

Александр Геннадьевич Кручинин

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, заведующий лабораторией молочных консервов, кандидат технических наук, Россия, Москва

E-mail: a_kruchinin@vnimi.org

Елена Евгеньевна Илларионова

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, научный сотрудник лаборатории молочных консервов, Россия, Москва

E-mail: e_illarionova@vnimi.org

Алана Владиславовна Бигаева

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, научный сотрудник лаборатории молочных консервов, Россия, Москва

E-mail: a_bigaeva@vnimi.org

Светлана Николаевна Туровская

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, старший научный сотрудник лаборатории молочных консервов, Россия, Москва

E-mail: s_turovskaya@vnimi.org

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУХОГО МОЛОКА

Сухое молоко (СМ) является широко применяемым ингредиентом, используемым в производстве различных видов пищевых продуктов в сухом или восстановленном виде, от кондиции и технологических свойств которого зависит качество готовой продукции. Одним из значимых факторов, оказывающих влияние на качественные характеристики СМ и формирование его технологических свойств, безусловно считаются процессы, используемые при его изготовлении, в т.ч. такой обязательный производственный этап, как предварительное концентрирование (сгущение). Изучение научно-технических материалов выявило востребованность в обновлении знаний и структурировании информации, рассматривающей влияние различных методов концентрирования на качество СМ. Цель исследований – анализ и систематизация информации о влиянии применяемых в молочной промышленности способов концентрирования в качестве предварительного этапа сгущения молока перед распылительной сушкой на технологические свойства СМ. Рассмотрены следующие способы: вакуумное испарение, гиперфльтрация, криоконцентрирование. Приведено их краткое описание. Основные технологические свойства СМ (восстанавливаемость, термостабильность, сыропригодность) зависят от состава, размера и форм сухих частиц, растворимости, диспергируемости, смачиваемости и пр. Процесс вакуумного испарения давно и широко используют в промышленных масштабах для изготовления различных видов СМ. Прогрессивные способы сгущения (гиперфльтрация и криоконцентрирование) находят все большее применение, но в основном в производстве сухого обезжиренного молока. Физико-химические показатели СМ, выработанного с использованием изучаемых видов концентрирования, соответствовали стандартизированным нормам. СМ, полученное с использованием криоконцентрации, состояло из агломерированных частиц, что способствовало его лучшей растворимости. Ни один из видов сгущения не оказал какого-либо значимого воздействия на диспергируемость и смачиваемость. Термостабильность также была практически одинаковой с некоторыми незначительными отличиями при применении криоконцентрирования. Главенствующее влияние на термостойкость и сыропригодность имеет тепловая обработка перед сгущением и сушкой. Для расширения представления о влиянии предварительного сгущения на технологические свойства СМ необходимо проведение дополнительных исследований молочного концентрата в производстве сухого цельного молока, получаемого современными способами концентрирования.

Ключевые слова: сухое молоко, качество, технологические и функциональные свойства, вакуумное испарение, обратный осмос, криоконцентрация.

© Кручинин А.Г., Илларионова Е.Е., Бигаева А.В., Туровская С.Н., 2021
Вестник КрасГАУ. 2021. № 2. С. 135–142.

Alexander G. Kruchinin

All-Russia Research Institute of Dairy Industry, head of the laboratory of canned milk, candidate of technical sciences, Russia, Moscow

E-mail: a_kruchinin@vnimi.org

Elena E. Illarionova

All-Russia Research Institute of Dairy Industry, senior staff scientist of the laboratory of canned milk, Russia, Moscow

E-mail: e_illarionova@vnimi.org

Alana V. Bigaeva

All-Russia Research Institute of Dairy Industry, staff scientist of the laboratory of canned milk, Russia, Moscow

E-mail: a_bigaeva@vnimi.org

Svetlana N. Turovskaya

All-Russia Research Institute of Dairy Industry, senior staff scientist of the laboratory of canned milk, Russia, Moscow

