

ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ

УДК 664.149

И. И. КОНДРАТОВА¹, С. Е. ТОМАШЕВИЧ¹, В. М. КОНОНОВИЧ², Л. М. ШОСТАК²

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЧЕРСТВЕНИЯ ЗЕФИРА, ОБОГАЩЕННОГО ПИЩЕВЫМИ ВОЛОКНАМИ

¹Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию,

Минск, Республика Беларусь, e-mail: nrc-candy@tut.by

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

(Поступила в редакцию 08.02.2013)

Введение. Зефир является популярным видом кондитерских изделий, вместе с тем срок его годности, в соответствии с ГОСТ 6441, составляет всего 1 месяц. Период реализации зефира ограничен процессами его черствения, которые обусловлены потерей значительной части влаги и кристаллизацией сахарозы [1, 2].

Влиять на процессы десорбции и кристаллизации сахарозы в зефире можно посредством введения различных ингредиентов, которые обладают водопоглотительной и влагоудерживающей способностью. С этой целью используют такие функциональные добавки, как камеди (гуаровая, ксантановая, плодов рожкового дерева), целлюлоза и ее производные, полидекстроза, растительные компоненты, содержащие полисахариды (овощные пюре, биомодифицированные продукты переработки злаков), [3–5] и т. д.

Цель работы – изучение влияния пищевых волокон на кинетику процесса кристаллизации сахарозы и динамику процесса десорбции зефира в процессе его хранения. В качестве источника пищевых волокон использовали порошок из клубней топинамбура, а также пребиотики инулин, олигофруктозу и их смесь.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили в лаборатории физико-химических исследований отдела технологий кондитерской и масложировой продукции Научно-практического центра НАН Беларуси по продовольствию и в центре физико-химических методов исследований Белорусского государственного технологического университета в 2011–2012 гг. Объектами исследования являлись зефирные массы и зефир, изготовленные с добавлением пищевых волокон. Характеристика рецептур зефира с добавлением порошка топинамбура (источника инулина), инулина и олигофруктозы приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Характеристика рецептур зефира с добавлением пищевых волокон

Вид добавки	Дозировки добавок, % СНП* в 110 г зефира (3 шт.)		
	образец № 1	образец № 2	образец № 3
Порошок топинамбура: инулин**	15	20	25
Инулин	30	50	100
Олигофруктоза	15	25	50
Смесь инулина и олигофруктозы:			
инулин	20	30	60
олигофруктоза	10	15	30

* По данным [6], СНП (максимально допустимая суточная норма потребления) инулина составляет 8 г, олигофруктозы – 10 г.

** Дозировку порошка топинамбура рассчитывали с учетом содержания в нем инулина.

Состояние сахарозы в зефире исследовали методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре «D8 advance» (Bruker AXS, Германия), $\text{CuK}\alpha$ -излучение, Ni-фильтр, ускоряющее напряжение $U = 40 \text{ кВ}$, ток рентгеновской трубки $I = 40 \text{ мА}$. Продолжительность исследований составляла 120 сут., периодичность – 10–15 сут.

Динамическую вязкость зефирных масс определяли с помощью ротационного вискозиметра «Reolab QC» (Anton Paar, Австрия) при скорости сдвига 34 с^{-1} и температуре $30 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура структурообразования зефира).

Соотношение в зефире свободной и связанной влаги определяли методом термogrавиметрического анализа на приборе «ТА-4000», модуль ТГ-50 (Mettler Toledo, Швейцария). В процессе эксперимента образцы зефира нагревали до температуры $400 \text{ }^\circ\text{C}$ со скоростью $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин.}$ и регистрировали изменение их массы. Исследования осуществляли в кюветах из оксида алюминия с вмещаемой массой образца около 20 мг. Продолжительность исследований составляла 90 сут., периодичность – 15–30 сут.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследований изучали влияние пищевых волокон на кинетику процесса кристаллизации сахарозы в зефире. Идентификацию пиков рассеивания на рентгенограммах зефирных масс осуществляли по дифракционной кривой сахарозы (рис. 1, *а*), признаком кристаллической структуры которой является пик интенсивности дифракционного отражения при угле рассеивания $25,3^\circ$ (2-Theta, град). Рентгенограммы, полученные в процессе хранения зефира (на примере продукта с добавлением порошка топинамбура в дозировке по образцу № 1), представлены на рис. 1, *б*.

