**Тип статьи:** Оригинальное эмпирическое исследование

Влияние условий хранения на цветовой профиль цельного сгущенного молока с сахаром

**Большакова Екатерина Ивановна1**

**Барковская Ирина Александровна2**

**Кручинин Александр Геннадьевич, кандидат технических наук3**

**Туровская Светлана Николаевна4**

**Илларионова Елена Евгеньевна5**

**Орлова Елена Сергеевна6**

ФГАНУ «ВНИМИ» (г. Москва, Россия)

10000-0002-8427-0387

20000-0002-3227-8133

30000-0002-5875-9875

40000-0002-9399-0984

50000-0003-4779-1076

60009-0009-8493-1163

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована

ФГАНУ «ВНИМИ», г. Москва, ул. Люсиновская, 35к7, Россия, 115093.

Электронная почта: [a\_kruchinin@vnimi.org](mailto:a_kruchinin@vnimi.org)

**Конфликт интересов:**

Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов

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

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

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

Илларионова Елена Евгеньевна: проведение исследования, ресурсы.

Барковская Ирина Александровна: проведение исследования, визуализация.

Орлова Елена Сергеевна: проведение исследования.

**Аннотация**

**Введение.** При расширении поля реализации своей продукции в районы с жарким климатом и Арктическую зону молочноконсервные предприятия вынуждены использовать специализированный транспорт, так как пути доставки могут пересекать несколько климатических зон, температура в которых выходит за рамки рекомендуемых температурных диапазонов хранения продукта. Решение данной проблемы актуализирует исследования влияния нерегулируемых температур хранения на качество молочных консервов, в том числе цвета, с целью расширения допустимых режимов хранения и транспортирования, установленных в ТТИ к ГОСТ 31688-2012. Существует немногочисленное количество работ, описывающих влияние низких и высоких температур на качество цельного сгущенного молока с сахаром, однако они не охватывают широкий диапазон температур. Известно, что не только воздействие нехарактерных температурных режимов хранения, но и параметры гомогенизации молочного сырья могут влиять на изменение цвета. При этом, следует обратить внимание на невозможность достоверной оценки степени цветового различия идентичных по составу пищевых продуктов, поскольку применяемые методики оценки органолептических показателей являются качественными. Для количественной оценки цветового различия в научных исследованиях применяют систему на основе цветового пространства CIE Lab, позволяющую оцифровать показатель цвета продукта, повышая точность проводимых исследований.

**Цель.** Изучить влияние смоделированных условий транспортирования в диапазоне температур от 50°С до минус 50°С и последующего хранения при 5°С, а также эффективности гомогенизации на изменение цвета цельного сгущенного молока с сахаром и ассоциированных с этим процессом физико-химических показателей.

**Материалы и методы.** Объект исследований – цельное сгущенное молоко с сахаром от партий с различной эффективностью гомогенизации, подвергнутое хранению при различных температурных условиях. Изменение цвета образцов регистрировали путем фотофиксации. Содержание свободных аминокислот определяли методом капиллярного электрофореза. Определение цветового различия, индекса белизны и насыщенности определяли расчётным способом. Определение титруемой кислотности проводили титриметрическим методом. Определение pH проводили потенциометрическим методом. Качественное определение состава белков проводили с помощью диск-электрофореза в полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия. Статистический анализ экспериментальных данных проводили с применением однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и апостериорного теста Тьюки.

**Результаты.** Установлено, что одноступенчатое нагревание до 50℃ 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℃ и минус 50℃ соответственно, как и одноступенчатое замораживание до минус 50℃ не оказывают критического влияния на цвет цельного сгущенного молока с сахаром. Обнаружено влияние эффективности гомогенизации на потенциал цельного сгущенного молока с сахаром 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 цельного сгущенное молоко с сахаром, 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

**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). Даная 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, на сегодняшний день актуальным является налаживание поставок в районы Крайнего севера и страны ближнего зарубежья с жарким климатом. В условиях сложившейся геополитической ситуации проблема высокой стоимости холодной логистики снижает потенциал молочноконсервных предприятий к расширению поля реализации своей продукции, так как транспорт с терморегулированием или термоизоляцией является дорогостоящим по сравнению с обычным контейнером или фургоном. Кроме того, логистические пути поставок товаров претерпели трансформации на фоне ряда ограничений, связанных с перевозками, и могут пересекать несколько климатических зон, как внутри страны, так и за рубежом (Барцаев, 2023; Гаврилов и др., 2024). В связи с этим, целесообразным является исследование изменения качества ЦСМС в более широком температурном диапазоне, что может позволить обосновать новые допустимые условия хранения и/или транспортироватирования 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.

