ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2506
https://elibrary.ru/ZMQCHA

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Влияние термизации и пастеризации на качество сухого молока

М. И. Алкадур*, Н. С. Пряничникова, Е. А. Юрова, А. Н. Петров

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 05.02.2024
Принята после рецензирования: 27.02.2024
Принята к публикации: 05.03.2024

**М. И. Алкадур: m_alkadur@vnimi.org, https://orcid.org/0009-0003-3229-8550*
Н. С. Пряничникова: https://orcid.org/0000-0003-1304-1517
Е. А. Юрова: https://orcid.org/0000-0003-3369-5673
А. Н. Петров: https://orcid.org/0000-0001-9879-482X

© М. И. Алкадур, Н. С. Пряничникова, Е. А. Юрова, А. Н. Петров, 2024

Аннотация.
Сухое молоко является продуктом массового производства и потребления. Широкое применение сухого молока обуславливает многообразие требований к его качеству и технологии производства. Совершенствование технологии производства сухого обезжиренного молока – это актуальная и стратегически важная задача не только для России, но и для всего мира. Важность этого направления обусловлена дефицитом сухого обезжиренного молока низкотемпературного класса обработки, которое поставляется из-за рубежа (сухое молоко категории low-heat). Цель исследования – изучение влияния режима термизации и пастеризации на белковый профиль и микробиологические показатели сухого обезжиренного молока, а также установление параметров термического воздействия, которые обеспечивают получение сухого обезжиренного молока низкотемпературного класса термообработки.
Объектами исследования являлись сырое молоко, обезжиренное молоко, выработанное при разных режимах термической обработки, и сухое обезжиренное молоко, выработанное из этого молока. Исследовали белковый профиль и микробиологические и физико-химические показатели стандартизованными методами анализа.
В ходе исследования установили класс термической обработки сухого обезжиренного молока, выработанного при различных режимах пастеризации, и определили его биохимические и микробиологические показатели. Анализ данных показал, что сочетание режимов термизации молока (60 ± 2 °C в течение 10 с, охлаждение до 10 °C и выдержка в течение 10 ч) и низкотемпературной пастеризации (72 ± 2 °C с выдержкой 15 с) позволяет получить сухое обезжиренное молоко низкотемпературного класса, что соответствует требованиям ТР ТС 033/2013 и ГОСТ 33629-2015.
Исследовали одно из приоритетных направлений, связанное с повышением качества сухого обезжиренного молока, за счет снижения термической нагрузки при условии сохранения микробиологической безопасности готового продукта. Результаты сравнительного исследования говорят о том, что показатель термообработки позволяет установить оптимальный режим термизации и пастеризации молока, который, с одной стороны, обеспечивает необходимый класс термообработки (низкотемпературный), позволяющий сохранить белок в нативном состоянии, а с другой – гарантирует микробиологическую безопасность сухого обезжиренного молока. Выполнение этих условий позволило получить сухое молоко, по качеству относящееся к категории low-heat, т. е. низкому классу термической обработки, обеспечить высокие показатели готового продукта и придать ему дополнительные функциональные и потребительские свойства.

Ключевые слова. Обезжиренное молоко, сухое молоко, сухое обезжиренное молоко, термизация, пастеризация, белковый профиль, сывороточные белки, микробиологические показатели, термообработка

Для цитирования: 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://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2506
https://elibrary.ru/ZMQCHA

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Effect of Thermal Treatment and Pasteurization on Milk Powder Quality

Mohammed I. Alkadour*, Nataliya S. Pryanichnikova, Elena A. Yurova, Andrey N. Petrov

All-Russian Scientific Dairy Research Institute, Moscow, Russia

Received: 05.02.2024
Revised: 27.02.2024
Accepted: 05.03.2024

**Mohammed I. Alkadour: m_alkadur@vnimi.org, https://orcid.org/0009-0003-3229-8550*
Nataliya S. Pryanichnikova: https://orcid.org/0000-0003-1304-1517
Elena A. Yurova: https://orcid.org/0000-0003-3369-5673
Andrey N. Petrov: https://orcid.org/0000-0001-9879-482X

© M.I. Alkadour, N.S. Pryanichnikova, E.A. Yurova, A.N. Petrov, 2024

Abstract.
Milk powder is a commercial product of mass consumption. Its popularity means a variety of quality and production requirements. New methods of skimmed milk powder production are strategically important for the food industry in Russia and worldwide. Russia is currently experiencing a shortage of low-heat milk powder import. The research featured the effect of thermal treatment and pasteurization mode on the protein profile and microbiological parameters of skimmed milk powder. The research objective was to establish the thermal variables for low-heat milk powder.
The study involved raw milk, skimmed milk produced under different heat treatment conditions, and skimmed milk powder obtained from this milk. The authors used standard analytical methods to define the protein profile, as well as the microbiological and physicochemical parameters.
A set of experiments made it possible to classify the heat treatment of skimmed milk powder produced under various milk pasteurization modes, as well as to establish its biochemical and microbiological parameters. The optimal mode for low-heat milk powder was a combination of thermal treatment (60 ± 2°C for 10 s followed by cooling to 10°C for 10 h) and low-temperature pasteurization (72 ± 2°C for 15 s). The powder obtained met the Technical Regulations of Customs Union TR CU 033/2013 and State Standard 33629-2015.
A lower thermal load maintains the microbiological safety of milk powder while preserving its quality. In this study, the optimal thermal treatment and pasteurization mode yielded milk powder of low-heat category, thus preserving the native protein and microbiological safety. As a result, the low-heat milk powder acquired some high-quality functional and consumer properties.

