

Светлана Николаевна Туровская<sup>1✉</sup>, Александр Геннадьевич Кручинин<sup>2</sup>,  
Елена Евгеньевна Илларионова<sup>3</sup>, Алана Владиславовна Бигаева<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

<sup>1</sup>s\_turovskaya@vnimi.org

<sup>2</sup>a\_kruchinin@vnimi.org

<sup>3</sup>e\_illarionova@vnimi.org

<sup>4</sup>a\_bigaeva@vnimi.org

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БЕЛКОВОГО ПРОФИЛЯ НА КРИСТАЛЛООБРАЗОВАНИЕ В МОДЕЛЬНЫХ МОЛОЧНЫХ СИСТЕМАХ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ

Цель исследования – изучение влияния белкового профиля модельных молочных систем с промежуточной влажностью на процесс кристаллообразования молочного сахара (лактозы). Задачи исследования: подбор компонентов рецептуры для составления белкового профиля и исследование его влияния на процесс формирования и роста кристаллов лактозы в модельных системах в процессе хранения. Объектами исследований являлись модельные системы с направленной корректировкой значений pH в каждой из них, имитирующие обезжиренное сгущенное молоко с сахаром, в которых проведена полная или частичная замена белковой фазы на сыровоточные белки за счет использования сухого концентрата сыровоточного белка, сухого гидролизованного сыровоточного белка (полученного в нативных или денатурирующих условиях), сухой подсырной сыровотки. Исследования микроструктурных изменений консистенции осуществляли с использованием метода по определению размеров кристаллов лактозы по ГОСТ 29245-91. Установлено, что изменение белкового профиля в сторону повышения содержания нативных и трансформированных сыровоточных белков в модельных системах привело к замедлению процесса кристаллообразования лактозы. При этом гидролизованные сыровоточные белки обладали более высокой степенью ограничения роста кристаллов. Полная замена белковой фазы на сухой концентрат сыровоточного белка и сухую подсырную сыровотку способствовала интенсивному росту кристаллов при начальном минимальном их среднем размере (по отношению к другим образцам). Однако через 14 дней хранения средний размер кристаллов в этой модельной системе был сопоставим с остальными образцами (в том числе контрольным), кроме образца с использованием гидролизованных сыровоточных белков. Также выявлены закономерности влияния активной кислотности среды на размер кристаллов. Понижение pH с 6,2 до 5,6 приводит к образованию кристаллов лактозы меньшего среднего размера в 1,9–3,3 раза.

**Ключевые слова:** молочные системы с промежуточной влажностью, белковый профиль, лактоза, кристаллизация

**Для цитирования:** Исследование влияния белкового профиля на кристаллообразование в модельных молочных системах с промежуточной влажностью / С.Н. Туровская [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 12. С. 237–247. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-237-247.

Svetlana Nikolaevna Turovskaya<sup>1✉</sup>, Alexander Gennadievich Kruchinin<sup>2</sup>,  
Elena Evgenievna Illarionova<sup>3</sup>, Alana Vladislavovna Bigaeva<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>All-Russian Scientific Research Institute of Dairy Industry, Moscow, Russia

<sup>1</sup>s\_turovskaya@vnimi.org

<sup>2</sup>a\_kruchinin@vnimi.org

<sup>3</sup>e\_illarionova@vnimi.org

<sup>4</sup>a\_bigaeva@vnimi.org

## STUDYING PROTEIN PROFILE EFFECT ON CRYSTAL FORMATION IN MODEL DAIRY SYSTEMS WITH INTERMEDIATE MOISTURE CONTENT

*The purpose of research is to study the influence of the protein profile of model dairy systems with intermediate moisture content on the process of crystal formation of milk sugar (lactose). Research objectives: selection of formulation components for compiling a protein profile and study of its influence on the process of formation and growth of lactose crystals in model systems during storage. The objects of research were model systems with targeted adjustment of pH values in each of them, imitating skimmed condensed milk with sugar, in which the complete or partial replacement of the protein phase with whey proteins was carried out through the use of dry whey protein concentrate, dry hydrolyzed whey protein (obtained in native or denaturing conditions), dry cheese whey. Studies of microstructural changes in consistency were carried out using the method for determining the size of lactose crystals according to GOST 29245-91. It has been established that a change in the protein profile towards an increase in the content of native and transformed whey proteins in model systems led to a slowdown in the process of lactose crystal formation. At the same time, hydrolyzed whey proteins had a higher degree of crystal growth restriction. The complete replacement of the protein phase with dry whey protein concentrate and dry cheese whey contributed to the intensive growth of crystals at their initial minimum average size (relative to other samples). However, after 14 days of storage, the average crystal size in this model system was comparable to the rest of the samples (including the control), except for the sample using hydrolyzed whey proteins. Regularities of the influence of the active acidity of the medium on the size of the crystals were also revealed. A decrease in pH from 6.2 to 5.6 leads to the formation of lactose crystals of a smaller average size by 1.9–3.3 times.*

**Keywords:** milk systems with intermediate moisture content, protein profile, lactose, crystallization

**For citation:** Studying protein profile effect on crystal formation in model dairy systems with intermediate moisture content / S.N. Turovskaya [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2022;(12): 237–247. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-237-247.