Существует немногочисленное количество работ по исследованию повышенных и пониженных температур хранения на физико-химические, микробиологические и органолептические показатели ЦСМС. Так, Гурьева К. Б. с соавторами в своем исследовании (Гурьева и др., 2019) приводят данные о влиянии температур хранения (25, 35 и 45°С) на качественные характеристики ЦСМС. Установлено, что после выдержки образцов при температуре 45°С в течение трех месяцев изменения претерпевают вкус и запах продукта, повышается титруемая кислотность (с 39,0 до 50,5°Т), значительно повышается вязкость, величину которой не представлялось возможным определить стандартизованными методиками. 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. В исследованиях (Рябова, 2023; Ryabova и др., 2022) приведен 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). Выявлена потеря текучести продукта при температуре хранения минус 30°С в течение 2 ч и при температуре минус 35°С – через 54 мин. Для более глубокого изучения фазовых переходов авторами применен метод дифференциальной сканирующей калориметрии. Проанализированы и выбраны три температурные программы (стандартная, модифицированная и циклическая), различающиеся циклами нагревания/охлаждения при различных скоростях и значениях. Продукт температурой 20 °С после критического замораживания до –95 °С, дальнейшего нагревания до минус 35 °С, последующего охлаждения до –75 °С, а затем нагревания до 30 ºС (циклическое температурное воздействие) 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, обусловливающих потемнение продукта (реакция Майяра) (Van den Oever S. P. и др., 2021; Xiang J. 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 обратно пропорциональной зависимости эффективности гомогенизации и изменения цветовых характеристик пастеризованного молока, объясняя данную особенность влиянием 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*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование показателя | | Значение | | |
| Партии №I | | Партии №II |
| Массовая доля влаги, % | | 28,5 | | 28,5 |
| Массовая доля сахарозы, % | | 45,7 | | 45,5 |
| Массовая доля сухого молочного остатка, % | | 25,8 | | 26,0 |
| Массовая доля жира, % | | 8,5 | | 8,6 |
| Массовая доля белка, % | | 7,6 | | 8,15 |
| Кислотность, °Т | | 35 | | 41 |
| Вязкость, Па·с | | 7,6 | | 8,4 |
| Размеры кристаллов молочного сахара, мкм | | 3,4 | | 3,5 |
|  | Эффективность гомогенизации (ЭГ) | |
| Степень гомогенизации, % | | 23 | | 46 |
| Средний размер жировых шариков, мкм | | 3,39 | | 2,33 |

**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°C до 50°C. Дизайн исследования включал 5 вариантов условий хранения: К, А, Б, В и Г. Описание вариантов условий хранения представлено в таблице 2.