Keywords. Skimmed milk, milk powder, skimmed milk powder, thermal treatment, pasteurization, protein profile, whey proteins, microbiological indicators, heat treatment

For citation: Alkadour MI, Pryanichnikova NS, Yurova EA, Petrov AN. Effect of Thermal Treatment and Pasteurization on Milk Powder Quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(2):275–284. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2506

Введение

Сухое молоко обладает высокой биологической и пищевой ценностью, которые практически полностью сохраняются в молочных продуктах при его использовании в качестве сырья [1, 2]. Это определяет высокую востребованность сухого цельного и сухого обезжиренного молока в мировой торговле: суммарный оборот сухого обезжиренного молоко составляет порядка 250 тыс. т. Сегодня Российская Федерация производит около 230 тыс. т сухого молоко, в том числе 117 тыс. т сухого обезжиренного молоко и еще около 20 тыс. тонн поступает по импорту [1, 3]. Особое значение сухое молоко имеет для снабжения полноценными молочными продуктами населения регионов Крайнего севера. Также сухое молоко дает возможность стабильно производить и бесперебойно обеспечивать население молочными продуктами в период экстремальных ситуаций и неблагоприятных природных, социальных и политических катаклизмов. Диапазон применения сухого цельного и сухого обезжиренного молока в пищевом производстве широк и многообразен, начиная с восстановленных и сухих молочных продуктов, в том числе для специализированного и детского питания, и заканчивая мясными и алкогольными изделиями.

Производство сухого молока регламентировано действующим межгосударственным стандартом ГОСТ 33629-2015, в котором закреплены основные показатели качества и безопасности, и ГОСТ 34255-2017 [4]. В зависи-

мости от назначения меняются требования к показателям качества сухого молока, к его функциональным и технологическим свойствам. Показатели качества сухого молока формируются в ходе технологического процесса его производства, начиная с требований к сырью и заканчивая условиями и сроками хранения готового продукта. Наиболее высокие требования предъявляются к качеству сухого молока для детского и специализированного питания, в том числе энтерального. Для таких продуктов важное и определяющее значение имеют структурные изменения, которые происходят в процессе производства сухого молока, а именно его наиболее ценной части – белковой составляющей [4]. Критерием оценки состояния белковой фракции сухого молока является класс термической обработки (термообработки) [6].

В зарубежной практике качество сухого молока определяется термином low-heat (низкотемпературное). Данный термин отражает не только дополнительные требования к продукту, но и определенный уровень технологии производства, основанный на принципах минимального температурного воздействия на молоко по всей производственной цепочке с целью максимального сохранения полезных свойств исходного молока. В отечественной практике сухое молоко классифицируют в соответствии со стандартом ISO 6735-2011, согласно которому сухое молоко подразделяют на три класса тепловой обработки: низкотемпературный, умеренно температурный и высокотемпературный [7]. Однако отсутствует обязательная маркировка класса термообработки, а производители по ряду технических и технологических причин не готовы выпускать сухое молоко низкотемпературного класса. В связи с этим значительная доля такого молока поступает в Россию по импорту.

В детском и специализированном питании, а также в категории продуктов инстантного приготовления применяют сухое молоко низкотемпературного класса термообработки. В связи с этим разработка технологии сухого молока низкотемпературного класса термообработки является актуальной задачей.

Цель работы – изучить влияние режима термизации и пастеризации на белковый профиль и микробиологические показатели сухого обезжиренного молока, а также установить параметры термического воздействия, которые обеспечивают получение сухого обезжиренного молока низкотемпературного класса термообработки.

Рабочая гипотеза – применение термизации с последующими охлаждением, выдержкой и низкотемпературной пастеризацией с определением временных и термических характеристик, которые обеспечивают микробиологическую безопасность продукта, сохранность структуры и нативных свойств белковой фракции сухого молока. Гипотеза основывается на следующих положениях:

1. Несмотря на интенсивное тепловое воздействие в процессе распылительной сушки и сгущения (температура греющего воздуха составляет 160–190 °C, температура сгущения – 60–62 °C), они не являются основными факторами, которые влияют на структурные изменения в белковой фракции (денатурация) сухого обезжиренного молока и снижение исходной концентрации микроорганизмов [8–10]. Современные представления связывают структурные изменения сухого молока с температурой пастеризации и сводятся к прямой зависимости: чем ниже температура пастеризации, тем меньшим изменениям подвергаются белки молока [8, 11–13]. Однако при снижении температуры пастеризации возрастают риски, связанные с микробиологической безопасностью продукта, которые на территории стран Таможенного союза регламентируются нормативными документами, обязательными к применению и исполнению [14–16];

