

Обоснование композиции цитрусовых волокон и гуаровой камеди для стабилизации структуры замороженных десертов

ВНИХИ – филиал ФГБНУ
«ФНЦ пищевых систем
им В.М. Горбатова» РАН, Москва,
Российская Федерация

П. Б. Ситникова, А. А. Творогова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Полина Борисовна Ситникова
E-mail: p.sitnikova@fncps.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ситникова, П.Б., & Творогова, А.А.
(2024). Обоснование композиции цитрусовых волокон и гуаровой камеди для стабилизации структуры замороженных десертов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 119-132. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.4.529>

ПОСТУПИЛА: 06.06.2024

ДОРАБОТАНА: 13.12.2024

ПРИНЯТА: 16.12.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 27.12.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию FGUS-2022-0013 ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН



АННОТАЦИЯ

Введение: Замороженные фруктовые десерты, изготавливаемые на предприятиях отрасли мороженого, характеризуются невысоким содержанием сухих веществ (29–30 %) и отсутствием молочной основы. Это приводит к формированию излишне плотной консистенции и органолептически ощутимых кристаллов льда. Поиск эффективных стабилизаторов для улучшения этих показателей является важной технологической задачей в производстве замороженных взбитых десертов.

Цель: Установить влияние цитрусовых волокон на структуру и консистенцию замороженных взбитых фруктовых десертов при их использовании в качестве моностабилизатора и в композиции с гуаровой камедью.

Методы: Использованы реологические, микроструктурные и термостатические методы исследований. В качестве контроля использовали десерты с традиционно применяемым стабилизатором желатином.

Результаты: Установлено, что использование цитрусовых волокон в качестве моностабилизатора в таком же количестве, как и желатин (0,5 %) не приводит к достижению необходимого уровня динамической вязкости (не менее 125 мПа·с при градиенте сдвига на срез 0,83 с⁻¹). В образце с волокнами и гуаровой камедью значение этого показателя составляло более 280 мПа·с. Увеличение количества волокон до уровня 1 % не привело к заметному повышению вязкости, но способствовало появлению излишне горького вкуса. Однако по термо-формоустойчивости образцы десертов с желатином и цитрусовыми волокнами значительно не отличались. В процессе замораживания образцы с волокнами по дисперсности кристаллов льда несколько уступали контрольному образцу, но после непродолжительного хранения (1,5 мес.) размер кристаллов льда во всех образцах составлял 43–47 мкм. За указанный период хранения дисперсность кристаллов льда в наименьшей степени снизилась в образцах с волокнами. По дисперсности воздушной фазы образцы с цитрусовыми волокнами уступали контрольному образцу с желатином – белком с пенообразующей способностью.

Выводы: Результаты исследований показали, что в производстве замороженных десертов целесообразно использовать цитрусовые волокна в композиции с гуаровой камедью в соотношении 3:2. Для дальнейших исследований интерес представляет обоснование эффективных композиций цитрусовых волокон с другими гидроколлоидами или белками.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

структура десерта, консистенция десерта, кристаллы льда, воздушные пузырьки, взбитые замороженные фруктовые десерты, вязкость смеси

Rationale for the Composition of Citrus Fibers and Guar Gum for Stabilizing the Structure of Frozen Desserts

All-Russian Scientific Research Institute
of Refrigeration Industry, Moscow, Russia

Polina B. Sitnikova, Antonina A. Tvorogova

CORRESPONDENCE:

Polina B. Sitnikova,

E-mail: p.sitnikova@fncps.ru

FOR CITATIONS:

Sitnikova, P.B., & Tvorogova, A.A. (2024). Rationale for the composition of citrus fibers and guar gum for stabilizing the structure of frozen desserts. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 119-132. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.529>

RECEIVED: 06.06.2024

REVISED: 13.12.2024

ACCEPTED: 16.12.2024

PUBLISHED: 27.12.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING:

The article is prepared as part of the research under the state assignment of V.M. Gorbатов Federal State Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences



ABSTRACT

Introduction: Frozen fruit desserts being produced at the ice cream production enterprises are characterized by a low-level content of dry solids (29-39%) and the absence of milk base. This leads to the formation of an excessively dense consistency and organoleptically perceptible ice crystals. The search for effective stabilizers for improving these parameters is an important technological task for the production of frozen whipped desserts

Purpose: To determine how citrus fibers affect the structure and texture of frozen whipped fruit desserts, both when used alone as a monostabilizer and in the composition with guar gum.

Materials and Methods: The rheological, microstructural and thermostatic research methods were used. Desserts that utilized the traditional gelatin stabilizer served as the control.

Results: It has been established that the use of citrus fibers as monostabilizer in the same quantity as gelatin (0,5%) does not achieve the necessary level of dynamic viscosity (not less than 125 mPa·s with a shear gradient of 0,83 c-1). In the sample with fibers and guar gum the value of this indicator was more than 280 mPa·s. Raising the fiber content to 1% did not significantly enhance viscosity, but it did result in a pronounced bitter flavor. However the samples of desserts with gelatin and citrus fibers did not differ significantly in terms of thermal and shape stability. During freezing the samples with fibers were slightly inferior in dispersion of ice crystals to the control sample but after a short storage (1,5 months) the size of ice crystals in all samples was 43-47 μm. The dispersion of ice crystals during the specified period of storage decreased in the samples with fibers to the least degree. The samples with citrus fibers in terms of air phase were inferior to the control sample with gelatin – the protein with the foam creating ability

Conclusion: The research results have shown that in the production of frozen desserts it is advisable to use citrus fibers in a composition with guar gum in a ratio of 3:2. For future research, it is relevant to validate the efficacy of citrus fiber compositions with other hydrocolloids or proteins

KEYWORDS

dessert structure; dessert consistency; ice crystals; air bubbles; whipped frozen fruit desserts; viscosity of the mixture

ВВЕДЕНИЕ

Взбитые замороженные фруктовые десерты не содержат молочной основы, характеризуются невысоким содержанием сухих веществ (30–32%), что приводит к формированию органолептически ощутимых кристаллов льда¹ (Творогова и соавт., 2013). Во взбитых замороженных фруктовых десертах, в отличие от мороженого, отсутствует жировая фаза, способствующая формированию каркаса и поддерживающая структуру продукта, отсутствуют белковые компоненты, способствующие формированию более мелких пузырьков воздуха, за счёт пенообразующей способности. Известно, что в десертах формируются в 1,5–4,4 раза более крупные воздушные пузырьки и в 1,3–2,2 раза более крупные кристаллы льда, чем в молочном мороженом (Goff, 2016; Patel, 2006; Sitnikova & Tvorogova, 2019). Применение гидроколлоидов может способствовать улучшению стабильности структуры продукта за счёт снижения размеров кристаллов льда в процессе формирования структуры продукта (Cartagena, 2024; Da Silva Costa, 2020).

Гуаровая камедь является наиболее распространённым гидроколлоидом, применяющимся не только в технологии мороженого, но и во взбитых замороженных фруктовых десертах. При использовании гуаровой камеди формируется структура с мелкими кристаллами льда, повышается устойчивость продукта к температурным колебаниям (Yang 2020).

