

Кавитация как альтернативный метод физического воздействия для улучшения вкусо-ароматического профиля кондитерских полуфабрикатов

¹ ВНИИКП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва, Российская Федерация,

² ВНИИТеК – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Видное, Российская Федерация

Т. В. Федосенко¹, Л. М. Аксенова¹, М. А. Пестерев¹,
А. И. Захарова², Л. К. Пацюк²

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Федосенко Татьяна Васильевна
E-mail: tianafedosenko@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Федосенко, Т.В., Аксенова, Л.М., Пестерев, М.А., Захарова, А.И., & Пацюк, Л.К. (2024). Кавитация как альтернативный метод физического воздействия для улучшения вкусо-ароматического профиля кондитерских полуфабрикатов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 131-143. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.1.501>

ПОСТУПИЛА: 13.09.2023

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Изменение потребительских предпочтений к здоровому питанию и выбору кондитерских изделий для быстрого перекуса стимулирует развитие сегмента полезных сладостей. Продукты на основе овощного сырья, богатые пектинами, витаминами, минералами и пищевыми волокнами, обретают популярность в кондитерской промышленности. Современные тенденции в пищевой промышленности стремятся к производству пищевых продуктов, сохраняющих нативные свойства с минимальной термообработкой, применяя альтернативные технологии, такие как высокое давление, импульсное электричество, магнитное поле, ультрафиолет или акустику.

Цель: установление изменения органолептических показателей кондитерского полуфабриката на основе пюре тыквы в условиях кавитационного воздействия для повышения вкусо-ароматического профиля.

Материалы и методы: Объекты исследования: образцы пюре тыквы промышленного производства, кондитерские полуфабрикаты, приготовленные в лабораторных условиях смешиванием пюре тыквы и сахарного/инвертного сиропа в соотношении 50:50. Кавитационную обработку проводили на ультразвуковой установке «Сирикс 250К», органолептическую оценку проводили дегустационной комиссией и на приборе «Электронный нос» «VOCmeter», дисперсность определяли на лазерном дифрактометре «Beckman Coulter».

Результаты: После кавитационной обработки продолжительностью 10 минут увеличилось содержание ароматических веществ: низкомолекулярных азотсодержащих соединений – на 24,2 %, свободных аминокислот – 41,4 %, кетонов – 32 %, при дальнейшей обработке содержание ароматических веществ снижается. Распределение частиц в тыквенном пюре характеризовалось тем, что основная масса частиц имела размер 50,2–153,8 мкм, а частицы с размером 7–38 мкм составляли менее 10 %. Исследование дисперсности тыквенных полуфабрикатов показало, что частицы размером 153,8 мкм и более разрушаются в ходе кавитационного воздействия.

Выводы: Оптимальная продолжительность воздействия ультразвуком на кондитерские полуфабрикаты – 10 минут. Выявлена перспектива определения маркеров ароматических соединений для использования мультисенсорных систем с целью идентификации натуральных фруктово-овощных компонентов в кондитерских изделиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кавитационное воздействие, сахарный сироп, инвертный сироп, пюре тыквы, органолептические свойства, кондитерские полуфабрикаты

Cavitation as an Alternative Method of Physical Action to Improve the Flavor Profile of Confectionery Semi-Finished Products

¹ VNIIEP – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russian Federation,

² VNIITeK – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems, Vidnoye, Russian Federation

Tatyana V. Fedosenko¹, Larisa M. Aksenova¹, Mikhail A. Pesterev¹, Anna I. Zakharova², Lyubov K. Patsyuk²

CORRESPONDENCE:

Fedosenko Tatyana Vasilyevna
E-mail: tianafedosenko@yandex.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Fedosenko, T., Aksenova, L., Pesterev, M., Zaharova, A., Patsyuk, L. (2024). Cavitation as an alternative method of physical action to improve the flavor profile of confectionery semi-finished products. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 131-143. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.501>

RECEIVED: 13.09.2023

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: Changing consumer preferences towards healthy eating and choosing confectionery products for quick snacks are stimulating the development of the healthy confectionery segment. Products based on vegetable raw materials, rich in pectins, vitamins, minerals, and dietary fibers, are gaining popularity in the confectionery industry. Modern trends in the food industry aim to produce food products that preserve native properties with minimal heat treatment, employing alternative technologies such as high pressure, pulsed electricity, magnetic fields, ultraviolet light, or acoustic energy.

Purpose: to determine the changes in the organoleptic parameters of a semi-finished confectionery product based on pumpkin puree under cavitation conditions to increase the flavor profile.

Materials and Methods: Objects of research: samples of pumpkin puree of industrial production, confectionery semi-finished products prepared in laboratory conditions by mixing pumpkin puree and sugar/invert syrup in the ratio 50:50. Cavitation treatment was carried out on the ultrasonic unit «Syrinx 250K», organoleptic evaluation was carried out by the tasting committee and on the device «Electronic nose» «VOCmeter», dispersibility was determined on the laser diffractometer «Beckman Coulter».

Results: After cavitation treatment with duration of 10 minutes the content of aromatic substances increased: low-molecular nitrogen-containing compounds – by 24,2 %, free amino acids – 41,4 %, ketones – 32 %, at further treatment the content of aromatic substances decreases. The distribution of particles in pumpkin puree was characterized by the fact that the bulk of particles had a size of 50.2–153.8 µm, and particles with a size of 7–38 µm were less than 10 %. The study of dispersibility of pumpkin semifinished products showed that particles with the size of 153.8 microns and more are destroyed during cavitation action.

Conclusion: The optimal duration of ultrasound exposure to confectionery semi-finished products is 10 minutes. The prospect of determination of markers of aromatic compounds for use of multisensor systems for identification of natural fruit and vegetable components in confectionery products has been revealed.

KEYWORDS

cavitation effect; sugar syrup; invert syrup; pumpkin puree; organoleptic properties; confectionery semi-finished products

ВВЕДЕНИЕ

Популярность кондитерских изделий в России подтверждается ростом их продаж на 1,8% за 2018–2022 гг.¹ Общий объем производства кондитерских изделий по данным Росстата составил 3892 тыс. т. в 2020 г.², из которых сахаристые КИ составляли 47,35%. Среди факторов, способствующих этому эксперты выделяют: изменение потребительских предпочтений, приобретение кондитерских изделий в качестве быстрого перекуса, развитие сегмента полезных кондитерских изделий и экологически чистой продукции.¹

В последние десятилетия работы ВНИИКП — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН направлены на снижение сахароемкости выпускаемых кондитерских изделий, в том числе за счет использования фруктово-ягодного и овощного сырья. Наличие такого сырья в кондитерских изделиях ассоциируется у покупателей со здоровым питанием. При этом продукты переработки овощного сырья имеют большой потенциал для использования в кондитерской промышленности, например, тыква, обладает высоким содержанием пектинов, витаминов, минеральных веществ и пищевых волокон. В плодах тыквы содержится Витамин А, витамин С, β -каротин, витамины группы В, калий (Лодыгин & Давыденко, 2019).

