

# ЦИФРОВАЯ ЦВЕТОМЕТРИЯ КАК ЭКСПРЕСС-ИНДИКАТОР ДЕГРАДАЦИИ СУХИХ ВЫСОКОБЕЛКОВЫХ МОЛОЧНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ\*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**Ирина Александровна Барковская**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией технологий молочных продуктов  
E-mail: [i\\_barkovskaya@vniimi.org](mailto:i_barkovskaya@vniimi.org)  
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва

В условиях роста производства сухих высокобелковых ингредиентов возрастает необходимость разработки оперативных и воспроизводимых методов контроля их технологической пригодности в процессе хранения. Традиционные методы оценки глубинных биохимических изменений (реакция Майяра, агрегация белков, окисление липидов) являются трудоемкими и требуют сложной пробоподготовки, что ограничивает их применение в производственных условиях. В этой связи перспективным направлением исследований является рассмотрение экспресс-индикаторов диагностики ухудшения качества. Целью работы являлась оценка возможности использования визуальной оценки слеживаемости и индекса белизны в качестве оперативных критериев изменения технологической пригодности сухих высокобелковых молочных продуктов. В качестве объектов исследования использованы концентрат молочных белков, концентрат мицеллярного казеина, концентрат сывороточных белков и лецитинизированный концентрат сывороточных белков. Образцы хранили в течение 2 мес. при  $6 \pm 2$  и  $45 \pm 2$  °C и относительной влажности воздуха 65 %. Показано увеличение размера агрегатов для всех образцов, кроме концентрата сывороточных белков, в хранении при 45 °C. Установлено, что основной вклад в формирование цветовых различий исследуемых образцов вносит увеличение показателя желтизны ( $b^*$ ). Зафиксировано снижение величины индекса белизны для всех анализируемых объектов в следующей последовательности: лецитинизированный концентрат сывороточных белков – концентрат сывороточных белков – концентрат мицеллярного казеина – концентрат молочных белков. Наибольшее уменьшение характерно для лецитинизированного концентрата сывороточных белков – 10,9 %, минимальные изменения детектированы для концентрата мицеллярного казеина и концентрата молочных белков ( $\approx 3$  %). Полученные данные свидетельствуют о чувствительности цифровой цветометрии к структурным и химическим трансформациям сухих молочных систем. Показано, что данный подход может рассматриваться как перспективный инструмент экспресс-мониторинга качества высокобелковых молочных ингредиентов в промышленной практике.

**Ключевые слова:** молочные ингредиенты, индекс белизны, слеживаемость, контроль качества

**Для цитирования:** Барковская, И. А. Цифровая цветометрия как экспресс-индикатор деградации сухих высокобелковых молочных ингредиентов / И. А. Барковская // Молочная промышленность. 2026. № 3. С. 30–37. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2026-3-84>



Источник изображения: freerjk.com

## ВВЕДЕНИЕ

Современная молочная промышленность характеризуется стремительным ростом производства сухих ингредиентов, в качестве сырья для которых используют как цельное сырое молоко, так и вторичное молочное сырье (молочная сыворотка, пахта и др.) [1, 2]. По аналитическим данным, к 2030 г. мировой рынок протеина увеличится до более чем 114 млрд долл. [3]. К данной категории продуктов относятся концентраты сывороточных белков (КСБ), казеина (КМК), молочного белка (КМБ), сухая деминерализованная сыворотка, пермеат, гидролизаты молочных белков и др. [4, 5]. Увеличение объемов производства сухих молочных ингредиентов обосновано расширением направлений их переработки ввиду развития ниши функционального и специализированного питания: детские продукты [6–8], продукты для лечебного питания [9–11], пищевые продукты с повышенным содержанием белка и т. д. [4, 12, 13]. Объем мирового рынка функциональных

\*Исследование выполнено в рамках государственного задания FNSS-2025-0001.

напитков с высоким содержанием белка в 2024 г. оценили в 1,68 млрд долл., прогнозируя рост до 2,43 млрд долл. к 2029 г., а общий прогноз по сектору функциональных напитков составляет 279 млрд долл. к 2030 г. [14]. Помимо функциональных напитков с повышенным содержанием белка, на рынке доминируют йогурты с высоким содержанием белка, занимая порядка 67 % ниши молочных продуктов, обогащенных белковыми компонентами. Ожидается, что его объем в ближайшие 10 лет увеличится с 41 млрд долл. до более чем 80 млрд долл. Подобный рост обусловлен повышением осведомленности покупателей о пользе такой категории молочной продукции для здоровья и увеличением популярности функциональных молочных продуктов. В связи с активным расширением ассортимента продуктов с добавленным белком актуализируется вопрос оперативного контроля их технологической пригодности для производства подобных видов продукции<sup>1</sup> [15, 16].