E-mail: s_turovskaya@vnimi.org

THE INFLUENCE OF CONCENTRATION METHODS ON POWDERED MILK TECHNOLOGICAL PROPERTIES

Milk powder (MP) is a widely spread ingredient used in the production of various types of food products in dry or reconstituted form, the condition and technological properties of which the quality of the finished product depends. One of significant factors influencing the quality characteristics of the MP and the formation of its technological properties are undoubtedly the processes used in its manufacture, including such mandatory production step as preliminary concentration (evaporation). The study of scientific and technical materials revealed the demand for updating knowledge and structuring information, considering the impact of various concentration methods on the MP quality. The aim of the research was to analyze and systematize the information on the effect of concentration methods used in dairy industry as a preliminary stage of milk condensation before spray drying on the MP technological properties. The following methods were considered: vacuum evaporation, hyperfiltration, cryoconcentration. A brief description was given. The main MP technological properties (recoverability, thermal stability, cheese suitability) depended on the composition, size and form of dry particles, solubility, dispersibility, wettability, etc. The process of vacuum evaporation had long been widely used on an industrial scale for various MP types' manufacture. Progressive evaporation methods (hyperfiltration and cryoconcentration) were increasingly used, but mainly in instant skimmed milk powder production. Physicochemical parameters of the MP, developed using studied concentration types, corresponded to standardized norms. The MP obtained using cryoconcentration consisted of agglomerated particles, which contributed to its better solubility. None of the evaporators' kinds had any significant impact on the dispersibility and wettability. Thermal stability was also almost the same with some minor differences when cryoconcentration was applied. Heat treatment before evaporating and drying had a dominant influence on thermal stability and cheese suitability. To expand the understanding of the pre-evaporating effect on the MP technological properties, additional research is required, especially on milk concentrate in dry whole milk production, obtained by modern concentration methods.

Keywords: milk powder, quality, technological and functional properties, vacuum evaporation, reverse osmosis, cryoconcentration.

Введение. Качество и безопасность любой готовой пищевой продукции зависят от состава и свойств исходного сырья, его эффективной переработки с использованием традиционных, модернизированных, современных и инновационных технологий и соблюдения надлежащих условий хранения [1, 2].

Сухое молоко (СМ), обладая высокой пищевой ценностью за счет входящих в его состав

макро- и микрокомпонентов, различными функционально-технологическими свойствами, длительными сроками хранения, находит широкое применение в качестве сырьевого ингредиента во многих отраслях пищевой промышленности. «Прижизненное» формирование показателей СМ обуславливает его технологическую и экономическую целесообразность применения [3–5].

В процессе промышленного производства СМ одной из обязательных технологических операций, предшествующих этапу распылительной сушки, является концентрирование (сгущение), т.е. удаление части влаги из исходного молочного сырья для достижения необходимой массовой доли сухих веществ. Проведение процесса сушки без предварительного концентрирования экономически нецелесообразно. Так, например, при сгущении с использованием вакуум-выпарных аппаратов расход пара на испарение 1 кг влаги составляет 0,5 кг, а при распылительной сушке – 2,5–3,5 кг. Кроме этого, изготовленное без предварительной концентрации СМ имеет худшие качественные характеристики, чем продукт, произведенный с применением сгущения. Концентрирование осуществляют с использованием различного оборудования, основанного на физических методах, позволяющих максимально сохранить все питательные свойства составных частей молока и их соотношения и произвести практически только влагоудаление. Однако многими отечественными и зарубежными исследованиями установлено, что основные структурные и функциональные преобразования в молочном сырье происходят до сушки, т.е. на стадиях термообработки и концентрирования [6–8].

Применительно к СМ в основном используют три способа концентрирования (вакуумное испарение, гиперфльтрация, криоконцентрирование), каждый из которых имеет свои технические и технологические достоинства и недостатки [7, 9].

Вакуумное испарение (ВИ – выпаривание под вакуумом) в нашей стране является наиболее распространенным методом сгущения ввиду массового оснащения в прошлом столетии молочно-консервных комбинатов на то время прогрессивными вакуум-выпарными установками различных конструкций и производительности, в т.ч. входящими в комплект сушильного оборудования. При этом способе за счет искусственно созданного вакуума происходит интенсивное кипение молока при более низких положительных температурах (30–60 °С), чем температура кипения молока при атмосферном давлении (100,2–100,5 °С). Свободная влага из кипящего молока переходит в пар, который непрерывно удаляется из зоны кипения. Концентрация сухих веществ молока достигает значений 40–52 %. С водяными парами удаляются не только нежелательные запахи кормового или иного происхождения, но и некоторая часть нативных ароматических веществ и низкомолекулярных жирных кислот (до 15 % от исходного количества) [6, 7, 10–12].

