

Исследование процесса кристаллизации лактозы при охлаждении сгущенного молока с сахаром на отечественном вакуум-кристаллизаторе

Екатерина И. Добриян,¹ dobreka@mail.ru
Анна М. Ильина,¹ mosanja@yandex.ru

¹ лаборатория ресурсосберегающих процессов и функциональных продуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности «ВНИМИ», ул. Люсиновская, дом 35, корпус 7, Москва 115093, Россия.)

Реферат. Одним из наиболее распространенных пороков сгущенного молока с сахаром является неоднородность его консистенции «засахаривание». Указанный порок обусловлен наличием крупных кристаллов лактозы в продукте. Кристаллы лактозы размером до 10 мкм органолептически не ощущаются. Более крупные кристаллы придают неоднородность консистенции, которая может оцениваться как «мучнистая», «песчаная», «хруст на зубах». Крупные кристаллы образуют кристаллический осадок на дне банки или промышленной тары в виде толстого слоя. Промышленная переработка продукта с нарушенным процессом кристаллизации приводит к поломкам дорогостоящего оборудования на кондитерских фабриках, что сопровождается большими убытками. Одним из факторов, оказывающих существенное влияние на процесс кристаллизации лактозы, является скорость охлаждения продукта. Необходимым условием обеспечения однородности консистенции продукта является вакуумное его охлаждение. Для этой цели в молочной консервной промышленности применяют вакуумные кристаллизаторы фирмы «Виганд» производства Германии. Однако в последние годы выпуск их прекращен. ФГБНУ «ВНИМИ» разработал «Исходные требования для разработки отечественного вакуумного кристаллизатора», по которым был изготовлен промышленный образец. Испытания изготовленного вакуум-кристаллизатора в линии по производству сгущенного молока с сахаром показали, что охлаждение продукта в отечественном вакуум-кристаллизаторе гарантирует получение готового продукта с микроструктурой, удовлетворяющей требованиям ГОСТ Р 53436–2009 «Консервы молочные. Молоко и сливки сгущенные с сахаром». Проведенные исследования свидетельствуют о том, что средний размер кристаллов лактозы в сгущенном молоке с сахаром, охлажденном на отечественном кристаллизаторе, составляет 6,78 мкм. Гранулометрический состав кристаллической фазы продукта, охлажденного на вновь разработанном вакуум-кристаллизаторе полностью идентичен гранулометрическому составу продукта, охлажденному на вакуум-кристаллизаторе фирмы «Виганд».

Ключевые слова: лактоза, сгущенное молоко с сахаром, кристаллизация, вакуумное охлаждение, консистенция, гранулометрический состав, размер кристаллов

Investigation of lactose crystallization process during condensed milk cooling using native vacuum-crystallizer

Ekaterina I. Dobriyan,¹ dobreka@mail.ru
Anna M. Il'ina,¹ mosanja@yandex.ru

¹ laboratory of resource-saving technologies & functional products, All-Russian dairy research institute, Russia, Moscow, Lusinovskaya str. 35, bld. 7, Moscow, 115093, Russia.

Summary. One of the most general defects of condensed milk with sugar is its consistency heterogeneity – “candyng”. The mentioned defect is conditioned by the presence of lactose big crystals in the product. Lactose crystals size up to 10 μm is not organoleptically felt. The bigger crystals impart heterogeneity to the consistency which can be evaluated as “floury”, “sandy”, “crunch on tooth”. Big crystals form crystalline deposit on the can or industrial package bottom in the form of thick layer. Industrial processing of the product with the defective process of crystallization results in the expensive equipment damage of the equipment at the confectionary plant accompanied with heavy losses. One of the factors influencing significantly lactose crystallization is the product cooling rate. Vacuum cooling is the necessary condition for provision of the product consistency homogeneity. For this purpose the vacuum crystallizers of “Vigand” company, Germany, are used. But their production in the last years has been stopped. All-Russian dairy research institute has developed “The references for development of the native vacuum crystallizer” according to which the industrial model has been manufactured. The produced vacuum – crystallizer test on the line for condensed milk with sugar production showed that the product cooling on the native vacuum-crystallizer guarantees production of the finished product with microstructure meeting the requirements of State standard 53436–2009 “Canned Milk. Milk and condensed cream with sugar”. The carried out investigations evidences that the average lactose crystals size in the condensed milk with sugar cooled at the native crystallizer makes up 6,78 μm. The granulometric composition of the product crystalline phase cooled at the newly developed vacuum-crystallizer is completely identical to granulometric composition of the product cooled at “Vigand” vacuum-crystallizer.