2. Включение в технологическую линейку производства сухого молока процесса термизации, при котором осуществляется предварительная обработка молока при температуре от 55 до 62 °C с выдержкой менее 30 с и последующей обязательной пастеризацией, влияющей на белки молока [7, 17–21]. Термизация позволяет значительно снизить общее количество микроорганизмов и бактерий, относящихся к санитарно-гигиеническим микроорганизмам. Выдержка термизированного молока в течение 8–10 ч при температуре 10 °C может активизировать отдельные виды микроорганизмов и перевести генеративную форму микроорганизмов в вегетативную, а применение низкотемпературной пастеризации обеспечит их ингибирование;

3. Качественные и количественные изменения белковой фракции молока влияют на потребительские свойства сухого молока, его термоустойчивость, насыпную плотность, количество пригорелых частиц, растворимость и т. д. [3, 6, 19–21]. Чем выше температура пастеризации, тем больше белков молока переходит в денатурированное состояние. Большинство сывороточных белков молока термолабильно, начало их денатурации наступает при температуре 60 °C и выше [20]. Белковые молекулы остаются в растворимой форме и при коагуляции осаждаются совместно с мицеллами казеина [3, 4, 19–21].

На практике термизацию можно применять только в комбинации с обязательной последующей пастеризацией молока. Применение данного вида термической обработки с последующими охлаждением, выдержкой и низкотемпературной пастеризацией позволит решить две важные задачи: обеспечить микробиологическую безопасность продукта и максимально сохранить структуру и нативные свойства белковой фракции сухого молока. Основываясь на этой рабочей гипотезе, разработали программу исследования.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись сырое молоко, обезжиренное молоко, выработанное при разных режимах термической обработки, и сухое обезжиренное молоко, выработанное из этого молока.

В ходе производственного эксперимента выработали шесть партий сухого обезжиренного молока общим объемом 35 000 кг. Охлажденное молоко нагревали,

сепарировали, пастеризовали, сгущали на вакуум-выпарной установке циркуляционного типа производительностью 4000 кг по испаренной влаге в час и сушили на сушилке распылительного типа производительностью 500 кг испаренной влаги в час (температура греющего воздуха 170 °С, выходящего 75 °С). В производственном эксперименте обезжиренное молоко перед сгущением подвергали термической обработке. Режимы термообработки и соответствующие условные обозначения приведены в таблице 1.

Выработку опытных партий осуществляли на производственной площадке ООО «НОВАЯ ИЗИДА» г. Пенза. Сырьем для производства сухого обезжиренного молока служило молоко первого сорта по требованиям ГОСТ Р 52054-2023. При отборе сырого молока, наряду со стандартными показателями качества, были предъявлены дополнительные требования: кислотность не выше 18 °Т и термоустойчивость по алкогольной пробе не ниже первой группе.

Физико-химические и микробиологические исследования, контроль выработанных партий обезжиренного и сухого обезжиренного молока осуществляли в ИЛ «МОЛОКО» ФГАНУ «ВНИМИ», на кафедре Технологии молока, пробиотических молочных продуктов и сыроделия ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» и в производственной лаборатории ООО «НОВАЯ ИЗИДА». В исследованиях применяли стандартизованные методы анализа. Контроль производственного цикла осуществляли на всех этапах от переработки до фасовки сухого обезжиренного молока.

Изменения структуры и состава белков обезжиренного и сухого обезжиренного молока оценивали по содержанию общего азота и небелкового азота, белковому профилю и классу термообработки. Содержание общего белка, сывороточных и казеиновых белков, небелкового азота определяли методом Кьельдаля согласно стандартизованным методикам измерений, приведенным в ГОСТ 34454, ГОСТ 34536, СТБ ISO 17997-1 и ГОСТ Р 55246. Класс термообработки оценивали по принятому в международной практике показателю термообработки (Н). Данный показатели рассчитывали по соотношению азота в скоагулированном комплексе сывороточных белков и казеина, а также азота в неденатурированном сывороточном белке. Метод основан на осаждении казеина и денатурированного при нагревании белка молочной сыворотки в определенном объеме восстановленного сухого молока при pH 4,8 ± 0,3 путем добавления раствора уксусной кислоты, а затем раствора ацетата натрия. Осадок промывали и определяли в нем содержание общего азота (на основании объема, эквивалентного объему стандартного титрованного раствора) по методу Кьельдаля (СТБ ISO 6735-2011). Белковый профиль сывороточных белков устанавливали методом диск-электрофореза в полиакриламидном геле по ГОСТ 33528-2015.

Исследовали микробиологические показатели: КМАФАнМ, БГКП, споры аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонелла и листерии (*Listeria monocitogenes* и *Listeria* spp.), *Staphylococcus aureus*, дрожжи и плесени. Для определения основных микробиологических показателей применяли ГОСТ 32901-2014. Количество дрожжей и плесневых грибов определяли по ГОСТ 33566-2015, стафилококков *S. aureus* – по ГОСТ 30347-2016, грамотрицательных бактерий палочковидной формы семейства *Enterobacteriaceae salmonella* – по ГОСТ ISO 6785-2015. Наличие или отсутствие листерий *Listeria* spp. и *L. monocitogenes* в определенной массе и объеме продукта устанавливали по ГОСТ 32031-2022. Для контроля влияния термической обработки на провоцирование роста условно-патогенных видов микроорганизмов и их ингибирование провели исследования на модельных образцах обезжиренного молока с начальной контаминацией микроорганизмов *Escherichia coli* 1×10^5 КОЕ/см^3.

