogenization Efficiency



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучено влияние варьируемых экстремальных условий хранения на изменение цвета и, ассоциированных с этим процессом, свойств цельного сгущенного молока с сахаром с высокой и низкой эффективностью гомогенизации. Выявлено, что одноступенчатое нагревание до 50°C и хранение при этой температуре в течение 7 и 14 суток вызывает необратимые изменения молочной матрицы, а именно образование высокобелковых агрегатов, изменение содержания САК, pH и потемнение продукта. Установлено, что многоступенчатые циклы нагревания и замораживания до 50°C и минус 50°C соответственно, как и одноступенчатое замораживание до минус 50°C не оказывают критического влияния на цвет цельного сгущенного молока с сахаром.

Обнаружено влияние эффективности гомогенизации на потенциал цельного сгущенного молока с сахаром к потемнению. Продукт с более низким значением показателя приводит к большему значению цветового различия и меньшему индексу белизны в процессе длительного хранения после воздействия экстремальных температур. Результаты анализа кислотности показали, что высокая скорость изменения pH в продукте коррелировала с формированием более темного цвета в продукте в процессе длительного хранения.

Полученные данные стали частью научного обоснования разработки новой документации в области стандартизации на цельное сгущенное молоко с сахаром, предназначенное для транспортирования в районы Крайнего Севера и регионы с жарким климатом. Результаты проведенных исследований ограничены использованием в качестве объекта исследований ЦМСМ, выработанного по ГОСТ 31688–2012 и упакованного в жестяные консервные банки №7 со стандартной крышкой. Дальнейшим развитием данного направления исследований представляется разработка стандартизованных методов количественной оценки цветового различия на основе цветового пространства CIE Lab, позволяющего оцифровать показатель цвета продукта, повысить точность контроля показателя.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Екатерина Ивановна Большакова: проведение исследования, методология, создание черновика рукописи, создание рукописи и ее редактирование, визуализация, администрирование данных, администрирование проекта, формальный анализ.

Ирина Александровна Барковская: проведение исследования, визуализация.

Александр Геннадьевич Кручинин: методология, верификация данных, ресурсы, создание рукописи и ее редактирование, визуализация, руководство исследованием, администрирование проекта, формальный анализ.

Светлана Николаевна Туровская: ресурсы, создание рукописи и ее редактирование.

Елена Евгеньевна Илларионова: проведение исследования, ресурсы.

Елена Сергеевна Орлова: проведение исследования.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ekaterina Ivanovna Bolshakova: conducting research, methodology, draft preparation, manuscript writing and editing, visualization, data curation, project administration, formal analysis.

Irina Alexandrovna Barkovskaya: conducting research, visualization.

Alexander Gennadievich Kruchinin: methodology, data verification, resources, manuscript writing and editing, visualization, research supervision, project administration, formal analysis.

Svetlana Nikolaevna Turovskaya: resources, manuscript writing and editing.

Elena Evgenievna Illarionova: conducting research, resources.