Рентгенограммы зефира анализировали с помощью кинетических кривых, которые отражают степень перехода сахарозы из состояния насыщенного раствора в состояние кристаллов. Кинетические кривые на примере зефира с добавлением порошка топинамбура в дозировках 4,0; 5,4 и 6,8 % к массе фруктового пюре (соответственно образцы № 1, № 2 и № 3) приведены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, процесс кристаллизации сахарозы в зефире имеет три этапа (отображены на примере кривой 2): *A* – индукционный период, характеризующий состояние сахарозы в виде насыщенного раствора; *B* – образование центров кристаллизации и рост кристаллов сахарозы; *C* – асимптотическое приближение кинетической кривой к равновесному состоянию сахарозы в объеме образца.

Анализ кинетических кривых позволил установить продолжительность индукционного периода, скорость и продолжительность кристаллизации сахарозы в зефире функционального назначения. Влияние пищевых волокон на кинетику процесса кристаллизации сахарозы в зефире приведено в табл. 2.

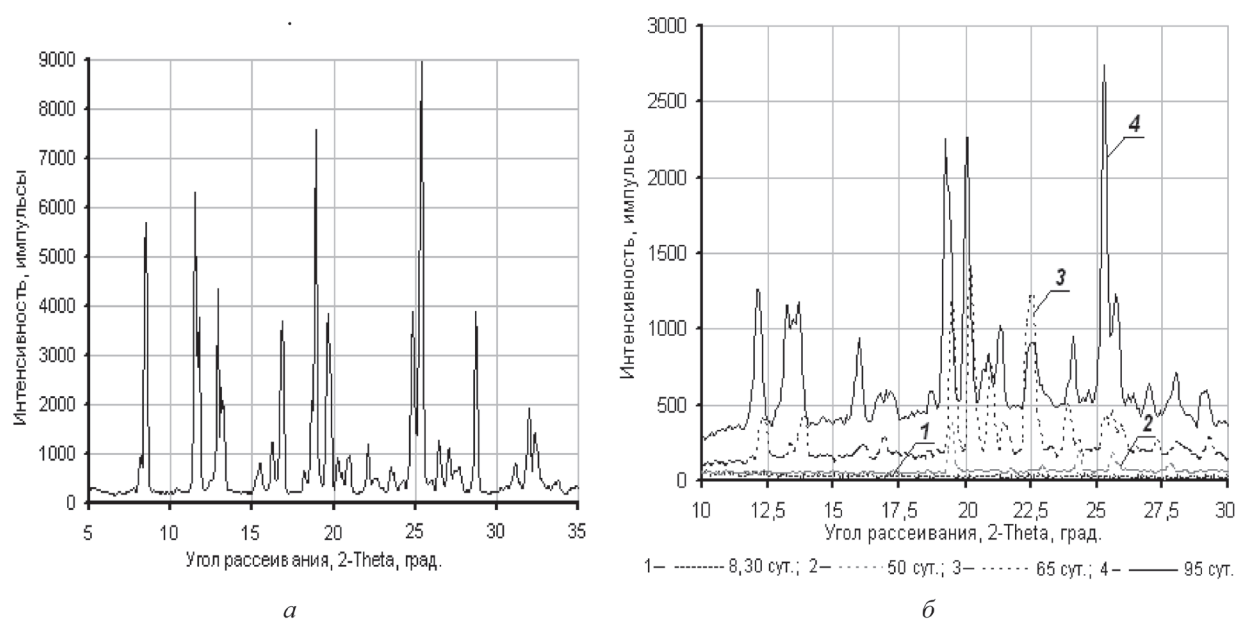


Рис. 1. Рентгенограммы: *а* – сахароза; *б* – зефир с порошком топинамбура

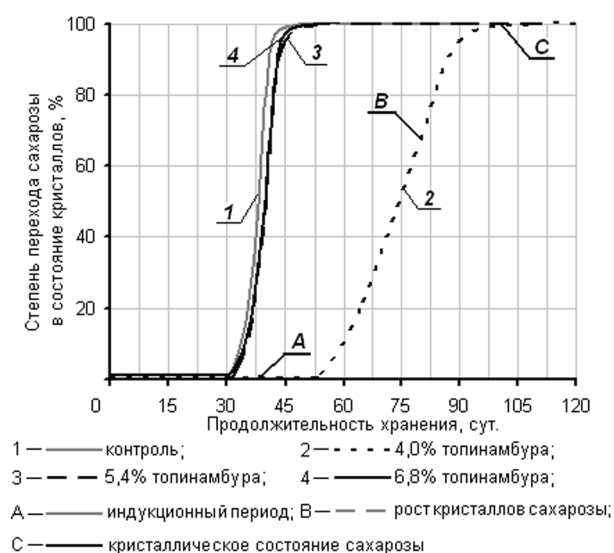


Рис. 2. Кинетические кривые процесса кристаллизации сахарозы в зефире с добавлением порошка топинамбура