**Введение.** Для получения качественных сгущенных молочных консервов с сахаром, которые относят к группе продуктов с промежуточной влажностью, процесс кристаллизации дисахарида лактозы (молочного сахара) является обязательно контролируемым этапом производства, поскольку лактоза по сравнению с другими сахарами обладает специфическими свойствами (относительно низкая растворимость, особое поведение при кристаллизации). В связи с этим проведение процесса кристаллизации необходимо осуществлять таким образом, чтобы была сформирована однородная консистенция не только в свежеработанной молочно-сахарной смеси, но и в готовой продукции в период ее длительного хранения с размером кристаллов лактозы не более 10 мкм, то есть органолептически не ощущаемых [1–5]. В соответствии с технологией перед упаковыванием молочно-сахарную смесь охлаждают до температуры (20±2) °С. В процессе охлаждения растворимость лактозы понижается, она переходит из молекулярного раствора в твердое кристаллическое состояние, происходит ее кри-

сталлизация, которую можно условно разделить на две основные стадии – зарождение и рост кристаллов. Для предотвращения нерегулируемого зародышеобразования (центров кристаллизации) в производственной практике широко используют затравочный материал – подготовленный специальным образом молочный сахар с размером кристаллов 3–4 мм. При этом следует отметить, что другой дисахарид – сахароза, за счет использования которого обеспечивается консервирование (принцип осмоанабиоза), не вступает ни в какие биохимические реакции с составными частями молока и находится в продукте в растворенном состоянии при строгом соблюдении режимов технологического процесса и условий дальнейшего хранения [3, 6–9].

На скорость образования центров кристаллизации и размер лактозы влияют различные технологические и биохимические факторы: интенсивность проведения процесса, степень пересыщения, термовязкостные характеристики системы, ее рецептурный, физико-химический состав и пр. [1, 6–9].

Учеными [6, 9] приведены сведения, что одной из причин замедления процесса кристаллизации молочного сахара являются белки, а именно казеинаткальцийфосфатный комплекс (образование центров кристаллизации происходит медленнее, чем их рост). Аналогично в статье [10] указана информация об отсроченной кристаллизации лактозы в присутствии концентрата молочного белка. В обзоре [11] авторами представлен материал о позитивном воздействии наличия сывороточного протеина на кристаллизацию за счет его способности удерживать воду и создавать локальные «пятна перенасыщения», которые благоприятны зародышеобразованию, следствием чего является зарождение многочисленных мелких кристаллов и замедление их роста. Исследователями [2] выявлено положительное влияние сывороточных белков на растворимость лактозы, что приводит к снижению коэффициента перенасыщения, замедлению скорости кристаллообразования, а следовательно, предупреждению такого порока консистенции, как «песчанистость». Указанные результаты были проанализированы и использованы в работе [8] для улучшения органолептических и физико-химических свойств сгущенного молока с сахаром модифицированного состава. Также были проведены исследования по частичной замене в рецептурах концентрированных молочных продуктах с сахаром сухого обезжиренного молока на концентрат сывороточных белков [12] или концентрат молочной сыворотки после нанофильтрации [13], что негативно не повлияло на гранулометрический состав кристаллов лактозы (допустимые стандартизованные размеры кристаллов не были превышены) и в то же время повысило питательный статус продуктов за счет использования биологически ценного сывороточного белка [13, 14].

Таким образом, получение новых знаний о влиянии намеренной трансформации белковой матрицы сгущенных молочных консервов с сахаром на процесс кристаллизации лактозы является актуальным.

**Цель исследования** – изучение влияния белкового профиля модельных молочных систем с промежуточной влажностью на процесс кристаллообразования молочного сахара (лактозы).

**Задачи:** подбор компонентов рецептуры для составления белкового профиля и исследова-

ние его влияния на процесс формирования и роста кристаллов лактозы в модельных молочных системах с промежуточной влажностью в процессе хранения.

**Объекты и методы.** Объектами исследований являлись модельные системы, имитирующие обезжиренное сгущенное молоко с сахаром, но различающиеся содержанием белковых фракций:

– образец 1 (контрольный) – использована классическая рецептура (на основе смешивания сухих компонентов) для получения традиционного обезжиренного сгущенного молока с сахаром;

– образец 2 – проведена 100 %-я замена белковой фазы на сывороточные белки за счет использования сухого концентрата сывороточного белка (КСБ);

– образец 3 – проведена 30 %-я замена белковой фазы на гидролизат сывороточного белка, полученного в нативных условиях, за счет использования сухого гидролизованного сывороточного белка (НГСБ);

– образец 4 – проведена 30 %-я замена белковой фазы на гидролизат сывороточного белка, полученного в денатурирующих условиях, за счет использования сухого гидролизованного сывороточного белка (ДГСБ);

– образец 5 – проведена 100 %-я замена белковой фазы на сывороточные белки за счет использования КСБ и сухой подсырной сыворотки (СПС);

– образец 6 – проведена 30 %-я замена белковой фазы на сывороточные белки за счет использования КСБ и СПС.

Также был получен образец с полной заменой белковой фазы на мицеллярный казеин, однако он был исключен из эксперимента ввиду абсолютной потери текучести по ходу технологии, что делало данный образец неприемлемым для проведения в нем исследований процесса кристаллизации.

Замена белковой фазы (30 %) на сывороточные белки (образцы 3, 4 и 6) обоснована необходимостью проведения сравнительных исследований трансформации белковых матриц, полученных при различных условиях гидролиза.

Стандартизация по лактозе в образцах 2, 3 и 4 была выполнена путем внесения сухой лактозы, а в образцах 5 и 6 – посредством использования СПС.

Средние значения основных физико-химических показателей в образцах составляли: массовая доля сухих веществ – 70,12 %; жира – 0,15; общего белка – 9,17; лактозы – 14,00; сахарозы – 45,04 %, pH – 6,13. Показатель активности воды был в пределах 0,845–0,861, что обоснованно позволяет отнести все образцы к продуктам с промежуточной влажностью. При этом соотношение казеиновой фракции к сывороточным белкам составляло (в %): образец 1 – 79:21, образец 2 – 12:88, образец 3 – 70:30, образец 4 – 69:31, образец 5 – 14:86, образец 6 – 70:30.