В связи с этим актуальным вопросом является совершенствование структуры взбитых замороженных фруктовых десертов. С этой целью рационально использовать дополнительно к гидроколлоидам ингредиенты с высокой влагоудерживающей способностью. К ним относятся и пищевые волокна. Ранее во ВНИИ (Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им В.М. Горбатова» РАН) уже проводили исследования возможности применения в технологии мороженого пищевых волокон, получаемых из целлюлозы. Результаты исследований, представленные в статьях (Творогова & Коновалова, 2016; Творогова & Ситникова, 2014, Soukoulis, 2016, Xavier, 2022), показывают заметное снижение дисперсности кри-

сталлов льда в процессе хранения готового продукта. Причиной порока является иницирование кристаллизации воды нерастворимыми частицами волокон.

Наибольшей степенью растворения в воде характеризуются цитрусовые волокна, активным нутриентом которых является пектин (Голубева, 2015). Их получают из отходов цитрусовых культур путем экстрагирования. Исследования показали, что цитрусовой клетчатке свойственна способность к набуханию и удерживанию воды. Кроме того, в результате исследований выявлены физиологические функциональные свойства цитрусовых волокон (Jiang, 2022). Цитрусовое волокно обладает высокой влагоудерживающей способностью, эмульгирующими, стабилизирующими и структурообразующими свойствами, гипоаллергенно и не содержит глютен. Оно не является пищевой добавкой, поэтому не входит в перечень ингредиентов с индексом «Е» (Есимова, 2020).

Благодаря хорошим свойствам цитрусовых волокон, как гидроколлоидов, их можно использовать в качестве загустителей, стабилизаторов, влагоудерживающих агентов во многих продуктах питания: в йогуртах, соусах, напитках, мясных, кондитерских и хлебобулочных изделиях (Bonarius, 2014; Grigelmo-Miguel, 1998; Sendra, 2010; Su, 2020; Kieserling, 2019). Цитрусовые волокна целесообразно использовать в производстве пищевой продукции, предусматривающей процесс гомогенизации. Применение физических методов обработки, в частности высокого давления при гомогенизации, приводит к увеличению водосвязывающей способности волокон и вязкости их растворов (Su, 2019).

Результаты исследования влияния цитрусовых волокон на физические, химические и органолептические свойства молочного мороженого с массовой долей жира 7% показывают положительное влияние на термоустойчивость мороженого. Цитрусовые волокна вносили в количестве 0,4%, 0,8% и 1,2%. Установлено, что цитрусовые волокна в отсутствие традиционно применяемых стабилизаторов не выполняют их технологически значимую роль, не приводят к достижению характерного для смесей уровня вязкости. И, как следовало ожидать,

¹ Чижова, П.Б. (2013) Разработать технологию замороженных фруктовых десертов с молочными продуктами: автореф... дис. кан. техн. наук. Москва.

смесь характеризовалась низкой способностью к насыщению воздухом, а мороженое — плотной консистенцией и структурой с ощутимыми кристаллами льда (Ландиховская, 2021). Добавление цитрусовых волокон вызывает повышение титруемой кислотности молочного мороженого с массовой долей жира 6 %, улучшает показатели твёрдости, вязкости и устойчивости к таянию, но не позволяет достичь высоких органолептических показателей (Akalin, 2018).

Пищевые апельсиновые волокна «Citri-Fi» повышают пищевую ценность мягкого молочного мороженого с пищевыми волокнами «Citri-Fi» и сиропом сахарного сорго², улучшают консистенцию и позволяют увеличить взбитость продукта (Голубева, 2015; 2019). Применение апельсинового волокна в количестве 1 % приводит к повышению твердости и липкости молочного лимонного мороженого с массовой долей жира 4 %, но не влияет на его клейкость (Grizel, 2014). Введение цитрусовых волокон в количестве 0,3, 0,5 и 1 % в состав замороженного десерта, состоящего из аквафабы лимской фасоли, кокосового молока, фиолетового сладкого картофеля и цитрусовых волокон, улучшает структуру продукта, снижает его твёрдость. С увеличением массовой доли волокон улучшается устойчивость образцов к таянию (Trinh, 2021).

Использование цитрусовых волокон в количестве 0,7 % в сочетании с 0,3 % полисахаридов (исключая крахмалопродукты) улучшает структуру и потребительские свойства замороженных кислородсодержащих десертов. Установлено положительное влияние разработанной композиции на устойчивость пены и образцов к таянию. Отмечено, что введение волокон приводит к снижению показателя «активность воды» в замороженных кислородсодержащих десертах (Грошева, 2014; Неповинных, 2015). Установлено положительное влияние применения цитрусовых волокон в комбинации с гуаровой камедью, отмечено, что в молочном мороженом с массовой долей жира 2,5 % с пищевым волокном и гуаровой камедью показатель термоустойчивости продукта выше, чем в образцах только с пищевым волокном и комби-

нацией пищевого волокна и ксантановой камеди (Ландиховская & Творогова, 2023).

Применение пищевых волокон, в частности цитрусовых, изучено лишь в производстве мороженого — продукте на молочной основе. Представленные выше данные о применении цитрусового волокна в технологии взбитых замороженных десертов эпизодичны и неоднозначны. Учитывая незначительное количество данных о влиянии цитрусовых волокон на консистенцию и структуру взбитых замороженных десертов, не содержащих молочной основы определена цель исследований.

Цель текущего исследования: установление влияния цитрусовых волокон на структуру и консистенцию замороженных взбитых фруктовых десертов при их использовании в качестве моностабилизатора и в композиции с гуаровой камедью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты

В качестве объектов исследования были выбраны образцы взбитых замороженных фруктовых десертов, выработанных на основе яблочного пюре, в качестве компонентов для формирования структуры продукта использовали: желатин (в контрольном образце), цитрусовые волокна «Cetri-Fi» и композицию цитрусового волокна с гуаровой камедью.

Методы

Исследование дисперсности кристаллов льда и воздушных пузырьков проводили с использованием микроскопа CX41RF (OLYMPUS, Япония) и термостолика PE-120 (LinkamInstruments, Великобритания). Полученные микрофотографии обрабатывали с применением программы ImageScopeM (СМА, Россия), определяли размер не менее 500 структурных элементов (Творогова & Чижова, 2013).

² Пат. 2546220 С1 Российская Федерация, МПК А23G 9/00 Мягкое молочное мороженое с сиропом сахарного сорго/ Голубева Л.В., Пожидаева Е.А., Журавлева О.В., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Воронежский государственный университет инженерных технологий (ФГБОУ ВПО ВГУИТ). — № 2013150432/13, заявл. 12.11.2013, опубл. 10.04.2015, Бюл. 10. — 6 с.

Взбитость определяли по ГОСТ 31457–2002 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия».

Динамическую вязкость смесей исследовали на реовискозиметре DV2+PRO с программным обеспечением Rheocalc V3 1–1 (BrookField, США) при постоянной температуре (4 ± 1) °C и скорости вращения шпинделя $0,83 \text{ с}^{-1}$, использовали шпиндель SC4–31 и кюветы объемом 10 см^3 (Творогова & Шобанова 2022).