Гиперфльтрация (ГФ – основана на явлении обратного осмоса) заключается в фильтровании молока при достаточно невысоких положительных температурах 4–50 °С и давлении 3–6 МПа через мембраны с размером пор 10^4 – 10^3 мкм. В результате чего вода без фазовых превращений извлекается из молочных систем. При отсутствии нежелательного теплового воздействия сохраняются целостность и соотношения составных частей, а также отсутствует потеря летучих вкусовых соединений. ГФ позволяет осуществить концентрирование сухих веществ для цельного молока до 18 %, обезжиренного молока до 30–35 %. Данный способ предварительного концентрирования является перспективным в производстве СМ при решении проблемы необходимости периодической очистки и замены фильтрующих элементов, а также снижения их стоимости [13–16].

Криоконцентрирование (КК – вымораживание воды) позволяет максимально сохранить исходные свойства молочного сырья за счет использования процесса, протекающего при относительно низких отрицательных температурах (от 0 до минус 20 °С). Часть свободной влаги в молоке вымораживается, образующиеся кристаллы льда удаляются. Совершенствование технологии КК и аппаратного оформления криоконцентраторов делает возможным в настоящее время создавать альтернативное вакуум-выпарным и мембранным установкам высокоэффективное оборудование с максимально низкими потерями сухих веществ (менее 1 %, состоящих в основном из лактозы и минеральных веществ), которое за счет исключения теплового воздействия не приводит к существенным биохимическим изменениям и позволяет сохранить такие термолабильные компоненты молока, как белки и ароматические соединения. При КК массовая доля сухих веществ повышается до 25–40 % [7, 17–19].

Изучение специализированной литературы показало, что имеется востребованность в обновлении знаний и структурировании современной научной информации, оценивающей влияние различных методов концентрирования на качество СМ.

Цель исследований. Анализ и систематизация информации о влиянии применяемых в молочной промышленности способов концентрирования в качестве предварительного этапа сгущения молока перед распылительной сушкой на технологические свойства СМ.

Результаты исследований и их обсуждение. Состав СМ, размер и форма сухих частиц, растворимость, диспергируемость, смачивае-

мость и пр. оказывают существенное влияние на такие его основные технологические и функциональные свойства, как восстанавливаемость, термостабильность, сыропригодность [3, 7, 8].

Изучение состава сухого обезжиренного молока (СОМ), полученного с использованием ВИ, ГФ и КК, показало, что все способы концентрирования обеспечили получение продукта стандартизованного физико-химического состава с массовыми долями влаги (2,46 %; 1,92; 3,5 %), жира (1,3 %; 1,2; 1,4 %), белка (36,27 %; 36,16, 36,10 %), лактозы (54,5 %; 54,0; 52,0 %) соответственно. При этом отмечено отличие СОМ-КК по содержанию лактозы от СОМ-ВИ и СОМ-ГФ. Это связано с тем, что некоторое ее количество было удалено с ледяной фракцией, тогда как процессы ВИ и ГФ не влияют на распределение лактозы между сгущаемым молоком и удаляемой влагой. Что касается золы, то у исследователей не наблюдалось существенных отклонений в ее содержании во всех образцах СОМ ($6,7 \pm 0,3$ %). Аналогичные тенденции получены и для сухого цельного молока (СЦМ). Также отмечено, что независимо от степени концентрирования жир остается в эмульсионном состоянии и, если до сгущения не выявлено дестабилизации жировой эмульсии, то и впоследствии не происходит образования новой структуры жировой фазы. Жировые шарики сближаются, но не слипаются [6, 7, 16].

