

ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ
PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTION

УДК 637.3:637.13

DOI: 10.29 235/1817-7204-2018-56-2-234-247

Поступила в редакцию 09.01.2018

Received 09.01.2018

Л. Л. Богданова, И. Б. Фролов, Т. А. Савельева

Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь

**СЕЛЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ
В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СЫРОВ**

Аннотация: Одним из приоритетных направлений развития молокоперерабатывающей отрасли в Республике Беларусь является увеличение объемов производства сыров. Производство сыров классическим способом сопровождается значительным отходом сыворотки, в которую переходит часть жира и белка молока и которая впоследствии подвергается отдельной переработке. Сократить потери жира и белков с сывороткой и тем самым увеличить выход продукта позволяет баромембранная обработка молока, преимущество которой состоит в концентрировании сухих веществ и всех фракций белков молока в неизменном виде, что способствует сохранению их природных свойств. Впервые в Республике Беларусь предложены технологические решения концентрирования молочного сырья для сыроделия. Исследована возможность получения концентрированных молочных смесей для изготовления различных видов сыров при помощи баромембранных способов обработки (ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос) обезжиренного молока. Исследована динамика изменения физико-химических показателей и минерального состава ретентата и пермеата в процессе обработки. С использованием полученных концентратов приготовлены нормализованные молочные смеси и изготовлены опытные образцы сыров, исследованы их физико-химические и микробиологические показатели и органолептические характеристики. Изучено влияние повышенного содержания белка и сухих веществ молочной смеси на качественные характеристики молочного сгустка и параметры ведения технологического процесса изготовления сыра. Дана оценка эффективности применения способов баромембранного концентрирования в технологиях производства различных групп сыров. Результаты проведенных исследований имеют важное значение для разработки технологий новых видов сыров с применением баромембранных способов подготовки молочного сырья, позволяющих получить экономический эффект за счет снижения потерь белков и сокращения расходов сырья.

Ключевые слова: молоко, баромембранное концентрирование, ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос, сыр

Для цитирования: Богданова Л. Л. Селективные способы подготовки молочного сырья в технологии производства сыров / Л. Л. Богданова, И. Б. Фролов, Т. А. Савельева // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 2. – С. 234–247. DOI: 10.29 235/1817-7204-2018-56-2-234-247

L. L. Bahdanava, I. B. Frolov, T. A. Savelyeva

The Institute for Meat and Dairy Industry, the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**SELECTIVE METHODS OF PREPARATION OF MILK RAW MATERIALS
IN CHEESE PRODUCTION TECHNOLOGY**

Abstract: One of the priority directions of milk processing industry development in the Republic of Belarus is increase of cheese production volume. The production of cheeses by classic method is accompanied by a significant amount of whey waste, that a part of fat and milk protein pass to, and which subsequently undergoes a separate processing. Baromembrane treatment of milk allows to reduce the loss of fat and protein with serum and thereby increase the product yield. The advantage of such treatment is concentration of solids and all fractions of milk proteins in unchanged form that contributes to the preservation of their natural properties. This is the first time in the Republic of Belarus when technological solutions for concentrating dairy raw materials for cheese production have been proposed. The possibility of creation of concentrated milk

mixtures for production of various kinds of cheeses by baromembrane processing methods (ultrafiltration, nanofiltration, reverse osmosis) of skim milk was studied. The dynamics of changes in the physicochemical parameters and mineral composition of the retentate and permeate. Using these concentrates, normalized milk mixes were prepared and industrial prototypes of cheeses were produced; physicochemical and microbiological indices and organoleptic characteristics. The effect of the increased amount of protein and dry matter in milk mixture on the qualitative characteristics of the milk clot and cheese production process parameters. The efficiency of using the methods of baromembrane concentration in the production is studied. The results of the conducted researches are of great importance for development of technologies for new types of cheese production using baromembrane methods of preparation of dairy raw materials, which make it possible to obtain an economic effect by reducing protein losses and raw material costs.

Keywords: milk, baromembrane concentration, ultrafiltration, nanofiltration, reverse osmosis, cheese

For citation: Bahdanava L. L., Frolov I. B., Savelyeva T. A. Selective methods of preparation of milk raw materials in cheese production technology. *Vestsi Natsyyanal'nyay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2018, vol. 56, no 2, pp. 234–247 (in Russian). DOI: 10.29 235/1817-7204-2018-56-2-234-247

Введение. Одним из приоритетных направлений развития молокоперерабатывающей отрасли в Республике Беларусь является увеличение объемов производства сыров. Сыр является важным источником белка, жира, минеральных веществ, витаминов, усвояемость его организмом человека достигает 97 %. Поэтому не случайно потребление сыра с каждым годом возрастает как в странах с традиционным развитием сыроделия, так и в странах, где сыр ранее не входил в рацион питания. На сегодняшний день производство сыров классическим способом сопровождается значительным отходом сыворотки, в которую переходит часть жира и белка молока, и которая впоследствии подвергается отдельной переработке. Сократить потери жира и белков с сывороткой и тем самым увеличить выход продукта позволяет баромембранная обработка, преимущество которой состоит в концентрировании всех фракций белков молока в неизменном виде, что способствует сохранению их природных свойств [1, 2].

Баромембранные процессы нашли широкое применение в переработке молочного сырья в таких странах, как США, Франция, Дания, Нидерланды, Новая Зеландия, Австралия и Япония. Начало этому было положено во Франции в конце 1960-х годов, когда Мобуа предложил проводить ультрафильтрацию молока на фермах с целью концентрирования до его транспортировки на сыродельный завод [3].

Среди способов мембранной фильтрации выделяют: микрофильтрацию (МФ), обратный осмос (ОО), нанофильтрацию (НФ) и ультрафильтрацию (УФ). Разнообразие способов концентрирования и фракционирования дает возможность использовать в сыроделии различные их сочетания.

Так, микрофильтрация в сыроделии широко применяется для снижения бактериальной обсемененности и удаления всех патогенных микроорганизмов из обезжиренного молока [4], для нормализации молока по казеину [5]. Кроме этого, микрофильтрация широко применяется для процессов, не связанных непосредственно с производством сыра, среди которых особое место занимает регенерация рассола. Очистка рассола методом микрофильтрации позволяет в течение длительного времени экономично эксплуатировать рассольную систему без необходимости частой утилизации отработанного рассола [6–8].

Обратный осмос позволяет удалять из молока воду, тем самым обеспечивая характеристики, сходные с термическим выпариванием, однако недостатком его применения является необходимость использования более высокого давления, чем при микрофильтрации и ультрафильтрации [9].

Нанофильтрация позволяет селективно отделять минеральные вещества с получением концентрированного молока другого физико-химического состава. В последнее время нанофильтрацию все чаще применяют при переработке сыворотки с целью ее концентрирования, частичной деминерализации и снижения содержания соли, что важно для переработки соленой сыворотки [10, 11].

Ультрафильтрацию молока в сыроделии применяют для повышения содержания белка. Изготовить сыр из молока, подвергнутого ультрафильтрационной обработке, возможно тремя основными способами: нормализацией по белку; путем использования ретентата с промежуточной концентрацией; путем использования жидкого сырного полуфабриката. Для первого способа характерно концентрирование молока до низкой степени концентрирования по белку (в 1,5–2 раза), что позволяет производить сыры на обычном сыродельном оборудовании. Данный метод обеспечивает однородность молока по составу, поэтому его называют «нормализацией».