Elena Sergeevna Orlova: conducting research.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Барцаев, А. В. (2023). Международные проекты таможенной службы России: состояние и перспективы их развития. *Теория и практика экономики и предпринимательства* (pp. 129–133). Симферополь: КФУ.
- Bartsaev, A. V. (2023). International projects of the Russian Customs Service: status and prospects for their development. *Theory and practice of economics and entrepreneurship*, 129–133. Simferopol: KFU. (In Russ.)
- Гаврилов, А. И., Сяньюй, У., & Чжэнь, Ч. (2024). Новый мировой порядок в безопасности транспортных перевозок грузов. *Научные проблемы водного транспорта*, (78), 127–140. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.461>
- Gavrilov, A. I., Xiangyu, W. X., & Zhen, Z. (2024). The new world order in the safety of cargo transportation. *Russian Journal of Water Transport*, (78), 127–140. (In Russ.) <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.461>
- Гурьева, К. Б., Иванова, Е. В., Тюгай, О. А. (2019). Изучение влияния температурных параметров на качество молочных консервов «Молоко цельное сгущенное с сахаром». *Товаровед продовольственных товаров*, (7), 55–61.
- Guryeva, K. B., Ivanova, E. V., Tyugay, O. A. (2019). Studying the effect of temperature parameters on the quality of canned milk — «whole condensed milk with sugar». *Food Products Commodity Expert*, (7), 55–61. (In Russ.)
- Ефимова, Е. В., Беспалова, Е. В., Дмитрук, Е. М., Вырина, С. И., & Смоляк, Т. М. (2024). Исследование физико-химических параметров и показателей качества молочных консервов при их длительном хранении в условиях отрицательных температур. *Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья*, (17), 147–155.
- Efimova, E. V., Bepalova, E. V., Dmitruk, E. M., Virina, S. I., & Smolyak, T. M. (2022). Study of physico-chemical parameters and quality indicators of canned milk during their long-term storage at subzero temperatures. *Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials*, (17), 147–155. (In Russ.)
- Рябова, А. Е. (2023). Исследование теплофизических свойств сгущенного молока с сахаром. *Пищевая промышленность*, (2), 52–55. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.012>
- Ryabova, A. E. (2023). Study of the thermophysical properties of sweetened condensed milk. *Food Industry*, (2), 52–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.012>
- Рябова, А. Е., Петров А. Н., & Пряничникова Н. С. (2023). Актуализация сроков годности и условий хранения молочных консервов: изменения в действующие инструкции. *Переработка молока*, 286(8), 37. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2023-8-37>
- Ryabova, A. E., Petrov, A. N., & Pryanichnikova, N. S. (2023). Updating the shelf life and storage conditions of canned milk: changes to the current instructions. *Milk Processing*, 286(8), 37. (In Russ.) <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2023-8-37>
- Туровская, С. Н., Галстян, А. Г., Петров, А. Н., Радаева, И. А., Илларионова, Е. Е., Семипятный, В. К., & Хуршудян, С. А. (2018). Безопасность молочных консервов как интегральный критерий эффективности их технологии. Российский опыт. *Пищевые системы*, 1(2), 29–54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54>
- Turovskaya, S. N., Galstyan, A. G., Petrov, A. N., Radaeva, I. A., Illarionova, E. E., Semipyatniy, V. K., & Khurshudyan, S. A. (2018). Safety of canned milk as an integrated criterion of their technology effectiveness. Russian experience. *Food systems*, 1(2), 29–54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54>
- Усов, Д. Ю., & Овчинников, Е. А. (2016). Основные требования, предъявляемые к хранению продовольствия в особых климатических условиях. *Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева*, 7(3), 62–67.
- Usov, D. Yu., & Ovchinnikov, Ye. A. (2016). Basic requirements for the food storage in special climatic conditions. *Bulletin of the Khrulev Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Khrulev*, 7(3), 62–67. (In Russ.)
- Adrian, J. (2019). The Maillard reaction. In *Handbook of Nutritive Value of Processed Food* (pp. 529–608). CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9780429290527-22>
- Al-Hilphy, A. R., Ali, H. I., Al-Iessa, S. A., Gavahian, M., & Mousavi-Khaneghah, A. (2022). Assessing compositional and quality parameters of unconcentrated and refractive window concentrated milk based on color components. *Dairy*, 3(2), 400–412. <https://doi.org/10.3390/dairy3020030>
- Alinovi, M., Mucchetti, G., Wiking, L., & Corredig, M. (2020). Freezing as a solution to preserve the quality of dairy products: The case of milk, curds and cheese. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(20), 3340–3360. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1798348>
- Anema, S. G. (2020). The whey proteins in milk: Thermal denaturation, physical interactions, and effects on the functional properties of milk. In *Milk Proteins* (pp. 325–384). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-815251-5.00009-8>