Все образцы выработаны без применения процесса кристаллизации, который был исключен для исследования кинетики естественного роста кристаллов. Кроме этого, модельные системы направленно скорректированы по активной кислотности (путем использования 0,1н NaOH или 0,1н HCl) до значения 6,2 для нивелирования расхождения pH в образцах и до значений 5,9 и 5,6 для изучения влияния микрокоагуляции концентрированных систем на кристаллообразование при понижении кислотности.

Образцы были заложены на хранение при температуре  $(8 \pm 2)$  °C и исследованы через 1, 7 и 14 сут.

Для физико-химических исследований использовали стандартизованные методы, область применения которых распространяется на анализ сгущенного молока с сахаром. Измерение микроструктурных изменений консистенции осуществляли с использованием метода по определению размеров кристаллов молочного сахара по ГОСТ 29245-91 окуляр-микрометром при увеличении в 150–1000 раз с использованием микроскопа «МИКМЕД-6» с камерой ТСА-5.0С (ЛОМО, Россия).

**Результаты и их обсуждение.** Микроскопические исследования кристаллов лактозы в образцах позволили оценить их минимальные, максимальные и средние размеры (по длинной грани), установить влияние компонентного состава и белкового профиля на процесс образования кристаллов.

Результаты анализа модельных молочных систем, приведенных к значению активной кислотности 6,2, представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1

**Минимальные и максимальные размеры кристаллов лактозы в модельных молочных системах с промежуточной влажностью (pH 6,2), мкм**

Срок хранения, сут	Размер кристаллов	Номер образца					
		1	2	3	4	5	6
1	min	0,6	2,5	0,8	6,1	1,5	3,5
	max	16,5	14,1	16,3	73,8	5,1	46,3
7	min	2,8	2,8	3,5	8,2	5,0	5,0
	max	39,2	79,0	65,4	91,3	59,3	123,2
14	min	3,3	5,5	5,5	11,1	5,4	5,1
	max	72,0	103,5	130,3	122,1	71,9	100,8

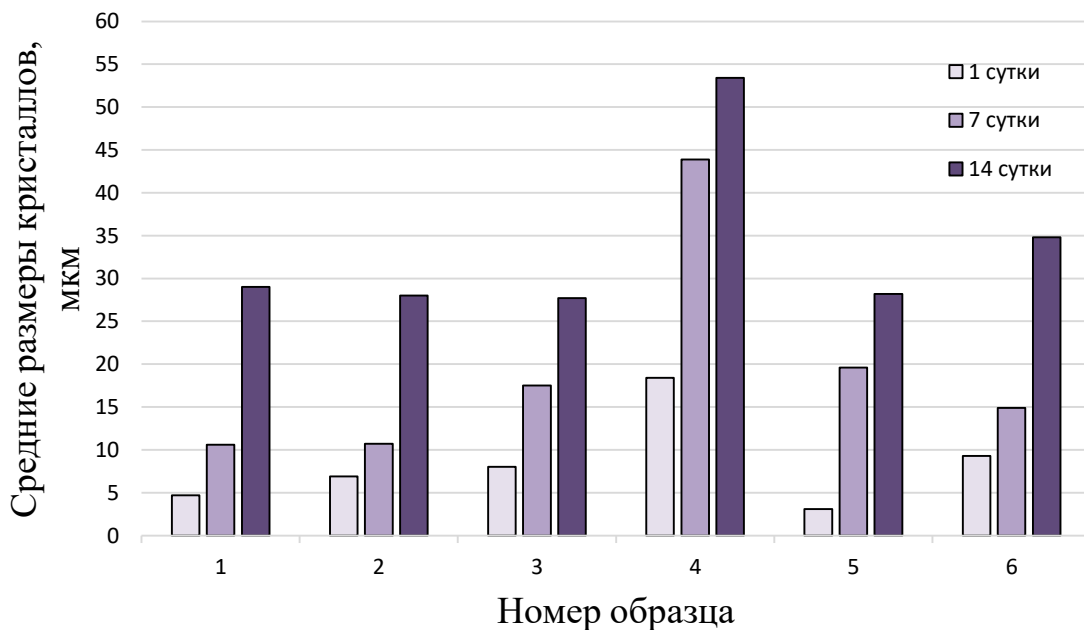
Анализ данных таблицы 1 выявил закономерное увеличение минимальных и максимальных размеров кристаллов лактозы во всех образцах в процессе хранения. При этом более интенсивный рост кристаллов минимальных размеров отмечен в образце 3 (в 6,8 раза), а максимальных – в образце 5 (в 14,1 раза).

Также установлен логичный рост кристаллов средних размеров во всех образцах на протяжении 14 суток хранения (рис. 1). В образце 4 зафиксирован максимальный средний размер кристаллов (53,4 мкм). При этом уже на 1-е сут хранения в этом образце средний размер кри-

