

*А.С. Кадыгроб, Е.В. Беспалова, к.т.н.
Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь*

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛАКТОЗЫ В МОЛОЧНЫХ КОНСЕРВАХ

*A. Kadyhrob, E. Bepalova
Institute for Meat and Dairy Industry, Minsk, Republic of Belarus*

CRITERIA FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF LACTOSE CRYSTALLIZATION IN CANNED MILK

ridetskaja@gmail.com, bepalova-kat@mail.ru

В современных условиях возрастающего ассортимента пищевых продуктов особенно актуальной является проверка качества производимых продуктов питания на всем протяжении технологического процесса производства, начиная от сырья и заканчивая выработкой готовой продукции. Применяя современные методики исследований, можно не только контролировать качество продукции, но и своевременно вносить корректировки в технологический процесс с целью предотвращения сверхнормативных потерь на производстве. В связи с этим в результате исследований установлены критерии оценки степени кристаллизации лактозы при производстве сгущенных и сухих молочных продуктов.

Ключевые слова: лактоза; эффективность кристаллизации; молочные консервы; молоко сгущенное; сыворотка молочная сухая.

In modern conditions of an increasing range of food products, it is especially important to check the quality of food products throughout the entire production process, from raw materials to finished products. Using modern research methods, it is possible not only to control the quality of products, but also to make timely adjustments to the technological process in order to prevent excess losses in production. In this regard, as a result of research, criteria for assessing the degree of lactose crystallization in condensed and dry milk products have been established.

Key words: lactose; crystallization efficiency; canned milk; condensed milk; whey powder.

Введение. При производстве сухих продуктов на базе молочной сыворотки, используется такая технологическая операция, как кристаллизация лактозы, которая позволяет снизить гигроскопичность готового сухого молочного продукта. Процесс заключается в связывании молекулы молочного сахара, с молекулами воды, что повышает степень кристаллизации молекул лактозы на 25–30%, хотя достаточным уровнем считается 65–75%, данная величина используется при производстве молока сгущенного с сахаром. С использованием процесса кристаллизации лактозы вырабатывают и другие высоколактозные сухие молочные продукты, такие как молочные пермеаты, после ультрафильтрационной обработки молока, различных видов сыворотки, меласса и др. [1–4].

При сгущении или концентрировании молочного сырья, содержащего лактозу в своем составе, происходит пересыщение ее концентрации в продукте, в результате лактоза неконтролируемо выпадает в осадок в виде кристаллов, что отрицательно сказывается на качестве готового продукта [5].

Цель работы – установление критериев оценки эффективности кристаллизации в молочных консервах.

Материалы и методы исследований. Определение характеристик объектов исследований осуществлялось в лаборатории оборудования и технологий молочноконсервного производства и аккредитованной производственно-испытательной лаборатории РУП «Институт мясо-молочной промышленности». При этом использовались стандартные и специальные методы анализа.

Объектами исследований являлись кристаллы лактозы в сгущенном молоке с сахаром и молочной сыворотке.

Результаты и их обсуждение. Для определения критериев кристаллизации лактозы в молочном сырье важное значение имеет концентрация изомеров лактозы, находящихся в сырье, что связано с различной их растворимостью и гигроскопичностью.

На рисунке 1 представлены нерастворимые в воде кристаллы лактозы: α -форма (а) образуется при контролируемом процессе кристаллизации; β -форма (б) – при самопроизвольной кристаллизации или нарушении технологического процесса. Количество и размеры указанных форм были использованы при определении критериев оценки кристаллизации лактозы.