Анализ микроструктуры СМ с помощью сканирующей электронной микроскопии выявил дискретную структуру порошков при использовании ВИ и ГФ, тогда как КК способствовало образованию преимущественно агрегированных частиц. Исследование гранулометрического состава СОМ показало, что СОМ-ВИ характеризуется меньшим средним размером частиц (70 мкм), чем СОМ-ГФ и СОМ-КК (105 мкм) [7]. Следует отметить, что приведенные результаты согласуются с литературными, экспериментальными и производственными данными: частицы СМ, полученные с помощью распылительной сушки, обычно имеют диаметр от 10 до 250 мкм, который зависит не только от состава и свойств исходного молока, но и от процедур тепловой обработки и предварительного концентрирования. В процессе сгущения белки увеличиваются в размерах и способствуют увеличению вязкости концентратов перед сушкой. Частицы СМ также укрупняются по мере увеличения степени сгущения, а при недостаточной концентрации размеры частиц становятся минимальными с включением большого количества воздуха, что инициирует развитие в СЦМ негативных окислительных процессов при хранении [3, 6, 7, 20]. Кроме этого,

авторами [7] сделано предположение, что именно температура входящего в сушильную башню воздуха оказывает более интенсивное влияние на молоко, сконцентрированное с помощью ГФ и КК, поскольку эти два способа включают более низкие температуры обработки исходного молока при сгущении, практически не влияющие на белковую фракцию.

В восстановленных до содержания сухих веществ 25 % образцах выявлено мономодальное распределение мицелл казеина с размером 70–400 нм, что соизмеримо с размером мицелл в сыром молоке. Наибольший средний размер наблюдали в восстановленном молоке с использованием КК (190 нм), для ВИ и ГФ этот показатель имел величину 164 нм. Это объясняется тем, что КК уменьшает размер казеиновых мицелл, которые под воздействием теплового воздействия в процессе сушки легко агрегируются, образуя частицы большего размера, состоящие из денатурированных сывороточных белков и мицелл казеина [7, 11, 21]. Авторами [20] определено, что необратимая денатурация основных сывороточных белков (β -лактоглобулина и α -лактальбумина) происходит в основном во время термической обработки, предшествующей стадии сгущения, а воздействие концентрирования на их денатурацию считается минимальным. В работе [22] представлены аналогичные исследования приоритетного влияния на термоустойчивость и сыропригодность СМ тепловой обработки перед концентрированием и сушкой. Ужесточение температурных воздействий на молочные системы перед сгущением приводит к прогрессирующему увеличению денатурации сывороточных белков и укрупнению мицелл казеина, что способствует получению термостойкого СМ со слабой гелеобразующей способностью.

Важной характеристикой термостабильности белка и прочности образования геля является дзета-потенциал, на величину которого влияет содержание кальция, удаление некоторого его количества из молочных систем улучшает их термоустойчивость. Данные, полученные авторами [7], не показали существенных различий между восстановленными образцами с применением ВИ, ГФ и КК (-28,2; -26,6; -27,1 мВ соответственно). Однако исследователями [21] установлено, что использование КК перед сушкой способствовало частичной потере кальция с фракцией льда и образованию более слабого геля по сравнению с плотными гелями, полученными с применением ВИ и ГФ, в процессе которых влага удаляется в виде пара или чистой воды. Автора-

ми [15] представлены данные по термоустойчивости СМ, полученного с помощью ГФ, которое способствовало максимальному удержанию в ретентате ионного кальция $1,25 \pm 0,02$ мМ и снижению активной кислотности ($\text{pH } 6,30 \pm 0,04$), что отрицательно повлияло на термостабильность системы.

Растворимость является базовым критерием при оценке качества СМ, характеризуется сложным физико-химическим процессом, зависящим от многих факторов (структуры и состава основных компонентов, условий проведения процесса и пр.). Растворимость СМ тесно связана с кумулятивными изменениями белка, кристаллизацией лактозы и соотношения ее α - и β -форм (β -лактоза более растворима), условиями восстановления и пр. Сухие молочные продукты считаются практически полностью восстановленными, если их индекс растворимости выше 99 %, т.е. содержание нерастворимого осадка не должно превышать 1 %. Максимальные значения растворимости для СМ-ВИ, СМ-ГФ и СМ-КК составили 91, 94 и 97 % соответственно. Лучшая растворимость СМ-КК обусловлена агломерированностью частиц СМ и меньшим содержанием минеральных веществ [7, 8, 20, 23].