Таблица 2

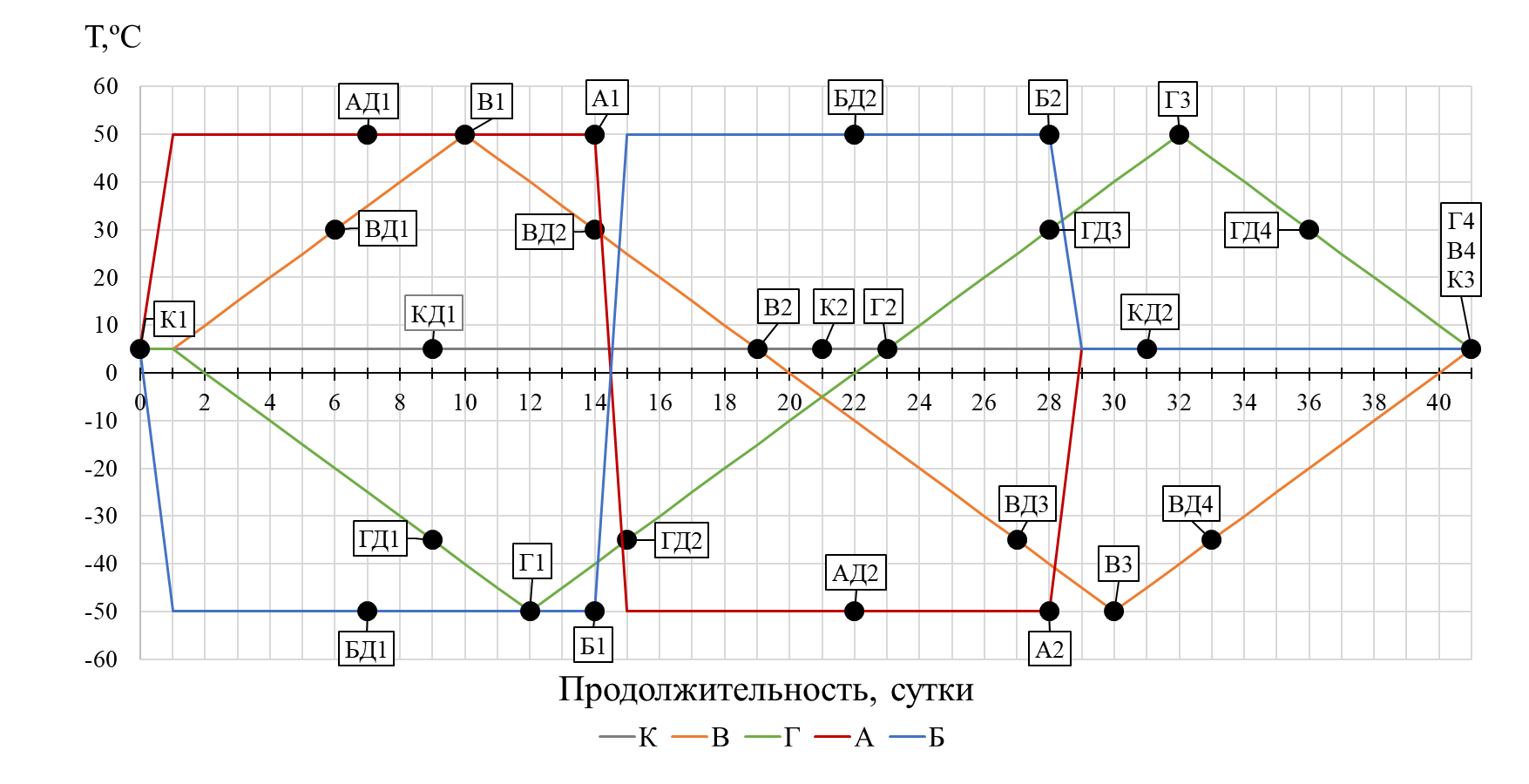
*Описание вариантов условий хранения*

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

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.

Рисунок 1

*График хранения образцов ЦСМС*

****

Второй этап исследования заключался в хранении всех образцов при температуре 5±2°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 ℃ 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 () производили по формуле (1):

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

Где Lк – значение L по системе Lab для конечного образца, Lн – значение L по системе Lab для начального образца, – значение по системе LAB для конечного образца, – значение по системе LAB для начального образца, – значение по системе LAB для конечного образца, – значение по системе LAB для начального образца.

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

|  |  |
| --- | --- |
| , | (2) |

Где L, , соответствующие значения образцов по системе Lab.

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

|  |  |
| --- | --- |
| , | (2) |

Где , 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).

Рисунок 2

*Изменение цвета в образцах А и Б*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № партий | Наименование образцов | | | | | | |
| К1 | А1 | А2 | К1 | Б1 | Б2 |
| I |  | | |  | | | | |
|  |  | | |  | | |
| II |  | | |  | | |

Рисунок 3

*Изменение цвета в образцах В*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № партий | Наименование образцов | | | | | |
| К1 | В1 |  | В2 | В3 | В4 |
| I |  | | | | | |
|  |  | | | | | |
| II |  | | | | | |

Рисунок 4

*Изменение цвета в образцах Г*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № партий | Наименование образцов | | | | | |
| К1 | Г1 |  | Г2 | Г3 | Г4 |
| I |  | | | | | |
|  |  | | | | | |
| II |  | | | | | |

Степень изменения цвета образцов зависела от варианта условий хранения и эффективности гомогенизации ЦСМС. Отмечено, что одноступенчатое нагревание до 50°C 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-А2 в сравнении с I-А2 после последовательных циклов одноступенчатого нагревания до 50°C и замораживания до минус 50°C 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°C в течение месяца и размороженного при 7°C 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°C; потоком воды 20 °C; 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 обусловливают 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).

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÷23°Т и снижение pH на 0,21÷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.