Как видно из данных табл. 2, введение в рецептуру зефира порошка топинамбура (в дозировке по образцу № 1) и олигофруктозы позволило продлить индукционный период сахарозы в 1,7 раза, инулина – в 1,3–1,8 раза, смеси инулина и олигофруктозы – в 1,5–2,3 раза по сравнению с контрольным значением, что свидетельствует о способности данных добавок стабилизировать состояние сахарозы в зефире в виде насыщенного раствора, закрепленного студнеобразователем.

Помимо этого пищевые волокна снижают скорость кристаллизации сахарозы в процессе хранения готовых изделий. Так, использование порошка топинамбура позволяет замедлить скорость кристаллизации сахарозы в зефире в 1,4–3,7 раза, инулина и его смеси с олигофруктозой – в 2,9–4,0 раза, олигофруктозы – в 1,4–4,6 раза по сравнению с контролем.

Т а б л и ц а 2. Характеристики процесса кристаллизации сахарозы в зефире, обогащенном пищевыми волокнами

Вариант опыта	Продолжительность индукционного периода, сут.	Скорость кристаллизации сахарозы, %/сут.	Продолжительность кристаллизации сахарозы (без учета индукционного периода), сут.
Контроль	30	11,1	15
<i>С порошком топинамбура</i>			
Образец № 1	50	3,0	55
Образец № 2	30	8,2	20
Образец № 3	30	8,2	20
<i>С инулином</i>			
Образец № 1	40	3,7	35
Образец № 2	50	2,8	50
Образец № 3	55	3,5	40
<i>С олигофруктозой</i>			
Образец № 1	50	8,1	25
Образец № 2	50	3,1	40
Образец № 3	50	2,4	50
<i>Со смесью инулина и олигофруктозы</i>			
Образец № 1	45	3,8	30
Образец № 2	60	3,5	35
Образец № 3	70	2,9	45

Таким образом, пищевые волокна препятствуют образованию зародышей кристаллов сахарозы в зефирной массе и замедляют скорость их роста, что обусловлено следующими причинами: влиянием на вязкость дисперсионной среды зефира, увеличение которой замедляет скорость диффузии молекул сахарозы [7]; перераспределением в зефире свободной влаги, являющейся растворителем для сахарозы [8], и связанной влаги; способностью олигофруктозы повышать растворимость сахарозы [9].

На следующем этапе работы изучали влияние функциональных добавок на динамическую вязкость зефирных масс. Установлено, что при температуре 30 °С образцы зефирных масс с добавлением порошка топинамбура, инулина, а также смеси инулина с олигофруктозой характеризуются динамической вязкостью, на 5–30 % выше контрольного значения ($8,8 \pm 0,2$ Па·с). Олигофруктоза практически не оказывает влияния на динамическую вязкость зефирной массы.

Гипотезу о влиянии пищевых волокон на соотношение в зефире свободной и связанной влаги проверяли с помощью метода термогравиметрического анализа, который традиционно используется для изучения химического состава материалов и кинетики фазовых переходов. К исследованиям были приняты следующие образцы: контроль, зефир с топинамбуром и инулином в дозировках образца № 1, зефир с олигофруктозой и ее смесью с инулином в дозировках образца № 2. Выбор образца зефира с топинамбуром обусловлен длительным индукционным периодом и низкой скоростью кристаллизации сахарозы по сравнению с другими образцами, образцов зефира с пребиотиками – усредненными кинетическими характеристиками процесса кристаллизации сахарозы.

На рис. 3 приведена термограмма контрольного образца зефира, на которой отображена термогравиметрическая кривая *TG* и математическая дифференциальная кривая изменения массы *DTG*. Кривая *TG* отражает потерю массы в результате нагревания образца и позволяет судить о его термостабильности и составе на всех стадиях нагрева. Область кривой *TG* с постоянной скоростью высушивания характеризует удаление свободной влаги; область, в которой скорость высушивания снижается, – удаление связанной влаги [10]. Кривая *DTG* позволяет определить скорость высушивания на разных этапах нагрева образца, температуры начала и конца термической реакции; а ее пики – температуры, при которых скорости испарения влаги или улетучивания других веществ максимальны.