С помощью диспергируемости оценивают мгновенность восстановления СМ при регидратации. СЦМ считается хорошо диспергируемым, если его индекс выше 85 %, СМ – выше 90 % (с совершенствованием процесса сушки идеальным будет считаться значение выше 95 %). Диспергируемость зависит от гранулометрического профиля порошка, параметров сушки, условий восстановления и пр. Определение диспергируемости СМ показало невысокие значения: 65 % (ВИ), 69 % (ГФ), 74 % (КК), что означает отсутствие влияния способов сгущения на этот параметр. Однако при этом все виды молока с размером частиц 105 нм имели хороший индекс диспергируемости (92–93 %), который снижался по мере увеличения размера [7, 8, 24, 25].

Смачиваемость представляет собой способность СМ погружаться в воду, т.е. впитывать ее на поверхности. При этом происходит набухание и растворение протеинов. На смачиваемость оказывают влияние в основном содержание лактозы, размер, пористость и капиллярность сухих частиц, условия восстановления и пр. СМ считается отлично смачиваемым, если данный показатель не превышает 20–30 с. Указанные значения соответствуют быстрорастворимому СМ [8, 26]. В работе [7] представлены результаты смачиваемости СМ: 2060 ± 35 с (ВИ), 2030 ± 33 с

(КК), 2010 ± 28 с (ГФ). Использование ГФ способствовало немного более лучшей смачиваемости, однако, учитывая значения погрешностей, различия показателей нивелируются и все виды молока могут быть классифицированы как плохо смачиваемые и отнесены к обычному СМ, массово производимому молочно-консервными предприятиями.

Заключение. В процессе предварительного концентрирования молочного сырья при производстве СМ происходят сложные физические, физико-химические и биохимические процессы, оказывающие влияние на функционально-технологические свойства готового продукта. В настоящее время ВИ эффективно используют для изготовления всех видов сухого молока (обезжиренного, частично обезжиренного, цельного). ГФ и КК находят применение в основном при выработке СМ. Изучаемые виды концентрирования (ВИ, ГФ, КК) обеспечили получение стандартизованного по физико-химическому составу СМ. КК позволило выработать продукт, состоящий из агломерированных частиц, что способствовало лучшей растворимости по сравнению с использованием ВИ и ГФ. На диспергируемость и смачиваемость СМ ни один из видов сгущения не оказал какого-либо значимого воздействия. Термостабильность СМ также была практически одинаковой с некоторыми незначительными отличиями при применении КК. Главенствующее влияние на термоустойчивость и сыропригодность СМ имеет тепловая обработка перед сгущением и сушкой. Дальнейшее изучение характеристик молочных концентратов в производстве СМ, полученных различными способами, особенно применительно к СЦМ (из-за недостаточности на сегодняшний момент данных), позволит расширить представление о влиянии концентрирования на качество сухой молочной продукции.

Литература

1. Galstyan A.G., Aksenova L.M., Lisitsyn A.B. et al. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food products // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2019. Vol. 89. № 2. P. 211–213. DOI: 10.1134/S1019331619020059.
2. Оганесянц Л.А., Хуршудян С.А., Галстян А.Г. Мониторинг качества пищевых продуктов – базовый элемент стратегии // Контроль качества продукции. 2018. № 4. С. 56–59.