Keywords: lactose, condensed milk with sugar, crystallization, vacuum cooling, consistency, granulometric composition, crystals size

Введение

Одним из основных технологических процессов производства сгущенного молока с сахаром является процесс кристаллизации лактозы (молочного сахара), которым определяется консистенция продукта.

Для цитирования

Добриян Е. И., Ильина А. М. Исследование процесса кристаллизации лактозы при охлаждении сгущенного молока с сахаром на отечественном вакуум-кристаллизаторе. // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 127–134. doi:10.20914/2310-1202-2016-4-127-134

Кристаллы лактозы размером до 10 мкм органолептически не ощущаемы, консистенция продукта, при этом, оценивается как «однородная». При размере кристаллов от 10 до 15 мкм консистенция продукта характеризуется как «слабомучнистая». Более крупные кристаллы являются причиной «мучнистости», «песчаности» и могут вызывать «хруст на зубах».

For citation

Dobriyan E. I., Il'ina A. M. Investigation of lactose crystallization process during condensed milk cooling using native vacuum-crystallizer. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 4. pp. 127–134. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2016-4-127-134

Крупные кристаллы образуют кристаллический осадок на дне банки или промышленной тары в виде толстого слоя. Появление этого порока не только ухудшает потребительский состав сгущенного молока с сахаром, но и затрудняет его промышленную переработку.

Лактоза в молоке находится в состоянии молекулярного раствора (размер частиц 1 мкм). При сгущении молока массовая доля лактозы увеличивается от 4–4,5% в исходной смеси, до 12% в сгущенной. что составляет концентрацию ее в водной части продукта 30–31%.

В неохлажденном сгущенном молоке с сахаром лактоза находится в состоянии ненасыщенного раствора. В процессе охлаждения раствора уменьшается кинетическая энергия его частиц и раствор переходит в состояние пересыщения. Характеристикой пересыщенности раствора является то предельное пересыщение, которое может быть достигнуто. Явление предельного пересыщения тесно связано со стабильностью пересыщенных растворов. Совокупность предельных концентраций раствора, полученных при различных температурах, при достижении которых сразу же начинается спонтанная кристаллизация, образуют метастабильную зону. Растворы с концентрацией вещества выше предельной, кристаллизуются моментально, насыщенный раствор, в котором кристалл не растет и не растворяется, называется стабильным.

Молекулы жидкости обладая значительной кинетической энергией, не могут образовывать сколько-нибудь устойчивый агрегат, и всякое случайное скопление молекул, образовавшееся благодаря тепловому движению, быстро распадается. При понижении температуры, а, следовательно, при уменьшении кинетической энергии молекул, образовавшиеся скопления их становятся более устойчивыми. Охлаждение продукта и, связанное с этим, уменьшение кинетической энергии и скорости движения растворенных частиц лактозы сопровождается переходом ее из насыщенного раствора в пересыщенный, а затем в кристаллическое состояние. Минимальное количество новой фазы, способное к самостоятельному существованию, называется кристаллическим зародышем. Он является центром кристаллизации новой фазы.

Если процессом кристаллизации лактозы не управлять, то происходит самопроизвольная кристаллизация ее с образованием очень крупных кристаллов (рисунок 1)

Одним из факторов, оказывающих существенное влияние на процесс кристаллизации лактозы, является скорость охлаждения продукта.

Необходимым условием обеспечения однородности консистенции продукта является вакуумное его охлаждение. Для этой цели в молочноконсервной промышленности применяют вакуумные кристаллизаторы фирмы «Виганд» производства Германии. Однако в последние годы выпуск их прекращен. Эксплуатируемые в настоящее время на заводах вакуум-кристаллизаторы, физически и морально устарели. Из-за отсутствия альтернативы, предприятия вынуждены использовать для охлаждения сгущенного молока с сахаром реакторы, работающие при атмосферном давлении или проводят гидролиз лактозы дорогостоящим импортным ферментом β -галактозидазой.