Метод определения устойчивости образцов к таянию основан на определении массовых долей плава мороженого, образующегося за определенный промежуток времени при воздействии температуры ($20 \pm 0,5$) °C (Гурский 2022; Ситникова 2018). Исследование проводят с применением термостата с жидкостным охлаждением для поддержания температуры марки TC-1/80 СПУ и весы лабораторные с точностью определения массы $\pm 0,1 \text{ г}$. Исследования проводили не менее чем в 2-х повторностях.

Метод исследования формоустойчивости мороженого базируется на оценке способности взбитых замороженных десертов сохранять форму порции под воздействием положительных температур. Изложен в Методике определения формоустойчивости мороженого и взбитых замороженных десертов по площади растекания плава, утвержденной во ВНИИХИ (Ситникова 2018). Исследования проводили с использованием термостата TC-1/80 СПУ и цифрового фотоаппарата. В термостате поддерживали температуру ($20 \pm 0,5$) °C.

Процедура исследования

В ходе исследований было выработано 3 образца взбитых замороженных десертов: (1) — с желатином (контроль), (2) — с цитрусовыми волокнами, (3) — с цитрусовым волокном и гуаровой камедью.

Десерты изготавливали по следующей схеме: смешивание сырьевых компонентов, пастеризация смеси в ванне для пастеризации при температуре (82 ± 1) °C, затем ее охлаждение до температуры 4 ± 2 °C и фризирование во фризере CARPIGIANI labo 8 12 E до достижения температуры минус 5 — минус 6 °C, выдерживание мягкого десерта в морозильном ларе при температуре минус 30 °C до до-

стижения температуры внутри порции не выше минус 18 °C и хранение готового продукта при температуре минус 20 °C.

Исследование динамической вязкости проводили в смеси для десертов после охлаждения до температуры 4 ± 2 °C; взбитость определяли в десертах в процессе фризирования при достижении температуры продукта минус 5–6 °C.

В десертах после закаливания и через 1,5 месяца хранения при температуре минус (18 ± 1) °C определяли дисперсности кристаллов льда и воздушных пузырьков. Также в десертах после закаливания определяли устойчивость к таянию и формоустойчивость.

Верификация данных

Все исследования проводили не менее чем в 3-х кратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Во взбитых замороженных фруктовых десертах, изготавливаемых по технологии мороженого, отсутствуют жир и сухой обезжиренный молочный остаток, поэтому на формирование структуры основное влияние оказывают стабилизаторы. Функциональная роль стабилизаторов заключается во взаимодействии с водой, что приводит к увеличению вязкости смеси и при замораживании в условиях фризирования к формированию в продукте стабильной кристаллической решетки.

Исследование динамической вязкости и способности смеси для десертов к насыщению воздухом

Все опытные образцы (Таблица 1) характеризовались одинаковой массовой долей общих сухих веществ, фруктов, сахаров, стабилизаторов, но отличались их составом. При исследовании динамической вязкости смеси было установлено, что этот показатель в образцах 1 и 2 был ниже более чем в 10 раз по сравнению с контрольным образцом (3). А в образце 2 способность к насыщению воздухом, определяемая по показателю «взбитость»,

Таблица 1

Характеристика готового продукта, вязкость, взбитость

Table 1

Characteristics of the Final Product: Viscosity and Overrun

Наименование	Образец		
	1	2	3
Массовая доля сухих веществ, % в т.ч.	28,0	28,0	28,0
Фруктов, %	1,5	1,5	1,5
Сахарозы, %	26,5	26,5	26,5
Желатина, %	0,5	–	–
Цитрусовых волокон, %	–	0,5	0,3
Гуаровой камеди, %	–	–	0,2
Взбитость, %	83	28	73
Вязкость при скорости сдвига на срез 0,83 с ⁻¹	22 ± 2	23 ± 3	286 ± 5

была в 2,6–2,9 раза ниже, чем в остальных образцах фруктовых десертов.

Было установлено, что требуемый уровень вязкости в смеси для фруктовых десертов (125–1000 мПа·с при градиенте сдвига на срез 0,83 с⁻¹, база данных ВНИХИ) при использовании цитрусовых волокон композиции цитрусовых волокон в качестве моностабилизатора не достигается (Рисунок 1). В связи с этим целью исследований на следующей стадии исследований стало выяснение влияния бо-

лее высокого количества (до 1%) волокон на динамическую вязкость смесей для десертов. Результаты представлены на Рисунке 1.

Исследования показали, что при увеличении содержания волокон в смеси для десертов до 1% в значение динамической вязкости не достигло даже минимального технологически необходимого значения (125 мПа·с). При массовой доле цитрусовых волокон до 1% при органолептической оценке отмечено улучшение консистенции, стала более эластичной. При этом в десертах обнаружен неприятный горький привкус. На этом основании увеличение массовой доли цитрусовых волокон выше 0,5% признано нецелесообразным.

Исследование термостатических показателей десертов

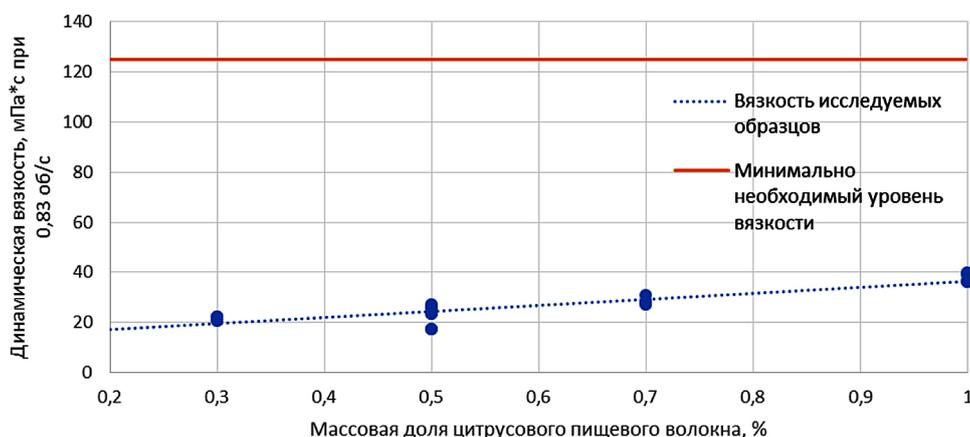
Самым уязвимым показателем фруктовых десертов, как известно является их низкая термо- и формоустойчивость (Творогова, 2021; Goff, 2013; Malgor, 2020; Palka, 2023). При исследовании термостойкости установлено, что массовые доли плава в образцах 2 и контрольном на протяжении всего периода выдерживания заметно не отличаются (всего на 1–6%) (Рисунки 2–4). В образце 3 по сравнению с контрольным массовая доля плава в процессе выдерживания была больше на 6–29%. Через 90 минут термостатирования массовая доля плава

Рисунок 1

Влияние массовой доли цитрусового пищевого волокна на вязкость смеси для десертов

Figure 1

Effect of Citrus Dietary Fiber Mass Fraction on the Viscosity of Dessert Mixes



в образцах по сравнению с контрольным образцом была больше — в образце 2 на 6%, в образце 3 на 23%. Различия в термоустойчивости обусловлены не только отличиями стабилизаторов образцов по влагоудерживающей способности, но и по взбитости. Сравнительно высокая термоустойчивость образца 2 объясняется низким уровнем взбитости (23%).