К отличительным особенностям тыквы следует отнести повышенное содержание пектина — до 7–11,5% (Донченко & Кондратенко, 1998), способствующего связыванию и выводу из организма стабильных и радиоактивных металлов (Кондратенко & Кондратенко, 2019). По существующим технологиям плодоовощное сырье в процессе обработки и при получении кондитерских изделий подвергается тепловым воздействиям (Табаторович, 2018), что приводит к снижению количества нативных витаминов и микронутриентов, в частности витамина С на 90,8% (Овсепян & Худавердян, 2019). В связи с этим, одним из направлений исследований является получение кондитерских полуфабрикатов из овощей и фруктов с минимально возможным температурным воздействи-

ем для сохранности нативных микронутриентов (Руденко, и соавт., 2020; Bhargava et al., 2021).

В последнее время тенденции в разработке технологий пищевой промышленности были нацелены на производство продуктов питания с сохранением нативных свойств с использованием альтернативных технологий в условиях относительно низких тепловых воздействий. Вместо использования тепловой энергии для обеспечения безопасности пищевых продуктов, которая часто сопровождается ухудшением их качественных показателей, альтернативные методы обработки используют такие виды физических воздействий, как высокое давление, импульсное электрическое или магнитное поле, ультрафиолетовый свет или акустическую энергию (Lee & Feng, 2011).

Использование ультразвука высокой интенсивности в пищевой промышленности является относительно новым направлением. Так, в качестве нового метода обработки сырья и полуфабрикатов набирает популярность использование кавитационного воздействия (Askarniya et al., 2023; Ciriminna et al., 2023; Castro-Muñoz et al., 2023; Tang, 2023). Под кавитацией понимается процесс образования, роста и схлопывания пузырьков. Ультразвуковая кавитация предполагает генерацию ультразвуком попеременно высокого и низкого давления, вызывая циклы разряжения и сжатия в обрабатываемой среде. Разрежение приводит к росту вакуумных пузырьков (кавитационных пузырьков), возникающих под воздействием низкого давления (Carrillo-Lopez et al., 2021).

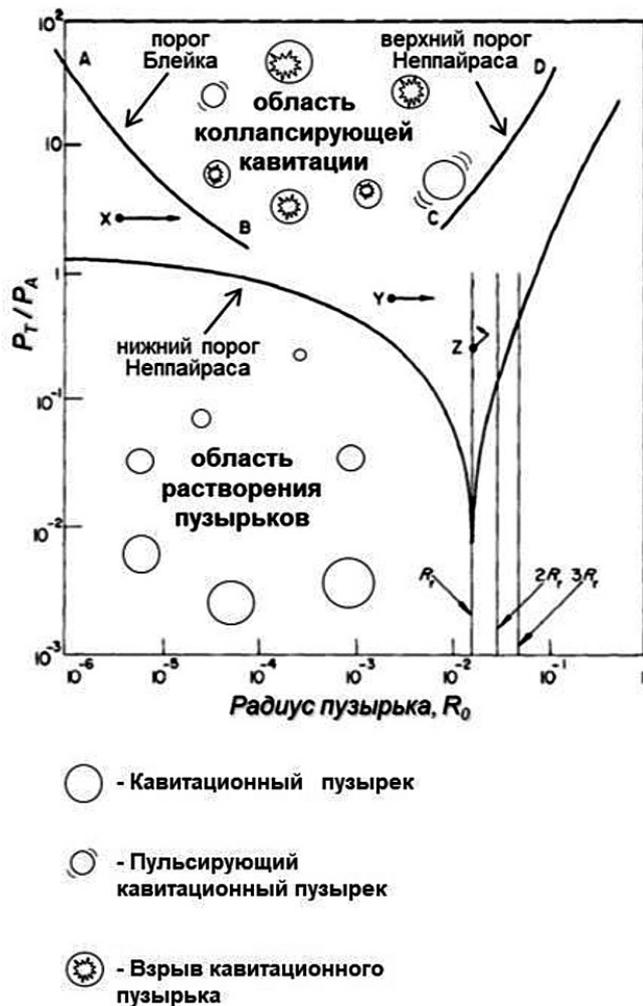
При этом, если значения параметров акустической кавитации (начальный радиус пузырька R_0 — отношение амплитуды акустического давления P_A к гидравлическому давлению P_0) не достигают нижнего порога Неппайраса — не будет происходить схлопывание пузырьков (дегазирующая кавитация). Коллапсирующая кавитация (со схлопыванием пузырьков) будет происходить в области, ограниченной порогом Блейка, а также верхним и нижним порогами Неппайраса (Рисунок 1).

¹ Анализ рынка кондитерских изделий в России в 2018–2022 гг, прогноз на 2023–2027 гг. BusinesStat. https://businessstat.ru/images/demo/confectionery_russia_demo_businessstat.pdf.

² Промышленное производство в России. (2021). М.: Росстат.

Рисунок 1

Поле режимов возникновения акустической кавитации в жидкой среде



Примечание. Адаптировано по Blake (1949); Neppiras (1980).

Взрыв кавитационного пузырька приводит к физическим и химическим эффектам в обрабатываемой среде (микротоки, перемешивание, турбулентность, микроструи, ударные волны и диспергирование дисперсной фазы) в результате этого происходит изменение свойств среды. Например, для получения ценных соединений из растений применяется ультразвуковая экстракция как более современный подход, который позволяет избежать потери и разложения летучих и термолабильных соединений, благодаря сниженной температуре экстракции. Также для экстракции ценных компонентов из лавра, розмарина, тимьяна, орегана, туберозы, применяется высокочастотное воздействие, обеспечивающее сокращение времени обра-

ботки до 10 минут, что в 18 раз меньше, чем в случае паровой дистилляции, и в 2,5 раза меньше, чем при экстракции перегретой жидкостью и уменьшает расход сырья (Roldán-Gutiérrez et al., 2008). Гаджиева и соавт. (2020) получили комбинированный продукт функционального назначения на основе растительного сырья, производство которого позволяет не только улучшить органолептические показатели, но и сократить затраты на производство томатопродуктов в 1,5–2 раза.

Ультразвуковая обработка используется для экстракции главных химических компонентов настойки чая, положительно влияющих на органолептические показатели, при этом задерживая белок и пектин, ухудшающие качество чая (Тао et al., 2006). Чеснокова и соавт. (2023) установили положительное влияние ультразвуковой обработки на извлечение антоцианов из ягодного сырья, при этом отмечена существенная роль продолжительности ультразвукового воздействия на эффективность экстракции. Кроме того, доказано положительное влияние использования акустической кавитации на физико-химические и органолептические показатели при производстве адыгейского сыра, на вкусо-ароматические характеристики продуктов переработки мяса птицы. Изменения вкуса и аромата продуктов определяли с использованием газового хроматографа и дегустационной комиссии (Dunchenko et al., 2023; Потороко, 2014).