Получение ретентатов со средней степенью концентрирования (в 2–6 раза) предполагает концентрирование молока до содержания сухих веществ 28,5–45,0 %. Применение такого ретентата требует использования специального оборудования, поскольку сгусток получается очень плотным и работать с ним на традиционном оборудовании довольно трудно.

Вместе с тем, технология работы с жидкими сырными полуфабрикатами не позволяет применять традиционное сыродельное оборудование, поскольку молоко подвергают ультрафильтрации до достижения состава, эквивалентного составу производимого сыра. Данный метод имеет наивысший потенциал увеличения выхода продукции благодаря минимальному отделению сыворотки и сохранению в сыре сывороточных белков, однако применимость данной технологии ограничена невозможностью достижения состава полуфабриката, соответствующего составу всех видов сыров [12].

Следует отметить, что повышение содержания в сырах сывороточных белков приводит к замедлению процесса созревания сыров, тем самым обуславливая более медленное развитие сырного вкуса и аромата. Необходимо также учитывать, что при изготовлении сыра из концентрированного методом ультрафильтрации молочной смеси буферная способность молока повышается, что требует активизации развития заквасочной культуры [13] и может привести к появлению у сыра кислого вкуса [14] и пороков консистенции [15, 16]. Возможно поэтому баромембранные способы концентрирования наиболее перспективны для производства сыров без созревания (типа «Фета») и мягких сыров [17].

Баромембранное концентрирование в сыроделии Республики Беларусь ранее не применялось. Вместе с тем, проводимая на сыродельных предприятиях техническая и технологическая модернизация создает предпосылки к увеличению объемов производства сыров как традиционных, так и элитных, экзотических видов, позволит расширить ассортимент, повысить конкурентноспособность сыров и получить экономический эффект за счет снижения потерь сывороточных белков и сокращения расхода сырья, экономии молокосвертывающего препарата.

Цель исследований – изучение возможности применения баромембранной подготовки молочных смесей в технологиях сыроделия.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в лаборатории технологий сыроделия и маслоделия и лаборатории оборудования и технологий молочноконсервного производства РУП «Институт мясо-молочной промышленности» Национальной академии наук Беларуси в 2016–2018 гг. В работе использовали следующее сырье и материалы: молоко (цельное, нормализованное по жиру, обезжиренное), сливки из коровьего молока, заквасочные культуры, молокосвертывающие ферментные препараты, хлористый кальций, сыр с низкой температурой второго нагревания, формуемый насыпью.

Структура проводимых исследований включала проведение следующих этапов работ. На I этапе проводили баромембранное концентрирование обезжиренного молока при помощи нанофильтрации, обратного осмоса, ультрафильтрации; исследование динамики изменения белкового и минерального состава молока в процессе обработки. На II этапе изучали влияние повышенного содержания белка и сухих веществ в нормализованной молочной смеси на параметры ведения технологического процесса изготовления сыра и расход технологических компонентов. На III этапе изготавливали опытные образцы мягкого, рассольного и полутвердого сыров из молочных смесей, полученных с помощью баромембранного концентрирования. Исследовали динамику изменения физико-химических показателей и органолептических характеристик сыра в процессе созревания, оценивали возможности использования концентрированных баромембранными способами молочных смесей для изготовления различных видов сыров.

Титруемую кислотность определяли по ГОСТ 3624, плотность молока – ГОСТ 3625, массовую долю жира – ГОСТ 5867, массовую долю влаги и сухого вещества – ГОСТ 3626, массовую долю белка – ГОСТ 23327, лактозы – ГОСТ 29248, фосфора – ГОСТ 30615, минеральных веществ – ГОСТ ISO 8070/IDF 119-2014. В работе применяли также классические микробиологические, органолептические и статистические методы исследований.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе выполнения исследований на лабораторной баромембранной установке с использованием мембраны типа Nano NF 3838–2 проводили экспе-

риментальные выработки концентрированной молочной смеси. Исходное обезжиренное молоко концентрировали до увеличения содержания сухих веществ в 1,3–1,5 раза.

Основные параметры и результаты: скорость прохождения обезжиренного молока через мембрану – 6,3 м³/ч; продолжительность процесса концентрирования – 15 мин; температура обезжиренного молока: в начале процесса – 16 °С, в конце процесса – 23 °С; скорость отделения пермеата: в начале процесса – 2,3 дм³/мин, в конце процесса – 1,4 дм³/мин; давление на входе в мембрану – 1,8 МПа, давление на выходе из мембраны – 1,6 МПа; масса выделенного пермеата – 31 кг, масса полученного молочного концентрата – 49 кг.

Анализ динамики изменения основных физико-химических показателей обезжиренного молока в процессе НФ-концентрирования (табл. 1) показал, что степень концентрирования в конце обработки при степени концентрирования по массе, равной 1,43, составила: по сухим веществам – 1,31, белку – 1,31, лактозе – 1,34, т.е. все основные компоненты молока при проведении процесса нанофильтрации концентрируются равномерно.

Таблица 1. Основные физико-химические показатели обезжиренного молока в процессе НФ-концентрирования

Table 1. Main physical and chemical parameters of skim milk during NF-concentration

Показатель	Степень концентрирования по массе			
	1 (исх)	1,1	1,23	1,43
Плотность, кг/м ³	1033	1039	1041	1043
Активная кислотность, ед.рН	6,69	6,69	6,69	6,68
Массовая доля сухих веществ, %	8,6	10,0	10,6	11,3
Массовая доля лактозы, %	4,48	5,16	5,63	5,99
Массовая доля жира, %	0,05	–	–	0,07
Массовая доля общего белка, %	3,38	3,86	3,91	4,43
Массовая доля золы, %	0,72	0,75	0,83	0,87

Далее исследовали динамику изменения минерального состава обезжиренного молока в процессе обработки. Результаты исследований приведены на рис. 1.

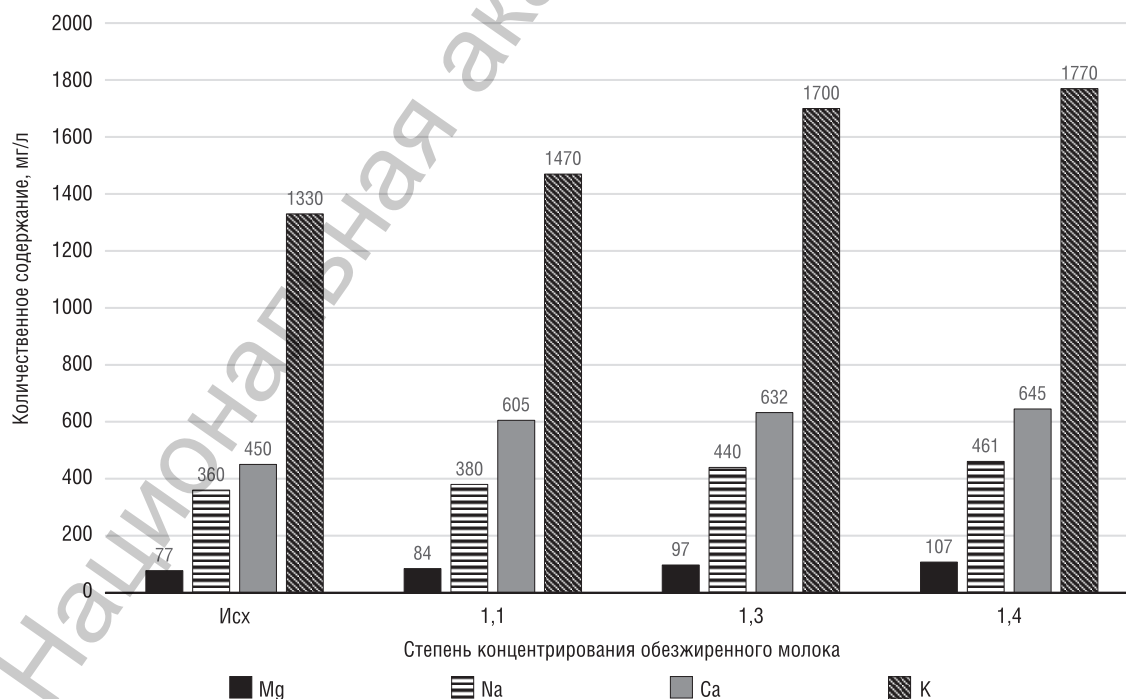


Рис. 1. Изменение содержания основных макроэлементов молока в процессе концентрирования способом нанофильтрации