Основными биохимическими реакциями, протекающими в сухих молочных продуктах с повышенным содержанием белка, являются трансформации белковой, углеводной и липидной составляющих молочной системы (реакция Майяра, окисление липидов, агрегация белков и пр.) [17, 18]. Все эти процессы напрямую оказывают влияние на технологическую пригодность ингредиентов для переработки на пищевые цели: растворимость, эмульгирующую и пенообразующую способности, изменение сенсорных характеристик и т. д. [17]. Ранее учеными в работах [19, 20] показано, что модификации пищевой матрицы при производстве сухих молочных продуктов первоначально происходят во время технологического процесса. Помимо этого, в исследовании [21] установлено, что деградация и изменения белковой и липидной составляющих сухого молока при хранении продолжают прогрессировать, оказывая отрицательное влияние на его качество как сырья для переработки. Однако в настоящее время оценка качества сухих молочных ингредиентов в производственных условиях затруднена. Подобное состояние вопроса связано с трудоемкостью и длительностью применяемых методических подходов. Так, для определения окисления или ферментативной деградации белков применяют методы фотометрии, хроматографии, гель-электрофореза и спектрометрии, требующие длительной подготовки образцов [18, 21]. Оценка степени окисленности молочного жира подразумевает длительную процедуру экстра-

гирования целевого компонента, работу с вредными химическими растворителями и пр. [21]. Определение продуктов реакции Майяра также является длительной лабораторной процедурой, подразумевающей многоступенчатую очистку и преобразование пищевого продукта для выделения окрашенных веществ и определения их количества [22]. Таким образом, интересной научно-исследовательской задачей является поиск объективных, быстрых и воспроизводимых показателей, коррелирующих с глубинными биохимическими изменениями сухих молочных систем.

Одним из наиболее чувствительных индикаторов оценки качества может служить определение количественного изменения цветности и внешнего вида продукта [5, 17]. Потемнение сухих молочных ингредиентов связано прежде всего с протеканием реакции неферментативного потемнения между лактозой и белками молока [17]. Установлено, что увеличение параметра  $b^*$  и снижение показателя индекса белизны прямо коррелируют со степенью образования меланоидинов и снижением биологической ценности белка. В работе [23] на примере сухой молочной сыворотки показано, что цветовые параметры CIELab могут быть использованы как количественный индикатор стадии реакции Майяра в молочных продуктах. Изменение оттенка, помимо формирования окрашенных соединений, может быть ассоциировано с переходом лактозы из аморфного состояния в кристаллическое, сопровождающееся изменением оптических характеристик поверхности частиц и визуальным увеличением агрегатов сухих продуктов [17]. Для высокобелковых сухих компонентов (КСБ, КМБ, КМК и др.) дополнительным параметром, оказывающим влияние на изменение цветности продуктов в хранении, является агрегация белковых частиц, которая также сказывается на оптических свойствах пищевой системы. При этом даже незначительное изменение окраски продукта может свидетельствовать об ухудшении растворимости и реологических характеристик при его восстановлении [24]. Исходя из вышесказанного, можно заключить, что перспективным направлением исследований является применение методических подходов цифровой цветометрии для оперативной оценки высокобелковых сухих молочных компонентов на предприятиях отрасли. **Целью работы** являлась оценка возможности использования визуальной оценки слеживаемости и индекса белизны в качестве оперативных критериев изменения технологической пригодности сухих высокобелковых молочных продуктов.

<sup>1</sup>How to formulate high-protein cultured dairy products [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dairyfoods.com/articles/98716-how-to-formulate-high-protein-cultured-dairy-products> (дата обращения: 11.02.2026).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения применимости оценки слеживаемости и цифровой цветометрии в задачах экспресс-оценки качества сухих высокобелковых продуктов исследовали следующие образцы: концентрат молочного белка (КМБ), концентрат мицеллярного казеина (КМК), концентрат сывороточного белка (КСБ), лецитинизированный концентрат сывороточного белка (ЛКСБ) (ПАО Молочный комбинат «Воронежский», Россия). Физико-химические показатели исследуемых образцов приведены в таблице 1.

Образцы, расфасованные в многослойные мешки с полиэтиленовым вкладышем, хранили в течение 2 мес. при температуре  $6 \pm 2$  °С (Образцы: КМБ 6 °С, КМК 6 °С, КСБ 6 °С, ЛКСБ 6 °С) и  $45 \pm 2$  °С (Образцы: КМБ 45 °С, КМК 45 °С, КСБ 45 °С, ЛКСБ 45 °С) для моделирования условий ускоренной порчи и интенсификации процессов деградации продуктов [25], относительной влажности воздуха 65 % в климатической камере СМ-70/150-250-ТВХ (ООО «СМ-Климат», Россия).