Оценить эффективность влияния кавитационной обработки на вкус готового продукта можно органолептической оценкой, проведенной дегустационной комиссией, и с использованием инструментальных методов анализа. Органолептическая оценка дегустационной комиссией — самый простой и доступный метод качественной оценки показателей пищевых продуктов по выбранным дескрипторам (запах, вкус, цвет, консистенция и др.), тогда как использование инструментальных методов, в частности хроматографии для получения информации о запахе пищевых продуктов зачастую требует больших затрат химических реактивов и времени. Мультисенсорная аналитическая система «Электронный нос» позволяет быстро анализировать запахи (Чернуха, 2011; Богданова и соавт., 2012) с помощью ряда специфических сенсоров (металлооксидные сенсоры из частиц наноразмера, кварцевых кристаллических микровесов и др.) и используется в целях определения качества

рыбных, мясных, молочных продуктов питания, продуктов растительного происхождения, а также кондитерских изделий (Головкова, 2021; Козырев и соавт., 2021; Магомедов и соавт., 2019; Никитина и соавт., 2015; Коренман и соавт., 2003). При этом мультисенсорные системы могут быть использованы для идентификации компонентов (Чернуха и соавт., 2011).

Целью данного исследования стало установление условий изменения органолептических показателей кондитерского полуфабриката на основе пюре тыквы в условиях кавитационного воздействия для повышения вкусо-ароматического профиля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объектами исследования стали образцы: пюре тыквы промышленного производства, кондитерские полуфабрикаты, приготовленные в лабораторных условиях смешиванием пюре тыквы и сахарного сиропа в соотношении 50:50; пюре тыквы с инвертным сиропом в соотношении 50:50.

Методы и инструменты

Кавитационную обработку пюреобразных полуфабрикатов проводили на стендовой ультразвуковой установке «Сиринкс 250К» в циркуляционном режиме. Частота излучения 24 кГц, мощность ультразвукового преобразователя 240 Вт.

Органолептическую оценку полуфабрикатов проводили дегустационной комиссией согласно показателям и характеристикам по ГОСТ 32741–2014 «Полуфабрикаты. Начинки и подварки фруктовые и овощные. Общие технические условия».

Содержание отдельных ароматических летучих компонентов в образцах полуфабриката определяли на приборе «VOCmeter» («AppliedSensor», Германия) с последующим анализом откликов металлоксидных сенсоров (MOS 1–4). Данные откликов обрабатывались в программе «Argus».

Исследование дисперсности проводили на лазерном дифрактометре «Beckman Coulter».

Процедура исследования

Для получения полуфабрикатов использовалось пюре из тыквы производства АО «Совхоз имени Ленина», изготовленное по ТУ 9162–009–00563051–15.

Сахарный сироп изготавливали по классической технологии путем смешивания воды с сахарным песком в соотношении 1:3 соответственно и последующим нагреванием до кипения с продолжительностью кипения 10 минут, до полного растворения сахарного песка и достижением 75 % сухих веществ.

Инвертный сироп изготавливали по рациональной технологии кислого инвертного сиропа ВНИИКП по ТУ 9111–106–00334675–2010 «Сироп инвертный» путем смешивания воды с сахарным песком в соотношении 0,65:1 с добавлением лимонной кислоты (0,35 % от массы сахара), с последующим нагревом до температуры 94 °С и увариванием при заданной температуре до достижения содержания сухих веществ в сиропе 75 %.

Пюре смешивали с сиропами при температуре 60 °С в соотношении 50:50 с последующей обработкой кавитационным воздействием, продолжительность которого составляла 10, 20 и 30 минут. Полученные образцы сравнивали с контрольными образцами тыквенно-сахарного и тыквенно-инвертного полуфабрикатов без применения кавитационного воздействия, а также с исходным тыквенным пюре.

Анализ данных

Данные откликов «Электронного носа» обрабатывались в программе «Argus».

Для обработки данных в ходе работы было использовано программное обеспечение MS Excel, в котором были построены графики и профилограммы по данным результатов исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Органолептическая оценка полуфабрикатов

Образцы полуфабрикатов получены путем сочетания сырья тыквы и сахарного или инвертного сиропов в условиях кавитационного воздействия сочетанием сырья тыквы в течение 10, 20, 30 мин. Для определения влияния кавитационной обработки на органолептические показатели была проведена дегустационная оценка полученных кондитерских полуфабрикатов с сахарным (Рисунок 2) и с инвертным сиропом (Рисунок 3). Дегустационная комиссия состояла из 7 экспертов и коэффициент согласованности комиссии на основании применения коэффициента конкордации Кендалла составлял 0,84.

Органолептическая оценка полуфабрикатов из тыквенного пюре и сахарного сиропа показала, что в результате кавитационной обработки продолжительностью 10 минут балльная оценка по всем дескрипторам повысилась в сравнении с контрольным образцом (тыквенно-сахарный полуфабрикат

до кавитационной обработки). При увеличении продолжительности кавитационного воздействия до 20 и 30 минут балльная оценка дескрипторов «Вкус» и «Запах» снижается на 0,5–1 балл по сравнению с образцом 10 минутами кавитационной обработки. Были отмечены повышение сладости во вкусе и снижение интенсивности запаха относительно образца, подвергшегося кавитационной обработке в течение 10-ти минут. При этом показатели «Внешний вид», «Консистенция» практически не изменились с 10 минутной обработки и были выше, чем у контрольного образца.

Органолептическая оценка полуфабриката с инвертным сиропом (Рисунок 3) показала, что в результате кавитационной обработки продолжительностью 10 минут балльная оценка по дескрипторам: «Внешний вид», «Консистенция» и «Вкус» повысилась в сравнении с контрольным образцом (тыквенно-инвертный полуфабрикат до обработки). При этом изменился «Цвет» и снизился характерный запах сырья тыквы, также отмечена близость вкусовых показателей полуфабриката к класси-