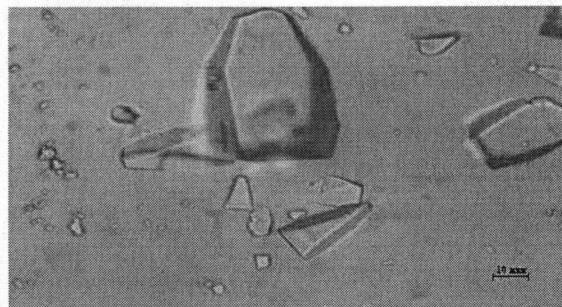


Рисунок 1. Кристаллы лактозы в сгущённом молоке с сахаром при самопроизвольной кристаллизации
Figure 1. Lactose crystals in the condensed milk with sugar during spontaneous crystallization

ФГБНУ «ВНИМИ» разработал «Исходные требования для разработки отечественного вакуумного кристаллизатора, обеспечивающего получение продукта, с микроструктурой, удовлетворяющей требованиям ГОСТ 31688–2012. Консервы молочные. Молоко и сливки сгущенные с сахаром. Технические условия.

Промышленные испытания разработанного вакуум-кристаллизатора показали, что, в сгущенном молоке с сахаром, охлажденном в изготовленном вакуум-кристаллизаторе, максимальное число кристаллов (69%) имеют размер до 5 мкм, в то время как, в сгущённом молоке с сахаром, охлаждённом в реакторе при атмосферном давлении, максимальное число кристаллов (25%) имеют размер 26,5 мкм. Средний размер кристаллов лактозы в исследуемых образцах составляет соответственно 6,78 мкм и 23,33 мкм.

Кристаллическая фаза продукта охлаждённого в вакуум-кристаллизаторе, характеризуется высокой степенью однородности, в то время, как кристаллическая фаза сгущенного молока с сахаром, охлажденного в реакторе характеризуется высокой полидисперсностью.

Дифференциальные кривые распределения кристаллов по размерам для рассматриваемых образцов показаны на рисунке 2.

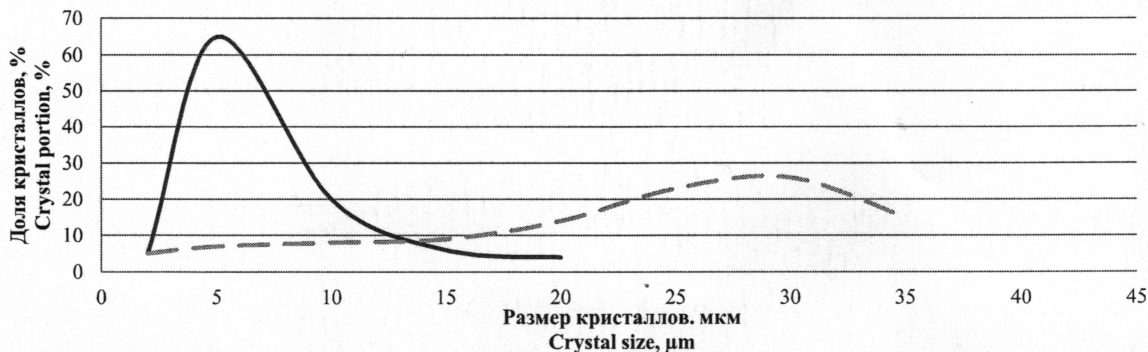


Рисунок 2. Дифференциальные кривые распределения по размерам кристаллов лактозы сгущённого молока с сахаром, охлаждённого: 1) в разработанном вакуум-кристаллизаторе, 2) в реакторе

Figure 2. The differential curves distribution by lactose crystals sizes of condensed cooled milk with sugar: 1) in the developed vacuum-crystallizer, 2) in the reactor

Дифференциальная кривая распределения кристаллов лактозы продукта, охлаждённого в кристаллизаторе имеет сдвиг пика распределения кристаллов в сторону уменьшения их размера, а для продукта, охлаждённого в открытых реакторах имеет место сдвиг пика распределения кристаллов в сторону увеличения их размера.

