

Применение растительных эмульсионных гелей в технологии безглютенового сдобного печенья

¹ Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, г. Могилев, Республика Беларусь

² Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация

В. А. Васькина¹, Е. С. Новожилова¹, Г. Н. Дубцова²,
Е. Н. Молчанова², Я. К. Кузнецов²

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Дубцова Галина Николаевна,
E-mail: dubcovagn@mgupp.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Васькина, В.А., Новожилова, Е.С., Дубцова, Г.Н., Рогозкин, Е.Н., Молчанова, Е.Н., & Кузнецов, Я.К. (2024). Применение растительных эмульсионных гелей в технологии безглютенового сдобного печенья. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 71-84. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.1.487>

ПОСТУПИЛА: 10.01.2024

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Исследование адресует проблему негативного влияния трансизомеров жирных кислот и глютена, содержащихся в традиционных сдобных видах печенья. Актуализация данной проблемы обусловлена потребностью в разработке рецептур с заменой твердого животного жира и пшеничной муки на более здоровые альтернативы.

Цель: Создание технологии производства безглютенового сдобного печенья с использованием эмульсионного геля из масла грецкого ореха, капсулированного в белково-полисахаридные оболочки, и альтернативного сырья на снижение рисков для здоровья.

Материалы и методы: Опытные образцы сдобного печенья готовили с заменой пшеничной муки на безглютеновую смесь из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов и животного жира — маслом грецкого ореха. Необходимое структурирование в тесте достигалось за счет введения белково-полисахаридной смеси, в которой использовали изолят белка сои и смесь полисахаридов (гуммиарабик, натрий-карбоксиметилцеллюлоза и пектин) для создания стабильных капсул, содержащих масло грецкого ореха. В процессе выпечки печенья изучали изменение температуры с помощью термопар, уставленные как в пекарной камере, так и на верхней и нижней поверхностях тестовых заготовок. Для замера толщины (высоты) печенья рядом с заготовкой теста ставили вертикальный эталон высотой 20 мм. Сигналы от термопар и показания толщины (высоты) тестовых заготовок во время выпечки подавались на дисплеи цифровых вторичных приборов, числовые значения с которых записывались на общую видеокамеру. Проведены исследования физико-химических и органолептических свойств печенья, в зависимости от технологии и рецептуры приготовления.

Результаты: Разработана технология безглютенового печенья, которая включает применение эмульсионных гелей на основе инкапсулированного масла грецкого ореха. Использование амарантовой муки и крахмалов позволило снизить плотность и увеличить влагопоглощение готовых изделий. Замена животного жира на растительное масло уменьшает продолжительность выпечки на 14,3%, повышая тем самым производительность.

Выводы: В результате замены жира и применения эмульсионных гелей создано сдобное печенье с улучшенными органолептическими характеристиками и более сбалансированным жирнокислотным составом. Разработанное печенье может быть рекомендовано как функциональный продукт питания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

белково-полисахаридная смесь, гидроколлоиды, изолят соевого белка, инкапсуляция, качество печенья, безглютеновый продукт

Application of Plant Emulsion Gels in the Technology of Gluten-Free Book Cookies

¹ Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Belarus

² Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation

Valentina A. Vaskina¹, Alena S. Navazhylava¹, Galina N. Dubtsova², Evgeniy N. Rogozkin², Elena N. Molchanova², Yaroslav K. Kuznetsov²

CORRESPONDENCE:

Galina N. Dubtsova

E-mail: dubcovagn@mgupp.ru

DATA AVAILABILITY:

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

FOR CITATIONS:

Vaskina, V., Navazhylava, A., Dubtsova, G., Rogozkin, E., Molchanova, E., & Kuznetsov, Ya. (2024). Application of plant emulsion gels in the technology of gluten-free book cookies. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 71-84. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.487>

RECEIVED: 10.01.2024

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background: This study addresses the adverse effects of trans fatty acid isomers and gluten present in traditional types of enriched cookies. The urgency of this issue is driven by the need to develop recipes that replace solid animal fats and wheat flour with healthier alternatives.