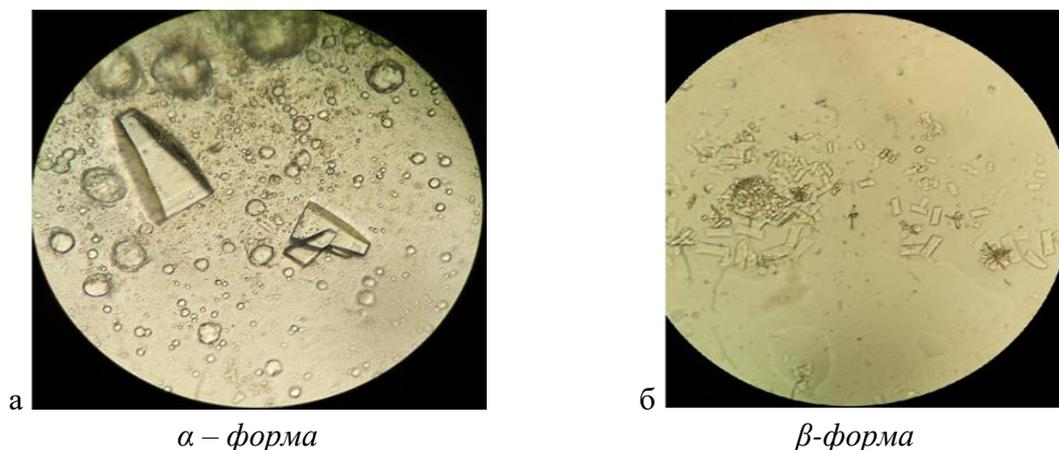


Рисунок 1 – Внешний вид кристаллов лактозы

Источник данных: собственная разработка.

Для определения концентраций α - и β -изомеров в растворе обычно применяется поляриметрический метод, при этом в случае многокомпонентных систем следует учитывать изменение оптического вращения аномеров лактозы при образовании их ассоциатов, например с солями (таблица 1) [5].

Таблица 1 – Растворимость α - и β -форм лактозы в водных растворах

Температура, °С	Отношение α - и β -форм	Растворимость лактозы в воде, %		
		общая	α -формы	β -формы
0	1,65	10,6	4,0	6,6
10	1,62	13,1	5,0	8,1
20	1,59	16,1	6,2	9,9
30	1,57	19,9	6,7	12,2
40	1,54	24,6	9,7	14,9
50	1,51	30,4	12,1	18,3
60	1,48	37,0	14,9	22,1
70	1,45	43,9	17,9	26,0
80	1,43	54,0	21,0	30,0

Источник данных: таблица составлена авторами на основе данных [5].

Перспективным методом определения содержания аномеров лактозы в сложных смесях является газо-жидкостная хроматография. В настоящее время о динамике кристаллизации лактозы судят косвенно по плотности, коэффициенту динамической вязкости, коэффициенту однородности проб, отобранных в разные технологические этапы [4, 6, 8].

В основе методов определения α - и β -изомеров лактозы в основном лежат их различия по физическим характеристикам, приведенным в таблице 2.

Таблица 2 – Физические свойства основных форм лактозы

Показатель	Лактоза	
	α -форма	β -форма
Плотность при 20°C, кг/м ³	1545,3	
Относительная молекулярная масса	360,1	342,0
Температура плавления, °C	201,6 (разложение)	252,2 (разложение)
Теплота сгорания, кДж/кг	15,94	16,45
Теплоемкость, кДж/(кг*град)	1,202	1,168
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)	0,931	
Теплота растворения, кал/г	-12,0	-2,3
Угол удельного вращения, $[\alpha]_{20}^D$	+88	+34
Угол удельной рефракции, град	0,2197	0,2197
ΔH_{298}° , ккал/моль	-592,9	-533,8

Источник данных: таблица составлена авторами на основе данных «Льюэкс», 2022 г. [7].

Проведено исследование влияния размеров кристаллов лактозы на показатели готовых молочных консервов. Режимы кристаллизации лактозы и параметры оценки эффективности кристаллизации лактозы представлены в таблицах 3 и 4 соответственно. Основными параметрами эффективности кристаллизации являются размер кристаллов и их массовость.