Fig. 1. Variation of the main milk macroelements level during concentration by the method of nanofiltration

Анализ результатов, приведенных на рис. 1, показал, что в процессе НФ-концентрирования моновалентные ионы в большей степени проходят сквозь отверстия мембраны: содержание в ретентате в конце обработки кальция увеличилось на 43 %, магния – 39, калия – 33, натрия – на 28 %.

Полученное в результате экспериментальной выработки концентрированное обезжиренное молоко нормализовали по белку и жиру гомогенизированными сливками и использовали для изготовления экспериментальной партии сыра. Основные физико-химические показатели нормализованной молочной смеси: массовая доля жира – 5 %, массовая доля сухих веществ – 15 %, массовая доля белка – 4,3 %, активная кислотность – 6,45 ед. рН, масса – 35 кг. Полученная путем нанофильтрационного концентрирования и нормализации молочная смесь использовалась для изготовления рассольного сыра типа «Брынза».

Параметры ведения технологического процесса изготовления сыра из нормализованной молочной смеси, полученной путем нанофильтрационного концентрирования: температура пастеризации концентрированного обезжиренного молока – 74 °С, температура пастеризации гомогенизированных сливок – 85 °С, температура свертывания – 34 °С, количество внесенного хлористого кальция – 30 г/100 кг, количество внесенного молокосвертывающего ферментного препарата Fromase – 5 г/100 кг, продолжительность свертывания – 30 мин, продолжительность разрезки и постановки зерна – 10 мин, продолжительность обсушки зерна – 20 мин, кислотность сыворотки в конце обработки – 6,31 ед. рН, продолжительность формования – 10 мин, продолжительность самопрессования – 15 ч, продолжительность посолки – 10 ч.

Исследование основных физико-химических показателей изготовленного сыра показало, что массовая доля влаги (после самопрессования) составила 58 %, массовая доля жира в сухом веществе – 52,3 %, активная кислотность после самопрессования – 5,25 ед. рН, активная кислотность после посолки – 5,05 ед. рН, масса сыра после посолки – 7,1 кг. При этом побочный продукт изготовления сыра типа «Брынза» – сыворотка – содержал 9,45 % сухих веществ и 0,1 % жира.

Выход сыра из 100 кг молочной смеси составил 20,3 кг. Сыр созревал при температуре 12 °С в течение 45 сут, после чего исследовали его физико-химические и микробиологические показатели. Установлено, что динамика изменения физико-химических показателей в процессе созревания, а также микробиологические показатели изготовленного сыра существенно не отличались от аналогичных показателей сыра, изготовленного из нормализованной молочной смеси без баромембранной подготовки. В результате оценки органолептических характеристик опытного образца сыра установлено, что общая оценка продукта составляет 92,1 балла, в том числе по вкусу и запаху – 43 балла, что подтверждает его высокие потребительские качества.

Вместе с тем установлено, что полутвердый сыр, изготовленный из молочной смеси, полученной путем НФ-концентрирования, обладал мажущейся консистенцией и имел органолептические характеристики, не характерные для полутвердых сыров, изготовленных по традиционной технологии.

С целью изучения эффективности обратноосмотического способа подготовки молочной смеси проведены экспериментальные выработки концентрированного обезжиренного молока на лабораторной баромембранной установке с использованием мембраны типа Alfa laval R098pHt 3838/30. Основные параметры ведения технологического процесса: масса подвергнутого обработке обезжиренного молока – 70 кг, продолжительность процесса концентрирования – 26 мин, температура в начале процесса – 16,8 °С, в конце процесса – 28,5 °С, скорость прохождения обезжиренного молока через мембрану – 6,43 м³/ч, скорость отделения пермеата: в начале процесса – 1,28 дм³/мин, в конце процесса – 0,95 дм³/мин, давление на входе в мембрану – 1,9 МПа, давление на выходе из мембраны – 1,7 МПа, масса выделенного пермеата – 28 кг.

В результате исследований динамики изменения белкового и минерального состава молока в процессе обратноосмотической обработки установлена степень концентрирования белка и минеральных веществ в начале и по завершении процесса обработки (табл. 2, рис. 2). Так, степень концентрирования в конце обработки по сухим веществам составила 1,75, по белку – 1,82, по лактозе – 1,41. Кроме того, содержание лактозы в молочной смеси для сыроделия более 6 % является критическим с точки зрения последующего нормального развития заквасочных микроорганизмов в сыре.

Таблица 2. Основные физико-химические показатели обезжиренного молока в процессе ОО-концентрирования

Table 2. Main physical and chemical parameters of skim milk during RO-concentration

Показатель	Степень концентрирования по массе			
	1 (исх)	1,17	1,4	1,67
Плотность, кг/м ³	1030	1035	1041	1051
Активная кислотность, ед.рН	6,65	6,62	6,56	6,48
Массовая доля сухих веществ, %	8,1	9,7	11,4	14,2
Массовая доля лактозы, %	4,88	6,07	6,61	6,86
Массовая доля жира, %	0,05	–	–	0,08
Массовая доля общего белка, %	2,78	3,44	4,04	5,07
Массовая доля золы, %	0,68	0,82	0,98	1,19