Результаты и их обсуждение

Исследования влияния термической обработки на физико-химические и микробиологические показатели проводили в два этапа. На первом этапе объектом

Таблица 1. Режимы термической обработки обезжиренного молока

Table 1. Heat treatment modes for skimmed milk

Обезжиренное молоко	Сухое обезжиренное молоко	Режимы	
		Температура, °С	Продолжительность выдержки, с
ОМ 1 (контроль)	СОМ 1	45 ± 2	–
ОМ 2	СОМ 2	72 ± 2	15
ОМ 3*	СОМ 3*	72 ± 2	15
ОМ 4	СОМ 4	80 ± 2	15
ОМ 5	СОМ 5	85 ± 2	15
ОМ 6	СОМ 6	96 ± 2	15

*Обезжиренное молоко ОМ 3 термизировали при 60 ± 2 °С в течение 10 с, охлаждали до 10 °С и хранили при этой температуре в течение 10 ч, затем направляли на пастеризацию при 72 ± 2 °С с выдержкой 15 с.

*The OM 3 sample contained skimmed milk heated at 60 ± 2°C for 10 s, then cooled to 10°C and stored at this temperature for 10 h before being sent for pasteurization at 72 ± 2°C for 15 s.

исследования являлось обезжиренное молоко, на втором – сухое обезжиренное молоко. Белковый профиль и микробиологические показатели определяли на всех этапах исследования.

Результаты первого этапа исследования образцов обезжиренного молока, подвергнутых термическому воздействию, и контроля (ОМ 1) по показателям азота и содержанию белка приведены в таблице 2.

При повышении температуры обработки молока с 45 °С (ОМ 1) до 96 °С (ОМ 6) содержание неденатурированного сывороточного белка обезжиренного молока уменьшилось с 0,64 до 0,21 %. Содержание массовой доли казеина и денатурированного сывороточного белка практически пропорционально возросло с 2,60 до 3,03 %. Можно предположить, что определенный в образце ОМ 6 казеин содержит денатурированные сывороточные белки, которые не осаждаются при проведении разделения белка и образовывают комплекс с казеиновой фракцией белка.

Критерием оценки термического воздействия на белок обезжиренного молока, по аналогии с оценкой класса термообработки сухого молока, мы приняли показатель термообработки (Н) (СТБ ISO 6735-2011). Данный показатель отражает соотношение между общим азотом в осажденном казеиновом комплексе и азотом в неденатурированной части сывороточных белков анализируемого образца. Соответственно, чем выше показатель термообработки, тем значительнее изменения в составе белка молока. Значения показателей термообработки и соотношения казеина и денатурированного сывороточного белка к неденатурированному сывороточному белку коррелируют между собой и повышаются при температуре 80 ± 2 °С и выше. Полученные результаты свидетельствуют о том, что режим термообработки обезжиренного молока в исследуемом диапазоне температур практически не влияет на содержание общего белка и общего азота, а также незначительно сказывается на содержании небелкового азота.

Провели дополнительные исследования в отношении неденатурированных сывороточных белков. Их белковый профиль приведен на рисунке 1.

Таблица 2. Содержание азота, общего белка и его фракций в обезжиренном молоке

Table 2. Nitrogen, total protein, and its fractions in skimmed milk

Показатель, %	Образцы					
	ОМ 1 (контроль)	ОМ 2	ОМ 3	ОМ 4	ОМ 5	ОМ 6
Массовая доля общего азота	0,535	0,536	0,536	0,536	0,538	0,538
Массовая доля небелкового азота	0,0266	0,0271	0,0273	0,0270	0,0283	0,0290
Массовая доля казеинового и денатурированного сывороточного белкового азота	0,408	0,413	0,415	0,432	0,459	0,475
Массовая доля общего белка	3,24	3,24	3,24	3,25	3,25	3,25
Массовая доля фракции неденатурированных сывороточных белков	0,64	0,61	0,59	0,49	0,32	0,21
Массовая доля казеина и денатурированного сывороточного белка	2,60	2,64	2,65	2,76	2,93	3,03
Соотношение казеина и денатурированного сывороточного белка к неденатурированному сывороточному белку	4,07	4,35	4,47	5,63	9,18	14,10
Показатель термообработки	76,30	77,19	77,55	80,64	85,43	88,34