Рисунок 2

Органолептическая оценка полуфабриката с сахарным сиропом

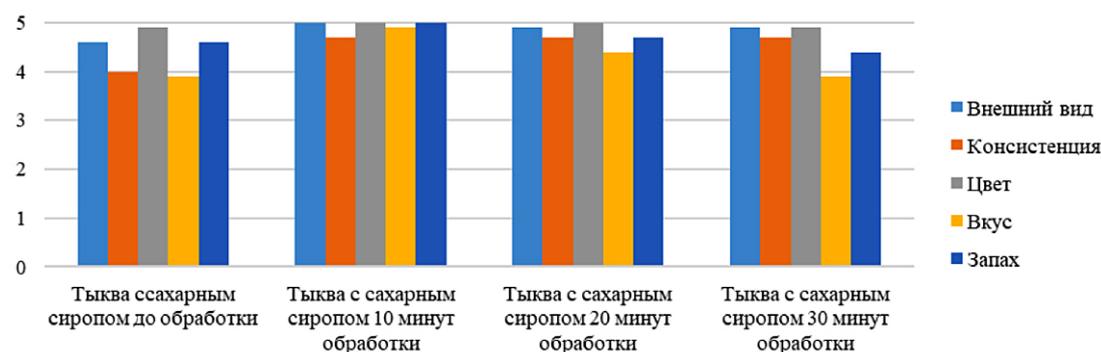
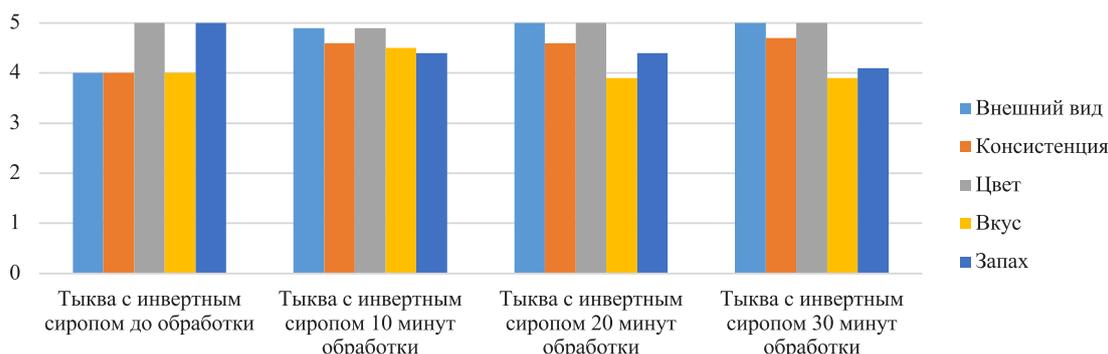


Рисунок 3

Органолептическая оценка полуфабриката с инвертным сиропом



ческим вкусовым показателям меда. При увеличении продолжительности обработки до 20 и 30 минут результаты органолептической оценки образцов схожи с образцом 10-ти минутной обработки, за исключением увеличения сладости, что привело к уменьшению оценки по дескриптору «Вкус» относительно контрольного образца на 18%.

Исследование ароматических соединений полуфабрикатов

Все образцы пюре, подвергавшиеся кавитационной обработке, а также контрольные образцы тыквенно-сахарного и тыквенно-инвертного полуфабриката, не подвергавшиеся кавитационной обработке были исследованы при помощи прибора «Электронный нос». На Рисунках 4 и 5 представлены «визуальные отпечатки» запахов образцов, полученные мультисенсорной оценкой на приборе «Электронный нос».

Исследование ароматических веществ: альдегидов, низкомолекулярных азотосодержащих, свободных аминокислот и кетонов на приборе «Электронный нос» показало влияние продолжительности кавитационной обработки полуфабрикатов. В образце тыквенно-сахарного полуфабриката после кавитационной обработки продолжительностью 10 минут увеличилось содержание ароматических веществ: низкомолекулярных азотсодержащих со-

единений — на 24,2%, свободных аминокислот — 41,4%, кетонов — 32%. При дальнейшей обработке содержание ароматических веществ снижается и при продолжительности кавитационной обработки 30 минут показатели содержания ароматических веществ были почти равны показателям полуфабриката до кавитационной обработки.

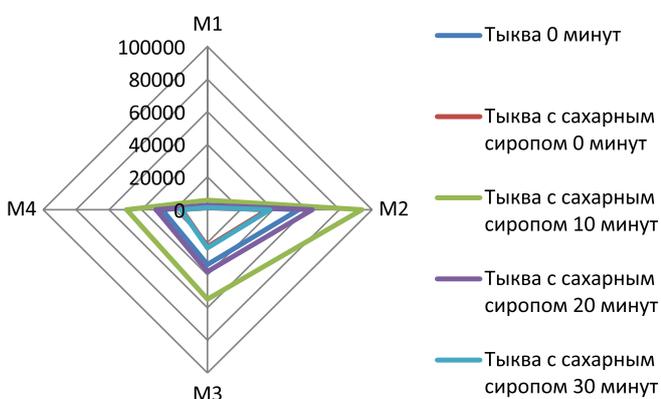
Содержание ароматических соединений в тыквенно-инвертном полуфабрикate снижается уже при 10-ти минутах кавитационной обработки по сравнению с контрольным образцом полуфабриката (не подвергавшемся кавитационной обработке) и при дальнейшем увеличении продолжительности обработки плавно снижается (Рисунок 5).

Сравнили динамику площадей «визуальных отпечатков» ароматических летучих соединений в образцах тыквенно-сахарного и тыквенно-инвертного полуфабриката (Рисунок 6).

В результате сравнения площадей «визуальных отпечатков» ароматических соединений испытуемых образцов тыквенного пюре и кондитерских полуфабрикатов установлено: при добавлении сахарного и инвертного сиропов в тыквенное пюре, снижается площадь «визуальных отпечатков» запаха, в сравнении с исходными показателями приблизительно в 2 раза. Выявлено, что в контрольных образцах тыквенно-сахарного и тыквенно-инвертного полуфабрикатов (без кавитационной обра-

Рисунок 4

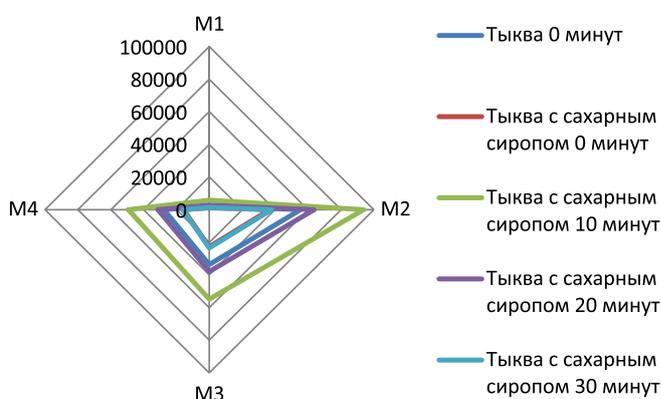
Сравнение «визуальных отпечатков» ароматических соединений образцов тыквенного полуфабрикатов с контрольным образцом



Примечание. *Спецификация сенсоров: альдегиды (M1), низкомолекулярные азотсодержащие соединения (M2), свободные аминокислоты (M3), кетоны (M4)