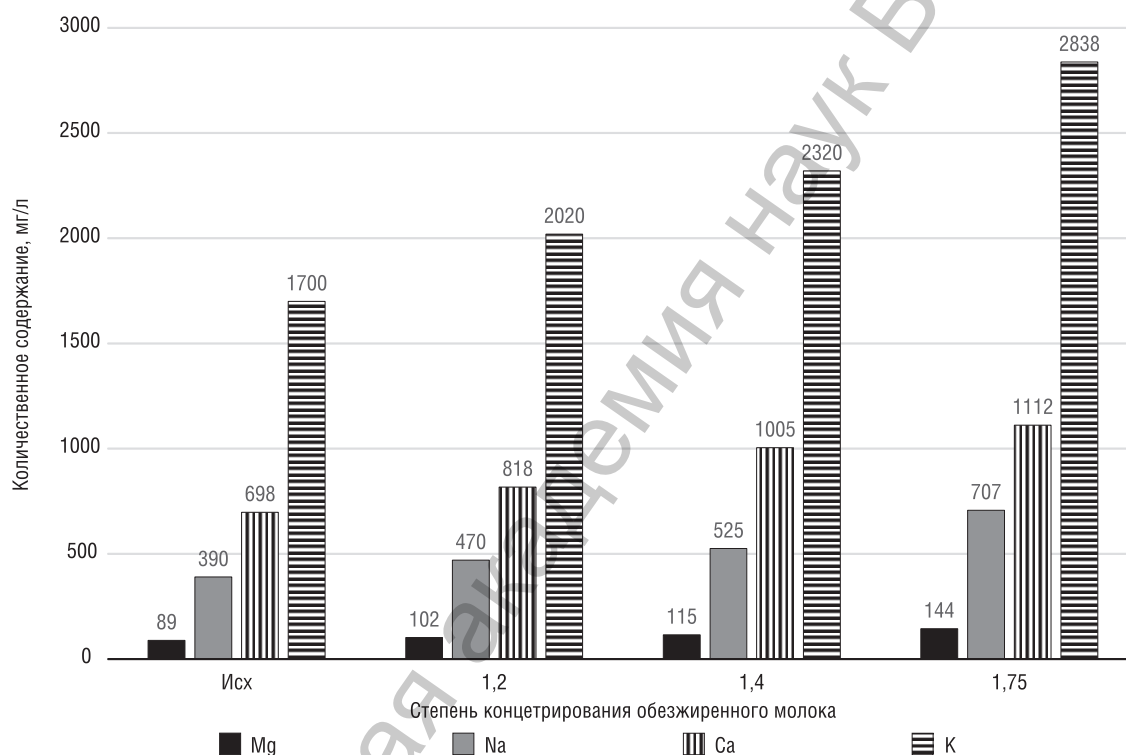


Рис. 2. Изменение содержания основных макроэлементов молока в процессе концентрирования способом обратного осмоса

Fig. 2. Variation of the main milk macroelements level during concentration by the method of reverse osmosis

Анализ результатов, приведенных на рис. 2, показал, что в процессе ОО-концентрирования происходит равномерное концентрирование всех макроэлементов: содержание в ретентате кальция увеличилось в 1,59 раза, магния – 1,62, калия – 1,67, натрия – 1,8, фосфора – в 1,67 раза.

Из молочной смеси, полученной путем ОО-концентрирования, были изготовлены опытные партии полутвердого сыра, рассольного сыра и мягкого сыра с белой плесенью. В процессе изготовления и созревания сыров исследовали их физико-химические и микробиологические показатели. На основании анализа динамики изменения физико-химических показателей и органолептических характеристик сыра в процессе созревания установлено, что данный способ концентрирования молочной смеси наиболее приемлем в технологиях изготовления мягких и рассольных сыров, так как полутвердые сыры имели мажущую консистенцию и ярко выраженную горечь, одной из причин появления которой может быть повышенное содержание калия в используемом ретентате.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали возможность использования нанофильтрационного и обратноосмотического способов концентрирования молочной смеси только в технологиях изготовления мягких и рассольных сыров с коротким сроком созревания.

Поскольку основным экспортным потенциалом обладают полутвердые сыры, была изучена возможность применения в их технологиях производства концентрированной молочной смеси, полученной на лабораторной баромембранной установке с использованием мембраны типа НрНТ8038-K131.

Основные параметры ведения технологического процесса экспериментальной выработки концентрированного обезжиренного молока способом ультрафильтрации: скорость прохождения жидкости через мембрану – 6,7 м³/ч; масса подвергнутого обработке обезжиренного молока – 90 кг; продолжительность процесса концентрирования – 34 мин; температура в начале процесса – 16 °С, в конце процесса – 28 °С; скорость отделения пермеата: в начале процесса – 1,6 дм³/мин, в конце процесса – 1,3 дм³/мин; давление на входе в мембрану – 0,55 МПа; давление на выходе из мембраны – 0,4 МПа; масса выделенного пермеата – 50 кг.

Т а б л и ц а 3. Физико-химические показатели обезжиренного молока

Table 3. Physical and chemical parameters of skim milk

Показатель	Значение при степени концентрирования по массе					
	1 (исх)	1,125	1,286	1,5	1,8	2,25
Плотность, кг/м ³	1031	1033	1035	1040	1042	1044
Активная кислотность, ед.рН	6,69	6,69	6,69	6,68	6,66	6,64
Массовая доля сухих веществ, %	8,8	9,0	9,3	10,1	11,1	12,5
Массовая доля лактозы, %	4,71	4,67	4,49	4,70	4,67	4,62
Массовая доля жира, %	0,05	–	–	–	–	0,1
Массовая доля общего белка, %	3,30	3,45	3,82	4,61	5,33	6,59
Массовая доля казеина, %	2,68	2,74	3,06	3,76	4,40	5,61
Массовая доля золы, %	0,80	0,78	0,81	0,85	0,94	1,02
Массовая доля фосфора, %	0,09	0,10	0,10	0,11	0,13	0,16

Анализ физико-химических показателей молока в процессе обработки (табл. 3) показал, что в начале процесса концентрирования степень увеличения содержания золы в обезжиренном молоке равна степени концентрирования молока, но к завершению процесса степень увеличения содержания золы в обезжиренном молоке немного снижается и составляет 1,31 при степени концентрирования молока по сухим веществам, равной 1,42. В конце обработки содержание белка увеличилось в 2 раза, золы – в 1,3 раза, в то время как содержание лактозы осталось практически неизменным.

Вместе с тем, степень увеличения содержания фосфора в обезжиренном молоке в начале процесса концентрирования также равна степени концентрирования молока, но к концу процесса степень увеличения содержания фосфора в обезжиренном молоке увеличивается и составляет 1,78 при степени концентрирования молока по сухим веществам, равной 1,42.

Установлено, что в процессе УФ-концентрирования содержание сухих веществ в пермеате повышается от 3 до 5 %, однако при этом производительность установки в конце концентрирования снижается почти на 20 %. Основные физико-химические показатели средней пробы УФ-пермеата: массовая доля сухих веществ – 4,6 %, общего белка – 0,12 %, лактозы – 4,04 %. Содержание основных макроэлементов в пермеате, мг/дм³: кальция – 238,83; магния – 55,81; калия – 1263,33; натрия – 314,20.

Динамика изменения белкового состава молока в процессе обработки представлена на рис. 3. Анализ графических зависимостей показал, что в случае концентрирования обезжиренного молока способом ультрафильтрации степень концентрирования казеина прямо пропорциональна степени концентрирования общего белка.

Динамика изменения содержания минеральных элементов обезжиренного молока в процессе концентрирования представлена на рис. 4.

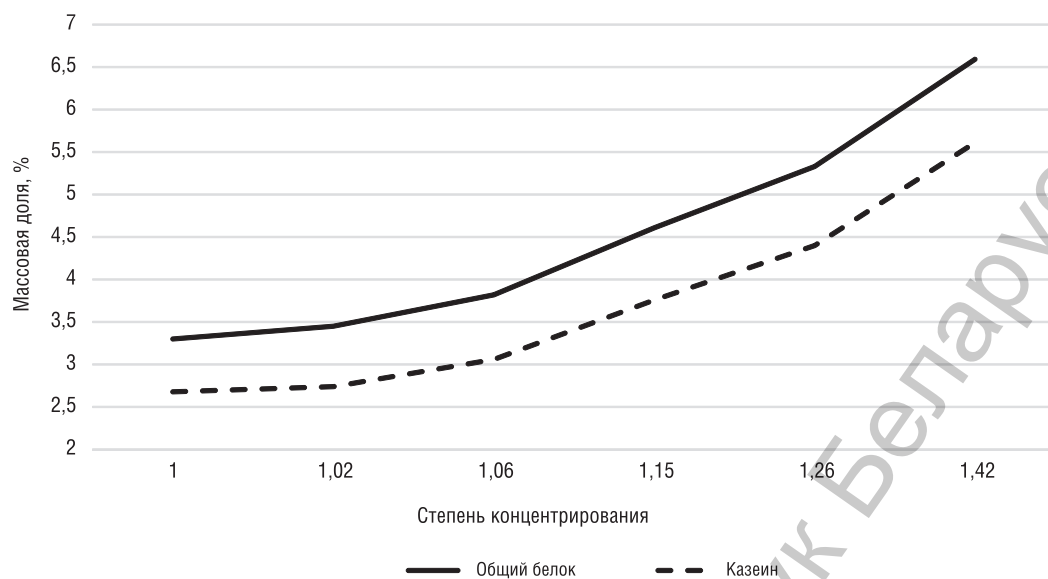


Рис. 3. Изменение содержания белка в процессе УФ-концентрирования
Fig. 3. Variation of protein content during UV-concentration