Данные, приведенные на Рисунке 3, позволяют провести сравнительный анализ динамики процесса таяния образцов в различные периоды выдерживания. Максимальная скорость таяния десертов и период ее достижения составили для образцов: 1–1,2 %/мин от 90 до 120 мин., 2–1,2 %/мин от 90 до 110 мин, 3–1,4 %/мин через 80 мин исследования. Полученные данные по термоустойчивости показали наилучшие значения этого показателя

Рисунок 2

Устойчивость образцов десертов к таянию

Figure 2

Resistance of Dessert Samples to Melting

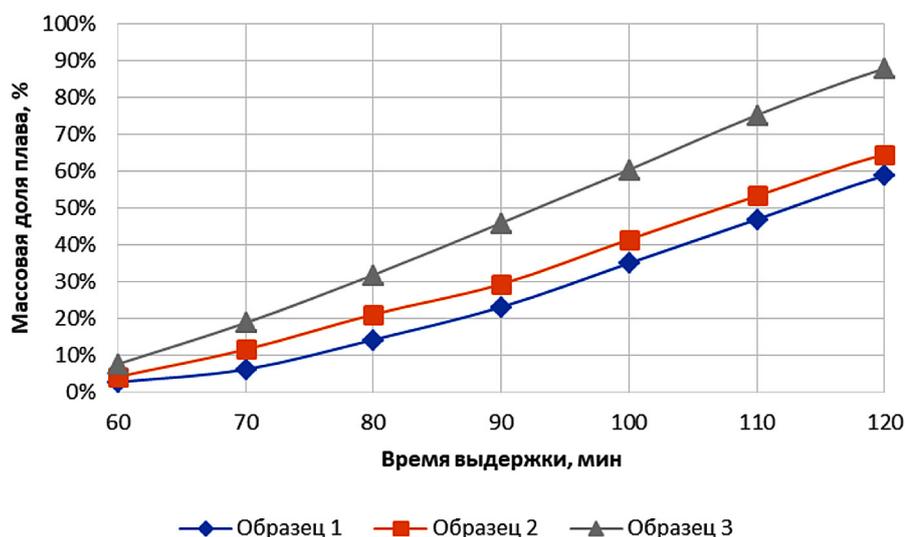


Рисунок 3

Динамика скорости таяния

Figure 3

Dynamics of Melting Rate

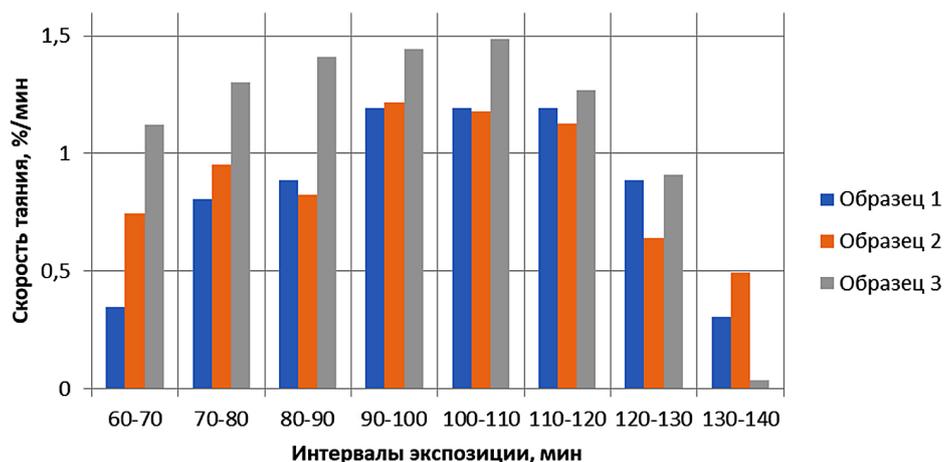
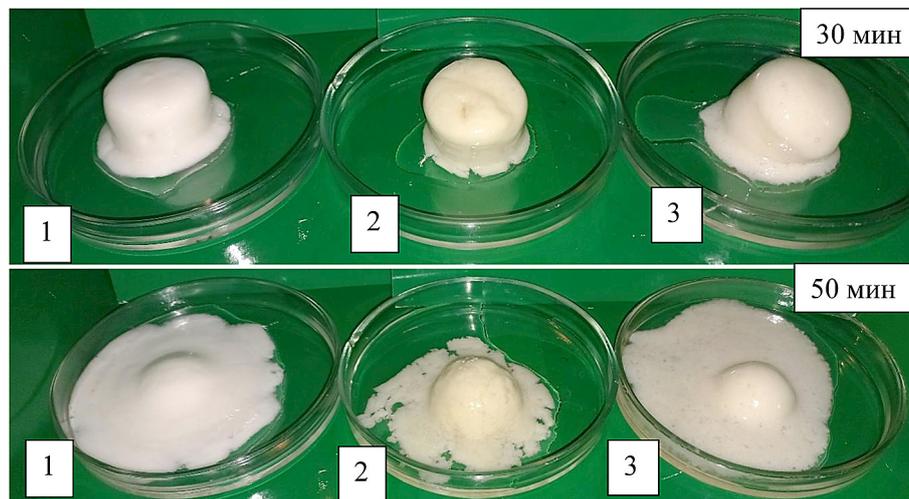


Рисунок 4

Формоустойчивость образцов взбитых замороженных фруктовых десертов через 30 и 50 минут экспозиции при температуре $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$

Figure 4

Shape Stability of Whipped Frozen Fruit Dessert Samples After 30 and 50 Minutes of Exposure at a Temperature of $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$



в образцах с цитрусовыми волокнами после 60 мин их выдерживания.

Полученные данные по исследованию устойчивости к температурным воздействиям коррелируют с данными по показателю «формуустойчивость» (Рисунок 4). Важно отметить, что в образце 2 наблюдается расслоение плава и более заметное отделение жидкости, чем в других образцах, что обычно несвойственно для взбитых замороженных десертов.

Изучение микроструктурных показателей десертов

Основным технологическим процессом в производстве взбитых замороженных фруктовых десертов является процесс фризирования — одновременного замораживания и взбивания смеси. Именно в процессе фризирования формируется структура десерта и его структурные элементы. Особое внимание уделяют дисперсности кристаллов льда, т.к в процессе фризирования происходит процесс нуклеации — формирования их зародышей (Творогова & Ландиховская, 2018; Шобанова, 2018; Творогова, 2021; Giudici, 2021; Jia, 2022), которые в дальнейшем при закаливании являются центра-

ми кристаллизации для оставшейся в продукте влаги.