Как видно на рис. 3, при температурах 25–35 °С кривые *TG* и *DTG* характеризуют период прогрева образца зефира.

Процесс удаления из зефира влаги осуществляется в три этапа, что отражается на термограмме в виде следующих участков:

1 – область удаления свободной влаги (температурный диапазон в данном примере составляет 35–95 °С, эндотермический пик кривой *DTG* проявляется при температуре около 82 °С);

2 – область удаления физико-химически связанной влаги – осмотической и адсорбционной (температурный диапазон 95–170 °С, эндотермический пик кривой *DTG* – около 108 °С);

3 – область удаления химически связанной влаги и термического разложения сахарозы, белков, клетчатки, пектинов и других органических соединений продукта (нагрев свыше 170 °С, эндотермический пик – около 220 °С).

В результате термогравиметрического анализа зефира, обогащенного пищевыми волокнами, было установлено, что введение функциональных добавок оказало влияние на соотношение форм

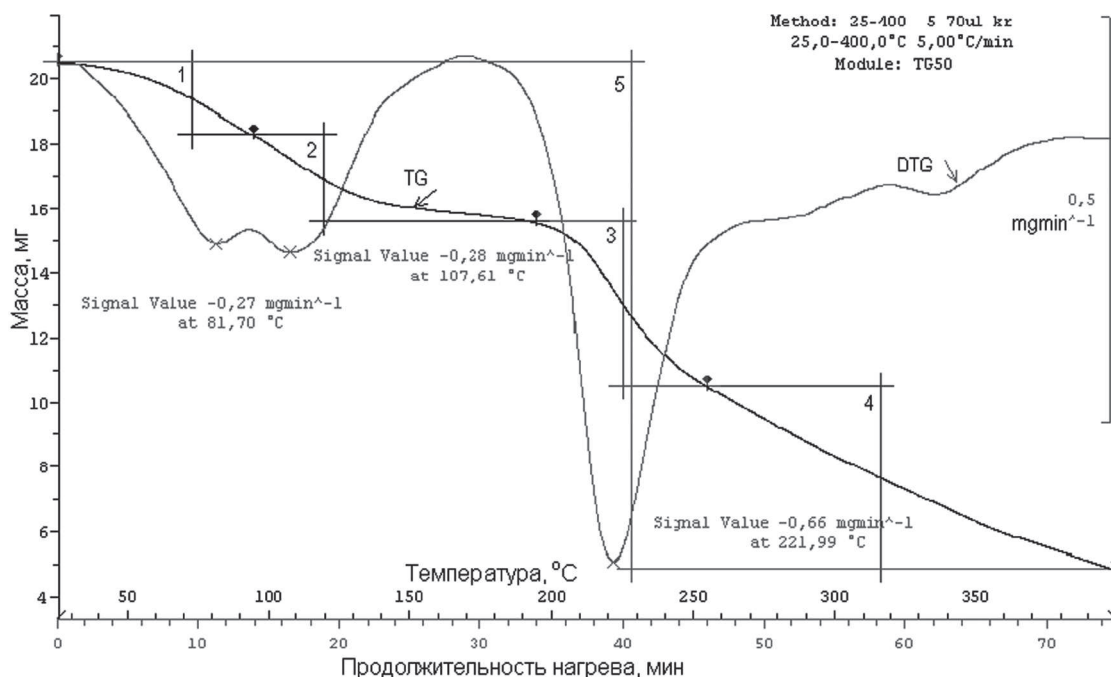


Рис. 3. Термограмма контрольного образца зефира

связи влаги в зефире. В начале исследования в контрольном образце зефира доля свободной влаги составляет 48,5 %, связанной – 51,5 % (т. е. соотношение свободной и связанной влаги 0,94:1). Введение пищевых волокон в зефир привело к увеличению содержания в нем доли связанной влаги в 1,1–1,3 раза по сравнению с контролем. Так, наибольшее количество связанной влаги (65,3 %) отмечено у зефира, обогащенного порошком топинамбура, что в 1,3 раза выше по сравнению с контролем. Данный факт обусловлен высоким содержанием в порошке топинамбура гидроколлоидов (инулина, белков, пектина, крахмала) и нерастворимых влагоудерживающих пищевых волокон (целлюлозы, геммицеллюлозы). Введение инулина и олигофруктозы, обладающих высокой водопоглотительной способностью и гигроскопичностью, привело к увеличению содержания связанной влаги в зефире в 1,1–1,2 раза относительно контрольного значения (до 57,8–59,3 %).