Purpose: To develop a technology for producing gluten-free enriched cookies using an emulsion gel of walnut oil encapsulated in protein-polysaccharide shells, and alternative raw materials to reduce health risks.

Materials and Methods: Experimental cookie samples were prepared by substituting wheat flour with a gluten-free mix of amaranth flour, corn and potato starches, and replacing animal fat with walnut oil. The necessary structure in the dough was achieved through the introduction of a protein-polysaccharide mix, utilizing soy protein isolate and a blend of polysaccharides (gum arabic, sodium carboxymethyl cellulose, and pectin) to create stable capsules containing walnut oil. During the baking process, temperature changes were monitored using thermocouples installed both in the baking chamber and on the upper and lower surfaces of the dough samples. A vertical standard of 20 mm was placed next to the dough sample to measure the thickness (height) of the cookies. Signals from the thermocouples and the thickness readings were displayed on digital secondary devices, with numerical values recorded by a general video camera. Physicochemical and organoleptic properties of the cookies were studied, depending on the technology and recipe used.

Results: A technology for gluten-free cookies has been developed that incorporates the use of emulsion gels based on encapsulated walnut oil. The use of amaranth flour and starches has reduced the density and increased the moisture absorption of the finished products. Replacing animal fat with vegetable oil decreases the baking time by 14.3%, thereby enhancing productivity.

Conclusion: As a result of replacing fat and using emulsion gels, enriched cookies with improved organoleptic characteristics and a more balanced fatty acid composition have been created. The developed cookies can be recommended as a functional food product.

KEYWORDS

protein-polysaccharide blend; hydrocolloids; soy protein isolate; encapsulation; cookie quality; gluten-free product

ВВЕДЕНИЕ

На мучные изделия приходится половина объема продаж кондитерской продукции (в среднем 50,9%)¹. Наибольшим спросом пользуется сдобное печенье, отличающееся хрустящей, рассыпчатой структурой, приятным вкусом и ароматом. Сдобное песочно-выемное печенье изготавливается из пластичного теста, основными компонентами которого является: мука пшеничная высшего сорта, сахарная пудра, мед или инвертный сироп, молочные продукты (сливочное масло, сгущенное молоко с сахаром, молоко коровье пастеризованное, молоко коровье цельное сухое, сливки сухие) меланж или яйцо, химические разрыхлители (сода, углекислый натрий), ароматические вещества.

Сливочное масло как один из важнейших компонентов рецептуры обеспечивает тесту пластичные свойства, а готовым изделиям — текстуру, вкус и аромат (Васькина, 2008; Atkinson, 2011; Mert & Demirkesen, 2016; Ekin, 2021; Kouhsari, 2022). Кроме того, сливочное масло добавляется в печенье с такими компонентами, как сгущенное молоко с сахаром (жирность 8,5%), молоко коровье пастеризованное (жирность 3,2%), молоко коровье цельное сухое (жирность 25%), сливки сухие (жирность 42%). При смешивании рецептурных компонентов жиры действуют как смазка, конкурируя с водой за покрытие поверхности частиц муки, а также стабилизируют воздушные пузырьки, образующиеся при замесе теста и выпечке печенья (Ekin, 2021). На процесс выпечки тестовых заготовок печенья оказывает заметное влияние количество жира в рецептуре, его природа, тип и консистенция (Srivastava & Mishra, 2021). В рецептурах сдобного печенья доля сливочного масла составляет до 25–27%. Затем на стадиях получения эмульсии и теста сливочное масло находится в диспергированном состоянии в виде мелких капель, где проявляется дефицит поверхностно-активных веществ (ПАВ), роль которых выполняется белками молока. Так, в сливочном масле, сгущенном молоке с сахаром и молоке коровьем пастеризованном белки молока находятся в активном состоянии, а в сухом молоке коровьем цельном и сухих сливках — в обезвоженном и не способные выполнять функции ПАВ.