Рисунок 5

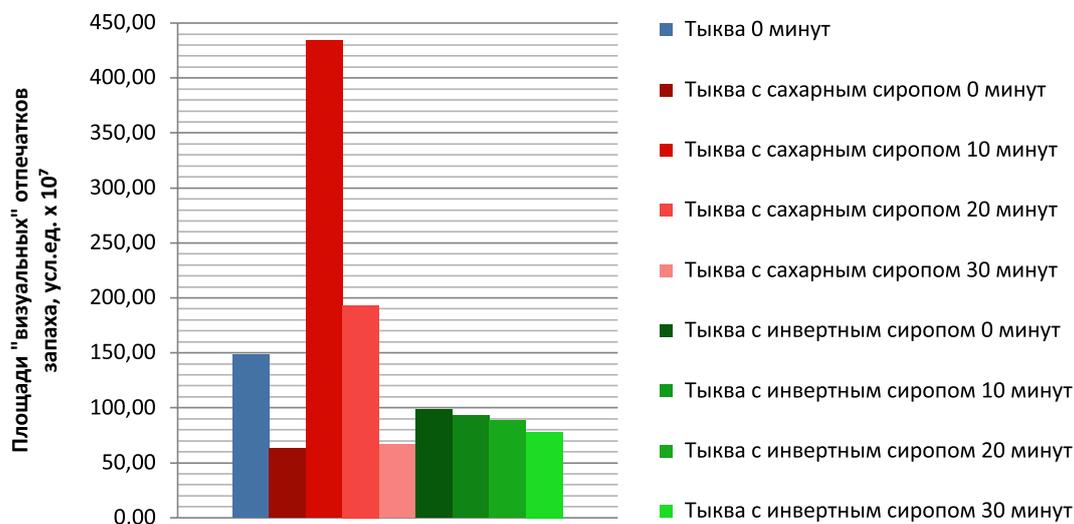
Сравнение «визуальных отпечатков» запахов образцов тыквенного полуфабрикатов с контрольным образцом



Примечание. *Спецификация сенсоров: альдегиды (M1), низкомолекулярные азотсодержащие соединения (M2), свободные аминокислоты (M3), кетоны (M4)

Рисунок 6

Сравнение площади «визуальных отпечатков» ароматических летучих соединений



ботки) площадь «визуальных отпечатков» запаха полуфабриката с инвертным сиропом составляла 98,6 усл.ед.п. × 10⁷ и была больше на 36,1 %, чем у полуфабриката с сахарным сиропом. В полуфабрикате с сахарным сиропом при продолжительности обработки 10 минут увеличилась интенсивность запахов почти в 7 раз в сравнении с контрольным образцом полуфабриката и почти в 3 раза в сравнении с исходным пюре тыквы. При десятиминутной обработке полуфабриката с инвертным сиропом площадь «визуальных отпечатков» уменьшается, в отличие от полуфабриката с сахарным сиропом, у которого при той же продолжительности обработки поле ароматических веществ увеличивается с 63,0 до 434,3 усл.ед.п. × 10⁷.

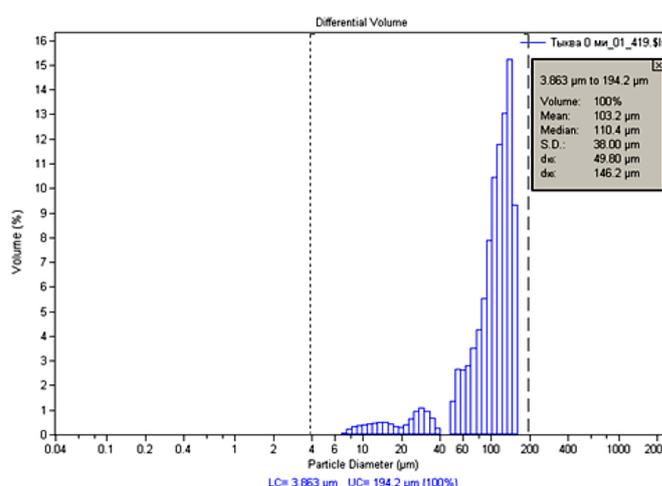
Исследование дисперсности полуфабрикатов

Все образцы пюре, подвергавшиеся кавитационной обработке, а также контрольные образцы полуфабриката, не подвергавшиеся кавитационной обработке, были исследованы на лазерном дифрактометре «Beckman Coulter». Исходное пюре тыквы характеризовалось высокой дисперсностью (Рисунок 7).

Распределение частиц в тыквенном пюре характеризовалось тем, что основная масса частиц имела размер 50,2–153,8 мкм, а частицы с размером 7–38 мкм составляли менее 10%. Профили распределения частиц по размерам в полуфабрикатах с сахарным и инвертным сиропами имеют схожий ха-

Рисунок 7

Дисперсность тыквенного пюре



актер с исходным пюре тыквы, однако в процессе кавитационного воздействия происходят изменения размеров частиц, а именно разрушение крупных частиц (Рисунки 8, 9).

Уже при 10-ти минутной продолжительности кавитационного воздействия в тыквенно-сахарном и тыквенно-инвертном полуфабрикатах полностью разрушаются самые крупные частицы (168,9 мкм), которые содержались в контрольных образцах (до кавитационного воздействия) (Таблица 1).

Анализ распределения частиц в образцах полуфабрикатов с сахарным и инвертным сиропами, до и после кавитационной обработки продолжи-

Рисунок 8

Распределение частиц в образцах кондитерского полуфабриката с сахарным сиропом при длительности 0, 10, 20, 30 мин кавитационной обработки