Гранулометрический состав кристаллической фазы продукта, охлажденного на вновь разработанном

вакуум-кристаллизаторе полностью идентичен гранулометрическому составу продукта, охлажденному на вакуум-кристаллизаторе фирмы «Виганд».

Проведенные исследования показали, что охлаждение сгущенного молока с сахаром в отечественном вакуум-кристаллизаторе гарантирует получение готового продукта с микроструктурой, удовлетворяющей требованиям ГОСТ 31688–2012. Консервы молочные. Молоко и сливки сгущенные с сахаром. Технические условия.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Рябова А.Е., Галстян А.Г., Малова Т.И., Радаева И.А. и др. К вопросу о гетерогенной кристаллизации лактозы в технологиях сгущенных молочных продуктов с сахаром // Техника и технология пищевых производств. 2014. №1. С.78-85
- 2 Parimaladevi P., Srinivasan K. Achievement of favorable uniform crystal size distribution of alpha-lactose monohydrate (α -LM) through swift cooling process // Journal of Food Engineering. 2015. V. 151. P. 1–6.
- 3 Huppertz T., Gazi I. Lactose in dairy ingredients: Effect on processing and storage stability // Journal of Dairy Science. 2016. V. 99. № 8. P. 6842–6851.
- 4 Parimaladevi P., Srinivasan K. Studies on the effect of different operational parameters on the crystallization kinetics of α -lactose monohydrate single crystals in aqueous solution // Journal of Crystal Growth. 2014. V. 401. P. 252–259.
- 5 ГОСТ 31688–2012. Консервы молочные. Молоко и сливки сгущенные с сахаром. Технические условия.

REFERENCES

- 1 Ryabov A.E., Galstyan A.G., Malova T.I., Radaeva I.A. et al. Question of heterogenous crystallization of the lactose in the technology of condensed milk products with sugar. *Tekhnika I tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and technology of food production] 2014, vol. 1, pp. 78-85 (in Russian)
- 2 Parimaladevi P., Srinivasan K. Achievement of favorable uniform crystal size distribution of alpha-lactose monohydrate (α -LM) through swift cooling process. *Journal of Food Engineering*, 2015, vol. 151, pp. 1–6.
- 3 Huppertz T., Gazi I. Lactose in dairy ingredients: Effect on processing and storage stability, *Journal of Dairy Science*, 2016, vol. 99, issue 8, pp. 6842–6851.
- 4 Parimaladevi P., Srinivasan K. Studies on the effect of different operational parameters on the crystallization kinetics of α -lactose monohydrate single crystals in aqueous solution. *Journal of Crystal Growth*, 2014, vol. 401, pp. 252–259
- 5 GOST 31688–2012 Konservy molochnye. Moloko I slivki sgushchennye s sakhrom. [State standard 31688–2012 Canned milk. Milk and sweetened condensed cream. Specifications] (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Екатерина И. Добрян к. т. н., ведущий научный сотрудник, лаборатория ресурсосберегающих процессов и функциональных продуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, ул. Люсиновская, 35, корпус 7, Москва 115093, Россия, dobreka@mail.ru
Анна М. Ильина к. т. н., младший научный сотрудник, лаборатория ресурсосберегающих процессов и функциональных продуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, ул. Люсиновская, 35, корпус 7, Москва 115093, Россия, mosanja@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Анна М. Ильина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты
Екатерина И. Добрян написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 03.10.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 18.11.2016

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ekaterina I. Dobriyan candidate technical science, leading researcher, Laboratory of resource-saving technologies & functional products, All-Russian dairy research institute, Lusinovskaya str., 35, Bld. 7, Moscow, 155093 Russia, dobreka@mail.ru
Anna M. Il'ina candidate technical science, junior researcher, Laboratory of research-saving technologies & functional products, All-Russian Dairy Research Institute, Lusinovskaya str., 35, Bld. 7, Moscow, 155093 Russia, mosanja@yandex.ru

CONTRIBUTION

Anna M. Il'ina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Ekaterina I. Dobriyan wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.3.2016

ACCEPTED 11.18.2016