Таблица 3 – Режимы кристаллизации лактозы

Наименование продукта	Параметры кристаллизации
Сгущенные продукты (молоко сгущенное с сахаром)	Массовая доля сухих веществ 70% Охлаждение с 60°C до 37°C, введение затравки, непрерывное перемешивание
Сухие продукты (сыворожка молочная сухая)	Массовая доля сухих веществ 40–55% Быстрое охлаждение с 45–60°C до 30°C, введение затравки, медленное охлаждение с 30°C до 15°C со скоростью 1–3°C/ч при непрерывном перемешивании

Источник данных: собственная разработка.

Таблица 4 – Параметры оценки эффективности кристаллизации лактозы для молока сгущенного с сахаром

Наименование продукта	Средние размеры кристаллов лактозы, мкм	Консистенция и/или свойства готового продукта
Молоко сгущенное с сахаром	Более 25	Песчанистая
	21–24	Сильно мучнистая
	16–20	Мучнистая
	12–15	Слабо мучнистая
	Не более 10	Однородная

Источник данных: собственная разработка.

При производстве молока цельного сгущенного с сахаром необходимо получить кристаллы, имеющие размеры 10–11 мкм, органолептически не ощущаемые, исключая отрицательное влияние малосладких кристаллов лактозы на качество продукта и позволяющее оценить его консистенцию как однородную. Для ее формирования в 1 мм³ продукта должно быть не менее 400 тыс. кристаллов с линейными размерами не более 15 мкм. Кристаллизацию лактозы с такими показателями принято оценивать как массовую и однородную, а консистенцию продукта — как отвечающую требованиям, предъявляемым к качеству сгущенных молочных консервов с сахаром. Для массового зарождения кристаллов лактозы необходимо быстрое охлаждение продукта, интенсивное механическое воздействие и возможно дополнительное внесение затравочного материала в виде мелкокристаллической лактозы или других ее источников.

Для сухих продуктов зависимость несколько иная. По литературным данным в концентрате сыворотки кристаллы лактозы должны иметь размеры от 20 до 30 мкм, однако допускается и более 50 мкм, данный показатель зависит от особенностей используемого оборудования и технологической цепочки в целом. Так обеспечивается наличие в каждой распыляемой частице минимум по одному кристаллу лактозы. При нормальных условиях при этом кристаллизуются до 90% лактозы.

Сыворотка молочная сухая кристаллизованная отличается однородностью без комкования, хорошей растворимостью и смачиваемостью по сравнению с сывороткой молочной сухой не кристаллизованной. Следовательно, кристаллизованная сыворотка дольше сохраняет свои потребительские характеристики, а именно гарантированными показателями по смачиваемости, растворимости и низкой гигроскопичности.

Примеры внешнего вида сыворотки молочной сухой с проведением процесса кристаллизации и без кристаллизации лактозы представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид сыворотки молочной сухой кристаллизованной (а) и не кристаллизованной (б)

Источник данных: собственная разработка.

Размер кристаллов лактозы и массовость в исследуемых образцах выявлено методом микроскопирования. По данным микроскопирования определяли содержание кристаллов по группам в зависимости от размера (рисунок 3). После подсчета кристаллов по группам установили их средний размер.

На основании данных микроскопирования установлено среднее количество кристаллов лактозы в 1 мм³ и значения массовости кристаллизации лактозы, которые приведены в таблице 5.