На морфологические показатели (размер, форма) кристаллов льда замороженных десертов влияют скорость замораживания, вязкость смеси, термомеханическое воздействие на продукт в процессе замораживания и взбивания. На Рисунке 5 приведены микрофотографии кристаллов льда исследуемых образцов. Данные по дисперсности кристаллов льда и их среднему размеру представлены в Таблице 2.

Как следует из данных, приведенных на Рисунке 5 и в Таблице 2, во всех образцах после закаливания сформировались достаточно мелкие кристаллы льда, их содержание ниже порога органолептической оскутмости (50 мкм) составило более 73%, что для замороженных взбитых фруктовых десертов является хорошим результатом.

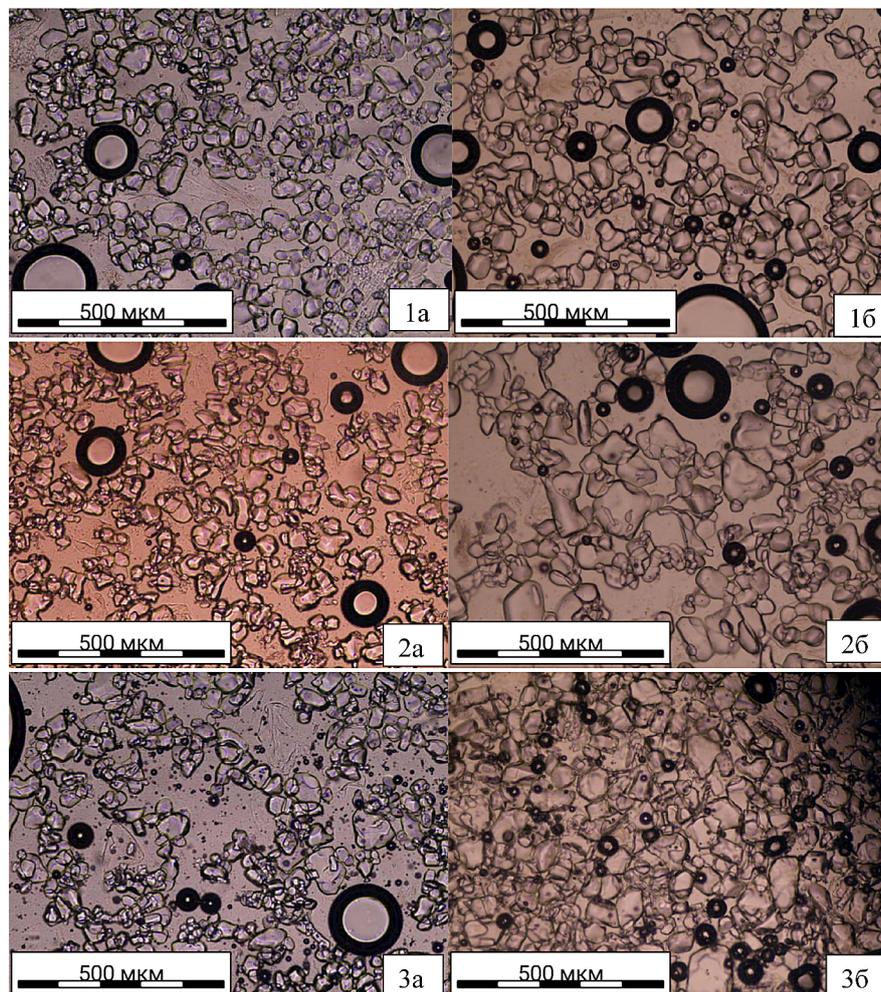
Установлено, что уже через 1,5 месяца хранения наблюдается рост кристаллов льда за счёт их перекристаллизации. Важно отметить, что в образце 3 этот процесс происходил более медленно, средний размер кристаллов льда по сравнению с контролем был меньше на 6%.

Рисунок 5

Микрофотографии кристаллов льда в замороженных взбитых фруктовых десертах

Figure 5

Microphotographs of Ice Crystals in Frozen Whipped Fruit Desserts



Примечание. а – после закаливания, б – через 1,5 месяца хранения

Note. a – after hardening, b – after 1.5 months of storage

Таблица 2

Средний размер кристаллов льда в десертах и их содержание до 50 и 70 мкм

Table 2

Average Ice Crystal Size in Desserts and Their Content up to 50 and 70 μm

Наименование	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Содержание кристаллов льда до 50 мкм	81	83	73
Содержание кристаллов льда до 70 мкм	95	95	94
Средний размер кристаллов льда, мкм	37	36	42
	Через 1,5 месяца хранения		
Содержание кристаллов льда до 50 мкм	62	73	68
Содержание кристаллов льда до 70 мкм	87	92	86
Средний размер кристаллов льда, мкм	47	43	45

Таблица 3

Средний диаметр воздушного пузырька в десертах и их содержание с размером до 50 мкм через 1,5 мес. хранения

Table 3

Average Air Bubble Diameter in Desserts and Their Content with Sizes up to 50 μm After 1.5 Months of Storage

Наименование показателей	Содержание пузырьков воздуха до 50 мкм	Средний диаметр пузырька воздуха, мкм
Образец 1	87	29
Образец 2	76	39
Образец 3	79	36

В образце 2 с пищевыми волокнами средний размер кристаллов льда был наименьшим, однако уже через 1,5 месяца хранения увеличился почти на 20%.

Разновидность стабилизатора сказалась и на состоянии важного структурного элемента десертов воздушных пузырьков. Состояние воздушных пузырьков в десертах показано на Рисунке 6, данные о дисперсности (среднем диаметре и содержании пузырьков размером до 50 мкм) в образце через 1,5 мес. приведены в Таблице 3.

Из данных Таблицы 3 следует, что наибольшая дисперсность воздушной фазы характерна для десертов с желатином в контрольном образце, что объясняется пенообразующими свойствами этого белка. Использование композиции гуаровой камеди и пищевых волокон лишь незначительно улучшило этот показатель образца с волокнами. В целом дисперсность воздушной фазы в десертах с цитрусовыми волокнами характерна для этой разновидности продукции.