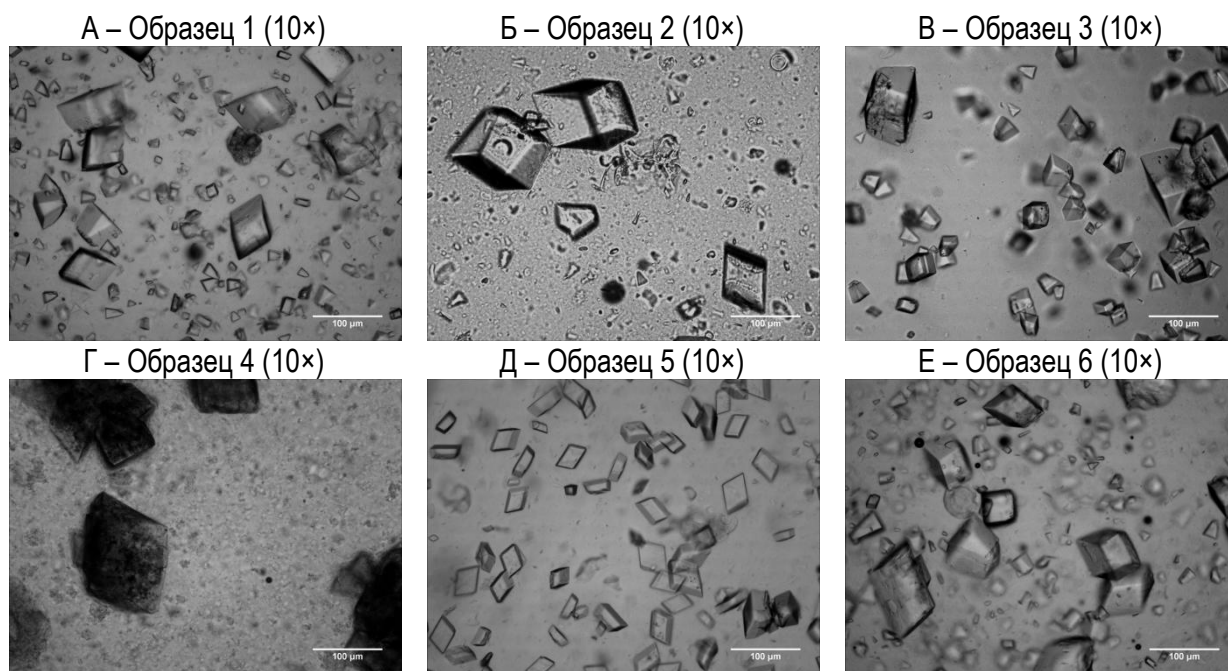
сталлов был в 2–4 раза больше по сравнению с кристаллами других модельных систем, что объясняется наличием гидролизованных сывороточных белков, подвергнувшихся денатурации, которые способствовали образованию кристаллов большего размера в отличие от образца 5, в котором средний размер кристаллов был наименьшим (3,1 мкм). Однако в образце 5 выявлено максимальное увеличение среднего размера кристаллов в процессе хранения (в 9,1 раза). Несмотря на это, размер кристаллов в этом образце на 14-е сут был сопоставим с другими образцами, кроме образца 4, в котором

дополнительно отмечена наименьшая интенсивность роста кристаллов (только в 2,9 раза). В контрольном образце этот показатель составлял 6,2 раза. То есть замена чистого препарата лактозы на сухую подсырную сыворотку не повлияла на размер кристаллов.

Экземплификация вышеприведенных данных после 14 суток хранения представлена на рисунке 2. Изучение морфологических признаков кристаллов подтверждает полученные инструментальные данные.



*Рис. 1. Средние размеры кристаллов лактозы в модельных молочных системах с промежуточной влажностью (рН 6,2), мкм*



*Рис. 2. Микроструктура модельных молочных систем с промежуточной влажностью на 14-е сут хранения (рН 6,2)*

Результаты кристаллообразования при понижении активной кислотности в модельных молочных системах до значения 5,9 приведены в таблице 2 и на рисунке 3.

Установлено аналогичное по отношению к системам с рН 6,2 увеличение минимальных и

максимальных размеров кристаллов к 14-м сут хранения (табл. 2), причем только в образце 5 наблюдалась их наивысшая интенсивность роста (в 6,5 и 10,6 раза соответственно).

Таблица 2

**Минимальные и максимальные размеры кристаллов лактозы в модельных молочных системах с промежуточной влажностью (рН 5,9), мкм**

Срок хранения, сут	Размер кристаллов	Номер образца					
		1	2	3	4	5	6
1	min	0,9	2,5	2,7	3,9	1,1	2,7
	max	6,0	16,6	15,2	67,0	5,2	23,5
7	min	1,1	2,7	4,5	6,1	2,7	2,5
	max	20,1	53,7	61,8	97,6	47,5	86,3
14	min	2,1	5,5	3,5	7,2	7,1	3,7
	max	43,4	80,2	79,9	108,0	55,2	127,2

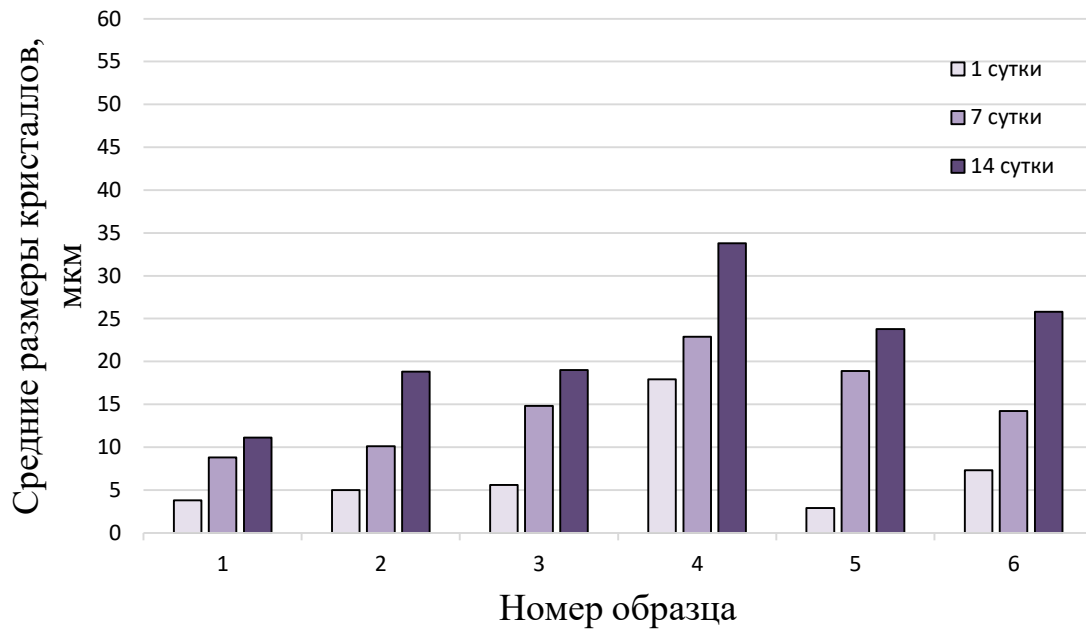


Рис. 3. Средние размеры кристаллов лактозы в модельных молочных системах с промежуточной влажностью (рН 5,9), мкм