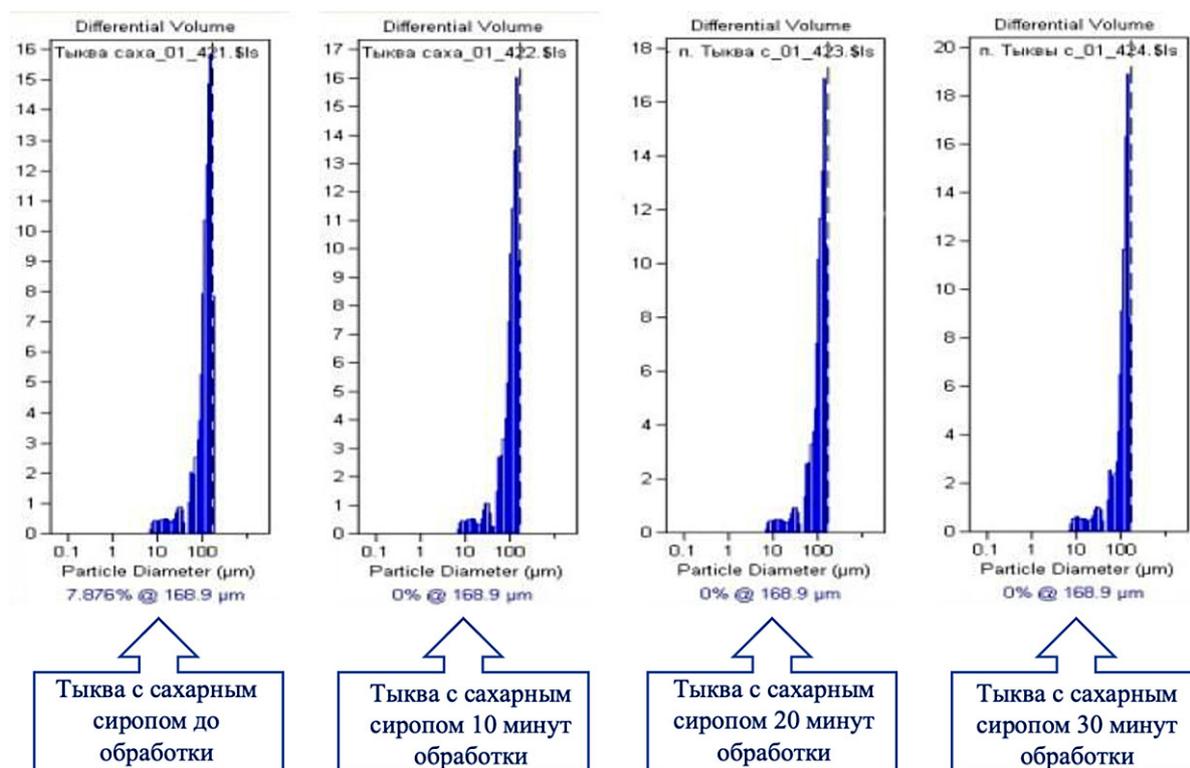


Рисунок 9

Распределение частиц в образцах кондитерского полуфабриката с инвертным сиропом при длительности 0, 10, 20, 30 мин кавитационной обработки

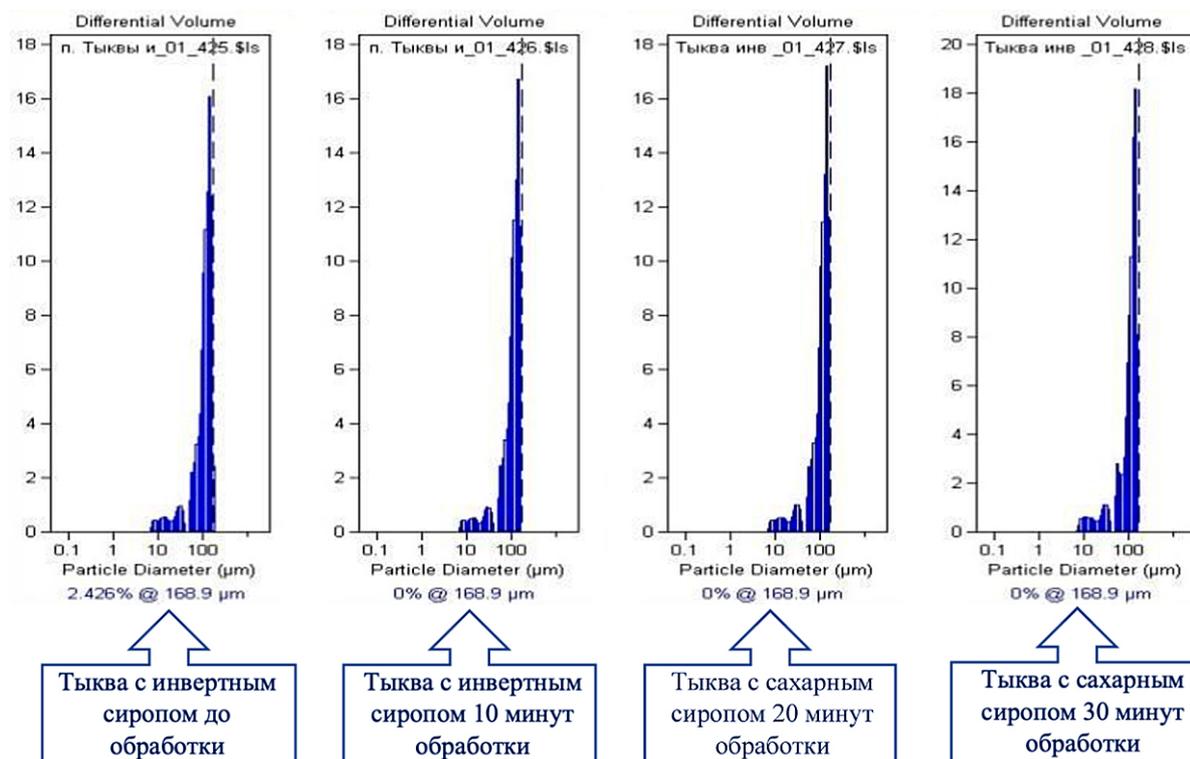


Таблица 1

Динамика размеров частиц в тыквенно-сахарном полуфабрикate в зависимости от продолжительности кавитационной обработки

Продолжительность, мин	Размер частиц, мкм, содержание в %					±Δ
	168,9	153,8	105,9	96,49	50,22	
0	7,88	15,88	7,95	5,28	1,01	0,1
10	0	9,55	9,84	7,46	1,48	0,1
20	0	10,7	10,17	7,05	1,32	0,2
30	0	8,85	9,12	6,47	1,28	0,1

Таблица 2

Динамика размеров частиц в тыквенно-инвертном полуфабрикate в зависимости от продолжительности кавитационной обработки

Продолжительность, мин	Размер частиц, мкм, содержание в %					±Δ
	168,9	153,8	105,9	96,49	50,22	
0	2,43	12,41	9,56	6,72	1,17	0,2
10	0	11,3	10,1	7,22	1,25	0,1
20	0	11,63	9,79	6,81	1,29	0,3
30	0	8,09	8,88	6,94	1,45	0,1

тельностью 10, 20 и 30 мин, показал, что частицы размером 153,8 мкм и более разрушаются в ходе кавитационного воздействия на 39,8% в полуфабрикate с сахарным сиропом и на 8,9% — с инвертным, при этом в образцах увеличивается количество частиц размером 105,9 и 96,49 мкм. В полуфабрикate с сахарным сиропом количество частиц 105,9 мкм увеличилось на 19,2% и на 0,9% — с инвертным, а также частицы 96,49 мкм на 29,2% — с сахарным и на 6,9% — с инвертным.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенной серией опытов доказано положительное влияние ультразвукового воздействия на изменения органолептических показателей и физико-химических свойств пищевых систем, что согласуется с результатами исследований авторов (Castro-Muñoz, 2023). По результатам органолептической оценки полуфабрикатов из тыквенного пюре и сахарного сиропа выявлено повышение сладости во вкусе и снижение интенсивности запаха

относительно образца, подвергнувшегося кавитационной обработке.