При проведении органолептической оценки образцов во всех образцах с волокном был отмечен горький привкус с возрастающей интенсивностью по мере увеличения количества волокон. Для его нивелирования желательно в качестве фруктового сырья использовать продукты переработки цитрусовых культур.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

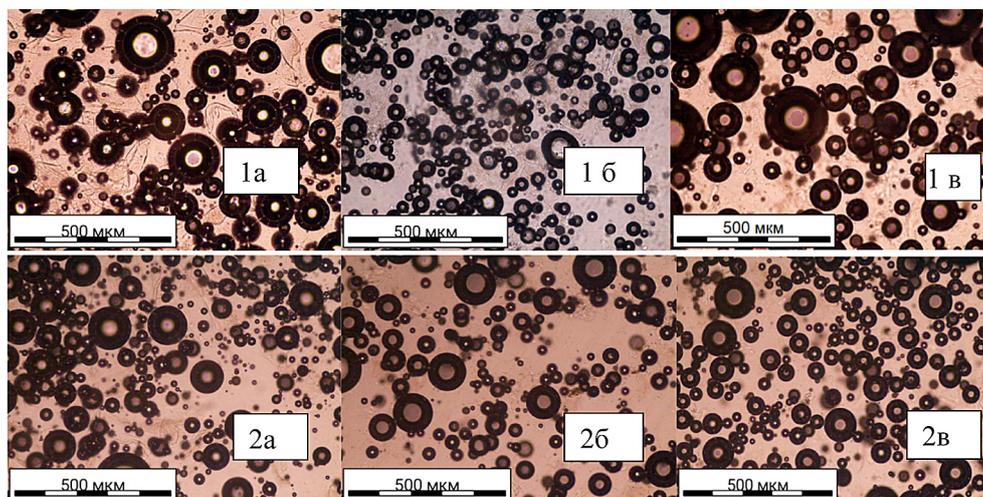
Исследования показали, что использование цитрусовых волокон в качестве моностабилизатора в замороженных фруктовых десертах, как и в производстве мороженого на молочной основе, невозможно по причине недостижения требуемого

Рисунок 6

Состояние воздушной фазы взбитых замороженных фруктовых десертов

Figure 6

State of the Air Phase in Whipped Frozen Fruit Desserts



Примечание. 1 – после закаливания, 2 – через 1,5 месяца. а – образец 1, б – образец 2, в – образец 3

Note. 1 – after hardening, 2 – after 1.5 months. a – sample 1, b – sample 2, c – sample 3

уровня вязкости (Ландиховская, 2021). Увеличение содержания этих волокон в десертах не приводит к заметному увеличению вязкости, но при придает готовому продукту нежелательный горький привкус (Ландиховская & Творогова, 2023).

Выбор в качестве дополнительного стабилизатора гуаровой камеди предпочтительнее для десертов в большей степени, чем для мороженого. Поскольку при использовании гуаровой камеди образуются наиболее крупные кристаллы льда, чем при наличии других камедей, в частности рожкового дерева (Творогова, 2021). Это противоречит данным полученным командой исследователей Yang et al. (2020). Наличие крупных кристаллов льда предпочтительнее во фруктовых замороженных десертах, поскольку этот продукт в наибольшей степени приобретает в весенне — летний период времени с целью достижения охлаждающего эффекта (Творогова и соавт., 2013; Щетинин, 2018). В связи с этим требования к отсутствию кристаллов льда в замороженных десертах не нормируются³. Применение композиции цитрусовых волокон с гуаровой камедью в наибольшей степени желательно именно во фруктовых замороженных десертах, поскольку в мороженом обязательным компонентом стабилизационных систем является эмульгатор, способствующий стабилизации воздушной фазы путем воздействия на состояние жировой фазы (Warren, 2018). Во фруктовых десертах, содержащих большее количество воды (около 70%), стабильность воздушной фазы в значительной степени поддерживается за счет цитрусовых волокон. Они прочно удерживают воду в структуре геля и тем самым препятствуют проявлению эффекта дренажа, приводящего к разрушению воздушной фазы (Гурский, 2023; Королев, 2023).

При исследовании динамической вязкости смесей для взбитых замороженных фруктовых десертов было выявлено синергетическое взаимодействие по этому показателю цитрусовых волокон и гуаровой камеди, используемых в соотношении 3:2. Значение динамической вязкости смеси при использовании композиции цитрусовых волокон и гуаровой камеди возросло по сравнению с показателем смеси с цитрусовыми волокнами более чем в 10 раз. Высокий уровень динамической вязкости при исполь-

зовании композиции стабилизаторов способствовал эффективному удерживанию воздушной фазы в структуре продукта, то привело к достижению взбитости в 2,6–2,9 раза выше, чем в образцах взбитых замороженных фруктовых десертов с моностабилизаторами.

Разновидность стабилизационной системы заметно не сказалась на дисперсности кристаллов льда. Во всех исследуемых образцах после закаливания сформировались достаточно мелкие кристаллы льда, их содержание ниже порога органолептической оскутмости (50 мкм) составило более 73%, что характеризует высокую дисперсность этих структурных элементов применительно к замороженным взбитым фруктовым десертам. Высокое содержание влаги в десертах и отсутствие жировой фазы приводит к нестабильному состоянию их структурных элементов. Уже через 1,5 месяца хранения отмечен рост кристаллов льда за счёт их перекристаллизации. Использование в качестве стабилизационной системы комплекса из гуаровой камеди и пищевых волокон привело к незначительному замедлению процесса перераспределения влаги в продукте. Отсутствие эмульгаторов и белков в десертах сказалось на дисперсности воздушной фазы. Средний размер воздушных пузырьков в образцах с цитрусовыми волокнами по сравнению с образцом, содержащим желатин, был больше в 1,2–1,3 раза.

Ограничения исследования

Исследования распространяются на замороженные взбитые фруктовые десерты с содержанием сухих веществ 28%, в том числе сахарозы 26,5% и фруктов 1,5% при использовании цитрусовых волокон марки «Cetri-Fi» в количестве 0,5% и 0,3% в композиции с гуаровой камедью 0,2%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цитрусовые волокна в количестве 0,5% не обеспечивают необходимую взбитость и вязкость для формирования структуры взбитых замороженных фруктовых десертов. Для достижения необходимой вязкости рекомендуется применять их в ком-

³ ГОСТ Р 55624–2013 «Десерты взбитые замороженные фруктовые, овощные и фруктово-овощные. ТУ» С.5

бинации с гидроколлоидами, в частности, гуаровой камедью, а для достижения взбитости с эмульгаторами с функцией стабилизаторов или белками. Обоснование качественного и количественного состава применяемых гидроколлоидов, эмульгаторов или белков в композиции с цитрусовыми волокнами представляет научный и практический интерес и в других замороженных продуктах, включая мороженое различного состава и с ограниченным количеством пищевых добавок.

В дальнейшем необходимо исследовать взаимодействие цитрусовых волокон с другими гидроколлоидами, применяемыми в технологии взбитых замороженных фруктовых десертов, в частности каррагинанами, различными камедями. Результаты исследования, а именно разработанная композиция цитрусового волокна с гуаровой камедью, применяются при производстве взбитых замороженных фруктовых десертов на предприятиях отрасли для улучшения структуры десертов и повышения их качества.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCE

- Голубева, Л.В., & Пожидаева, Е.А. (2015). Сироп сахарного сорго и пищевые волокна «Цитри-фай» в технологии обогащенного мягкого мороженого. *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*, 11, 455–458.
- Golubeva, L.V., & Pozhidaeva, E.A. (2015). Sweet sorghum syrup and Citri-Fi dietary fibre in enriched soft ice cream technology. *New and Nontraditional Plants and Prospects of their Utilization*, 11, 455–458. (In Russ.)
- Голубева, Л.В., & Пожидаева, Е. А. (2019). Изучение функционально-технологических свойств сиропа сахарного сорго и его использование в технологии мороженого. *Техника и технология пищевых производств*, 49(3), 431–437. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-431-437>
- Golubeva, L.V., & Pozhidaeva, E.A. (2019). Functional and technological properties of sorghum syrup and its use in ice cream technology. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(3), 431–437. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-431-437>
- Грошева, В.Н. (2014). Исследование активности воды в кислородсодержащих продуктах с пищевыми волокнами. *Современные проблемы науки и образования*, (2).
- Grosheva, V.N. (2014). Research activity of water in oxygen products with dietary fiber. *Modern Problems of Science and Education*, (2).
- Гурский, И. А., & Творогова, А. А. (2022). Влияние концентратов сывороточных белков

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Полина Борисовна Ситникова: концептуализация, разработка методологии исследования, курирование данных, написание рукописи -рецензирование и редактирование.