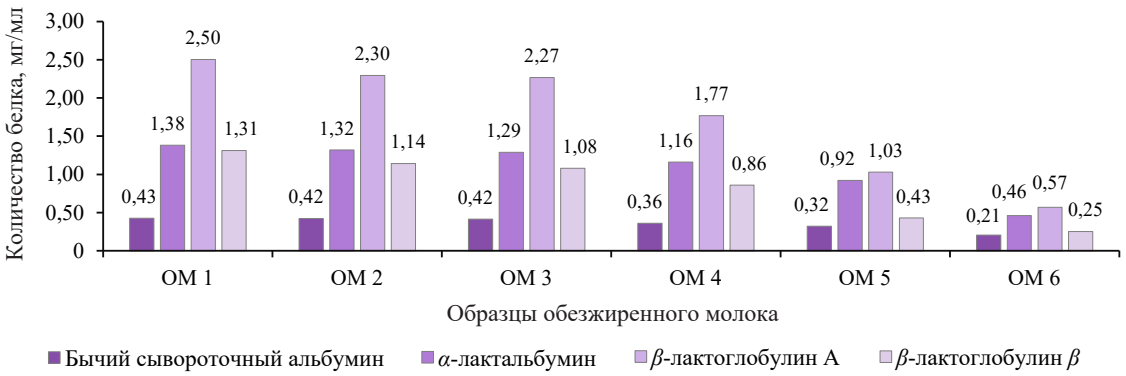

Рисунок 1. Белковый профиль обезжиренного пастеризованного молока

Figure 1. Protein profile of pasteurized skimmed milk

Повышение температуры пастеризации обезжиренного молока приводит к уменьшению массовой доли неденатурированных сывороточных белков за счет снижения фракций α-лактальбумина, β-лактоглобулина А, β-лактоглобулина β и бычьего сывороточного альбумина. Наиболее выраженно эта тенденция проявляется при температурах выше 72 °С. Влияния термизации при идентичных режимах пастеризации (72 ± 2 °С с выдержкой 15 с) на изменение белкового профиля не обнаружено.

Влияние пастеризации и термизации на содержание микроорганизмов в обезжиренном молоке приведено в таблице 3. Микробиологические показатели контрольного образца (непастеризованного молока) содержали на два и три порядка выше КМАФАнМ (КОЕ/см^3), чем обезжиренное молоко, прошедшее пастеризацию. В контрольном образце обнаружено наличие дрожжей и плесеней. Введение дополнительной термической операции в виде термизации позволило, при идентичных условиях пастеризации, сократить количество вегетативных форм микроорганизмов.

Объектом второго этапа исследования являлось сухое обезжиренное молоко, выработанное из соответствующего обезжиренного молока (табл. 1). В таблице 4 приведены данные физико-химических показателей шести партий сухого обезжиренного молока. Тенденции и закономерности влияния термической обработки на содержание общего азота и массовой доли общего белка, денатурированного и неденатурированного сывороточного белка, выявленные в результате термической обработки обезжиренного молока, сохранились в сухом обезжиренном молоке (табл. 4). Показатель термообработки позволил соотнести режим пастеризации обезжиренного молока с показателем термообработки и классом термообработки сухого обезжиренного молока. В результате СОМ 2 и СОМ 3, выработанные из обезжиренного молока с режимом пастеризации 72 ± 2 °С и выдержкой 15 с, по показателю термообработки (Н ниже 80,0) соответствовали низкотемпературному классу термообработки. Образец, прошедший термизацию, имел более низкий показатель термообработки. Режим пастеризации обезжиренного молока 80 ± 2 °С с выдержкой 15 с позволил получить сухое обезжиренное молоко умеренного класса термообработки. Сухое обезжиренное молоко с температурой пастеризации 96 ± 2 °С соответствовало высокотемпературному классу.

Результаты исследования белкового профиля неденатурированных сывороточных белков сухого обезжиренного молока приведены на рисунке 2.

Выявленное незначительное снижение, по сравнению с обезжиренным молоком, содержания неденатурированных и рост денатурированных сывороточных белков в сухом обезжиренном молоке укладывается в рамки погрешности проведения промышленного эксперимента. Анализ белкового профиля сухого обезжиренного молока свидетельствует о том, что последующие за пастеризацией обезжиренного молока технологические операции (сгущение и сушка) значимого влияния на структурные изменения в составе сывороточных белков не оказывают. В таблице 5 представлены результаты микробиологических исследований сухого обезжиренного молока.

Пастеризация обезжиренного молока снизила начальную контаминацию КМАФАнМ, дрожжей и плесеней на два порядка и эффективное воздействие на БГКП как в обезжиренном, так и в сухом обезжиренном молоке. Отметили, что в контрольных и исследуемых образцах микроорганизмы рода сальмонелл, листерии и *Staphylococcus aureus* отсутствуют. В исследовании не было выявлено значимого влияния режима пастеризации на споровые формы микроорганизмов.

Таблица 3. Микробиологические показатели пастеризованного обезжиренного молока

Table 3. Microbiological parameters of pasteurized skimmed milk

Показатели	Образцы					
	ОМ 1 (контроль)	ОМ 2	ОМ 3	ОМ 4	ОМ 5	ОМ 6
КМАФАнМ, КОЕ/см^3	$2{,}8\times10^5$	$5{,}3\times10^3$	$4{,}7\times10^3$	$4{,}2\times10^3$	$4{,}0\times10^3$	$2{,}6\times10^3$
БГКП	обнаружено в 0,001 см^3	не обнаружено в 10 см^3	не обнаружено в 10 см^3	не обнаружено в 10 см^3	не обнаружено в 10 см^3	не обнаружено в 10 см^3
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонелла и *Listeria monocitogenes*, в 25 см^3	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
Staphylococcus aureus в 1 см^3	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
Количество спор аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г	$5{,}1\times10^2$	$4{,}7\times10^2$	$4{,}5\times10^2$	$4{,}9\times10^2$	$5{,}2\times10^2$	$4{,}6\times10^2$
Дрожжи и плесени, КОЕ/см^3	40 90	< 5 < 5	< 5 < 5	< 5 < 5	< 5 < 5	< 5 < 5