Анализ данных рисунка 3 установил, что минимальный средний размер (11,1 мкм) наблюдали в образце 1, максимальный (33,8 мкм) в образце 4, хотя увеличение размера в процессе хранения в образце 1 составляло 2,9 раза, а в образце 4 – 1,9 раза, что связано с наибольшим первоначальным размером (17,9 мкм) по сравнению со средней величиной кристаллов в других образцах (2,9–7,3 мкм). Также в образце 5

установлен наименьший средний размер кристаллов на 1-е сут хранения (2,9 мкм) и максимальная интенсивность увеличения их размеров – в 8,2 раза.

Визуализация микроструктуры модельных систем показала (рис. 4), что в образце 4 отчетливо видна тенденция образования кристаллов лактозы вокруг денатурированного агрегата белка, выступающего в роли центра кристаллизации.

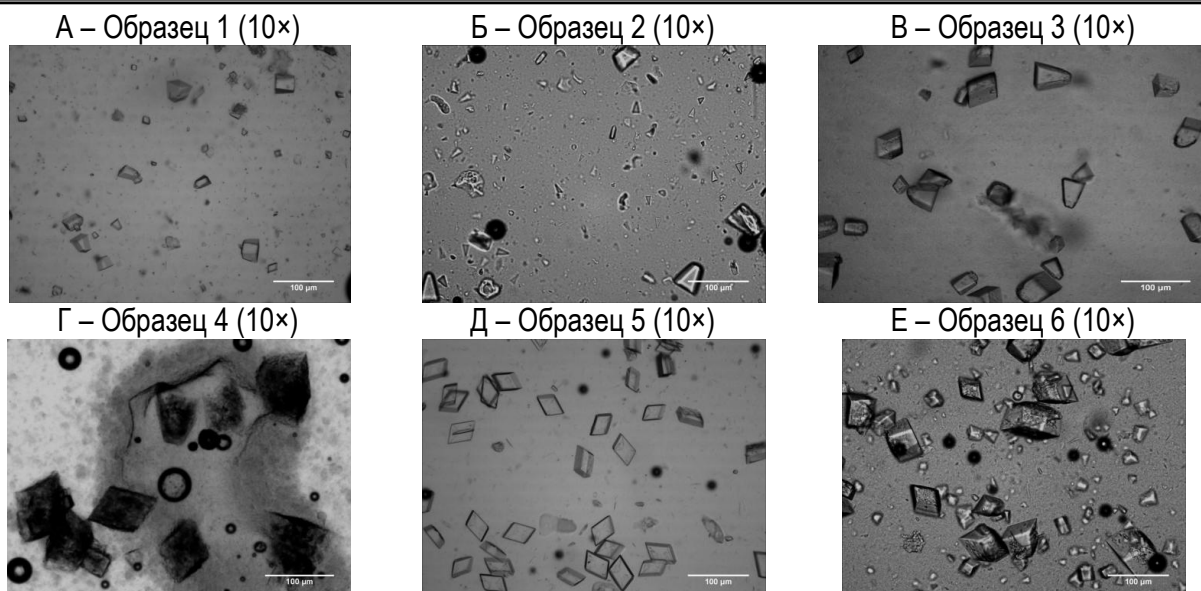


Рис. 4. Микроструктура модельных молочных систем с промежуточной влажностью на 14-е сут хранения (рН 5,9)

В таблице 3 и на рисунке 5 представлены результаты исследований минимальных, максимальных и средних размеров кристаллов мо-

лочного сахара в модельных молочных системах со значениями активной кислотности 5,6.

Таблица 3

**Минимальные и максимальные размеры кристаллов лактозы в модельных молочных системах с промежуточной влажностью (рН 5,6), мкм**

Срок хранения, сут	Размер кристаллов	Номер образца					
		1	2	3	4	5	6
1	min	0,5	1,7	2,3	3,6	1,3	1,4
	max	21,0	15,2	22,0	16,0	3,3	35,9
7	min	2,0	2,7	1,4	3,6	2,8	5,0
	max	9,1	19,8	39,5	65,4	44,9	46,9
14	min	2,8	2,8	2,7	5,5	7,1	5,2
	max	38,0	66,3	44,9	88,8	54,8	71,6

Результаты, представленные в таблице 3, свидетельствуют о сохранении тенденции увеличения в процессе хранения минимальных и максимальных размеров кристаллов в модельных системах при рН 5,6. При этом на 14-е сут выявлена следующая закономерность уменьшения максимальных размеров кристаллов в образцах: 4 > 6 > 2 > 5 > 3 > 1. Однако наибольшая интенсивность роста максимального размера кристаллов (в 16,7 раза) наблюдалась в образце 5 (так же, как в модельных системах с рН 6,2 и 5,9).

Максимальный средний размер кристаллов как на 1-е, так и на 14-е сут хранения наблюдали в образце 4 (16,5 и 26,0 мкм соответственно), что связано с наличием в рецептуре ДГСБ (рис. 5).

Также в этом образце зафиксирована наименьшая интенсивность роста кристаллов (в 1,6 раза) в отличие от образца 5, в котором размеры кристаллов за 14 дней увеличились более чем в 5 раз. Изменение белкового профиля в сторону повышения содержания сывороточных белков (как трансформированных, так и нативных) привело к увеличению средних размеров кристаллов в 1,5–2 раза в образцах 2, 3, 5, 6, а в образце 4 – почти в 3 раза (по сравнению с контрольным образцом), что дополнительно связано с гидрофильностью в результате гидролиза белков в денатурирующих условиях.