Антонина Анатольевна Творогова: концептуализация, разработка методологии исследования, курирование данных, написание рукописи -рецензирование и редактирование

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Polina B. Sitnikova: conceptualization, methodology, data curation, writing - review and editing

Antonina A. Tvorogova: conceptualization, methodology, data curation, writing - review and editing

на технологические и органолептические показатели качества мороженого. *Техника и технология пищевых производств*, 52(3), 439–448. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2376>

Gurskiy, I.A., & Tvorogova, A.A. (2022). The effect of whey protein concentrates on technological and sensory quality indicators of ice cream. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(3), 439–448. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2376>

Гурский, И.А., & Творогова, А. А. (2023). Влияние технологических факторов на воздушную фазу взбитых кисломолочных десертов. *Техника и технология пищевых производств*, 53(1), 1–12.

Gurskiy, I.A., Tvorogova, A.A. (2023). The impact of technological factors on the air phase of defrosted fermented-milk desserts. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(1), 1–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2410>

Есимова, Л.Б., & Корневская П.А. (2020) Обоснование использования цитрусовой клетчатки при производстве мясных продуктов. *Высокие технологии в растениеводстве — научная основа развития АПК* (с. 46–49). Москва: РГАТУ.

Esimova, L.B., & Korenevskaya P. A. (2020) Rationale for the use of citrus fiber in meat production. *High technologies in plant growing — the scientific basis for the development of the agro-industrial complex* (pp. 46–49). Moscow: RGATU.

Королев, И. А. (2023). Автоматизированное определение дисперсности воздушной фазы в мороженом

- с применением методов машинного обучения. *Техника и технология пищевых производств*, 53(3), 455–464. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2448>
- Korolev, I.A. (2023). Automated measurement of air bubbles dispersion in ice cream using machine learning methods. *Техника и технология пищевых производств*, 53(3), 455–464. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2448>
- Ландиховская, А.В., & Творогова, А.А. (2021). Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований. *Пищевые системы*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>
- Landikhovskaya, A.V., & Tvorogova, A.A. (2021). Ice cream and frozen desserts nutrient compositions: Current trends of researches. *Food Systems*, 4(2), 74–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>
- Ландиховская, А.В., & Творогова, А.А. (2023) Показатели качества молочного мороженого с цитрусовыми волокнами и камедями. *Пищевые системы*, 6(2), 261–268. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-261-268>
- Landikhovskaya, A.V., & Tvorogova, A.A. (2023) Quality characteristics of milk ice cream with citrus fibers and gum. *Food Systems*, 6(2), 261–268. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-261-268>
- Неповинных, Н.В., & Птичкина, Н.М. (2015). Исследование физико-химических свойств замороженных десертов специального назначения. *Вестник международной академии холода*, 2, 28–31.
- Nepovinnykh, N.V., & Ptichkina, N.M. (2015). Physicochemical properties of frozen desserts for special purposes. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 2, 28–31. (In Russ.)
- Ситникова, П.Б., & Творогова, А.А. (2018). Влияние количества деэмульгированного жира на термо- и формоустойчивость мороженого. *Контроль качества продукции*, 6, 59–62.
- Sitnikova, P.B., & Tvorogova, A.A. (2018). The influence of the amount of demulsified fat on the thermal and form stability of ice cream. *Production Quality Control*, 6, 59–62. (In Russ.)
- Творогова, А.А. (2021) *Мороженое в России и СССР: Теория. Практика. Развитие технологий*. Санкт-Петербург: «Профессия».
- Tvorogova, A. A. (2021). *Ice cream in Russia and the USSR: Theory, practice, development of technologies*. Saint-Petersburg: Profession. (In Russ.)
- Творогова, А.А., Ландиховская, А.В., Шобанова, Т.В., Закирова, Р.Р., & Гурский, И.А. (2018). Обоснование композиционного состава мороженого. *Вопросы питания*, 87(5), 242–243.
- Tvorogova, A.A., Landihovskaya, A.V., Shobanova, T.V., Zakirova, R.R., & Gurskij, I.A. (2018). Justification of the composition of ice cream. *Problems of Nutrition*, 87(5), 242–243. (In Russ.)
- Творогов,а А.А., Шобанова, Т.В., Казакова, Н.В., & Канина, К.А. (2022). Влияние частичной замены СОМО концентратами и гидролизатами сывороточных белков на показатели качества мороженого пломбир. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, 3, 138–147. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-3-138-147>
- Tvorogova, A.A., Shobanova, T.V., Kazakova, N.V., & Kanina, K.A. (2022). Effect of partial replacement of milk solids non-fat (MSNF) with whey protein concentrates and hydrolysates on the quality parameters of plombières ice cream. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 3, 138–147. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-3-138-147> (In Russ.)
- Творогова, А.А. Чижова, П.Б., Казакова, Н.В., Турбина И.А., & Спиридонова, А.В. (2013). Влияние молочного белка на качественные показатели фруктовых замороженных десертов. *Молочная промышленность*, (7), 46–47.
- Tvorogova, A.A. Chizhova, P.B., Kazakova, N.V., Turbina I.A., & Spiridonova, A.V. (2013). The influence of milk protein on the quality indicators of fruit frozen desserts. *Dairy Industry*, (7), 46–47. (In Russ.)
- Творогова, А.А., Коновалова, Т.В., Гурский И.А., Базакий, В.Н., & Аврамова С.В. (2016). Особенности применения пищевых волокон SenseFi в производстве мороженого пломбир. *Пищевая промышленность*, 10, 34–36.
- Tvorogova, A.A., Konovalova, T.V., Gursky, I.A., Bazaliy, V.N., & Avramova, S.V. (2016). Features of the application dietary fibers SenseFi in the manufacture of sundae ice-cream. *Food Industry*, 10, 34–36. (In Russ.)
- Творогова, А.А., & Чижова, П.Б. (2013). Объективная оценка структуры замороженных взбитых фруктовых десертов по состоянию кристаллов льда. *Холодильная техника*, (2), 58–61.
- Tvorogova, A.A., & Chizhova, P.B. (2013). Objective assessment of the structure of frozen whipped fruit desserts based on the state of ice crystals. *Refrigeration Technology*, (2), 58–61. (In Russ.)
- Творогова, А.А., Ситникова, П.Б., Коновалова, Т.В., Базакий, В.Н., & Герасимчук, В.П. (2014). Обоснование функциональной роли пищевых волокон SenseFi в технологии мороженого. *Пищевая промышленность*, 12, 46–48.
- Tvorogova, A.A., Sitnikova, P.B., Konovalova, T.V., Bazaliy, V.N., & Gerasimchuk, V.P. (2014). Justification of the functional role of dietary fibers sensefi in the technology of ice Cream. *Food Industry*, 12, 46–48. (In Russ.)
- Шобанова, Т.В., & Творогова, А.А. (2018). Влияние жировой фазы на технологически значимые показатели мороженого пломбир без эмульгаторов. *Пищевые системы*, 1(1), 4–11. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-2-1-4-11>
- Shobanova, T.V., & Tvorogova, A.A. (2018). Influence of fat phase on technologically important indicators of ice-cream plombir without emulsifiers. *Food Systems*, 1(1), 4–11. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-2-1-4-11> (In Russ.)
- Щетинин, М. П., & Ходырева, З. Р. (2018). Научно-гигиенические подходы к разработке замороженного десерта. *Вопросы питания*, 87(3), 72–78. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10034>
- Shchetinin, M. P., & Hodyreva, Z. R. (2018). Scientific bases of development of frozen dessert. *Problems of Nutrition*,