3. Кручинин А.Г., Илларионова Е.Е., Бугаева А.В. [и др.]. Роль технологических свойств сухого молока в формировании качества пищевых систем // Вестник КрасГАУ. 2020. № 8 (161). С. 166–173. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-8-166-173.
4. Галстян А.Г., Семипятный В.К. К вопросу о расширении области оценочных критериев качества пищевых продуктов // Актуальные вопросы индустрии напитков. 2017. № 1. С. 27–29.
5. Galstyan A.G., Petrov A.N., Semipyatniy V.K. Theoretical backgrounds for enhancement of dry milk dissolution process: mathematical modeling of the system “solid particles – liquid” // Foods and Raw Materials. 2016. Т. 4. № 1. P. 102–109. DOI: 10.21179/2308-4057-2016-1-102-109.
6. Туровская С.Н., Галстян А.Г., Петров А.Н. [и др.]. Безопасность молочных консервов как интегральный критерий эффективности их технологии. Российский опыт // Пищевые системы. 2018. Т. 1, № 2. С. 29–54. DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54.
7. Balde A., Aider M. Effect of cryoconcentration, reverse osmosis and vacuum evaporation as concentration step of skim milk prior to drying on the powder properties // Powder Technology. 2017. Vol. 319. P. 463–471. DOI: 10.1016/j.powtec.2017.07.016.
8. Schuck P., Floch-Fouere C., Jeantet R. Changes in Functional Properties of Milk Protein Powders: Effects of Vacuum Concentration and Drying // Drying Technology. 2013. Vol. 31. P. 1578–1591. DOI: 10.1080/07373937.2013.816316.
9. Moejes S.N., Van Boxtel A.J.B. Energy saving potential of emerging technologies in milk powder production // Trends in Food Science & Technology. 2017. Vol. 60. P. 31–42. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.10.023.
10. Радаева И.А., Червецов В.В., Галстян А.Г. [и др.]. Межгосударственный стандарт на сухое молоко // Молочная промышленность. 2016. № 3. С. 36–38.
11. Liu D.Z., Dunstan D.E., Martin G.J.O. Evaporative concentration of skimmed milk: Effect on casein micelle hydration, composition, and size // Food Chemistry. 2012. Vol. 134 (3). P. 1446–1452. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.03.053.
12. Радаева И.А., Галстян А.Г., Петров А.Н. [и др.]. Сгущенное молоко – сырье для молочной промышленности. Новые виды // Переработка молока. 2011. № 6 (140). С. 42–43.
13. Khramtsov A.G., Evdokimov I.A., Lodygin A.D. [et al.]. Technology development for the food industry: a conceptual model // Foods and Raw Materials. 2014. Vol. 2. Iss. 1. P. 22–26. DOI: 10.12737/4121.
14. Золоторева М.С., Евдокимов И.А., Харитонов В.Д. Мембранные технологии для обеспечения эффективности и безопасности молочного производства // Молочная промышленность. 2018. № 5. С. 36–39.
15. Syrios A., Faka M., Grandison A.S., Lewis M.J. A comparison of reverse osmosis, nanofiltration and ultrafiltration as concentration processes for skim milk prior to drying // International Journal of Dairy Technology. 2011. Vol. 64. Iss. 4. P. 467–472. DOI:10.1111/j.1471–0307.2011.00719.x.
16. Arend G.D., Castoldi S.M., Rezzadori K. et al. Concentration of skim milk by reverse osmosis: characterization and flow decline modelling // Brazilian Journal of Food Technology. 2019. Vol. 22. DOI: 10.1590/1981–6723.02819.
17. Короткий А.И., Короткая Е.В., Неверов Е.Н. [и др.]. Разработка низкотемпературной технологии извлечения белка из творожной сыворотки // Вестник КрасГАУ. 2020. № 2 (155). С. 148–154. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-148-154.
18. Короткий И.А., Короткая Е.В., Мальцева О.М. Разделительное вымораживание при переработке обезжиренного молока // Вестник КрасГАУ. 2015. № 10 (109). С. 115–121.
19. Остроумов Л.А., Короткая Е.В., Мальцева О.М. Влияние криоконцентрирования на содержание сухих веществ обезжиренного молока // Молочная промышленность. 2018. № 8. С. 60–61. DOI: 10.31515/1019-8946-2018-8-60-61.
20. Cao J., Zhang W., Wu S. [et al.]. Effects of nanofiltration and evaporation on the physicochemical properties of milk protein during processing of milk protein concentrate // Journal of Dairy Science. 2015. Vol. 98(1). P. 100–105. DOI:10.3168/jds.2014–8619.
21. Balde A., Aider M. Impact of cryoconcentration on casein micelle size distribution, micelles interdistance, and flow behavior of skim milk during refrigerated storage // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2016. Vol. 34. P. 68–76. DOI:10.1016/j.ifset.2015.12.032.
22. Lin Y., Kelly A.L., O’Mahony J.A. et al. Effect of heat treatment, evaporation and spray drying during skim milk powder manufacture on the compositional and processing characteristics of reconstituted skim milk and concentrate // International Dairy Journal. 2018. Vol. 78. P. 53–64. DOI:10.1016/j.idairyj.2017.10.007.