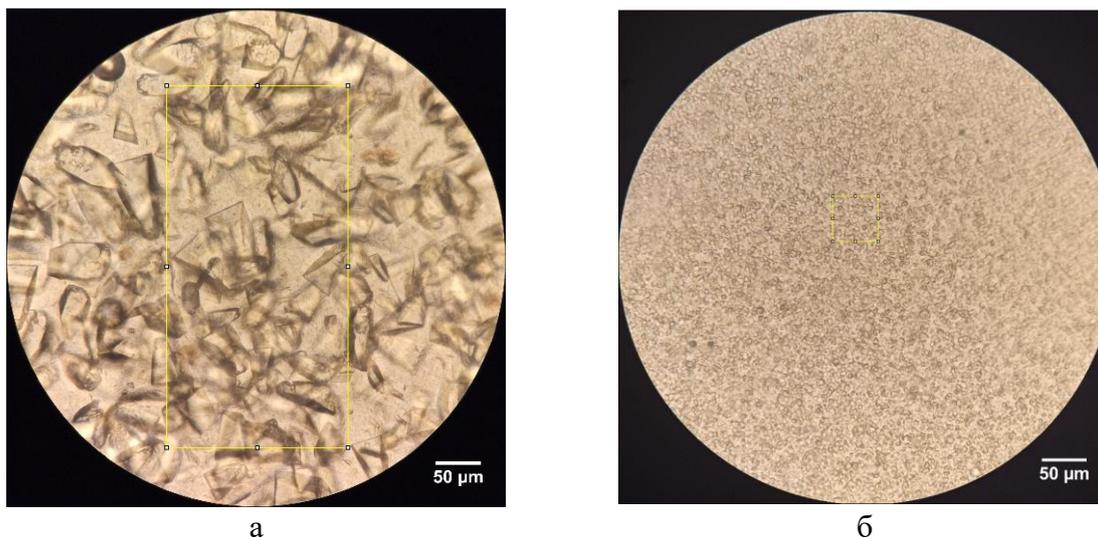


Рисунок 3 – Микроскопические снимки сыворотки сгущенной кристаллизованной (а) и молока сгущенного кристаллизованного (б)
Источник данных: собственная разработка.

Для определения эффективности кристаллизации проведена оценка отношения количества кристаллов лактозы приемлемого для продукта с допустимым размером в соответствии с критериями, обеспечивающими требуемую консистенцию готовых продуктов, к общему количеству кристаллов по формуле (1):

$$K = \frac{N_{кр.1}}{N_{кв.2}} \times 100, \quad (1)$$

где $N_{кр.1}$ – количество кристаллов лактозы определенного размера в исследуемой области (для сгущенного продукта не более 15 мкм, для сухого продукта не более 50 мкм);
 $N_{кв.1}$ – общее количество кристаллов лактозы в исследуемой области.

Таблица 5 – Значения эффективности кристаллизации (метод микроскопирования)

Наименование образца	Средний размер кристаллов лактозы, мкм	Количество кристаллов лактозы в 1 мм ³ (массовость), шт	Эффективность кристаллизации, %
Сыворотка подсырная сгущенная с проведением направленной кристаллизации лактозы, предназначенная для дальнейшей сушки	45	5 375	53,5
Молоко сгущенное с проведением направленной кристаллизации лактозы	5	341 333	100,0

Источник данных: собственная разработка.

Исходя из выше приведенных данных следует, что для определения величины эффективности кристаллизации необходимо предварительно проводить микроскопирование исследуемых образцов, для оценки эффективности кристаллизации лактозы.

Заключение. Критерии оценки эффективности кристаллизации лактозы: для сгущенных и сухих продуктов – расчетное значение, выраженное в процентах (0–100%) и прямо пропорционально доле лактозы кристаллизованной. При

определении эффективности кристаллизации лактозы методом микроскопирования критерии оценки – размеры кристаллов лактозы, средний размер кристаллов лактозы, а также количество кристаллов в объеме продукта. Так об эффективно проведенной кристаллизации свидетельствуют определенные в продукте средний размер кристаллов лактозы не более 15 мкм для сгущенных молочных консервов, 20 мкм и более для сухих молочных консервов, а также их массовость не менее 5 000 шт. в 1 мм³ для сгущенных молочных консервов и не менее 341 000 шт. в 1 мм³ для сухих молочных консервов.