Анализ микрофотографий позволяет отметить наличие крупных кристаллов в большей степени в образцах 3–6 (рис. 6).

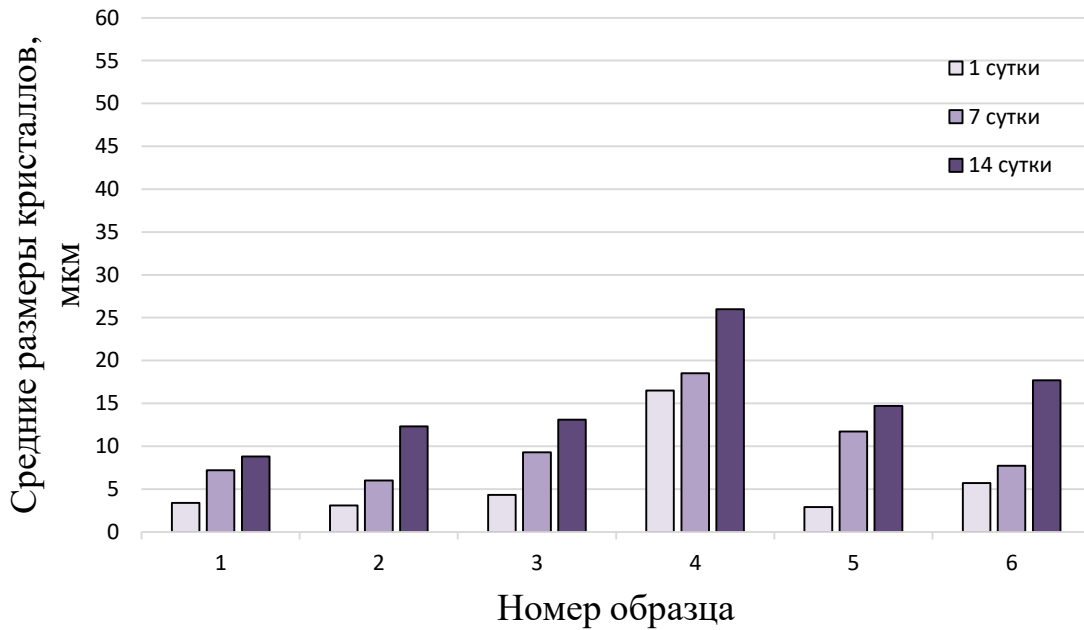


Рис. 5. Средние размеры кристаллов лактозы в модельных молочных системах с промежуточной влажностью (pH 5,6), мкм

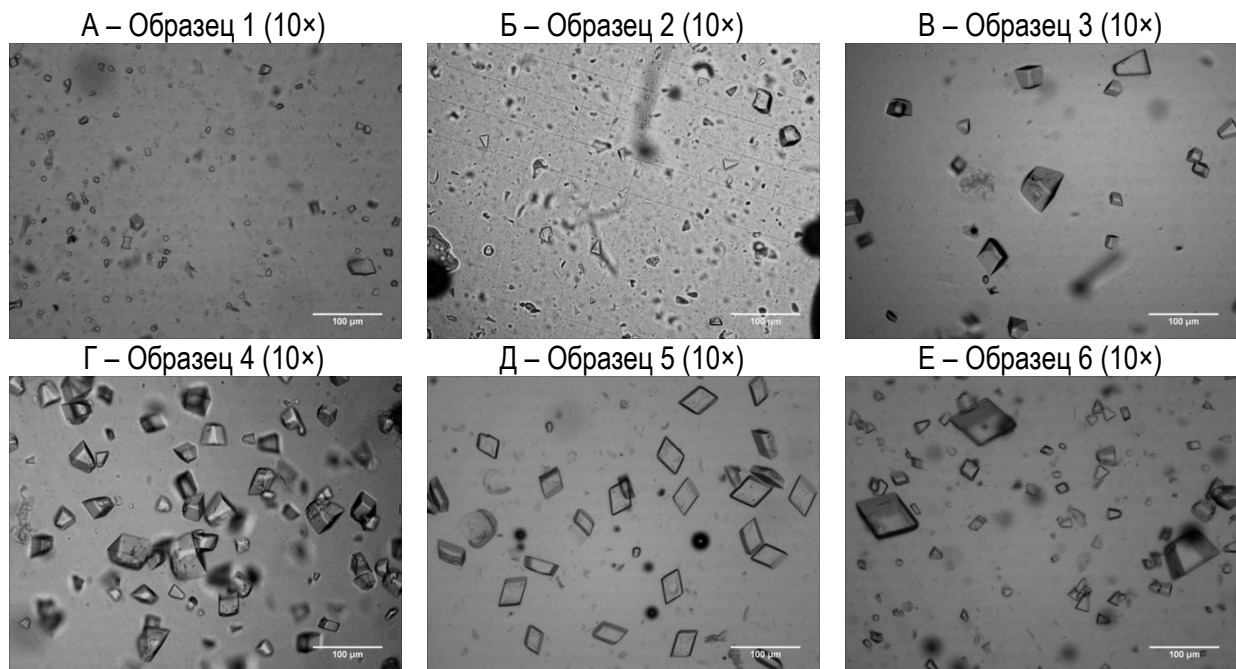


Рис. 6. Микроструктура модельных молочных систем с промежуточной влажностью на 14-е сут хранения (pH 5,6)

Для всех образцов отмечена закономерность влияния активной кислотности среды на кристаллообразование в процессе хранения. Понижение pH с 6,2 до 5,6 приводит к уменьшению среднего размера кристаллов. Для контрольного образца 1 на 14-е сут наблюдался наивыс-

ший эффект понижения среднего размера кристаллов (с 29,0 до 8,8 мкм), т.е. в 3,3 раза. В остальных образцах отмечено подобное, но менее интенсивное снижение соотношения средних размеров кристаллов при понижении pH – в 1,9–2,3 раза. Кроме этого установлено



понижение интенсивности роста кристаллов в процессе хранения во всех образцах при понижении pH. Наивысший отклик на изменение кислотности имел контрольный образец (в 2,4 раза) по сравнению с другими образцами (в 1,1–1,8 раза).