Фотофиксацию изменения цвета и внешнего вида образцов проводили с использованием 12 МП камеры смартфона Samsung Galaxy Z Flip4 (Samsung, Suwon, South Korea). Для оценки индекса белизны

дополнительно применяли светонепроницаемую станцию визуализации системы гель-документации «View» (Helicon, Россия). Образец располагали на равном расстоянии от сторон визуализационного модуля, фотосъемку выполняли со вспышкой для обеспечения контролируемых условий освещения [26].

Определение индекса белизны ( $WI$ ) производили путем расчета по данным CIE Lab, полученным с помощью фотофиксации и анализа посредством программного обеспечения ColorMeer (White Marten GmbH, Baden-Württemberg, Germany) по формуле:

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

где  $L, a, b$  – соответствующие значения образцов по системе Lab [26].

Все измерения проводили в трех независимых повторностях с последующим расчетом среднего квадратичного отклонения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Визуальная оценка образцов, представленная на рисунке 1, отражает различную степень склонности высокобелковых продуктов к слеживаемости. Все образцы сохранили рыхлую структуру

Таблица 1. Физико-химические показатели исследуемых образцов

Образец	Массовая доля сухих веществ, %, не менее	Массовая доля белка (в пересчете на сухое вещество), %, не менее	Массовая доля жира, %, не более	Массовая доля лактозы, %, не более
КМБ	94,0	80,0	3,0	6,0
КМК	95,0	80,0	2,0	6,0
КСБ	94,0	80,0	7,0	9,2
ЛКСБ	95,0	80,0	11,0	9,0

Примечание: составлено по данным производителя – <https://protein.molvest.ru/presentation>.

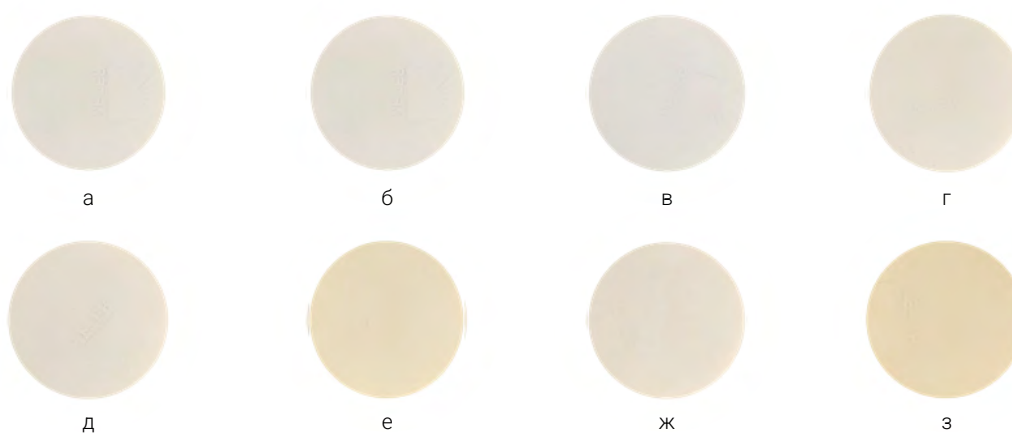


Рисунок 1. Визуальная оценка слеживаемости образцов высокобелковых молочных компонентов после хранения при заданных условиях в течение 2 мес.: а) КМБ 6 °С; б) КМБ 45 °С; в) КМК 6 °С; г) КМК 45 °С; д) КСБ 6 °С; е) КСБ 45 °С; ж) ЛКСБ 6 °С; з) ЛКСБ 45 °С

с умеренной агломерацией частиц в условиях холодильного хранения при 6 °С, комки продукта легко разрушались при механическом воздействии. Хранение при повышенной температуре негативно отразилось на исследуемых молочных матрицах. Отмечено визуальное усиление процессов агрегации: структура порошков стала менее однородной, сформировались плотные комки различного размера, частично сохраняющие форму при механическом воздействии. Наиболее выраженные признаки слеживаемости в хранении при 45 °С выявлены для КМБ, КМК и ЛКСБ. Подобная картина может быть связана с перераспределением влаги в системе и повышением гигроскопичности частиц в процессе экспозиции образцов [27]. Сухие молочные продукты характеризуются аморфным состоянием составных частей системы, оказывающим влияние на химические и физические изменения, происходящие при хранении в результате сорбции воды из окружающей среды (например, кристаллизация лактозы) [27]. Ранее в исследовании [27] авторы проанализировали сорбционную способность двух видов сухой молочной сыворотки (деминерализованной и недеминерализованной) и продемонстрировали значительное влияние кристаллизации аморфной лактозы и содержания минеральных соединений в продукте на динамику адсорбции водяного пара и, как следствие, эффекта слеживаемости. В результате эксперимента установлено, что сыворотка, содержащая большее количество минеральных солей, была более склонна к комкованию, и ее гигроскопичность была более высокой: при относительной влажности воздуха 81 % в течение 50 ч продукт увеличил содержание влаги до 15,99 г/100 г сухого вещества, тогда как деминерализованная сыворотка адсорбировала