Таблица 3

*Изменение кислотности в образцах ЦСМС после основных циклов теплового воздействия*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |

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

Согласно Anema (2020) при постепенном повышении температуры молока до 70°C большая часть денатурированного β-LG и α-LA связывается с κ-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 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 Б2 после одноступенчатого нагревания с хранением до 14 суток (Рисунок 5).

Рисунок 5

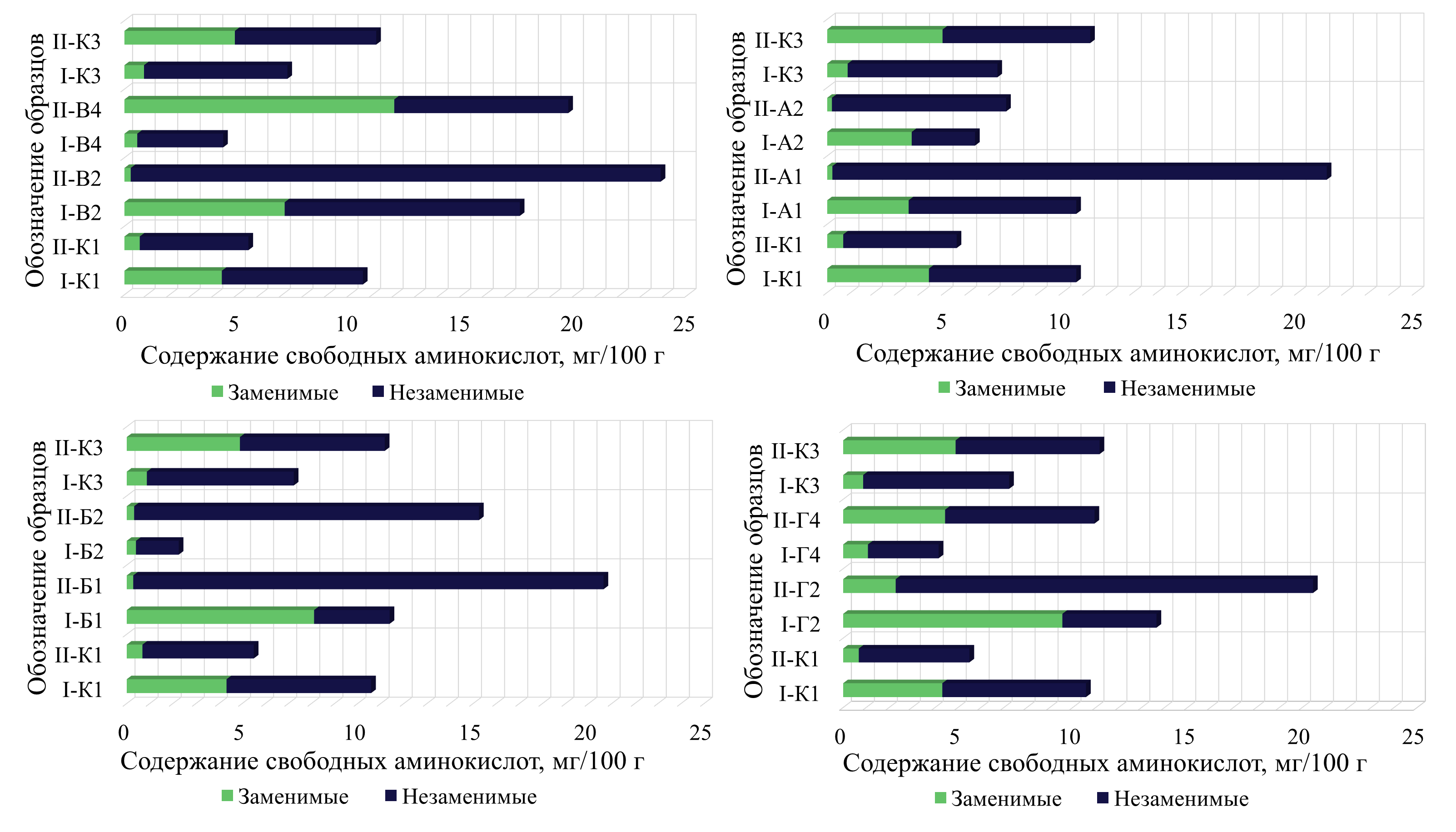
*Электрофореграммы образцов ЦСМС партий №I*

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

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 Б2 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 Б2, 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*



Установлена тенденция увеличения содержания свободных аминокислот в образцах партий №I и №II: А1, Б1, В2, Г2 и снижения в образцах А2, Б2, В4, Г4 партий №I и №II. Bottiroli 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 Bottiroli 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 Garcı́a-Risco и др. (2002). Авторы также установили, что в цельном молоке, гомогенизированном при 20 МПа, ферментативная деградация αS1-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 глутамина 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.