- 87(3), 72–78. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10034>
- Akalın, A. S., Kesencas, H., Dinkci, N., Unal, G., Ozer, E., & Kınık, O. (2018). Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: Structural characteristics and culture viability. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 37–46. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13468>
- Bonarius, G. A., Vieira, J. B., van der Goot, A. J., & Bodnár, I. (2014). Rheological behaviour of fibre-rich plant materials in fat-based food systems. *Food Hydrocolloids*, 40, 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.03.016>
- Cartagena, M., Giura, L., Ansorena, D., & Astiasaran, I. (2024). A texture-modified dessert with high nutritional value designed for people with dysphagia: Effect of refrigeration and frozen storage. *Food Science and Human Wellness*, 13(1), 462–471. <https://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250040>
- Crizel, T. de M., Araujo, R. R. de, Rios, A. de O., Rech, R., & Flôres, S. H. (2014). Orange fiber as a novel fat replacer in lemon ice cream. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(2), 332–340. <https://doi.org/10.1590/fst.2014.0057>
- Da Silva Costa, R.A., Bonomo, R. C.F., Rodrigues, L.B., Santos, L.S., & Veloso, C.M. (2020). Improvement of texture properties and syneresis of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch gels by using hydrocolloids (guar gum and xanthan gum). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100, 3204–3211. <https://doi.org/10.1002/jfsa.10356>
- Dervisoglu, M., Yazici, F. (2006). Note. The effect of citrus fibre on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. *Food Science and Technology International*, 12(2), 159–164. <https://doi.org/10.1177/1082013206064005>
- Giudici, P., Baiano, A., Chiari, P., De Vero, L., Ghanbarzadeh, B., & Falcone, P. M. (2021). A mathematical modeling of freezing process in the batch production of ice cream. *Foods*, 10(2), 334. <https://doi.org/10.3390/foods10020334>
- Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2012). Ice Cream Structure. In *Ice Cream* (pp. 313–352). <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-111>
- Goff, H.D. (2016). Milk proteins in ice cream. In P. McSweeney, & J. O'Mahony (Eds.), *Advanced dairy chemistry*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_13
- Grigelmo-Miguel, N., & Martín-Belloso, O. (1998). Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. *Food Research International*, 31(5), 355–361. [https://doi.org/10.1016/s0963-9969\(98\)00087-8](https://doi.org/10.1016/s0963-9969(98)00087-8)
- Jia, G., Chen, Y., Sun, A., & Orlie, V. (2022). Control of ice crystal nucleation and growth during the food freezing process. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(3), 2433–2454. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12950>
- Jiang, Z. M., Zhang, Y., Huang, C., Ma, S., Mu, H., Li, X., Liu, Y., Ma, Y., & Liu, J. H. (2022). Comparison and characterization of the structure and physicochemical properties of three citrus fibers: Effect of ball milling treatment. *Foods*, 11(17), 2665. <https://doi.org/10.3390/foods11172665>
- Kieserling, K., Vu, T. M., Drusch, S., & Schalow, S. (2019). Impact of pectin-rich orange fibre on gel characteristics and sensory properties in lactic acid fermented yoghurt. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.051>
- Malgor, M., Sabbione, A.C. & Scilingo, A. (2020). Amaranth lemon sorbet, elaboration of a potential functional food. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 404–412. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00818-y>
- Palka, A., & Wilczyńska, A. (2023). Storage quality changes in craft and industrial blueberry, strawberry, raspberry and passion fruit-mango sorbets. *Foods*, 12(14), 2733. <https://doi.org/10.3390/foods12142733>
- Patel, M. R., Baer, R. J., & Acharya, M. R. (2006). Increasing the protein content of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 89(5), 1400–1406. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72208-1](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72208-1)
- Roer, J. (2022). *Exploring women's visual narratives of brain injury* (Master's thesis). University of Victoria. UvicSpace Institutional Repository. <http://hdl.handle.net/1828/13924>
- Sendra, E., Kuri, V., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., & Pérez-Alvarez, J. A. (2010). Viscoelastic properties of orange fiber enriched yogurt as a function of fiber dose, size and thermal treatment. *LWT – Food Science and Technology*, 43(4), 708–714. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.12.005>
- Sitnikova P.B., & Tvorogova A.A. (2019). Physical changes in the structure of ice cream and frozen fruit desserts during storage. *Food Systems*, 2(2), 31–35. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-31-35>
- Soukoulis, C., & Fisk, I. (2016). Innovative ingredients and emerging technologies for controlling ice recrystallization, texture, and structure stability in frozen dairy desserts: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(15), 2543–2559. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.876385>
- Su, D., Zhu, X., Wang, Y., Li, D., & Wang, L. (2019). Effects of high-pressure homogenization on physical and thermal properties of citrus fiber. *LWT*, 108573. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108573>
- Su, D., Zhu, X., Wang, Y., Li, D., & Wang, L. (2020). Effect of high-pressure homogenization on rheological properties of citrus fiber. *LWT*, 127, 109366. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109366>
- Duong, T. T. T., Trang, N. T., & Nguyet, N. T. M. (2021). The effects of citrus fibre on structural and physical properties of free-milk ice cream from lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) aquafaba, coconut milk and purple sweet potato. *Journal of Science and Technology*, 50(02), 201–212. <https://doi.org/10.46242/jst-iuh.v50i08.967>
- Warren, M. M., & Hartel, R. W. (2018). Effects of emulsifier, overrun and dasher speed on ice cream microstructure and melting properties. *Journal of Food Science*, 83(3), 639–647. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13983>
- Xavier, J. R., & Ramana, K. V. (2022). Development of slow melting dietary fiber-enriched ice cream formulation using bacterial cellulose and inulin. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(5), e15394. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15394>
- Yang, X., Li, A., Li, X., Sun, L., & Guo, Y. (2020). An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.020>