Список использованных источников

1. Опыт научно-технологического сопровождения переработки молока и сыворотки в Республике Беларусь / О. В. Дымар [и др] ; под общей редакцией О. В. Дымара. – Минск : Коллоград, 2021. – 352 с.
2. Федотов, А. А. Исследование процесса массовой кристаллизации α-лактозы : Дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 : Воронеж, 2001 – 130 с.
3. Справочник химика. Химия и химическая технология. Кристаллы, теория роста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chem21.info/info/386168/>. – Дата доступа: 16.02.2021.
4. Петров, С. М. Разработка вибрационных технологий и техники кристаллизации сахарозы и лактозы: дис. ... док. техн. наук : 05.18.05. Москва, 1994. – 50 с.
5. Синельников, Б. М. Лактоза и ее производные / Синельников Б. М., Храмов А. Г. – СПб. : Профессия, 2007. – 768 с.
6. Ультразвуковой способ контроля структуры дисперсных сред : пат. RU 20100511(13)A2 / Кольцова, И. С., Кольцов Ю. С., Хомутова А. С., Матвеев А. А., Матвеева Т. И., Леонов И. Ф. – 23.11.2017.
7. Краткий справочник специалиста молочно-консервного производства / Галстян А. Г., Радаева И. А., Туровская С. Н., Корчагина С. А. Червецов В. В., Илларионова Е. Е., Свистун Н. Н., Гошанская М. Н.; под ред. А. Г. Галстяна. – М. : Издательство ООО «Ритм», 2011. –152 с.
8. Высокоэффективная жидкостная хроматография [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lumex.ru/methods/vezhh.php>. – Дата доступа: 10.11.2023.
1. Опыт научно-технологического сопровождения переработки молока и сыворотки в Республике Беларусь' [Experience in scientific and technological support for milk and whey processing in the Republic of Belarus] / O. V. Dymar [i dr] ; pod obshhej redakciej O. V. Dymara. – Minsk : Kolograd, 2021. – 352 s.
2. Fedotov, A. A. Issledovanie processa massovoj kristallizacii α-laktozy [Study of the process of mass crystallization of α-lactose] : Dis. ... kand. tehn. nauk : 05.18.12 : Voronezh, 2001 – 130 c.
3. Spravochnik himika. Himija i himicheskaja tehnologija. Kristally, teorija rosta [Elektronnyj resurs] [Chemist's Handbook. Chemistry and chemical technology. Crystals, growth theory]. – Rezhim dostupa: <https://chem21.info/info/386168/>. – Data dostupa: 16.02.2021.
4. Petrov, S. M. Razrabotka vibracionnyh tehnologij i tehniki kristallizacii saharozy i laktozy [Development of vibration technologies and techniques for crystallization of sucrose and lactose] : dis. ... dok. tehn. nauk : 05.18.05. Moskva, 1994. – 50 s.
5. Sinel'nikov, B. M. Laktoza i ee proizvodnye [Lactose and its derivatives] / Sinel'nikov B. M., Hramcov A. G. – SPb. : Professija, 2007. – 768 s.
6. Ul'trazvukovoj sposob kontrolja struktury dispersnyh sred [Ultrasonic method for monitoring the structure of dispersed media] : pat. RU 20100511(13)A2 / Kol'cova, I. S., Kol'cov Ju. S., Homutova A. S., Matveev A. A., Matveeva T. I., Leonov I. F. – 23.11.2017.
7. Kratkij spravochnik specialista molochno-konservnogo proizvodstva [A quick reference guide for a dairy canning specialist] / Galstjan A. G., Radaeva I. A., Turovskaja S. N., Korchagina S. A. Chervecov V. V., Illarionova E. E., Svistun N. N., Goshanskaja M. N.; pod red. A. G. Galstjana. – M. : Izdatel'stvo ООО «Ritm», 2011. –152 s.
8. Vysokoeffektivnaja zhidkostnaja hromatografija [Elektronnyj resurs] [High performance liquid chromatography]. – Rezhim dostupa: <https://www.lumex.ru/methods/vezhh.php>. – Data dostupa: 10.11.2023.