Анализ динамики соотношения свободной и связанной влаги в зефире в процессе его хранения (рис. 4) показал, что для контрольного образца зефира в течение 90 сут. хранения характерно практически постоянное соотношение свободной и связанной влаги – (0,90–0,96):1. Это свидетельствует о том, что в процессе хранения зефира его свободная и связанная влага испаряется с одинаковой скоростью.

Введение функциональных добавок оказало влияние на процесс десорбции и соотношение форм связи влаги в зефире. Так, в образцах с порошком топинамбура при хранении произошло увеличение доли свободной влаги по отношению к исходному значению в 1,7 раза. Вероятно, это обусловлено снижением тургора его клеточных тканей и концентрационной диффузией влаги из клеточных стенок порошка в зефирную массу [11]. Полученные результаты согласуются с исследованиями сорбционных свойств порошка топинамбура, в ходе которых установлено, что при его хранении в условиях относительной влажности воздуха от 85 до 45 % и температуре $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ происходит транспирация (выделение в окружающую среду) влаги в количестве 0,36–2,46 % соответственно до момента достижения равновесной влажности.

Олигофруктоза и ее смесь с инулином в процессе хранения зефира также вызывают увеличение доли свободной влаги по отношению к связанной. За 90 сут. хранения в зефире с олигофруктозой доля свободной влаги увеличилась на 26 %, в зефире со смесью инулина и олигофруктозы – на 37 %. Причиной этого, вероятно, является высокая гигроскопичность олигофруктозы, которая при влажности воздуха 45–85 % и температуре $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ превышает гигроскопичность сахара в 12–40 раз.

Что касается образцов зефира с инулином, то в процессе его хранения наблюдаются колебания соотношения свободной и связанной влаги. На конец срока хранения в данных образцах содержание свободной влаги снизилось на 15 %.

Известно, что студни обладают способностью к упрочнению своей структуры с течением времени [8]. По нашему мнению, при хранении зефира с инулином происходит упрочнение студ-

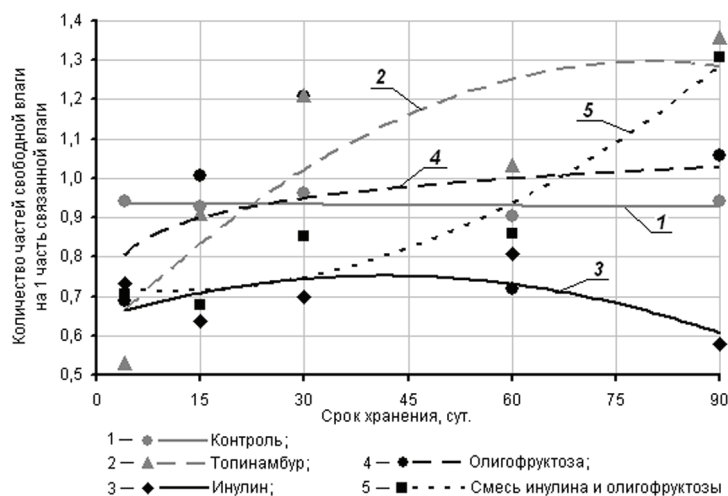


Рис. 4. Влияние пищевых волокон на динамику соотношения свободной и связанной влаги в зефире в процессе его хранения

необразной структуры, образованной агаром и инулином, что сопровождается поглощением данными коллоидами свободной влаги и переводом ее в состояние связанной влаги.

Полученные результаты термогравиметрического анализа о влиянии функциональных добавок на соотношение форм связи влаги в зефире в процессе его хранения коррелируют с динамикой их водной активности, которая также косвенно отражает соотношение свободной и связанной влаги в материале [12].