**Заключение.** Изменение белкового профиля в сторону повышения содержания нативных и трансформированных сывороточных белков в модельных молочных системах с промежуточной влажностью привело к замедлению процесса кристаллообразования молочного сахара, причем гидролизованные сывороточные белки обладали более высокой степенью ограничения роста кристаллов. Следует выделить образец 5 – с полной заменой белковой фазы на КСБ и СПС. Интенсивный рост кристаллов в этом образце при начальном минимальном их среднем размере (по отношению к другим образцам) предположительно связан с влиянием сывороточных белков на растворимость лактозы и вязкостными характеристиками полученной белково-углеводной системы, которые в будущем подлежат дополнительному изучению. Однако через 14 дней хранения средний размер кристаллов в образце 5 был сопоставим с остальными образцами (в том числе контрольным), кроме образца 4 с использованием гидрализованых сывороточных белков.

Также выявлены закономерности влияния активной кислотности среды на размер кристаллов. Понижение pH с 6,2 до 5,6 приводит к образованию кристаллов лактозы меньшего среднего размера в 1,9–3,3 раза.

Полученные результаты исследований могут стать основой разработки модифицированных или новых белковых матриц не только с целью рационального ведения и интенсификации процесса кристаллизации лактозы в производстве молочных консервов с сахаром гарантированного качества, но и создания консервированной продукции профилактической направленности.

#### **Список источников**

1. Lactose crystallization: current issues and promising engineering solutions / A.E. Rjabova [et al.] // *Foods and Raw Materials*. 2013. V. 1. № 1. P. 66–73. DOI: 10.12737/1559.
2. Cooling curve in production sweetened concentrated milk supplemented with whey: Influence on the size and microstructure of lactose crystals / I. Smykov [et al.] // *Food Science and Technology International*. 2019. V. 25. № 6. P. 451–461. DOI: 10.1177/1082013219830494.
3. Безопасность молочных консервов как интегральный критерий эффективности их технологии. Российский опыт / С.Н. Туровская [и др.] // *Пищевые системы*. 2018. Т. 1, № 2. С. 29–54. DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54.
4. Hettinga K.A. Lactose in the dairy production chain. *Lactose* // Elsevier Inc. 2019. Chapter 6. P. 231–266. DOI:10.1016/b978-0-12-811720-0.00006-4.
5. Рябова А.Е., Хуршудян С.А., Семипятный В.К. Совершенствование методологии оценки консистенции продуктов, склонных к спонтанной кристаллизации // *Пищевая промышленность*. 2018. № 12. С. 74–76.
6. Гнездилова А.И., Музыкантова А.В., Виноградова Ю.В. Исследование микроструктуры молочного концентрированного продукта с сахаром в процессе хранения // *Современная биотехнология: актуальные вопросы, инновации и достижения: сб. тез. Всерос. с междунар. участием онлайн-конф.* / под общ. ред. А.Ю. Просекова. Кемерово, 2020. С. 43–45.
7. Полянский К.К. Кристаллизация лактозы при производстве сгущенного молока с сахаром // *Переработка молока*. 2018. № 1 (219). С. 42–45.
8. Jafari S., Jouki M., Soltani M. Modification of physicochemical, structural, rheological, and organoleptic properties of sweetened condensed milk by maltodextrin, fructose, and lactose // *Food Measure*. 2021. V. 15, № 4. P. 3800–3810. DOI: 10.1007/s11694-021-00976-w.
9. Голубева Л.В. Технология молочных консервов и заменителей цельного молока. М.: ДеЛи принт, 2005. 376 с.
10. Vega C., Roos Y.H. The state of aggregation of casein affects the storage stability of amorphous sucrose, lactose, and their mixtures // *Food Biophysics*. 2007. V. 2, № 1. P. 10–19. DOI: 10.1007/s11483-007-9024-9.

11. Wong S.Y., Hartel R.W. Crystallization in lactose refining – A review // Journal of food science. 2014. V. 79, №. 3. P. 257–272. DOI: 10.1111/1750-3841.12349.
12. Структурно-механические свойства консервированного молочного продукта с сахаром на основе концентрата сывороточных белков / А.И. Гнездилова [и др.] // Пищевая промышленность. 2019. № 3. С. 58–61.
13. Концентрированный молочный продукт с сахаром повышенной биологической ценности / А.В. Музыкантова [и др.] // Молочная промышленность. 2021. № 7. С. 46–47. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-07-46-47.
14. Агаркова Е.Ю. Пенообразующие свойства гидролизатов сывороточных белков // Вестник КрасГАУ. 2020. № 8 (161). С. 179–185. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-8-179-185.
6. Gnezdilova A.I., Muzykantova A.V., Vinogradova Yu.V. Issledovanie mikrostruktury molochного концентрированного продукта с сахаром в процессе хранения // Современная биотехнология: актуальные вопросы, инновации и достижения: сб. тез. Всерос. с международ. участием онлай-конф. / под общ. ред. А.Ю. Просякова. Кемерово, 2020. С. 43–45.
7. Polyanskij K.K. Kristallizaciya laktozy pri proizvodstve sguschenного молока с сахаром // Pererabotka молока. 2018. № 1 (219). С. 42–45.
8. Jafari S., Jouki M., Soltani M. Modification of physicochemical, structural, rheological, and organoleptic properties of sweetened condensed milk by maltodextrin, fructose, and lactose // Food Measure. 2021. V. 15, №. 4. P. 3800–3810. DOI: 10.1007/s11694-021-00976-w.
9. Golubeva L.V. Tehnologiya molochnyh konservov i zamenitelej cel'nogo молока. М.: DeLi print, 2005. 376 s.
10. Vega C., Roos Y.H. The state of aggregation of casein affects the storage stability of amorphous sucrose, lactose, and their mixtures // Food Biophysics. 2007. V. 2, №. 1. P. 10–19. DOI: 10.1007/s11483-007-9024-9.
11. Wong S.Y., Hartel R.W. Crystallization in lactose refining – A review // Journal of food science. 2014. V. 79, №. 3. P. 257–272. DOI: 10.1111/1750-3841.12349.
12. Структурно-механические свойства консервированного молочного продукта с сахаром на основе концентрата сывороточных белков / А.И. Гнездилова [и др.] // Пищевая промышленность. 2019. № 3. С. 58–61.
13. Концентрированный молочный продукт с сахаром повышенной биологической ценности / А.В. Музыкантова [и др.] // Молочная промышленность. 2021. № 7. С. 46–47. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-07-46-47.
14. Агаркова Е.Ю. Пенообразующие свойства гидролизатов сывороточных белков // Вестник КрасГАУ. 2020. № 8 (161). С. 179–185. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-8-179-185.