7,4 г/100 г сухого вещества. Помимо сорбции влаги из окружающей среды, эффекты комкования могут происходить по причине гидрофобной ассоциации мицелл казеина, как это было показано на примере концентрата молочного белка в работе [28]. КСБ продемонстрировал умеренную степень слеживаемости и не имел визуальных отличий в дисперсности агрегатов, по сравнению с контрольным образцом, хранившимся при 6 °С. Полученный результат не в полной мере соотносится с результатами исследования [29], в котором для концентрата (массовая доля белка 35 %) и изолята сывороточного белка зафиксирован эффект комкования сухих продуктов при температурах хранения 25, 35 и 45 °С, относительной влажности воздуха 85 % и продолжительности хранения 21 день. Вероятно, подобные расхождения обусловлены пониженной сорбцией влаги из воздуха в нашем эксперименте. Несмотря на полученные визуальные различия между образцами, можно заключить, что оценка степени комкования сухих ингредиентов для промышленной практики в перспективе имеет ограничения, поскольку подход в достаточной степени субъективен и не имеет цифрового выражения для возможности сравнения продуктов между собой. Однако она может являться контрольной точкой для старта другого рода испытаний, например, оперативной оценки индекса белизны.

Визуальная оценка результатов фотофиксации исследуемых образцов отражает наибольшие цветовые различия для КСБ и ЛКСБ, в то время как КМБ и КМК продемонстрировали умеренную восприимчивость данного показателя к температуре (рис. 2).



**Рисунок 2. Фотофиксация изменения цветности образцов высокобелковых молочных компонентов после хранения при заданных условиях в течение 2 мес.: а) КМБ 6 °С; б) КМБ 45 °С; в) КМК 6 °С; г) КМК 45 °С; д) КСБ 6 °С; е) КСБ 45 °С; ж) ЛКСБ 6 °С; з) ЛКСБ 45 °С**

Анализ изменения цветовых параметров исследуемых образцов в системе CIELab (табл. 2) после двух месяцев хранения при 6 и 45 °С отражает сохранение показателя светлоты ( $L^*$ ) на высоком уровне (85,1–88,3), что свидетельствует об отсутствии выраженного потемнения по этой оси координат. При повышенной температуре хранения наблюдались направленные изменения значений  $a^*$  и  $b^*$ , при этом основной вклад в цветовой сдвиг вносило увеличение желтизны ( $b^*$ ). Наиболее существенные изменения параметра  $b^*$  зафиксированы для КСБ и ЛКСБ: увеличение с 8,7 до 17,2 и с 9,6 до 20,4 соответственно. Для казеинсодержащих образцов (КМБ и КМК) прирост показателя был менее выраженным: 7,0–10,7 и 4,9–9,3 соответственно. Таким образом, сывороточные белковые ингредиенты продемонстрировали более высокую восприимчивость к цветовым изменениям в условиях ускоренного хранения. Полученные результаты свидетельствуют о том, что основной вклад в изменение цветовых различий образцов вносит увеличение значений показателя  $b^*$ , тогда как изменения  $L^*$  и  $a^*$  носят вторичный характер.

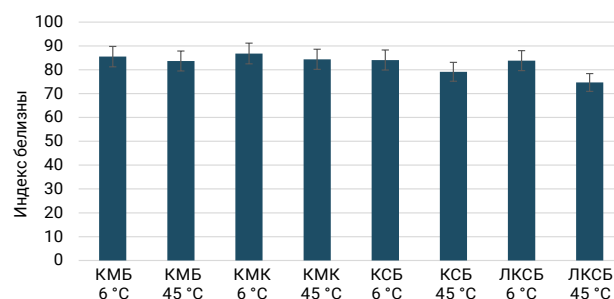
Как видно на графике изменения индекса белизны (рис. 3), для всех исследуемых образцов характерно уменьшение целевого показателя. Наибольшее снижение зафиксировано для ЛКСБ: с 83,8 до 74,7. КСБ показал большую устойчивость – уменьшение индекса белизны на 5,88 %. Сухие молочные продукты, содержащие казеин, в наименьшей степени подвержены цветовым изменениям: индекс белизны уменьшился менее чем на 3 % для КМБ и КМК. Подобный результат может быть обусловлен ранее установленным фактом влияния соотношения сывороточных белков и казеина на биохимические процессы порчи сухих высокобелковых продуктов в процессе хранения [30]. Можно предположить, что менее интенсивное протекание процес-