Внесение жирового сырья в печенье оснащает изделие насыщенными и транс-изомерами жирных кислот, которые образуются естественным образом в процессе биогидрирования в организме жвачных животных (молоко, сливочное масло). Присутствие насыщенных и транс-изомеров жирных кислот в сдобном печенье оказывает негативное влияние на организм человека (Зайцева, 2012; Мажидова, 2016; Почичкая, 2016). На этом основании ученые и производители кондитерской продукции стремятся заменить жировой компонент и ликвидировать дефицит поверхностно-активных веществ в рецептурах и ведут поиск альтернативных подходов к решению проблемы.

Одним из способов замены твердых жиров в мучных изделиях является структурирование растительного масла с помощью олеогелляторов, способных придавать им механическую прочность, необходимую текстуру и термическое поведение (Patel, 2016, 2017; Yilmaz & Ögütçü, 2014; Martins, 2018; Martins, 2022; Silva, 2023; Pert, 2023; Chowdhury, 2023). Другим способом замены твердых жиров является инкапсуляция или эмульгирование жидкого растительного масла в виде коллоидных капсул или эмульсионного геля (Turasan, 2015; Li, 2020; Lai, 2021; Yiu, 2023). Важным этапом для процесса инкапсуляции масел является выбор стенового материала (оболочки или стенки капсулы), способного создавать защитный барьер. Типичными инкапсулирующими (стеновыми) материалами для пищевых продуктов являются белки, полисахариды, а также их комбинации. Чаще всего используется животный белок из молока, а также растительные протеины из риса, сои, гороха (Oliveira, 2020; Srivastava & Mishra, 2021). В качестве полисахаридов находят применение альгинаты, агар, гуаровая камеди, пектин, каррагинан, инулин, полидекстроза, мальтодекстрины и др.

Жидкие растительные масла с помощью способов олеогелирования или эмульгирования применяются в производстве печенья (Hadnadev, 2015; Mert & Demirkesen, 2016; Gharaie, 2019; Paciulli, 2020; Ekin, 2021; Tan, 2021; Barragán, 2022). Приводятся сведения об использовании в рецептурах печенья таких растительных масел как подсолнечное (Srivastava & Mishra, 2021), оливковое (Gharaie, 2019; Ekin, 2021)

¹ Анализ рынка кондитерских изделий в странах СНГ. <https://bcmagazine.by/novosti/analiz-rynka-konditerskikh-izdelij-v-stranakh-sng>

кофейное (Sharma, 2021), масло черного тмина и виноградных косточек (Ekin, 2021), бразильского ореха (Oliveira, 2020) масло канолы и лесного ореха (Barragán-Martínez, 2022; Kouhsari, 2022) и др. Жидкие масла позволяют улучшить качество изделий, снизить потребление шортенинга и содержание насыщенных жиров. Однако, дегустаторы печенья обнаруживают различия в характеристиках текстуры и вкуса контрольных и опытных образцов. Аналогичные попытки использования жидкого растительного масла в печенье предпринимались и в России. В частности, представлена технология, где предусматривается введение жидкого масла в матрицу заварного теста, приготовленного из смеси муки (рисовой, кукурузной, льняной полуобезжиренной) и стабилизирующих добавок (Рензеева, 2022).

В ряде исследований показано влияние жидких растительных масел на процесс выпечки мучных изделий, что связывается с теплофизическими свойствами жировых продуктов (Rojas, 2013; Sahasrabudhe, 2017). В отдельных работах показано воздействие на термические свойства тестовых заготовок печенья гидроколлоидов, обусловленное их природой, концентрацией, молекулярной массой. (Perry & Donald, 2002; Sanz, 2005; Lokesh, 2022). Кроме того, возрастает интерес к применению новых видов муки и крахмалов в рецептуре мучных изделий, а также изучается их влияние на изменение процесса термообработки (Zhou, 2008; Torres, 2013; Kai, 2021).