- Augustin, M. A., & Udabage, P. (2007). Influence of processing on functionality of milk and dairy proteins. In *Advances in Food and Nutrition Research* (pp. 1–38). Elsevier. [http://dx.doi.org/10.1016/s1043-4526\(07\)53001-9](http://dx.doi.org/10.1016/s1043-4526(07)53001-9)
- Bottiroli, R., Troise, A. D., Aprea, E., Fogliano, V., Gasperi, F., & Vitaglione, P. (2021). Understanding the effect of storage temperature on the quality of semi-skimmed UHT hydrolyzed-lactose milk: An insight on release of free amino acids, formation of volatiles organic compounds and browning. *Food Research International*, 141, 110120. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110120>
- Chen, C., Mei, J., & Xie, J. (2021). Impact of thawing methods on physico-chemical properties and microstructural characteristics of concentrated milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(9). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15642>
- Considine, T., Patel, H. A., Anema, S. G., Singh, H., & Creamer, L. K. (2007). Interactions of milk proteins during heat and high hydrostatic pressure treatments — A Review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.08.003>
- Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., & O'Mahony, J. A. (2015). Heat-Induced changes in milk. In *Dairy Chemistry and Biochemistry* (pp. 345–375). Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-14892-2_9
- García-Risco, M. R., Ramos, M., & López-Fandiño, R. (2002). Modifications in milk proteins induced by heat treatment and homogenization and their influence on susceptibility to proteolysis. *International Dairy Journal*, 12(8), 679–688. [https://doi.org/10.1016/s0958-6946\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/s0958-6946(02)00060-2)
- Gazi, I., Franc, V., Tamara, S., van Gool, M. P., Huppertz, T., & Heck, A. J. R. (2022). Identifying glycation hot-spots in bovine milk proteins during production and storage of skim milk powder. *International Dairy Journal*, 129, 105340. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105340>
- Halabi, A., Deglaire, A., Hamon, P., Bouhallab, S., Dupont, D., & Croguennec, T. (2020). Kinetics of heat-induced denaturation of proteins in model infant milk formulas as a function of whey protein composition. *Food Chemistry*, 302, 125296. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125296>
- Jansson, T., Nielsen, S. B., Petersen, M. A., & Lund, M. N. (2020). Temperature-dependency of unwanted aroma formation in reconstituted whey protein isolate solutions. *International Dairy Journal*, 104, 104653. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104653>
- Jean, K., Renan, M., Famelart, M.-H., & Guyomarc'h, F. (2006). Structure and surface properties of the serum heat-induced protein aggregates isolated from heated skim milk. *International Dairy Journal*, 16(4), 303–315. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.04.001>
- Jongberg, S., Rasmussen, M., Skibsted, L. H., & Olsen, K. (2012). Detection of advanced glycation end-products (ages) during dry-state storage of β -lactoglobulin/lactose. *Australian Journal of Chemistry*, 65(12), 1620. <https://doi.org/10.1071/ch12442>
- Liu, J., Ru, Q., & Ding, Y. (2012). Glycation a promising method for food protein modification: Physicochemical properties and structure, a review. *Food Research International*, 49(1), 170–183. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.034>
- Liu, S.-C., Yang, D.-J., Jin, S.-Y., Hsu, C.-H., & Chen, S.-L. (2008). Kinetics of color development, pH decreasing, and anti-oxidative activity reduction of Maillard reaction in galactose/glycine model systems. *Food Chemistry*, 108(2), 533–541. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.006>
- Manzo, C., Nicolai, M. A., & Pizzano, R. (2015). Thermal markers arising from changes in the protein component of milk. *Food Control*, 51, 251–255. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.029>
- Meltretter, J., Becker, C.-M., & Pischetsrieder, M. (2008). Identification and site-specific relative quantification of β -Lactoglobulin modifications in heated milk and dairy products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(13), 5165–5171. <https://doi.org/10.1021/jf800571j>
- Meyer, B., Al-Diab, D., Vollmer, G., & Pischetsrieder, M. (2011). Mapping the glycoxidation product N ϵ -carboxymethyllysine in the milk proteome. *PROTEOMICS*, 11(3), 420–428. <https://doi.org/10.1002/pmic.201000233>
- Oldfield, D. J., Taylor, M. W., & Singh, H. (2005). Effect of preheating and other process parameters on whey protein reactions during skim milk powder manufacture. *International Dairy Journal*, 15(5), 501–511. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.09.004>
- Pathania, S., Parmar, P., & Tiwari, B. K. (2019). Stability of proteins during processing and storage. In *Proteins: Sustainable Source, Processing and Applications* (pp. 295–330). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-816695-6.00010-6>
- Petrov, A. N., Galstyan, A. G., Radaeva, I. A., Turvovskaya, S. N., Illarionova, E. E., Semipyatniy, V. K., Khurshudyan, S. A., DuBuske, L. M., & Krikunova, L. N. (2017). Indicators of Quality of Canned Milk: Russian and International Priorities. *Foods and Raw Materials*, 5(2), 151–161. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-151-161>
- Ryabova, A. E., Tolmachev, V. A., & Galstyan, A. G. (2022). Phase Transitions of Sweetened Condensed Milk in Extended Storage Temperature Ranges. *Food Processing: Techniques and*

- Technology*, 52(3), 526–535. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2379>
- Sahu, J. K., & Kumar Mallikarjunan, P. (2016). Effect of heat assisted high pressure treatment on rate of change in pH and gel strength of acidified milk gel in the preparation of soft cheese. *International Food Research Journal*, 23(6), 2459–2462.
- Shao, Y., Yuan, Y., Xi, Y., Zhao, T., & Ai, N. (2023). Effects of homogenization on organoleptic quality and stability of pasteurized milk samples. *Agriculture*, 13(1), 205. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010205>
- Sharma, N., Sharma, R., Rajput, Y. S., Mann, B., Singh, R., & Gandhi, K. (2021). Separation methods for milk proteins on polyacrylamide gel electrophoresis: Critical analysis and options for better resolution. *International Dairy Journal*, 114, 104920. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104920>
- Stojanovska, S., Gruevska, N., Tomovska, J., & Tasevska, J. (2017). Maillard reaction and lactose structural changes during milk processing. *Chemistry Research Journal*, 2(6), 139–145.
- Tribst, A. A. L., Falcade, L. T. P., Carvalho, N. S., Cristianini, M., Leite Júnior, B. R. de C., & Oliveira, M. M. de. (2020). Using physical processes to improve physicochemical and structural characteristics of fresh and frozen/thawed sheep milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102247. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102247>
- Van Boekel, M. A. J. S. (2001). Kinetic aspects of the Maillard reaction: A critical review. *Nahrung/Food*, 45(3), 150–159. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20010601\)45:3<150::aid-food150>3.0.co;2-9](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20010601)45:3<150::aid-food150>3.0.co;2-9)
- Van Boekel, M. A. J. S., & Berg, H. E. (2005). Kinetics of the early maillard reaction during heating of milk. In Maillard Reactions in Chemistry, *Food and Health*, 170–175. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845698393.3.170>
- Van den Oever, S. P., & Mayer, H. K. (2021). Analytical assessment of the intensity of heat treatment of milk and dairy products. *International Dairy Journal*, 121, 105097. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105097>
- Xiang, J., Liu, F., Wang, B., Chen L, Liu W, & Tan S. A. (2021). Literature Review on Maillard Reaction Based on Milk Proteins and Carbohydrates in Food and Pharmaceutical Products: Advantages, Disadvantages, and Avoidance Strategies. *Foods*, 10(9), 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10091998>