сов порчи, связанных с изменением цвета, в сухих молочных продуктах с содержанием казеина связано с меньшим количеством аминокислотных остатков лизина. Согласно данным [31], казеин содержит 8,5 г лизина на 100 г белка, а сывороточный белок – 10,9 г лизина на 100 г белка. Помимо этого, согласно физико-химическому составу исследуемых образцов (табл. 1), КМБ и КМК содержат примерно на 30 % меньше лактозы, чем КСБ и ЛКСБ. Кроме того, содержащийся в ЛКСБ лецитин может вносить дополнительный вклад в эффекты потемнения продукта при хранении ввиду образования гидроксипероксидов – продуктов окисления липидов [32]. Таким образом, более интенсивное потемнение образцов сывороточного белка обусловлено большим содержанием аминокислотных остатков лизина и лактозы, непосредственно участвующих в протекании неферментативного потемнения.

Установленные эффекты изменения структуры сухих высокобелковых продуктов и изменения индекса белизны коррелируют с результатами ранее проведенных исследований. Например, авторы работы [33] провели оценку динамики изменения внешнего вида КСБ с массовой долей белка 34,9 и 76,8 г/100 г в течение 18 мес. при повышенной влажности и температуре, установив рост значения желтизны ( $b^*$ ) и увеличение степени слеживаемости продуктов. Увеличение размера агломератов сухих продуктов и комкование обычно трактуют как физическую деградацию пищевой системы, обусловленную увеличением массовой доли влаги и ростом показателя активности воды, а также стеклованием аморфных компонентов (в первую очередь лактозы), состоянием липидной фазы и факторами окружающей среды (механическая нагрузка, температура) [34]. Изменение индекса белизны сухих продуктов в первую очередь ассоциируют с накоплением в продукте окрашенных соединений белково-углеводной при-

**Таблица 2. Изменение параметров CIELab для исследуемых образцов после хранения**

Образец	$L^*$	$a^*$	$b^*$
КМБ 6 °С	87,3	-0,5	7,0
КМБ 45 °С	87,7	-1,0	10,7
КМК 6 °С	87,8	-0,2	4,9
КМК 45 °С	87,5	-0,5	9,3
КСБ 6 °С	86,7	-0,3	8,7
КСБ 45 °С	88,3	-1,4	17,2
ЛКСБ 6 °С	87,0	-0,4	9,6
ЛКСБ 45 °С	85,1	-1,1	20,4



**Рисунок 3. Изменение индекса белизны высокобелковых молочных компонентов после хранения при заданных условиях в течение 2 мес.**

роды при повышенной температуре. Так, в исследовании [28] показано увеличение массовой доли фурурина (продукт начальной стадии реакции Майяра) от 160 до 1580 мг/100 г белка в результате хранения КМБ при нестандартных условиях хранения (температура – 40 °С, относительная влажность воздуха – 84 %). Изменение индекса белизны является комплексным критерием оценки как химических, так и структурных изменений, характеризующим глубину протекания реакций гликирования белков, трансформации углеводной и белковой составляющей по отдельности [27]. Накопление продуктов реакции неферментативного потемнения связывают с ухудшением технологических свойств (в том числе растворимости) сухих высокобелковых молочных продуктов [35]. В этой связи контроль изменения показателей цветности может рассматриваться как информативный индикатор протекающих деграционных процессов, представляющий практический интерес для промышленного использования.

## Выводы

В исследовании установлено изменение внешнего вида исследуемых сухих высокобелковых молочных ингредиентов в условиях экспозиции при 45 °С в течение 2 мес. Наиболее выраженные признаки слеживаемости выявлены для концентрата молочного белка (КМБ), концентрата мицеллярного казеина (КМК) и лецитинизированного концентрата сывороточного белка (ЛКСБ), в то время как концентрат сывороточного белка (КСБ) оказался более устойчивым к комкованию. Формирование плотных агрегатов при повышенной температуре свидетельствует об интенсификации физико-структурных трансформаций, связанных с перераспределением влаги, изменением состояния аморфных компонентов молочной системы (лактоза) и агрегацией казеиновых мицелл. Неоднозначные результаты позволяют заключить, что применение на практике оценки степени агрегации сухих частиц как индикатора качества сухих компонентов является достаточно субъективным и, вероятно, не воспроизводимым. В связи с этим более перспективным для оперативного контроля может являться подход цифровой цветометрии. Анализ параметров CIE Lab показал сохранение светлоты ( $L^*$ ) на высоком уровне при одновременном значительном увеличении желтизны ( $b^*$ ), особенно для сывороточных концентратов. В работе установлено снижение значения индекса белизны для всех исследуемых