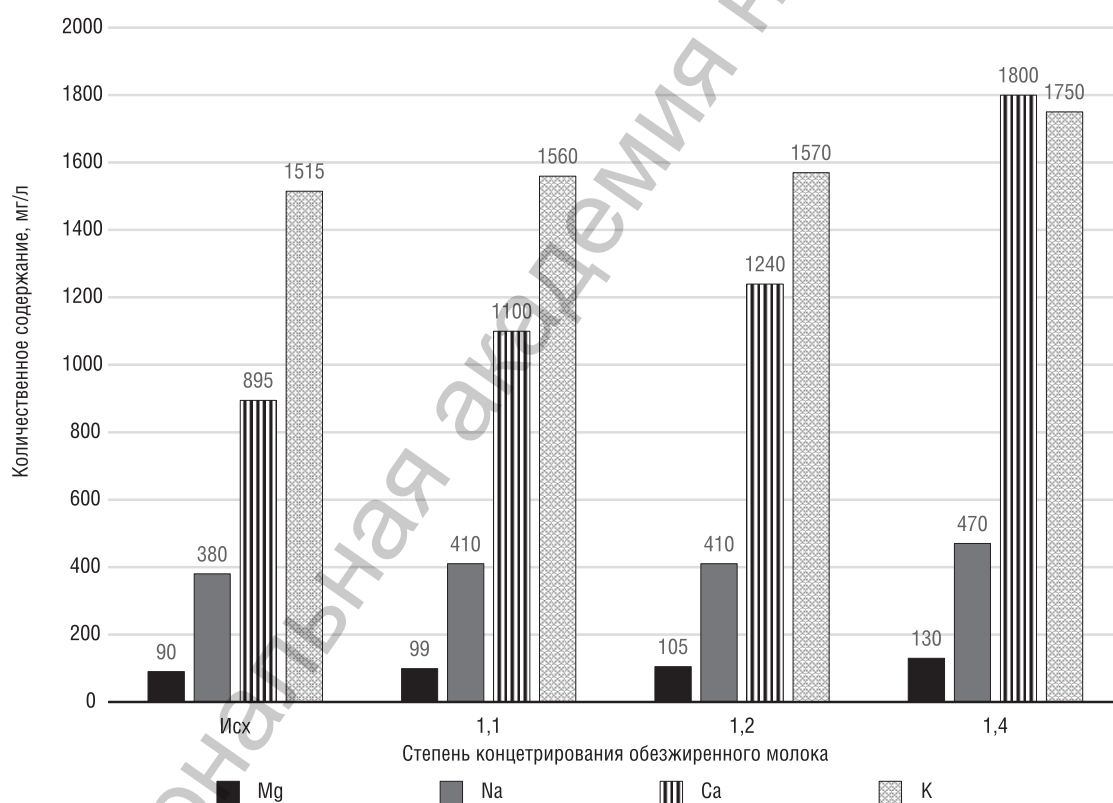


Рис. 4. Изменение содержания основных макроэлементов в процессе концентрирования методом ультрафильтрации

Fig. 4. Variation of the main milk macroelements level during concentration by the method of ultrafiltration

Из анализа графических зависимостей, представленных на рис. 4, следует, что в случае концентрирования обезжиренного молока способом ультрафильтрации содержание кальция в концентрированной молочной смеси увеличилось в 2 раза, магния – на 31 %, калия – на 8 %, натрия – на 14 %, фосфора – на 60 %.

Из концентрированного способом УФ-обработки обезжиренного молока и гомогенизированных сливок была составлена молочная смесь и изготовлен полутвердый сыр типа «Белая Русь».

По окончании созревания осуществлена органолептическая оценка экспериментального образца сыра. По заключению членов дегустационной комиссии общая оценка составила 84 балла, в том числе по вкусу и запаху – 39,25 балла, что является достаточно высоким показателем.

В ходе проведения исследований изучено влияние повышенного содержания белка и сухих веществ в нормализованной молочной смеси на параметры ведения технологического процесса производства сыра, качественные характеристики сгустка и дозировку внесения молокосвертывающих ферментных препаратов и хлористого кальция.

Для этого была осуществлена экспериментальная выработка молочной смеси, концентрированной способом ультрафильтрации. Исходным сырьем служило обезжиренное молоко с массовой долей сухих веществ 8,9 %. В ходе проведения выработки получено концентрированное обезжиренное молоко с массовой долей сухих веществ 15 %, степень концентрирования составила 1,68. Полученное концентрированное обезжиренное молоко разбавляли пермеатом таким образом, чтобы содержание сухих веществ составило 10 %, 11, 12, 13, 14 %. Приготовленные молочные смеси свертывали молокосвертывающим ферментным препаратом Kalase из расчета 16 мл/100 л.

В результате проведенных исследований установлено следующее:

- 1) при увеличении массовой доли сухих веществ молочной смеси от 8,9 до 15 % динамическая вязкость смеси увеличивается на 55 %;
- 2) предел прочности сгустка на сжатие у варианта с массовой долей сухих веществ 15 % в 1,6 раза превышает этот показатель у варианта с массовой долей сухих веществ 8,9 %;
- 3) при увеличении массовой доли сухих веществ молочной смеси возрастает время образования сгустка.

При анализе протекания процесса ультрафильтрации обезжиренного молока установлена прямая линейная зависимость между степенью концентрирования сухих веществ и массовой долей белка в ретентате:

$$МД_б = 0,88СВ - 4,37, \quad (1)$$

где $МД_б$ – массовая доля белка в ретентате, %; $СВ$ – содержание сухих веществ в ретентате, %.

Коэффициент детерминации данной зависимости равен 0,9932.

Установлено, что при невысокой степени концентрирования обезжиренного молока время образования гель-точки находилось в прямой зависимости от содержания в нем белка и, соответственно, от содержания сухих веществ. Данная зависимость имеет такой вид:

$$ГТ = 1,8СВ - 12,7 \quad (2)$$

(ГТ – время образования гель-точки, мин).

Представленная модель адекватна с коэффициентом детерминации, равным 0,9934.

Зависимость содержания кальция в ретентате от содержания в нем сухих веществ имеет логарифмический характер (при невысокой степени концентрирования линейная зависимость также является приемлемой) с коэффициентом детерминации, равным 0,9833:

$$Ca = 2007,8 \ln(CB) - 3344,3 \quad (3)$$

(Ca – массовая доля кальция в ретентате, мг/л).