23. Markoska T., Huppertz T., Grewal M.K. et al. FTIR analysis of physiochemical changes in raw skim milk upon concentration // *LWT – Food Science and Technology*. 2019. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.12.011.
24. Fyfe K., Kravchuk O., Nguyen A.V. et al. Influence of Dryer Type on Surface Characteristics of Milk Powders // *Drying Technology*. 2011. Vol. 29 (7). P. 758–769. DOI: 10.1080/07373937.2010.538481.
25. Gaiani C., Boyanova P., Hussain R. et al. Morphological descriptors and colour as a tool to better understand rehydration properties of dairy powders // *International Dairy Journal*. 2011. Vol. 21 (7). P. 462–469. DOI: 10.1016/j.idairyj.2011.02.009.
26. O'Sullivan J.J., Schmidmeier C., Drapala K.P. et al. Monitoring of pilot-scale induction processes for dairy powders using inline and offline approaches // *Journal of Food Engineering*. 2017. Vol. 197. P. 9–16. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.10.023.
- Rossiiskij opyt // *Pischevye sistemy*. 2018. T. 1, № 2. S. 29–54. DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54.
7. Balde A., Aider M. Effect of cryoconcentration, reverse osmosis and vacuum evaporation as concentration step of skim milk prior to drying on the powder properties // *Powder Technology*. 2017. Vol. 319. P. 463–471. DOI: 10.1016/j.powtec.2017.07.016.
8. Schuck P., Floch-Fouere C., Jeantet R. Changes in Functional Properties of Milk Protein Powders: Effects of Vacuum Concentration and Drying // *Drying Technology*. 2013. Vol. 31. P. 1578–1591. DOI: 10.1080/07373937.2013.816316.
9. Moejes S.N., Van Boxtel A.J.B. Energy saving potential of emerging technologies in milk powder production // *Trends in Food Science & Technology*. 2017. Vol. 60. P. 31–42. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.10.023.
10. Radaeva I.A., Chervecov V.V., Galstyan A.G. [i dr.]. Mezhhgosudarstvennyj standart na suhoe moloko // *Molochnaya promyshlennost'*. 2016. № 3. S. 36–38.
11. Liu D.Z., Dunstan D.E., Martin G.J.O. Evaporative concentration of skimmed milk: Effect on casein micelle hydration, composition, and size // *Food Chemistry*. 2012. Vol. 134 (3). P. 1446–1452. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.03.053.
12. Radaeva I.A., Galstyan A.G., Petrov A.N. [i dr.]. Sguschennoe moloko – syr'e dlya molochnoj promyshlennosti. *Novye vidy // Pererabotka moloka*. 2011. № 6 (140). S. 42–43.
13. Khramtsov A.G., Evdokimov I.A., Lodygin A.D. et al. Technology development for the food industry: a conceptual model // *Foods and Raw Materials*. 2014. Vol. 2. Iss. 1. P. 22–26. DOI: 10.12737/4121.
14. Zolotoreva M.S., Evdokimov I.A., Haritonov V.D. Membrannye tehnologii dlya obespecheniya `effektivnosti i bezopasnosti molochnogo proizvodstva // *Molochnaya promyshlennost'*. 2018. № 5. S. 36–39.
15. Syrios A., Faka M., Grandison A.S., Lewis M.J. A comparison of reverse osmosis, nanofiltration and ultrafiltration as concentration processes for skim milk prior to drying // *International Journal of Dairy Technology*. 2011. Vol. 64. Iss. 4. P. 467–472. DOI:10.1111/j.1471-0307.2011.00719.x.
16. Arend G.D., Castoldi S.M., Rezzadori K. et al. Concentration of skim milk by reverse osmosis: characterization and flow decline modelling // *Brazilian Journal of Food Technology*. 2019. Vol. 22. DOI: 10.1590/1981-6723.02819.