Источник изображения: freerik.com

образцов. Наибольшее уменьшение показателя зафиксировано для ЛКСБ – 10,9 %; КСБ показал большую устойчивость – 5,9 %; сухие молочные продукты, содержащие казеин, в наименьшей степени подвержены цветовым изменениям – изменение менее чем на 3 % для КМБ и КМК. Выявленные различия могут быть обусловлены особенностями химического состава исследуемых ингредиентов, включая массовую долю лактозы и соотношение казеина и сывороточных белков, определяющих интенсивность реакции неферментативного потемнения в процессе хранения. Дополнительный вклад в потемнение ЛКСБ может вносить окислительная порча фосфолипидов лецитина. Полученные результаты подтверждают чувствительность параметра желтизны ( $b^*$ ) и индекса белизны к протеканию деграционных изменений и позволяют рассматривать цифровую цветометрию как интегральный и технологически доступный инструмент экспресс-мониторинга качества сухих высокобелковых молочных продуктов на предприятиях отрасли. Данный подход может быть использован для оперативной оценки технологической пригодности ингредиентов и служить основой для дальнейшего развития моделей прогнозирования стабильности сухих молочных систем при хранении. ■

Поступила в редакцию: 02.03.2026

Принята в печать: 05.05.2026

## DIGITAL COLORIMETRY AS AN EXPRESS INDICATOR OF PARTICLE DEGRADATION IN HIGH-PROTEIN DAIRY INGREDIENTS

Irina A. Barkovskaya

All-Russian Dairy Research Institute, Moscow

ORIGINAL ARTICLE

As the production of high-protein powders continues to grow, so does the need for rapid and reliable methods to monitor their quality during storage. Traditional biochemical methods for assessing the Maillard reaction, protein aggregation, and lipid oxidation are labor-intensive and require complex sample preparation. However, industrial production demands express indicators of quality deterioration. This article describes the visual assessment of caking and the whiteness index as operational criteria for monitoring the technological profile of high-protein dairy powders. The research featured milk protein concentrate, micellar casein concentrate, whey protein concentrate, and lecithinized whey protein concentrate. The samples were stored for 2 months at  $6 \pm 2$  and  $45 \pm 2$  °C with a relative humidity of 65%. All samples increased in size except for the whey protein concentrate sample stored at 45 °C. The yellowness index ( $b^*$ ) significantly affected the color profile during storage. All samples experienced a decrease in the whiteness index, following this sequence of sensitivity: lecithinized whey protein concentrate – whey protein concentrate – micellar casein concentrate – milk protein concentrate. The most severe decrease occurred in lecithinized whey protein concentrate (10.9%), while micellar casein concentrate and milk protein concentrate exhibited minimal changes (~3%). Digital colorimetry proved highly sensitive to the structural and chemical transformations of milk powder systems. This approach can be recommended as an express monitoring tool for high-protein dairy ingredients in industrial practice.