Установлено, что зависимости динамической вязкости образуемого сгустка и предела его прочности от содержания сухих веществ в ретентате имеют полиномиальный и экспоненциальный характер соответственно:

$$\mu = 2 \cdot 10^{-5} CB^3 - 7 \cdot 10^{-4} CB^2 - 7,8 \cdot 10^{-3} CB - 0,21 \quad (4)$$

(μ – динамическая вязкость сгустка, Па·с).

Коэффициент детерминации данной зависимости равен 0,9858.

$$ПП = 0,701 \cdot e^{0,08CB} \quad (5)$$

(ПП – предел прочности сгустка на сжатие, г/см²).

Коэффициент детерминации данной зависимости равен 0,995.

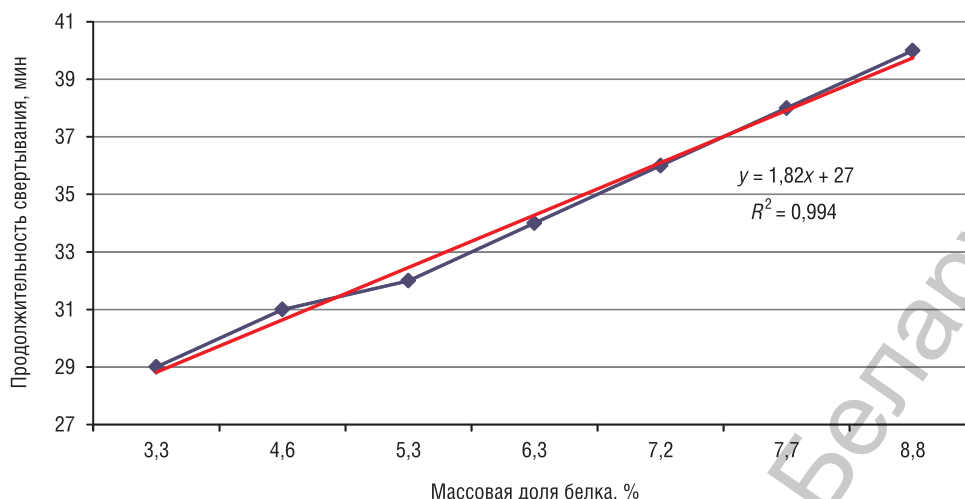


Рис. 5. Изменение продолжительности свертывания от содержания белка

Fig. 5. Variation of coagulation duration depending on protein content

Анализ графической зависимости продолжительности свертывания от массовой доли белка в молочной смеси (рис. 5) показал, что в случае концентрирования обезжиренного молока способом ультрафильтрации степень концентрирования общего белка прямо пропорциональна времени достижения геля-точки сычужного свертывания. На основании этого можно предположить, что чем выше содержание белка в нормализованной молочной смеси, тем большее количество молокосвертывающего ферментного препарата заданной активности необходимо внести в молочную смесь для того, чтобы обеспечить ее свертывание за определенный период времени.

Исследование зависимости продолжительности свертывания и предела прочности сгустка на сжатие от количества и вида внесенного молокосвертывающего ферментного препарата (рис. 6) показало следующее:

1) при увеличении дозировки внесения молокосвертывающего препарата Kalase на 22 % прочность сгустка возрастает почти в 2 раза, в то время как увеличение дозировки внесения препаратов «БелРен», «МаксиБел» и Fromase на 40 % приводит к увеличению прочности сгустка на 25–30 %, а препарата «Микробел» – лишь на 6 %;

2) при свертывании концентрированной молочной смеси использование препарата «МаксиБел» в дозировках, рекомендуемых производителем, приводило к самому быстрому свертыванию молока и образованию наиболее прочного сгустка;

3) при сопоставительном анализе результатов, полученных при свертывании контрольного и опытного образцов молочной смеси, установлено, что при использовании для свертывания концентрированной баромембранными методами молочной смеси молокосвертывающих ферментных препаратов Fromase и «БелРен» корректировки внесения количества внесенных препаратов не требуется;

4) при использовании препарата «МаксиБел» возможно снижение дозировки его внесения на 5–15 %;

5) при использовании молокосвертывающего ферментного препарата Kalase для свертывания концентрированной молочной смеси необходимо увеличить дозировку его внесения на 20–25 %, а препарата «Микробел» – на 10–15 % по сравнению с нормализованной молочной смесью без концентрирования.

Для оценки возможности применения процессов баромембранного концентрирования для изготовления сыров были проанализированы результаты исследований физико-химических показателей и минерального состава концентрированного молока и пермеата. Данные представлены в табл. 4.

Анализ полученных результатов показал, что наиболее приемлемым способом концентрирования молочной смеси для изготовления полутвердых сыров является ультрафильтрация, так как в составе молочной смеси не содержится избыточного количества лактозы, которая препятствует нормальному процессу созревания сыра.

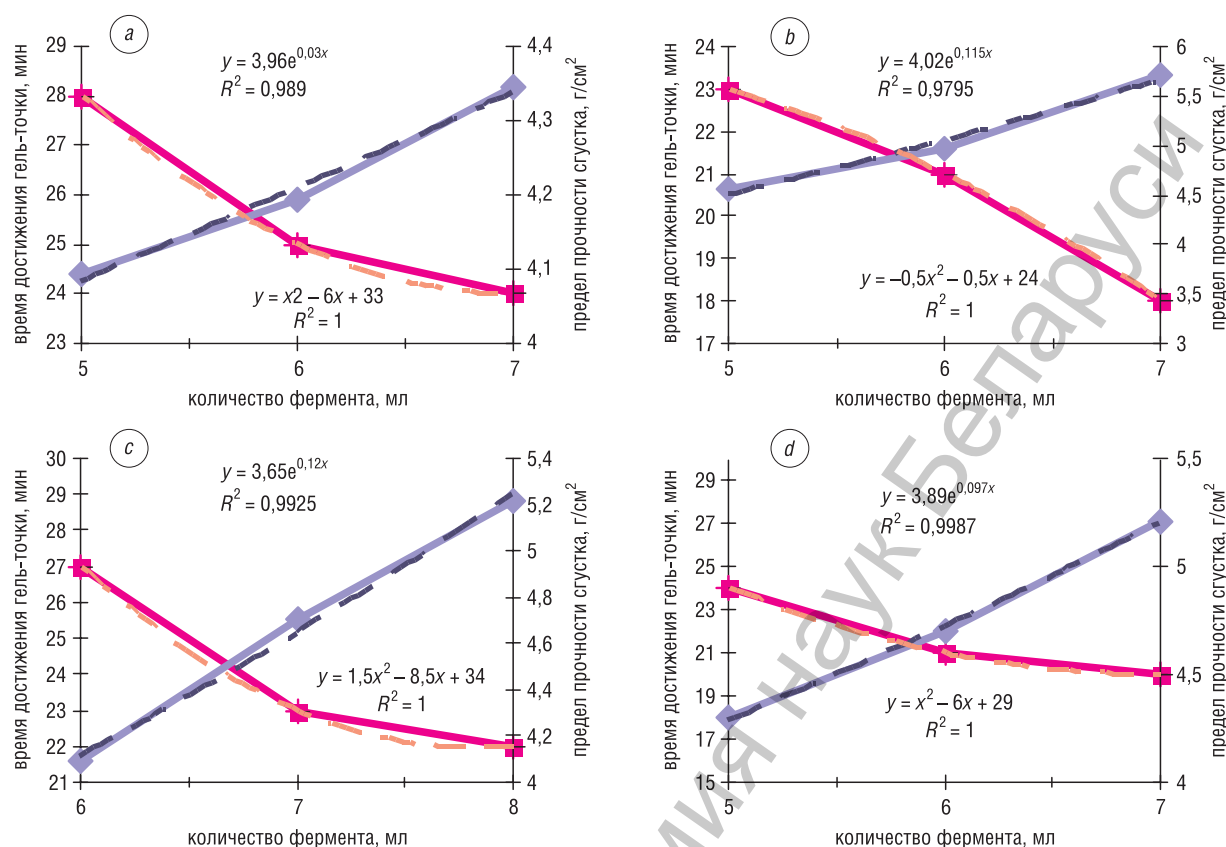


Рис. 6. Изменение предела прочности сгустка на сжатие и времени образования геля-точки в зависимости от количества внесенного молокозвешивающего ферментного препарата: *a* – «МикроБел», *b* – «МаксиБел», *c* – «БелРен», *d* – Fromase
 Fig. 6. Variation of the maximum clot strength having effect on press and gelation point formation time depending on the amount of lactiferous enzyme preparation: *a* – “MicroBel”, *b* – “MaxiBel”, *c* – “BelRen”, *d* – Fromase