Рисунок 7

*Изменение цветового различия*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Цветовое различие, ∆E |  | |
|  | Наименование образцов |

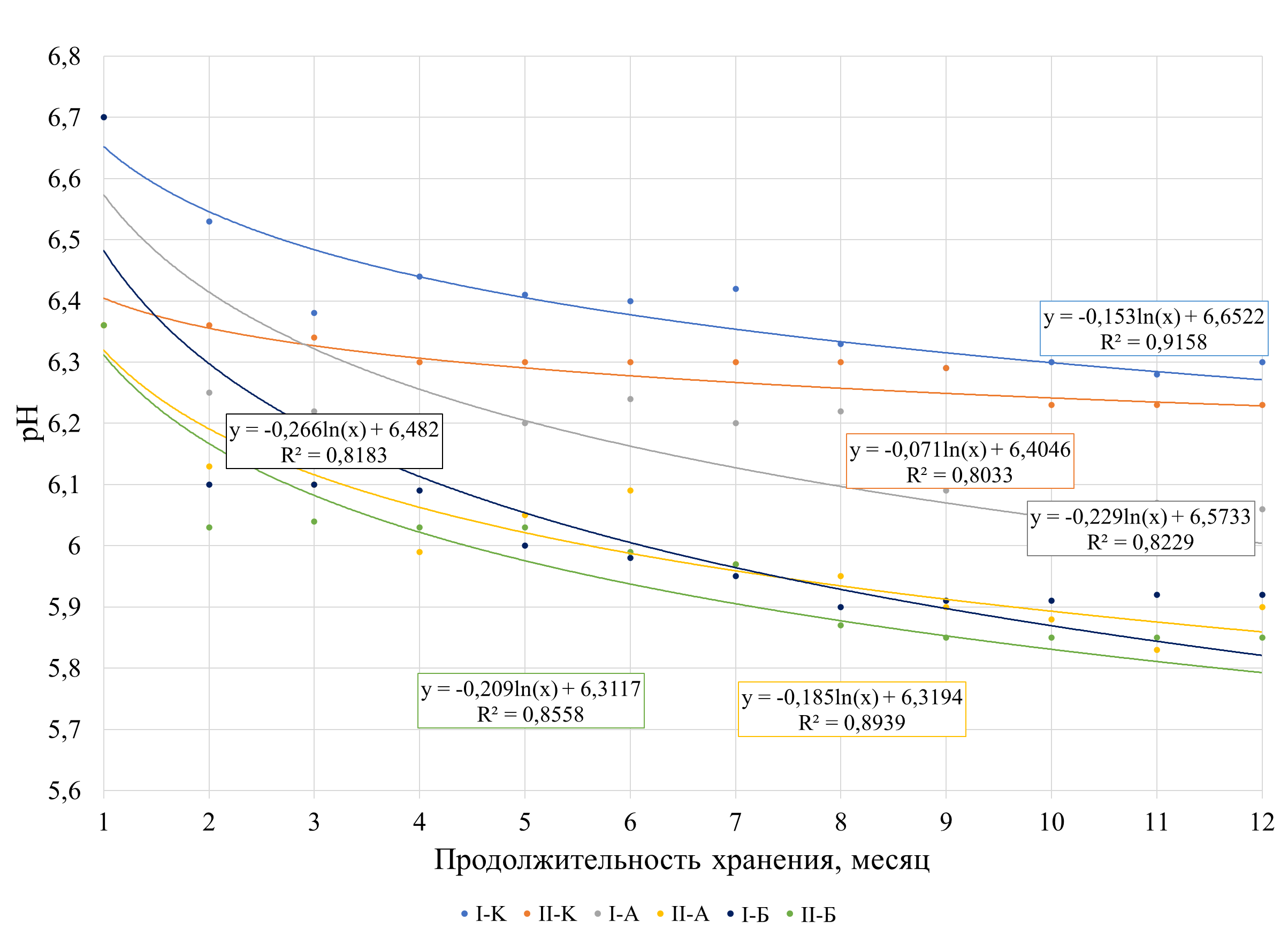
В соответствии с результатами анализа цветового различия образцов очевидно отсутствие значимых различий между образцами I-К и II-К. Для образцов I-В и I-Г отмечается меньший разброс данных и бóльшая концентрация значений цветового различия выше или в зоне верхних квартилей наборов данных образцов II-В и II-Г. Этот факт указывает на определенную стабильность цвета образцов I-В и I-Г, но при этом их бóльший потенциал к потемнению в сравнении с образцами II-В 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 А 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 экстремальных 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°C могли обладать как потенциалом, так и ограниченными возможностями для дальнейших преобразований в коричневые пигменты. Данная гипотеза находит теоретическое 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 реактантов. 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-А, II-А, 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℃ перед нагреванием до 50℃ на потемнение в образцах I-Б возможно сопряжено с тем, что скорость изменения pH в образцах I-Б была выше относительно образцов I-А, II-А и II-Б (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 аминогруппами в процессе протекания реакции Майяра, на замедление потемнения в белково-углеводной системе. Учитывая, что в образцах I-Б скорость изменения pH была наибольшей, можно выдвинуть предположение о высокой скорости образования продуктов гликирования.