Определено, что оптимальная длительность воздействия ультразвуком для кондитерских полуфабрикатов — 10 минут, последующая обработка привела к снижению органолептических показателей. Данные изменения были выявлены и при органолептической оценке полуфабрикатов из тыквенного пюре с инвертным сиропом. Сопоставимые данные по влиянию продолжительности кавитационной обработки полуфабрикатов получены Dunchenko (2023), отметившим в образцах молока после 17 мин кавитационного воздействия увеличение аромата на 1–2 балла органолептическим методом с 5-балльной шкалой, но отсутствие данных по идентифицированным ароматическим соединениям и промежуточных данных с меньшей длительностью воздействия не дают возможности оценить оптимальную длительность кавитационного воздействия. Наши исследования показывают, что кавитационное воздействие более 10 минут не целесообразно, поскольку дальнейшее кавитационное воздействие приводит к снижению количества ароматических соединений. Тао Xia (2006), Потороко (2014) также отмечают динамику содержания ароматических соединений. В частности у Потороко (2014), в 2 раза повышалось содержание креатина при кавитационном воздействии на продукты переработки мяса цыплят-бройлера в течение 3 мин при значениях мощности воздействия аналогичной используемой в исследовании данной рукописи. Ультразвуковая экстракция (Тао Xia, 2006) при отсутствии кавитационных эффектов также повышает экстракцию ароматических веществ, но в меньшей степени и за более длительное время воздействия: 40 мин ультразвукового воздействия экстракция кофеина повысилась на 6% из раствора чая, экстракция антоцианов из ягод черной смородины увеличилась в 1,4 раза при 20 мин (Чеснокова, 2023).

Результаты органолептической оценки дегустационной комиссии подтверждаются исследованием ароматических веществ на приборе «Электронный нос». При этом аналитический метод позволил установить снижение ароматических соединений в два раза по площади «визуальных отпечатков» запаха в полуфабрикатах с добавлением сахарного и инвертного сиропов в соотношении 50:50 по сравнению с исходным тыквенным пюре. Что опреде-

ляет перспективу использования мультисенсорных систем с целью идентификации натуральных фруктово-овощных компонентов в кондитерских изделиях, как в работе (Чернуха, 2011) авторы определяют видовую принадлежность мясного сырья. Но для дальнейших исследований необходимо определить маркерные соединения, характеризующие то или иное растительное сырье.

При десятиминутной обработке полуфабриката с инвертным сиропом площадь «визуальных отпечатков» уменьшается за счет наличия большого количества твердых частиц в инвертном сиропе и возможности образования оболочек вокруг частиц твердой фазы сиропа, что обеспечивает удержание ароматических веществ в монослое оболочек, в отличие от полуфабриката с сахарным сиропом, где твердых частиц значительно меньше. Стабильность толщины этих оболочек обеспечивается за счет поверхностного натяжения в оболочках, структуры пюре и образования тончайшего монослоя на межфазной поверхности с твердыми частицами за счет возникновения молекулярных сил сцепления из-за некомплектности данного слоя.

Дегустаторы также отметили увеличение интенсивности запаха в образцах полуфабриката с сахарным сиропом после 10 мин кавитационной обработки и снижение в образцах полуфабриката с инвертным сиропом после 10 мин кавитационной обработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований установлено повышение вкусо-ароматического профиля кондитерских полуфабрикатов в условиях кавитационного воздействия. Увеличение содержания ароматических веществ в полуфабрикаты из тыквы и с инвертным, и с сахарным сиропами происходит при 10 минутах обработки, и увеличение времени обработки нецелесообразно.

Так как кавитация является способом диспергирования сред, поэтому в полуфабрикатах было выявлено снижение содержания крупных частиц (более 150 мкм) и увеличение количества частиц меньшего размера.

Это показывает перспективы применения кавитационных воздействий для пищевых техноло-

гий, в условиях которой получение готовых изделий проходит относительно низких тепловых воздействий, тем самым максимально сохраняются нативные вещества используемого сырья, и положительно изменяются физико-химические и органолептические показатели. Однако для каждого объекта нужно оптимизировать условия кавитационного воздействия с возможным снижением его длительности, что является направлением дальнейших исследований.

Использование прибора «Электронный нос» позволило выявить снижение площади «визуальных отпечатков» запаха, в сравнении с исходными показателями тыквенного пюре приблизительно в 2 раза при добавлении сахарного или инвертного сиропов в тыквенное пюре в соотношении 50:50.

Перспективным направлением дальнейших исследований является определение маркеров ароматических соединений с целью идентификации фруктово-овощной составляющей в кондитерских изделиях.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Татьяна Васильевна Федосенко: проведение исследования; верификация данных; визуализация, создание рукописи и её редактирование.

Лариса Михайловна Аксенова: концептуализация; методология и руководство исследованием.

Михаил Алексеевич Пестерев: проведение исследования; верификация данных; визуализация; ресурсы.

Анна Ивановна Захарова: проведение исследования; ресурсы.