**Keywords:** dairy ingredients, whiteness index, caking, quality control

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ma, X.** Research on Identification, Functional Characteristics, and Applications of Milk Fat Globule Membrane Proteins / X. Ma [et al.] // *International Dairy Journal*. 2025. Vol. 173. Art. no. 106489. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2025.106489>
2. **Wang, X.** Gastric digestion of milk protein ingredients: Study using an in vitro dynamic model / X. Wang [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 101(8). P. 6842–6852. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14284>
3. **Ow-Wing, K.** Production of low-lactose and low-serum-protein milk protein beverages using microfiltration / K. Ow-Wing, D. M. Barbano, M. Drake // *Journal of Dairy Science*. 2024. Vol. 107(8). P. 5481–5495. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24776>
4. **Alzahrani, F.** Milk protein hydrolysates obtained with immobilized alcalase: Antioxidant properties of hydrolysates and milk fat stability / F. Alzahrani, C. J. Scarlett, T. Akanbi // *International Dairy Journal*. 2025. Vol. 170. Art. no. 106371. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2025.106371>
5. **Юрова, Е. А.** Разработка критериев оценки продуктов с высоким содержанием белка / Е. А. Юрова, С. А. Фильчакова // *Пищевая промышленность*. 2025. № 10. С. 80–85. <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.10.10.015>; <https://elibrary.ru/hshcer>
6. **Ponchon, P.** Application of a whey protein ingredient for simultaneous co-enrichment of infant formula with  $\alpha$ -lactalbumin and milk fat globule membrane / P. Ponchon [et al.] // *International Dairy Journal*. 2024. Vol. 152. Art. no. 105877. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105877>
7. **Ryan, G.** Preparation of milk derived oligosaccharides from whey permeate for use in infant milk formula / G. Ryan, A. Woods, J. O'Regan // *International Dairy Journal*. 2025. Vol. 169. Art. no. 106350. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2025.106350>
8. **Юрова, Е. А.** Применение метода оптико-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС) для определения фосфора в специализированной пищевой продукции / Е. А. Юрова, С. А. Фильчакова // *Пищевая промышленность*. 2024. № 11. С. 19–23. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.11.11.003>; <https://elibrary.ru/rwtpjp>
9. **Юрова, Е. А.** Особенность оценки состава жировой фазы многокомпонентной пищевой продукции, выработанной из молочного сырья / Е. А. Юрова, А. О. Евсюкова, С. А. Фильчакова // *Пищевая промышленность*. 2025. № 5. С. 86–90. <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.5.5.015>; <https://elibrary.ru/schcfcg>
10. **Агаркова, Е. Ю.** Состояние рынка продуктов для энтерального питания / Е. Ю. Агаркова, Н. Е. Шерстнева // *Молочная промышленность*. 2024. № 2. С. 16–24. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-2-1>; <https://elibrary.ru/jijvth>
11. **Агаркова, Е. Ю.** Концептуальный подход к конструированию продуктов энтерального питания / Е. Ю. Агаркова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова // *Пищевая метаинженерия*. 2024. Т. 2. № 4. С. 26–35. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.4.74>; <https://elibrary.ru/ajvgwo>
12. **Большакова, Е. И.** Молочная сыворотка в ЗДП: обзор предметного поля / Е. И. Большакова, Н. П. Ульрих // *Пищевая метаинженерия*. 2025. Т. 3, № 2. С. 106–132. <https://doi.org/10.37442/fme.2025.2.88>; <https://elibrary.ru/wpivk>
13. **Tomczyńska-Mleko, M.** Novel high-protein dairy product based on fresh white cheese and whey protein isolate / M. Tomczyńska-Mleko [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2025. Vol. 108(1). P. 272–281. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25263>
14. **Liu, Y.** Comparison of vanilla-flavored milk protein beverages thermally processed by direct steam injection, retort, and autoclave / Y. Liu [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2025. Vol. 108(8). P. 7996–8011. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26660>
15. **Галстян, А. Г.** Киберфизические компоненты пищевой метаинженерии / А. Г. Галстян [и др.] // *Вестник Российской академии наук*. 2025. № 6. С. 77–84. <https://doi.org/10.7868/S3034520025060099>; <https://elibrary.ru/fbgugw>
16. **Калугина, Д. Н.** Обоснование определения индекса азота сывороточного белка для оценки белкового состава сухого молока / Д. Н. Калугина, Е. А. Юрова // *Молочная промышленность*. 2022. № 7. С. 35–37. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-07-35-37>; <https://elibrary.ru/ikvtly>
17. **Рябова, А. Е.** Effects of storage conditions on milk powder properties / А. Е. Ryabova, V. K. Semipyatny, A. G. Galstyan // *Journal of Dairy Science*. 2023. Vol. 106(10). P. 6741–6758. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-23094>
18. **Барковская, И. А.** Основные механизмы, маркеры порчи и методы их обнаружения применительно к сухим молочным консервам / И. А. Барковская [и др.] // *Молочная промышленность*. 2025. № 3. С. 15–21. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-3-42>; <https://elibrary.ru/ktqwfnd>
19. **Барковская, И. А.** Математическая оценка изменения углеводного и белкового профилей молока при термической нагрузке / И. А. Барковская [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2025. Т. 55. № 4. С. 794–806. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-4-2607>; <https://elibrary.ru/nhtaqq>
20. **Алкадур, М. И.** Влияние термизации и пастеризации на качество сухого молока / М. И. Алкадур [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54. № 2. С. 275–284. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2506>; <https://elibrary.ru/zmqcha>