Т а б л и ц а 4. Физико-химические показатели и минеральный состав концентрированного молока и пермеата

T a b l e 4. Physical and chemical parameters and mineral composition of concentrated milk and permeate

Вариант опыта	Массовая доля, %			Содержание элементов, мг/кг		
	сухих веществ	белка	лактозы	кальций	калий	натрий
Молоко цельное	12,0	3,0	4,7	1200	1460	500
Молоко обезжиренное	9,0	3,1	4,7	1250	1520	520
Молоко обезжиренное концентрированное (ОО)	12,0	4,0	6,8	1110	2839	707
Молоко обезжиренное концентрированное (НФ)	12,5	4,6	6,5	1120	2352	510
Молоко обезжиренное концентрированное (УФ)	12,5	6,5	4,7	1740	1655	490
Пермеат (ОО)	0,2	0	0	9	36	25
Пермеат (НФ)	0,3	0,05	0	8	940	243
Пермеат (УФ)	5,0	0,15	4,0	240	1264	314

В ходе проведения опытных выработок сыра установлено, что для изготовления сыра по традиционной технологии массовая доля сухих веществ обезжиренного молока, концентрированного баромембранными методами, не должна превышать 13 %, а молочной смеси – 16 %. Изготовление сыра из молочных смесей с более высоким содержанием сухих веществ требует применения специальных технологий и оборудования.

Наиболее приемлемым способом концентрирования является ультрафильтрация, так как она обеспечивает минимальное физическое воздействие на компоненты молока и способствует выделению в пермеат лактозы, излишнее содержание которой в молочной смеси негативно влияет на процесс созревания сыра.

На основании результатов проведенных нами исследований и с учетом опубликованных работ [17–19] рекомендуется использование ультрафильтрационного концентрирования молочной смеси для изготовления полутвердых сыров, а также мягких и рассольных сыров, сыров с плесенью (типа «Камамбер» и «Рокфор»), при этом в технологиях изготовления полутвердых сыров рекомендуемой операцией должна быть промывка сырного зерна водой (до 50 % от объема перерабатываемой смеси).

Заключение. Впервые в Республике Беларусь предложены технологические решения концентрирования молочного сырья для сыроделия. Исследована возможность использования концентрированных баромембранными способами (ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос) молочных смесей для изготовления различных видов сыров. Установлено, что массовая доля сухих веществ молочной смеси, приготовленной из концентрированного баромембранными методами обезжиренного молока, для изготовления сыра по традиционной технологии не должна превышать 16 %. Изготовление сыра из молочных смесей с более высоким содержанием сухих веществ требует применения специальных технологий и оборудования. Наиболее приемлемым способом концентрирования является ультрафильтрация, так как обеспечивает минимальное физическое воздействие на компоненты молока и способствует выделению в пермеат лактозы, излишнее содержание которой в молочной смеси негативно влияет на процесс созревания сыра. Результаты проведенных исследований имеют важное значение для разработки технологий новых видов сыров с применением баромембранных способов подготовки молочного сырья, позволяющих получить экономический эффект за счет снижения потерь белков и сокращения расходов сырья. Полученные результаты рекомендуется использовать для разработки новых технологий с использованием баромембранного концентрирования молочных смесей в сыроделии, и в целом в производственной деятельности молокоперерабатывающих предприятий.

Применение мембранной обработки в традиционных способах производства сыров позволяет расширить ассортимент и увеличить объем их производства, а также повысить конкурентоспособность сыров и получить экономический эффект за счет снижения потерь сливочных смесей для изготовления сыров.

Список использованных источников

1. Применение ультрафильтрации в производстве творожных продуктов / А. А. Мерзликина [и др.] // Сыроделие и маслоделие. – 2014. – № 6. – С. 44–45.
2. Стандартизация молока мембранными методами в технологии белковых продуктов / М. С. Золотарева [и др.] // Сыроделие и маслоделие. – 2015. – № 3. – С. 38–40.
3. Мембранные технологии в производстве напитков и молочных продуктов : пер. с англ. / ред.: А. И. Тамим, И. А. Евдокимов ; сост. А. И. Тамим ; пер. И. А. Евдокимов. – СПб. : Профессия, 2016. – 418 с. – (Научные основы и технологии). DOI:10.1002/9781118457009
4. Saboya, L. V. Current developments of microfiltration technology in the dairy industry / L. V. Saboya, J. L. Maubois // Lait. – 2000. – Vol. 80, N 6. – P. 541–553. DOI: 10.1051/lait:2000144
5. Milk microfiltrate, a convenient starting material for fractionation of whey proteins and derivatives / J. Maubois [et al.] // The importance of whey and whey components in food and nutrition : proc. of the 3rd Intern. Whey Conf., Munich, Sept. 12–14 2001 / Amer. Dairy Products Inst. (ADPI), Europ. Whey Products Assoc. (EWPA). – Hamburg, 2001. – P. 59–72.
6. Скотт, Р. Производство сыра: научные основы и технологии : пер. с англ. / Р. Скотт, Р. К. Робинсон, Р. А. Уилби ; общ. ред. К. К. Горбатова. – СПб. : Профессия, 2005. – 460 с. – (Научные основы и технологии). DOI: 10.1007/978-1-4615-5819-4
7. Hurt E., Processing factors that influence casein and serum protein separation by microfiltration / E. Hurt, D. M. Barbano // J. of Dairy Science. – 2010. – Vol. 93, № 10. – P. 4928–4941. DOI: 10.3168/jds.2010-3121
8. Мулдер, М. Введение в мембранную технологию : пер. с англ. / М. Мулдер. – М. : Мир, 1999. – 513 с.
9. Обработка молочного сырья мембранными методами / И. А. Евдокимов [и др.] // Молоч. пром-сть. – 2012. – № 2. – С. 34–37.
10. Мембранные технологии в молочном производстве / И. А. Евдокимов [и др.] // Молоч. пром-сть. – 2013. – № 9. – С. 25–26.
11. Практические рекомендации сыроделам = Cheese problems solved : пер. с англ. / ред.: П. Л. Г. МакСуини, И. А. Шергина ; пер. И. С. Горожанкина. – СПб. : Профессия, 2010. – 373 с.
12. Mistry, V. V. Fermentation of ultrafiltered skim milk retentates with mesophilic lactic cheese starters / V. V. Mistry, F. V. Kosikowski // J. of Dairy Science. – 1985. – Vol. 68, N 7. – P. 1613–1617. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(85)81003-1
13. Maubois, J. L. Application des techniques a membrane dans l'industrie fromagere / J. L. Maubois // Genie Rural. – 1979. – № 3. – P. 15–19.