Помимо жира в рецептурах сдобного печенья значительная часть приходится на пшеничную муку, которая содержит глютен, являющийся аллергеном для больных целиакией. Известны различные способы получения безглютенового печенья на основе таких видов муки (рисовая, кукурузная, гречневая, овсяная, амарантовая) с применением растительных жмыхов, фруктовых и овощных порошков, полисахаридов (агар, альгинат натрия, натрий-карбоксиметилцеллюлозы), белков (сухая молочная сыворотка, изолят белка сои и др.) (Xu, 2020). В предложенных способах имеются недостатки: использование твердых жиров с высоким содержанием насыщенных жирных кислот и холестерина; применение молочных и яичных продуктов, для которых требуются специальные условия хранения и подготовки перед пуском в производство; усложнение технологии, связанные с многочисленными

компонентами и этапами их введения в технологический процесс; небольшое количество вводимого жидкого масла в пределах 2–4 %.

Основой теста для приготовления сдобного печенья является эмульсия, которая образуется при смешивании всех компонентов рецептуры, кроме муки. Замена сливочного масла, а также содержащих его молочных продуктов, приведет к полному разрушению структуры эмульсии и теста. Поэтому введение в эмульсию жидкого растительного масла взамен сливочного масла обуславливает поиск новых эмульгаторов для стабилизации системы. Полученная эмульсия проходит оценку на последующих стадиях, как приготовление теста, формование тестовых заготовок печенья, их выпечка и дегустация готовых изделий.

Нами использованы значимые работы применения инкапсулированных жидких растительных масел (6–15 %) в технологии мармелада, конфет и начинок (Васькина, 2016, 2017; Бутин, 2022) для выполнения текущего исследования. Целью данного исследования явилась разработка технологии сдобного безглютенового печенья на основе использования эмульсионных гелей из масла грецкого ореха и белково-полисахаридных смесей, а также смеси из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- (1) Определить оптимальный состав белково-полисахаридной смеси для капсулирования масла грецкого ореха и создания эмульсионного геля;
- (2) Изучить процесс термообработки тестовых заготовок сдобного печенья, приготовленных по новой и традиционной технологии;
- (3) Сравнить физико-химические и органолептические показатели качества сдобного печенья, приготовленных по новой и традиционной технологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты и материалы

Объектами исследования были образцы сдобного печенья, для приготовления которых использовали следующие виды сырья и ингредиентов: мука пшеничная высшего сорта, амарантовая мука, крахмал

картофельный, крахмал кукурузный, сахар белый, масло сливочное, масло растительное из плодов грецкого ореха, меланж, изолят соевого белка (ИСБ), лимонная эссенция, альгинат натрия (А), гуммиарабик (G), натрий карбоксиметилцеллюлозы (К), яблочный пектин (Р), натрий двууглекислый (сода). Качество используемого сырья соответствовало требованиям действующей нормативно-технической документации.

Процедура исследования

Образцы печенья готовили по рецептуре № 187² в лабораторных условиях по традиционной технологии (контроль), которая включала следующие стадии: приготовление эмульсии, замес теста, формование тестовых заготовок и их выпечка. Вначале в емкость взбивальной машины загружали сахарную пудру, инвертный сироп, сливочное масло, гущенное молоко и меланж, далее смесь сбивали в течение 10–15 мин для получения однородной массы кремообразной структуры. Затем в сбитую массу добавляли раствор из смеси химических разрыхлителей, эссенции и воды (2,2–4,6 % от массы муки) и продолжали перемешивание в течение 1–2 мин. В готовую сбитую массу вносили пшеничную муку и замешивали тесто с влажностью 15–17 % и температурой 19–22 °С. Общая продолжительность сбивания сырья и замеса теста 16–21 мин. Формование тестовых заготовок печенья осуществляли вручную, раскаткой теста до толщины 5 мм и штамповкой металлической выемкой. Выпечку печенья проводили при температуре 220 °С в течение $7,5 \pm 1,5$ минут.