21. Барковская, И. А. Влияние процессов перекисной деградации жира и гидролиза белка на потерю качества сухого цельного молока в хранении / И. А. Барковская [и др.] // Пищевая промышленность. 2025. № 10. С. 22–27. <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.10.10.004>; <https://elibrary.ru/lnurlm>
22. Жижин, Н. А. ВЭЖХ анализ фуросина, β-лактоглобулина и лактулозы как критерий оценки тепловой нагрузки на молоко / Н. А. Жижин // Зоотехния. 2022. № 3. С. 32–36. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.16.19.010>; <https://elibrary.ru/uxxpfy>
23. Sithole, R. Rate of Maillard browning in sweet whey powder / R. Sithole, M. R. McDaniel, L. M. Goddik // Journal of Dairy Science. 2005. Vol. 88(5). P. 1636–1645. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72835-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72835-6)
24. Deeth, H. Chemical and physical changes in milk protein concentrate (MPC80) powder during storage / H. Deeth // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011. Vol. 59(10). P. 5465–5473. <https://doi.org/10.1021/jf2003464>
25. Юрова, Е. А. Научно-практические подходы к разработке методики ускоренного хранения продуктов функционального назначения на молочной основе / Е. А. Юрова, Т. В. Кобзева // Молочная промышленность. 2021. № 12. С. 12–15. <https://doi.org/10.1021/jf2003464>; <https://elibrary.ru/dojhel>
26. Большакова, Е. И. Влияние условий хранения на цветовой профиль цельного сгущенного молока с сахаром / Е. И. Большакова [и др.] // Пищевая метаинженерия. 2024. Т. 2, № 3. С. 25–40. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.62>; <https://elibrary.ru/qswljb>
27. Domian, E. Kinetics of water vapour adsorption and caking of whey powder / E. Domian, M. Włodarska // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2007. Vol. 57. No. 3A. P. 7–10.
28. Le, T. T. Chemical and physical changes in milk protein concentrate (MPC80) powder during storage / T. T. Le, B. Bhandari, H. C. Deeth // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011. Vol. 59(10). P. 5465–5473. <https://doi.org/10.1021/jf2003464>
29. Phosanam, A. Changes in physicochemical and surface characteristics in milk protein powders during storage / A. Phosanam [et al.] // Drying Technology. 2022. Vol. 40(3). P. 638–652. <https://doi.org/10.1021/jf2003464>
30. Masum, A. K. M. Influence of storage on physicochemical properties of spray-dried infant milk formula powders containing different whey protein-to-casein ratios / A. K. M. Masum [et al.] // International Dairy Journal. 2026. Vol. 176. Art. no. 106576. DOI 10.1016/j.idairyj.2026.106576.
31. Liu, J. Amino acid availability of a dairy and vegetable protein blend compared to single casein, whey, soy, and pea proteins: A double-blind, cross-over trial / J. Liu [et al.] // Nutrients. 2019. Vol. 11(11). Art. no. 2613. <https://doi.org/10.3390/nu11112613>
32. Mazaletskaya, L. I. Kinetics of soy lecithin oxidation at high concentrations: The effect of antioxidants. / L. I. Mazaletskaya, N. I. Sheludchenko, O. T. Kasaikina // Russian Journal Physical Chemistry B. 2024. Vol. 18. P. 1496–1500. <https://doi.org/10.1134/S1990793124701185>
33. Tunick, M. H. Physical and chemical changes in whey protein concentrate stored at elevated temperature and humidity / M. H. Tunick [et al.] // Journal of Dairy Science. 2016. Vol. 99(3). P. 2372–2383. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10256>
34. Fitzpatrick, J. J. Glass transition and the flowability and caking of powders containing amorphous lactose / J. J. Fitzpatrick [et al.] // Powder Technology. 2007. Vol. 178(2). P. 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2007.04.017>
35. Nasser, S. Influence of storage conditions on the functional properties of micellar casein powder / S. Nasser [et al.] // Food and Bioproducts Processing. 2017. Vol. 106. P. 181–192. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.09.004>

## Актуальные комплексные решения для молочного бизнеса

### Формула успеха и развития

- Заквасочные и пробиотические культуры
- Лактаза и другие ферменты
- Загустители и гелеобразователи: крахмалы, желатины, КМЦ, пектины, каррагинаны
- Функциональные добавки: витаминно-минеральные премиксы, DHA, ARA, олигосахариды грудного молока
- Растительные экстракты и ароматизаторы
- Фруктовые порошки
- IQF овощи и фрукты
- Диоксид кремния

Интересно?

**Звоните!**

Не нашли того, что искали?

**Тем более - звоните!**

Подберем ингредиенты

**под ваши потребности!**



секретный ингредиент  
вашего производства

**ООО «СТАРУС»**

г. Санкт-Петербург,  
пр-кт Московский,  
д. 183-185, литера А,  
офис 502

г. Москва,  
Тетеринский пер,  
д.4, стр.2, офис 301

**+7 (495) 740-85-55**  
**www.starus.su**

**Preze™**  
На правах рекламы