### References

1. Lactose crystallization: current issues and promising engineering solutions / A.E. Ryabova [et al.] // Foods and Raw Materials. 2013. V. 1. №. 1. P. 66–73. DOI: 10.12737/1559.
2. Cooling curve in production sweetened concentrated milk supplemented with whey: Influence on the size and microstructure of lactose crystals / I. Smykov [et al.] // Food Science and Technology International. 2019. V. 25. № 6. P. 451-461. DOI: 10.1177/1082013219830494.
3. Bezopasnost' molochnyh konservov kak integral'nyj kriterij `effektivnosti ih tehnologij. Rossijskij opyt / S.N. Turovskaya [i dr.] // Pischevye sistemy. 2018. T. 1, № 2. S. 29–54. DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54.
4. Hettinga K.A. Lactose in the dairy production chain. Lactose // Elsevier Inc. 2019. Chapter 6. P. 231–266. DOI:10.1016/b978-0-12-811720-0.00006-4.
5. Ryabova A.E., Hurshudyan S.A., Semipyatnyj V.K. Sovershenstvovanie metodologii ocenki konsistencii produktov, sklonnyh k spontannoj kristallizacii // Pischevaya promyshlennost'. 2018. № 12. S. 74–76.
6. Gnezdilova A.I., Muzykantova A.V., Vinogradova Yu.V. Issledovanie mikrostruktury molochного концентрированного продукта с сахаром в процессе хранения // Современная биотехнология: актуальные вопросы, инновации и достижения: сб. тез. Всерос. с международ. участием онлай-конф. / под общ. ред. А.Ю. Просякова. Кемерово, 2020. С. 43–45.
7. Polyanskij K.K. Kristallizaciya laktozy pri proizvodstve sguschenного молока с сахаром // Pererabotka молока. 2018. № 1 (219). С. 42–45.
8. Jafari S., Jouki M., Soltani M. Modification of physicochemical, structural, rheological, and organoleptic properties of sweetened condensed milk by maltodextrin, fructose, and lactose // Food Measure. 2021. V. 15, №. 4. P. 3800–3810. DOI: 10.1007/s11694-021-00976-w.
9. Golubeva L.V. Tehnologiya molochnyh konservov i zamenitelej cel'nogo молока. М.: DeLi print, 2005. 376 s.
10. Vega C., Roos Y.H. The state of aggregation of casein affects the storage stability of amorphous sucrose, lactose, and their mixtures // Food Biophysics. 2007. V. 2, №. 1. P. 10–19. DOI: 10.1007/s11483-007-9024-9.
11. Wong S.Y., Hartel R.W. Crystallization in lactose refining – A review // Journal of food science. 2014. V. 79, №. 3. P. 257–272. DOI: 10.1111/1750-3841.12349.
12. Структурно-механические свойства консервированного молочного продукта с сахаром на основе концентрата сывороточных белков / А.И. Гнездилова [и др.] // Пищевая промышленность. 2019. № 3. С. 58–61.
13. Концентрированный молочный продукт с сахаром повышенной биологической ценности / А.В. Музыкантова [и др.] // Молочная промышленность. 2021. № 7. С. 46–47. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-07-46-47.
14. Агаркова Е.Ю. Пенообразующие свойства гидролизатов сывороточных белков // Вестник КрасГАУ. 2020. № 8 (161). С. 179–185. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-8-179-185.

Статья принята к публикации 03.10.2022 / The article accepted for publication 03.10.2022.

Информация об авторах:

**Светлана Николаевна Туровская**<sup>1</sup>, старший научный сотрудник лаборатории молочных консервов  
**Александр Геннадьевич Кручинин**<sup>2</sup>, заведующий лабораторией молочных консервов, кандидат технических наук

**Елена Евгеньевна Илларионова**<sup>3</sup>, научный сотрудник лаборатории молочных консервов

**Алана Владиславовна Бигаева**<sup>4</sup>, научный сотрудник лаборатории молочных консервов, кандидат технических наук

Information about the authors:

**Svetlana Nikolaevna Turovskaya**<sup>1</sup>, Senior Researcher at the Laboratory of Canned Milk

**Alexander Gennadievich Kruchinin**<sup>2</sup>, Head of the Laboratory of Canned Milk, Candidate of Technical Sciences

**Elena Evgenievna Illarionova**<sup>3</sup>, Researcher, Laboratory of Canned Milk

**Alana Vladislavovna Bigaeva**<sup>4</sup>, Researcher, Canned Milk Laboratory, Candidate of Technical Sciences