Рисунок 8

*Изменение pH в образцах А и Б в процессе длительного хранения*



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-Б ЭГ была ниже, процесс замораживания/размораживая 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).

Рисунок 9

*Зависимость индекса белизны ЦСМС от режима хранения и эффективности гомогенизации*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Индекс белизны | |  |
|  | | Наименование образцов | | |

Рисунок 10

*Зависимость насыщенности цвета ЦСМС от режима хранения и эффективности гомогенизации*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Насыщенность цвета |  | |
|  | Наименование образцов |

Межквартильные диапазоны данных по индексу белизны образцов I-В и I-Г, равные 59÷60 и 58÷59 соответственно, находятся в зоне медианного значения межквартальных диапазонов II-В и II-Г или ниже (⩽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÷41) образцы I-А, II-А и II-Б характеризуются, как схожие, но отличаются от более низкого медианного значения образцов I-Б (38). При этом, отмечено, что практически весь набор данных образцов I-Б (32÷40) находится ниже медианного значения, индекса белизны образцов II-Б, равного 40, что характеризует образцы I-Б как менее белые. Значения индекса белизны в межквартильном диапазоне образцов II-К составляют 61÷62 и находятся в зоне выше верхнего квартиля данных образцов I-К (60÷61), что свидетельствуют 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-К в сравнении с образцами II-К; для образцов I-В и I-Г в сравнении с II-В и II-Г, что подтверждает общую гипотезу о том, что эффективность гомогенизации ЦСМС влияет на потенциал молочной системы к потемнению.

**ВЫВОДЫ**

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℃ 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℃ и минус 50℃ соответственно, как и одноступенчатое замораживание до минус 50℃ 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 бóльшему 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 цельного сгущенное молоко с сахаром, 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.

**Литература**

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

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 &amp; 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

Garcı́a-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

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 Nε‐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., Turovskaya, S. N., Illarionovа, 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 &amp; 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

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), 1998. https://doi.org/10.3390/foods10091998

Барцаев, А. В. (2023). Международные проекты таможенной службы России: состояние и перспективы их развития. *Теория и практика экономики и предпринимательства,* 129-133.

Гаврилов, А. И., Сянъюй, 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

Гурьева, К. Б., Иванова, Е. В., Тюгай, О. А. (2019). Изучение влияния температурный параметров на качество молочных консервов «Молоко цельное сгущенное с сахаром». *Товаровед продовольственных товаров,* (7), 55–61.

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.

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

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

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

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.

**References**

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

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. (In Russian)

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 &amp; Emerging Technologies*, *8*(1), 1–23. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.08.003

Efimova, E. V., Bespalova, 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*. 2022;(17):147-155. (In Russian)

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

Garcı́a-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

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

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

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 Russian)

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 Nε‐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., Turovskaya, S. N., Illarionovа, 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. (2023). Study of the thermophysical properties of sweetened condensed milk. *Food Industry,* (2), 52-55. (In Russian) https://doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.012

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 Russian) https://doi.org/10.33465/2222-5455-2023-8-37

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 &amp; Emerging Technologies*, *59*, 102247. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102247

Turovskaya, S. N., Galstyan, A. G., Petrov, A. N., Radaeva, I. A., Illarionovа, E. E., Semipyatniy, V. K., Khurshudyan, S. A. (2016). 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

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 Russian)

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

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), 1998. https://doi.org/10.3390/foods10091998