14. Utilisation de l'ultrafiltration sur membrane pour la fabrication de fromages de type pates fraiches / G. Brule [et al.] // Rev. Laitiere Fr. – 1975. – N 328. – P. 117–122.
15. Green, M. L. Secondary (non-enzyme) phase of rennet coagulation and post- coagulation phenomena / M. L. Green, A. S. Grandison // Cheese: chemistry, physics and microbiology / ed. P. F. Fox. – London, 1987. – Vol. 1 : General aspects. – P. 97–134.
16. Полянский, К. К. Использование УФ-концентратов обезжиренного молока в производстве адыгейского сыра / К. К. Полянский, Л. Г. Кириллова, В. И. Долниковский // Молоч. пром-сть. – 1995. – № 8. – С. 17.
17. Мордвинова, В. А. Мягкий сыр из УФ-концентрата молока / В. А. Мордвинова, Д. В. Остроухов // Сыроделие и маслоделие. – 2014. – № 2. – С. 20–21.
18. Храмцов, А. Г. Технологическая платформа производства оригинальных мягких сыров / А. Г. Храмцов // Перераб. молока. – 2014. – № 8. – С. 44–48.
19. Мордвинова, В. А. Инновационный способ изготовления мягких сыров / В. А. Мордвинова, Г. М. Свириденко, Д. В. Остроухов // Перераб. молока. – 2015. – № 12. – С. 16–17.

References

1. Merzlikina A. A., Polyanskii K. K., Ponomarev A. N., Klyuchnikov A. I. Application of ultrafiltration in production curd products. *Syrodellie i maslodellie = Cheese Making and Butter Making*, 2014, no. 6, pp. 44–45 (in Russian).
2. Zolotoreva M. S., Volodin D. N., Topalov V. K., Evdokimov I. A., Knyazev S. N., Somov V. S. Standardization of milk by membrane methods in the protein products technology. *Syrodellie i maslodellie = Cheese Making and Butter Making*, 2015, no. 3, pp. 38–40 (in Russian).
3. Tamime A. Y. (ed.) *Membrane processing: dairy and beverage applications*. Chichester, UK, Wiley-Blackwell, 2013. 352 p. DOI:10.1002/9781118457009
4. Saboya L. V., Maubois J. L. Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. *Lait*, 2000, vol. 80, no. 6, pp. 541–553. DOI: 10.1051/lait:2000144
5. Maubois J., Fauquant J., Famelart M., Caussin F. Milk microfiltrate, a convenient starting material for fractionation of whey proteins and derivatives. *The importance of whey and whey components in food and nutrition: proceedings of the 3rd International Whey Conference, Munich, September 12–14 2001*. Hamburg, 2001, pp. 59–72.
6. Scott R., Robinson R. K., Wilbey R. A. *Cheesemaking practice*. Gaithersburg, Aspen Publishers Inc., 1998. 449 p. DOI: 10.1007/978-1-4615-5819-4
7. Hurt E., Barbano D. M. Processing factors that influence casein and serum protein separation by microfiltration. *Journal of Dairy Science*, 2010, vol. 93, no. 10, pp. 4928–4941. DOI: 10.3168/jds.2010-3121
8. Mulder M. *Basic principles of membrane technology*. London, UK, Kluwer Academic Publishers, 1991. 363 p. DOI: 10.1007/978-94-017-0835-7
9. Evdokimov I. A., Volodin D. N., Golovkina M. V., Zolotoreva M. S., Topalov V. K., Anisimov S. V., Veziryan A. A., Klepker V. M., Anisimov G. S. Treatment of the milk raw materials by membrane methods. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy Industry*, 2012, no. 2, pp. 34–37 (in Russian).
10. Evdokimov I. A., Volodin D. N., Somov V. S., Chablin B. V., Mikhneva V. A., Zolotoreva M. S. Membrane technologies in milk processing. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy Industry*, 2013, no. 9, pp. 25–26 (in Russian).
11. McSweeney P. L. H. (ed.) *Cheese problems solved*. Cambridge, Woodhead; Boca Raton, CRC Press, 2007. 402 p. DOI: 10.1533/9781845693534
12. Mistry V. V., Kosikowski F. V. Fermentation of ultrafiltered skim milk retentates with mesophilic lactic cheese starters. *Journal of Dairy Science*, 1985, vol. 68, no. 7, pp. 1613–1617. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(85)81003-1
13. Maubois J. L. Application des techniques a membrane dans l'industrie fromagere. *Genie Rural*, 1979, no. 3, pp. 15–19 (in French).
14. Brule G., Maubois J., Vandeweghe J., Fauquant J., Goudebranche H. Utilisation de l'ultrafiltration sur membrane pour la fabrication de fromages de type pates fraiches. *Revue Laitiere Francaise*, 1975, no. 328, pp. 117–122 (in French).
15. Green M. L., Grandison A. S. Secondary (non-enzyme) phase of rennet coagulation and post-coagulation phenomena. *Cheese: chemistry, physics and microbiology. Vol. 1. General aspects*. London, 1987, pp. 97–134.
16. Polyanskii K. K., Kirillova L. G., Dolnikovskii V. I. Use of UV concentrates of skim milk in Adygei cheese production. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy Industry*, 1995, no. 8, pp. 17 (in Russian).
17. Mordvinova V. A., Ostroukhov D. V. Soft cheese from the UV-concentrate of milk. *Syrodellie i maslodellie = Cheese Making and Butter Making*, 2014, no. 2, pp. 20–21 (in Russian).
18. Khramtsov A. G. Technological platform of original soft cheese production. *Pererabotka moloka = Milk Processing*, 2014, no. 8, pp. 44–48 (in Russian).
19. Mordvinova V. A., Sviridenko G. M., Ostroukhov D. V. Innovative method of soft cheese production. *Pererabotka moloka = Milk Processing*, 2015, no. 12, pp. 16–17 (in Russian).

Информация об авторах

Богданова Людмила Леонидовна – кандидат технических наук, зав. лабораторией технологий сыроделия и маслоделия, Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси (пр. Партизанский, 172, 220075, Минск, Республика Беларусь). E-mail: bogdanova_ll@tut.by

Фролов Игорь Борисович – старший научный сотрудник лаборатории технологий сыроделия и маслоделия, Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси (пр. Партизанский, 172, 220075, Минск, Республика Беларусь). E-mail: frol2358@mail.ru

Савельева Тамара Александровна – кандидат ветеринарных наук, доцент, ученый секретарь, Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси (пр. Партизанский, 172, 220075, Минск, Республика Беларусь). E-mail: t.savelyeva@tut.by

Information about authors

Bogdanova Lyudmila L. – Ph.D. (Engineering). The Institute for Meat and Dairy Industry, the National Academy of Sciences of Belarus (172 Partizansky Ave., Minsk 220075, Republic of Belarus). E-mail: bogdanova_ll@tut.by

Frolov Igor B. – the Institute for Meat and Dairy Industry, the National Academy of Sciences of Belarus (172 Partizansky Ave., Minsk 220075, Republic of Belarus). E-mail: frol2358@mail.ru

Savelyeva Tamara A. – Ph.D. (Veterinary), Associate Professor. The Institute for Meat and Dairy Industry, the National Academy of Sciences of Belarus (172 Partizansky Ave., Minsk 220075, Republic of Belarus). E-mail: t.savelyeva@tut.by