Важным результатом данного исследования являлось отсутствие провоцирования роста споровой микрофлоры в готовом продукте. Результаты исследований модельных образцов обезжиренного молока с внесенными условно-патогенных микроорганизмами *Escherichia coli* в количестве 1×10^5 КОЕ/см^3 показали, что режим термизации и низкотемпературной пастеризации 72 ± 2 °С с выдержкой 15 с обеспечивает отсутствие провоцирования роста и полноту ингибирования таких микроорганизмов.

Результаты исследования обезжиренного и сухого обезжиренного молока показали, что введение режима термизации обезжиренного молока и низкотемпературной пастеризации приводит к отсутствию в готовом продукте дрожжей, плесеней и БГКП, а также на один-два порядка снижается количество КМАФАнМ.

Таблица 4. Содержание азота, общего белка и его фракций в сухом обезжиренном молоке

Table 4. Nitrogen, total protein, and its fractions in skimmed milk powder

Показатель, %	Образцы					
	СОМ 1 (контроль)	СОМ 2	СОМ 3	СОМ 4	СОМ 5	СОМ 6
Массовая доля общего азота	5,81	5,81	5,82	5,81	5,82	5,81
Массовая доля небелкового азота	0,317	0,315	0,320	0,310	0,294	0,311
Массовая доля казеинового и денатурированного сывороточного белкового азота	4,50	4,54	4,54	4,72	5,03	5,20
Массовая доля общего белка	35,07	35,07	35,06	35,10	35,22	35,09
Массовая доля фракции неденатурированных сывороточных белков	6,37	6,11	6,10	4,99	3,15	1,90
Массовая доля казеина и денатурированного сывороточного белка	28,71	28,97	28,97	30,11	32,08	33,19
Соотношение казеина и денатурированного сывороточного белка к неденатурированному сывороточному белку	4,51	4,75	4,75	6,03	10,19	17,49
Показатель термообработки	77,39	78,12	78,07	81,20	86,47	89,54
Класс термообработки	низко-температурная	низко-температурная	низко-температурная	умеренная	умеренно высоко-температурная	высоко-температурная

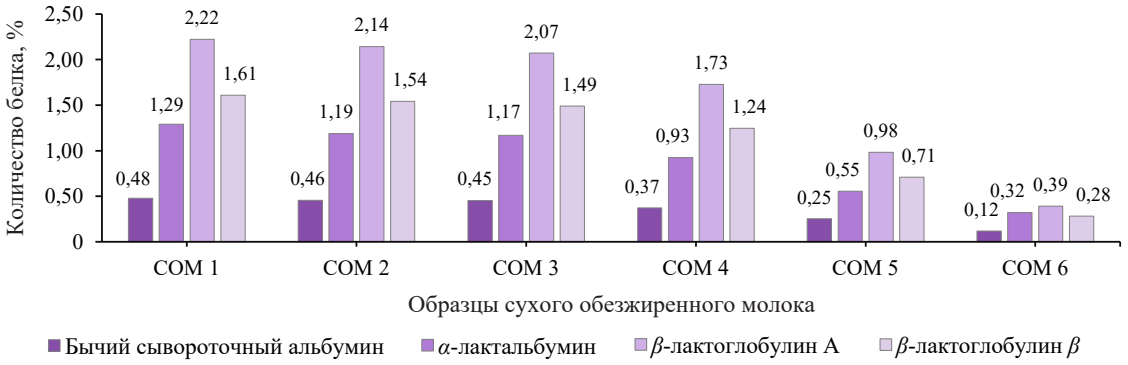

Рисунок 2. Белковый профиль сухого обезжиренного молока

Figure 2. Protein profile of skimmed milk powder

Таблица 5. Микробиологические показатели сухого обезжиренного молока

Table 5. Microbiological parameters of skimmed milk powder

Показатели	Образцы					
	СОМ 1 (контроль)	СОМ 2	СОМ 3	СОМ 4	СОМ 5	СОМ 6
КМАФАнМ, КОЕ/г	$8{,}5\times10^4$	$3{,}5\times10^3$	$2{,}9\times10^3$	$2{,}76\times10^3$	$2{,}5\times10^3$	3×10^3
БГКП в 0,1 г	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонелла и *Listeria monocitogenes*, в 25 г	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
Staphylococcus aureus в 1 г	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
Количество спор аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г	$7{,}0\times10^2$	$7{,}2\times10^2$	$6{,}5\times10^2$	$7{,}4\times10^2$	$7{,}1\times10^2$	$6{,}7\times10^2$
Дрожжи и плесени, КОЕ/г	10 70	< 5 < 5	< 5 < 5	< 5 < 5	< 5 < 5	< 5 < 5

Выводы

Полученные в ходе двухэтапных исследований результаты позволяют сделать вывод и подтвердить правильность предложенной рабочей гипотезы. Исходя из полученных нами данных, можно утверждать, что предварительная термизация при идентичных условиях пастеризации (72 °C) если не снижает термическую нагрузку на белки молока, то достоверно ее не повышает. Режим термизации в сочетании с низкотемпературной пастеризацией способствует снижению начальной обсемененности КМАФАнМ, БГКП, дрожжей и плесеней, не провоцирует рост остаточной микрофлоры и способствует получению безопасного для потребления продукта.