Заключение. Таким образом, на основании комплекса проведенных исследований изучено влияние пищевых волокон на процесс черствения зефира и установлено:

1) порошок топинамбура замедляет процесс кристаллизации сахарозы благодаря его способности увеличивать динамическую вязкость зефирной массы, а также повышать долю свободной влаги по отношению к связанной в дисперсионной среде изделий при их хранении;

2) инулин увеличивает вязкость дисперсионной среды зефира, что обеспечивает снижение скорости кристаллизации сахарозы;

3) олигофруктоза и ее смесь с инулином замедляют кристаллизацию сахарозы в зефире благодаря способности абсорбировать влагу из окружающей среды и тем самым увеличивать содержание свободной влаги в изделиях, а также в связи со способностью олигофруктозы повышать растворимость сахарозы.

Литература

1. *Маршалкин, Г. А.* Производство кондитерских изделий / Г. А. Маршалкин. – М., 1994. – С. 126.
2. *Зубченко, А. В.* Физико-химические основы технологии кондитерских изделий: учебник / А. В. Зубченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Воронеж, 2001. – С. 28–32.
3. *Иоргачева, Е. Г.* Структурно-реологические свойства пенообразных масс / Е. Г. Иоргачева, А. В. Коркач, К. В. Аветисян // Харчова наука і технологія. – 2009. – № 1 (6). – С. 30–33.
4. *Румянцева, В. В.* Влияние продуктов биоконверсии зернового сырья на качество мармелада / В. В. Румянцева, Н. М. Ковач, Д. А. Орехова // Кондитерское производство. – 2007. – № 6. – С. 20–22.
5. Способ производства зефира: пат. 3477 Республики Беларусь, МПК А 23L 1/06 / В. А. Васькина, Т. В. Павлова, Б. Э. Геллер, В. Г. Чиртулов, Н. И. Сухарева; заявитель Могилев. техн. ин-т; № а 970378; заявл. 11.07.1997; опубл. 30.09.2000 [Электронный ресурс]. – Нац. центр интел. собственности Респ. Беларусь. – Минск, 2008. – Режим доступа: <http://www.belgopatent.org.by>. – Дата доступа: 01.12.2012.
6. Величины суточного потребления пищевых и биологически активных веществ для взрослых в составе специализированных пищевых продуктов (СПП) и БАД к пище: прил. 5 // Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю): утв. решением Комиссии Таможенного союза, 28 мая 2010 г., № 299. – Минск, 2010. — С. 396–421 [Электронный ресурс] / М-во здравоохранения Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by>. – Дата доступа: 01.12.2012.
7. *Hartel, R. W.* Crystallization in foods / R. W. Hartel. – USA, Gaithersburg: An Aspen publication, 2001. – P. 9.
8. Конфеты / М. М. Истомина [и др.]. – М., 1979. – С. 77–78.
9. *Томашевич, С. Е.* Растворимость сахарозы в присутствии функциональных добавок / С. Е. Томашевич, И. И. Кондратова // Перспективы развития кондитерской промышленности: материалы III Респ. науч.-практ. семинара, Могилев, 27–28 окт. 2011 г. / Могилев. гос. ун-т продовольствия; редкол.: Е. С. Новожилова (отв. ред.) [и др.]. – Могилев, 2011. – С. 23–27.
10. Пищевая химия / А. П. Нечаев [и др.]; под ред. А. П. Нечаева. – СПб., 2001. – С. 459.
11. *Жадан, В. З.* Теплофизические основы хранения сочного растительного сырья на пищевых предприятиях / В. З. Жадан. – М., 1976. – С. 14.
12. *Кондратова, И. И.* Изменение водной активности в процессе хранения зефира, обогащенного пищевыми волокнами / И. И. Кондратова, С. Е. Томашевич // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3–4 окт. 2012 г. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по продовольствию; редкол.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2012. – С. 215–217.

I. I. KANDRATAVA, S. E. TAMASHEVICH, V. M. KANANOVICH, L. M. SHOSTAK

RESEARCH ON STALING OF MARSHMALLOW SOUFFLÉ ENRICHED IN FOOD FIBRES

Summary

The article deals with the data on the influence of food fibers on staling of marshmallow soufflé. It is established, that the use of powder from the tubers of Jerusalem artichoke and oligofructose slows down the formation and growth of sucrose crystals due to the ability of crystals to increase the content of moisture in marshmallow soufflé, and also due to the ability of oligofructose to increase the solubility of sucrose. Inulin slows down sucrose crystallization in marshmallow soufflé owing to its ability to raise the dynamic viscosity of dispersion medium of marshmallow soufflé.