Любовь Карповна Пацюк: проведение исследования; ресурсы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность О.С. Руденко и М.А. Талейснику за консультации и помощь в выполнении исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Богданова, А.В., Кузнецова, Т.Г., & Иванкин, А.Н. (2012). Наносенсорный анализ летучих компонентов для дифференциации объектов растительного происхождения. *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 7(90), 107-111.
- Bogdanova, A.V., Kuznetsova, T.G., & Ivankin, A.N. (2012). Nanosensor analysis of volatile components for differentiation of plant origin objects. *Bulletin of MSAА – Forestry Bulletin*, 7(90), 107-111. (In Russ.).
- Гаджиева, А.М., Абасова, З.У., & Мургазалиева, З.А. (2020). Инновационные ресурсосберегающие технологии переработки томатного сырья. В *Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения: Материалы международной научно-практической конференции* (с. 63-73). Краснодар: Кубанский государственный технологический университет.
- Gadzhieva, A.M., Abasova, Z.U., & Murtazaliev, Z.A. (2020). Innovative resource-saving technologies for processing tomato raw materials. In *Biotechnological, ecological, and economic aspects of creating safe food products of specialized purpose: Materials of the international scientific and practical conference* (pp. 63-73). Krasnodar: Kuban State Technological University.
- Головкова, Д.О., & Динер, Ю.А. (2021). Сенсорная аналитическая система «электронный нос» для анализа качества пищевых продуктов. В *Наука молодых – будущее России: сборник научных статей 6-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых* (т. 4, с. 153-155). Юго-Западный государственный университет.
- Golovkova, D.O., & Diner, Y.A. (2021). Sensory analytical system “electronic nose” for analysis of food product quality. In *Science of the Young – the Future of Russia: Collection of Scientific Articles of the 6th International Scientific Conference on Prospective Developments of Youth* (vol. 4, pp. 153-155). Southwest State University.
- Донченко, Л.В., & Кондратенко, В.В. (1998). Изменение содержания пектиновых веществ тыквы при созревании и хранении. *Известия вузов. Пищевая технология*, 1, 83-84.
- Donchenko, L.V., & Kondratenko, V.V. (1998). Changes in the content of pectin substances in pumpkin during ripening and storage. *Proceedings of universities. Food Technology*, 1, 83-84.
- Козырев, И.А., Батаева, Д.С., & Насонова, В.В. (2021). Мультисенсорная система «электронный нос» для определения качества мясных продуктов в процессе хранения. *Пищевые системы*, 4, 142-147. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-142-147>
- Kozyrev, I.A., Bataeva, D.S., & Nasonova, V.V. (2021). Multisensory system “electronic nose” for determining the quality of meat products during storage. *Food Systems*, 4, 142-147. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-142-147>
- Кондратенко, В.В., & Кондратенко, Т.Ю. (2019). Особенности формирования сорбционных свойств пектиновых веществ из разных видов тыквы. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 7, 5-12.
- Kondratenko, V.V., & Kondratenko, T.Yu. (2019). Features of the formation of sorption properties of pectin substances from different types of pumpkin. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 7, 5-12.
- Лодыгин, А.Д., & Давыденко, Н.И. (2019). Разработка технологии мучного кондитерского изделия с использованием плодов тыквы. *Пищевая индустрия*, 2, 40.
- Lodygin, A.D., & Davydenko, N.I. (2019). Development of technology for flour confectionery product using pumpkin fruits. *Food Industry*, 2, 40.
- Овсепян, В., & Худавердян, О. (2019). Изменение и содержание аскорбиновой кислоты в некоторых овощах при хранении и переработке. *Sciences of Europe*, 1(39), 3-6.
- Ovsepyan, V., & Khudaverdyan, O. (2019). Changes in the content of ascorbic acid in some vegetables during storage and processing. *Sciences of Europe*, 1(39), 3-6.
- Потороко, И.Ю., & Цирульниченко, Л.А. (2014). Формирование сенсорных характеристик пищевых продуктов под воздействием эффектов сонохимии. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 2(2), 27-34.
- Potoroko, I.Yu., & Tsurulnichenko, L.A. (2014). Formation of sensory characteristics of food products under the influence of sonochemistry effects. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 2(2), 27-34.
- Никитина, С.Ю., Кучменко, Т.А., Рудаков, О.Б., & Дроздова, Е.В. (2015). Применение методики «Электронный нос» для оценки качества пищевого этанола. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*, (1), 26-35.
- Nikitina, S.Yu., Kuchmenko, T.A., Rudakov, O.B., & Drozdova, E.V. (2015). Application of the “Electronic Nose” technique for assessing the quality of food ethanol. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, (1), 26-35.
- Табаторович, А.Н. (2018). Характеристика фруктовых и овощных пюре-полуфабрикатов для кондитерских изделий. Качество продукции, технологий и образования. *Материалы XIII Международной научно-практической конференции* (с. 145-153). Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
- Tabatorovich, A.N. (2018). Characteristics of fruit and vegetable puree semi-finished products for confectionery products. Product quality, technology, and education.

- Materials of the XIII International scientific and practical conference* (pp. 145-153). Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University.
- Чернуха, И.М., Кузнецова, Т.Г., Анисимова, И.Г., & Богданова, А.В. (2011). Сенсорные аналитические системы «электронный нос» для совершенствования контроля качества мясного сырья. *Пищевая промышленность*, (4). Chernukha, I.M., Kuznetsova, T.G., Anisimova, I.G., & Bogdanova, A.V. (2011). Sensory analytical systems “electronic nose” for improving the quality control of meat raw materials. *Food Industry*, (4).
- Чеснокова, Н.Ю., Кузнецова, А.А., & Кушнаренко, Л.В. (2023). Влияние условий извлечения на экстрагирование антоцианов из ягодного сырья. *Вестник КрасГАУ*, (8), 218-226. Chesnokova, N.Yu., Kuznetsova, A.A., & Kushnarenko, L.V. (2023). Influence of extraction conditions on the extraction of anthocyanins from berry raw materials. *Bulletin of KrasGAU*, (8), 218-226.
- Askarniya, Z., Sun, X., Wang, Z., & Boczkaj, G. (2023). Cavitation-based technologies for pretreatment and processing of food wastes: Major applications and mechanisms — A review. *Chemical Engineering Journal*, 454, 140388. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140388>
- Blake, F.G. (1949). *The onset of cavitation in liquids*. Harvard University.
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
- Carrillo-Lopez, L. M., Garcia-Galicia, I. A., Tirado-Gallegos, J. M., Sanchez-Vega, R., Huerta-Jimenez, M., Ashokkumar, M., & Alarcon-Rojo, A. D. (2021). Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105467. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105467>
- Castro-Muñoz, R., Boczkaj G., & Jafari S. M. (2023). The role of hydrodynamic cavitation in tuning physicochemical properties of food items: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 134, 192–206. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.010>
- Ciriminna R., Scurria A., Pagliaro M. (2023). Natural product extraction via hydrodynamic cavitation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 33, 101083. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25391.82088/2>
- Dunchenko N., Olga K, Elena V, Svetlana K, Kermen M, Arina O, & Anandan S. (2023). Influence of acoustic cavitation on physico-chemical, organoleptic indicators and microstructure of Aдыгhe cheese produced from cow and goat milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 98(6), 106493. <https://doi.org/106493.10.1016/j.ultsonch.2023.106493>
- Lee, H., & Feng, H. (2011). Effect of power ultrasound on food quality. In *Food Engineering Series (Food Engineering Series)* (pp. 559–582). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3_22
- Neppiras, E.A. (1980). Acoustic cavitation thresholds and cyclic processes. *Ultrasonics*, 18, 201–209. [https://doi.org/10.1016/0041-624X\(80\)90120-1](https://doi.org/10.1016/0041-624X(80)90120-1)
- Roldán-Gutiérrez, J. M., Ruiz-Jiménez, J., & Luque de Castro, M. D. (2008). Ultrasound-assisted dynamic extraction of valuable compounds from aromatic plants and flowers as compared with steam distillation and superheated liquid extraction. *Talanta*, 5, 1369-1375. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.01.057>
- Tang, J., Zhu, X., Jambrak, A. R., Sun, D. W., & Tiwari, B. K. (2023). Mechanistic and synergistic aspects of ultrasonics and hydrodynamic cavitation for food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0418-1>
- Xia, T., Shi, S., & Wan, X. (2006). Impact of ultrasonic-assisted extraction on the chemical and sensory quality of tea infusion. *Journal of Food Engineering*, 74(4), 557–560. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.043>