Наше исследование косвенно подтвердил ранее полученный вывод Г.-Д. Мюнха и др. о том, что влияние распылительной сушки на снижение исходной концентрации микроорганизмов, в том числе термофильных, незначительно [22]. На денатурацию белка способны влиять многие факторы: кислотность, механическое воздействие, нарушение солевого баланса и т. д. [13]. В данной работе при прочих равных условиях нас интересовал температурный фактор. Результаты исследования фракционного состава белка обезжиренного и сухого обезжиренного молока позволяют подтвердить, что приоритетное влияние на белки молока оказывает режим пастеризации. Большинство исследователей придерживается мнения о том, что тепловая денатурация β-лактоглобулина – наиболее многочисленной фракции сывороточных белков – проходит два этапа [12, 20, 23]. Первый этап – это переход из глобулярного в развернутую форму, второй этап – это агрегация данной молекулы.

Качественные и количественные изменения белковой фракции молока влияют на потребительские показатели сухого молока [10, 15]. При сравнительном анализе результатов термообработки обезжиренного и сухого обезжиренного молока установлено, что сгущение в вакуум-выпарной установке и процесс сушки значимого влияния на структуру белка не оказывают. Эти результаты коррелируют с ранее полученными выводами [9, 24]. Большинство сывороточных белков молока термолабильно, начало их денатурации наступает при температуре 60 °C и выше [12]. Белковые молекулы остаются в растворимой форме и при коагуляции осаждаются совместно с мицеллами казеина, что нашло подтверждение в наших исследованиях [12, 15, 21]. Эти изменения значительно влияют на качество сухого обезжиренного молока. Основываясь на экспериментальных данных, которые приведены в данной работе, можно сделать вывод о том, что тепловое воздействие на молоко при 72 ± 2 °C и ниже позволяет получить сухое обезжиренное молоко низкотемпературного класса термической обработки. Температура пастеризации выше 80 ± 2 °C значимо снижает содержание неденатурированных фракций α-лактальбумина, β-лактоглобулина А, β-лактоглобулина β и бычьего сывороточного альбумина.

Сочетание режима термизации молока (60 ± 2 °C в течение 10 с, охлаждение до 10 °C и выдержка в течении 10 ч) и низкотемпературной пастеризации (72 ± 2 °C с выдержкой 15 с) позволяет получить сухое обезжиренное молоко низкотемпературного класса, которое будет соответствовать требованиям ТР ТС 033/2013 и ГОСТ 33629-2015. Применение термизации и низкотемпературной пастеризации решает две важные для повышения качества сухого молока задачи: минимизировать тепловое воздействие на белки молока и обеспечить микробиологическую безопасность готового продукта. Полученные в работе закономерности влияния режимов теплового воздействия, включая термизацию обезжиренного молока, на фракционный состав белков, их термоустойчивость и микробиологические показатели позволили установить режимы термизации и пастеризации, которые дают возмож-

ность получать сухое обезжиренное молоко низкотемпературного класса термообработки.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Milk powder market in the CIS in 2019–2023 and a forecast for 2024–2028 [Internet]. [cited 2023 Dec 20]. Available from: https://businesstat.ru/catalog/id7829

2. Radaeva IA, Kruchinin AG, Turovskaya SN, Illarionova EE, Bigaeva AV. Forming technological traits of dry milk. Vestnik of MSTU. Scientific Journal of Murmansk State Technical University. 2020;23(3):280–290. (In Russ.). https://doi.org/10.21443/1560-9278-2020-23-3-280-290; https://elibrary.ru/TPFHLR

3. Russian market of milk powder and dry mixes. June 2023. Development forecast until 2027 [Internet]. [cited 2024 Jan 01]. Available from: https://dzen.ru/a/ZNuEzV16MWg_Rvok

4. Radaeva IA, Illarionova EE, Turovskaya SN, Ryabova AE, Galstyan AG. Principles of domestic dry milk quality assurance. Food Industry. 2019;(9):54–57. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10145; https://elibrary.ru/EPADVS

5. Prosekov AYu, Kurbanova MG. Analysis of the composition and properties of milk proteins for the purpose of use in various industry industry. Food Processing: Techniques and Technology. 2009;15(4):68a–71. (In Russ.). [Просеков А. Ю., Курбанова М. Г. Анализ состава и свойств белков молока с целью использования в различных отраслях пищевой промышленности // Техника и технология пищевых производств. 2009. Т. 15. № 4. С. 68а–71.]. https://elibrary.ru/KYYQQJ

6. Kobzeva TV, Yurova EA. Assessment of the quality indices and identification of milk powder characteristics. Dairy Industry. 2016;(3):32–35. (In Russ.). [Кобзева Т. В., Юрова Е. А. Оценка показателей качества и идентификационных характеристик сухого молока // Молочная промышленность. 2016. № 3. С. 32–35.]. https://elibrary.ru/VMBQQD