Literatura

1. Galstyan A.G., Aksenova L.M., Lisitsyn A.B. et al. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food products // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019. Vol. 89. № 2. P. 211–213. DOI: 10.1134/S1019331619020059.
2. Oganesyanc L.A., Hurshudyayn S.A., Galstyan A.G. Monitoring kachestva pischevyh produktov – bazovyy `element strategii // *Kontrol' kachestva produkci*. 2018. № 4. S. 56–59.
3. Kruchinin A.G., Illarionova E.E., Bigaeva A.V. [i dr.]. Rol' tehnologicheskikh svoystv suhogo moloka v formirovani kachestva pischevyh sistem // *Vestnik KrasGAU*. 2020. № 8 (161). S. 166–173. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-8-166-173.
4. Galstyan A.G., Semipyatnyj V.K. K voprosu o rasshirenii oblasti ocenochnyh kriteriev kachestva pischevyh produktov // *Aktual'nye voprosy industrii napitkov*. 2017. № 1. S. 27–29.
5. Galstyan A.G., Petrov A.N., Semipyatnyj V.K. Theoretical backgrounds for enhancement of dry milk dissolution process: mathematical modeling of the system "solid particles – liquid" // *Foods and Raw Materials*. 2016. T. 4. № 1. S. 102–109. DOI: 10.21179/2308-4057-2016-1-102-109.
6. Turovskaya S.N., Galstyan A.G., Petrov A.N. [i dr.]. Bezopasnost' molochnyh konservov kak integral'nyj kriterij `effektivnosti ih tehnologii.

17. Korotkij A.I., Korotkaya E.V., Neverov E.N. [i dr.]. Razrabotka nizkotemperaturnoj tehnologii izvlecheniya belka iz tvorozhnoj syvorotki // Vestnik KrasGAU. 2020. № 2 (155). S. 148–154. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-148-154.
18. Korotkij I.A., Korotkaya E.V., Mal'ceva O.M. Razdelitel'noe vymorazhivanie pri pererabotke obezhirenogo moloka // Vestnik KrasGAU. 2015. № 10 (109). S. 115–121.
19. Ostroumov L.A., Korotkaya E.V., Mal'ceva O.M. Vliyanie kriokoncentrirvaniya na sodержanie suhih veschestv obezhirenogo moloka // Molochnaya promyshlennost'. 2018. № 8. S. 60–61. DOI: 10.31515/1019-8946-2018-8-60-61.
20. Cao J., Zhang W., Wu S. et al. Effects of nanofiltration and evaporation on the physiochemical properties of milk protein during processing of milk protein concentrate // Journal of Dairy Science. 2015. Vol. 98(1). P. 100–105. DOI:10.3168/jds.2014-8619.
21. Balde A., Aider M. Impact of cryoconcentration on casein micelle size distribution, micelles inter-distance, and flow behavior of skim milk during refrigerated storage // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2016. Vol. 34. P. 68–76. DOI:10.1016/j.ifset.2015.12.032.
22. Lin Y., Kelly A.L., O'Mahony J.A. et al. Effect of heat treatment, evaporation and spray drying during skim milk powder manufacture on the compositional and processing characteristics of reconstituted skim milk and concentrate // International Dairy Journal. 2018. Vol. 78. P. 53–64. DOI:10.1016/j.idairyj.2017.10.007.
23. Markoska T., Huppertz T., Grewal M.K. et al. FTIR analysis of physiochemical changes in raw skim milk upon concentration // LWT – Food Science and Technology. 2019. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.12.011.
24. Fyfe K., Kravchuk O., Nguyen A.V. et al. Influence of Dryer Type on Surface Characteristics of Milk Powders // Drying Technology. 2011. Vol. 29 (7). P. 758–769. DOI: 10.1080/07373937.2010.538481.
25. Gaiani C., Boyanova P., Hussain R. et al. Morphological descriptors and colour as a tool to better understand rehydration properties of dairy powders // International Dairy Journal. 2011. Vol. 21 (7). P. 462–469. DOI: 10.1016/j.idairyj.2011.02.009.
26. O'Sullivan J.J., Schmidmeier C., Drapala K.P. et al. Monitoring of pilot-scale induction processes for dairy powders using inline and offline approaches // Journal of Food Engineering. 2017. Vol. 197. P. 9–16. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.10.023.