7. Petrov AN, Galstyan AG, Radaeva IA, Turovskaya SN, Illarionova EE, Semipyatniy VK, *et al.* Indicators of quality of canned milk: Russian and international priorities. Food and Raw Material. 2017;5(2):151–161. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-151-161; https://elibrary.ru/YQZCDY

8. Sanchez Alan K, Subbiah J, Schmidt KA. Application of a dry heat treatment to enhance the functionality of low-heat nonfat dry milk. Journal of Dairy Science. 2019;102(2):1096–1107. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15254

9. Khropach AI. Innovative approaches to modernizing technology and equipment for milk production. Youth science as a guarantee of innovative agro-industrial development: proceedings of the X All-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates, and young scientists; 2018; Kursk. Kursk: Kursk State Agricultural Academy; 2019. p. 441–446. (In Russ.). [Хропач А. И. Инновационные подходы в модернизации технологии и оборудования для производства питьевого молока // Молодежная наука – гарант инновационного развития АПК: материалы X Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск, 2019. С. 441–446.]. https://elibrary.ru/OCFZKA

10. Kelly J, Kelly PM, Harrington D. Influence of processing variables on the physicochemical properties of spray dried fat-based milk powders. Lait. 2002;82(4):401–412. https://doi.org/10.1051/lait:2002019

11. Martin GJO, Williams RPW, Dunstan DE. Comparison of casein micelles in raw and reconstituted skim milk. Journal of Dairy Science. 2007;90(10):4543–4551. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0166

12. Gun′kova PI, Gorbatova KK. Biotechnological properties of milk proteins. St. Petersburg: GIORD, 2021. 216 p. (In Russ.). [Гунькова П. И., Горбатова К. К. Биотехнологические свойства белков молока. СПб: ГИОРД, 2021. 216 с.].

13. Deeth H, Lewis M. Protein stability in sterilised milk and milk products. In: McSweeney PLH, O'Mahony JA, editors. Advanced dairy chemistry. Volume 1B: Proteins: Applied aspects. New York: Springer; 2016. pp. 247–286. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_10

14. Liu Y, Zhang W, Han B, Zhang L, Zhou P. Changes in bioactive milk serum proteins during milk powder processing. Food Chemistry. 2020;314:126177. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126177

15. Sharma A, Jana AH, Chavan RS. Functionality of milk powders and milk-based powders for end use applications – A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2012;11(5):518–528. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00199.x

16. Ryabtseva SA, Ganina VI, Panova NM. Microbiology of milk and dairy products. St. Petersburg: Lan′; 2023. 192 p. (In Russ.). [Рябцева С. А., Ганина В. И., Панова Н. М. Микробиология молока и молочных продуктов. СПб: Лань, 2023. 192 с.].

17. Schröder MJA, Bland MA. Effect of pasteurization temperature on the keeping quality of whole milk. Journal of Dairy Research. 1984;51(4):569–578. https://doi.org/10.1017/S002202990003288X

18. Kelly AL, O'Connell JE, Fox PF. Manufacture and properties of milk powder. In: Fox PF, McSweeney PLH, editors. Advanced dairy chemistry: Volume 1: Proteins. New York: Springer; 2003. pp. 1027–1061. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3_29

19. Gerasimova OA, Solovyev SV, Solovyeva YeA, Chesnokov AS. Theoretical substantiation of milk thermization process. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017;147(1):137–145. (In Russ.). [Теоретическое обоснование процесса термизации молока / О. А. Герасимова [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. Т. 147. № 1. С. 137–145.]. https://elibrary.ru/XSHISP

20. Vitushkina MA, Dulepova MA. Whey proteins of milk and their properties. Science Bulletin. 2020;5(8):51–58. (In Russ.). [Витушкина М. А., Дулепова М. А. Сывороточные белки молока и их свойства // Вестник науки. 2020. Т. 5. № 8. С. 51–58.]. https://elibrary.ru/IKOLOJ

21. Dumpler J, Huppertz T, Kulozik U. *Invited review:* Heat stability of milk and concentrated milk: Past, present, and future research objectives. Journal of Dairy Science. 2020;103(12):10986–11007. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18605

22. Myunkh G-D, Zaupe K, Shrayter MF, Vagner K, Tsikrik K. Microbiology of animal products. Moscow: Agropromizdat; 1985. 591 p. (In Russ.). Микробиология продуктов животного происхождения / Г.-Д. Мюнх [и др.]. М.: Агропромиздат, 1985. 591 с.].

23. Turovskaya SN, Galstyan AG, Petrov AN, Radaeva IA, Illarionova EE, Semipyatniy VK, *et al.* Safety of canned milk as an integrated criterion of their technology effectiveness. Russian experience. Food Systems. 2018;1(2):29–54. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54; https://elibrary.ru/XSLOJF

24. Oldfield DJ, Taylor MW, Singh H. Effect of preheating and other process parameters on whey protein reactions during skim milk powder manufacture. International Dairy Journal. 2005;15(5):501–511. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.09.004