Образцы сдобного печенья по новой технологии готовили следующим образом. В белково-полисахаридную смесь, состоящую из изолята соевого белка и тройной смеси полисахаридов, добавляли воду, смесь ставили в термостат и выдерживали при температуре $90,0 \pm 2,0$ °С в течение 45–60 минут для набухания биополимеров. Набухшую смесь БПС загружали в сбивальную машину и сбивали в течение 7–10 минут до получения пенной массы, в которую вливали тонкой струйкой ореховое масло для получения эмульсии, при соотношении на 2 части раствора БПС вводили 1 часть орехового масла. Затем в полученную эмульсию добавляли сахар и смесь

уваривали до содержания сухих веществ 83–85 %. Далее эмульсию с сахаром сбивали течение 5–7 минут для охлаждения массы до комнатной температуры и, не прерывая сбивание, вводили остальные компоненты (химические разрыхлители, эссенцию). Для получения теста в охлажденную эмульсию с сахаром вводили смесь из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов (образец 2) и замешивали тесто с влажностью 15–17 % и температурой 19–22 °С. Формование тестовых заготовок печенья и их выпечку проводили аналогично контрольному образцу.

Образцы сдобного печенья по совмещенной технологии готовили следующим образом: в эмульсионный гель, приготовленный по новой технологии, добавляли муку пшеничную высшего сорта (из традиционной технологии) для получения теста с влажностью 15–17 % и температурой 19–22 °С (Образец 1).

Формование тестовых заготовок печенья и их выпечку проводили аналогично контрольному образцу.

Методы

В работе применяли общепринятые лабораторные методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий. Для определения пенообразующей способности БПС в емкость загружали ИБС и полисахаридный комплекс, затем добавляли воду, закрывали плотной крышкой, ставили в термостат, предварительно разогретый до температуры 90 ± 2 °С на 45–60 минут для набухания гидроколлоидов. Набухшую смесь биополимеров сбивали с помощью миксера в течение 30 минут, поддерживая температуру 90 ± 2 °С. Контролем служил раствор ИБС без полисахаридов.

Для определения эмульгирующей способности растворы БПС после набухания биополимеров сбивали в течение 7–10 мин для получения пенной массы, в которую тонкой струйкой вливали ореховое масло при соотношении на 2 части раствора БПС добавляли 1 часть орехового масла. Полученную эмульсию центрифугировали в пробирках в течение

² Рецептуры на печенье (1988). М.: ВНИИ кондитерской промышленности

ние 5 мин (3000 мин^{-1}) и оценивали по степени рас-слоения массы.

В процессе выпечки печенья изучали изменение температуры с помощью термопар (датчиков температуры), уставленные как в пекарной камере, так и на верхней и нижней поверхностях тестовых заготовок. Для замера толщины (высоты) печенья рядом с заготовкой теста ставили вертикальный эталон высотой 20 мм. Сигналы от термопар и показания толщины (высоты) тестовых заготовок во время выпечки подавались на дисплеи цифровых вторичных приборов, числовые значения с которых записывались на общую видеокамеру.

Качество печенья оценивали в соответствии с требованиями ГОСТ 24901–2014. Органолептические свойства готовых изделий (вкус и запах, поверхность, цвет, форма, вид изломе) анализировали по ГОСТ 5897–90, массовую долю влаги — термogrавиметрическим методом по ГОСТ 5900–2014, намокаемость — по ГОСТ 10114–80. Плотность печенья определяли объемно-весовым методом, взвешивая готовые изделия на технических весах и измеряя объем, вытесненный изделиями из тарированной емкости, заполненной сыпучим наполнителем. Органолептическую оценку проводили по тридцатибалльной шкале с участием 10 дегустаторов.

Анализ данных

При обработке экспериментальных данных применялись статистические методы определения средних значений искомой величины из 3-х кратной повторности, среднеквадратического отклонения и доверительного интервала при помощи программного пакета Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Влияние полисахаридных комплексов в составе бпс на выбор стенового материала

При создании безглютенового печенья использовали эмульсионный гель, при формировании которого изучали поверхностно-активные свойства белково-полисахаридных смесей (БПС) (пенообразующую способность, стойкость пены и эмульгирующую способность). В БПС в качестве белкового

компонента вносили изолят соевого белка (ИСБ), а также полисахариды — альгинат натрия (А), гуммиарабик (G), натрий карбоксиметилцеллюлозу (K) и яблочный пектин (P). Из этих полисахаридов были созданы четыре трехкомпонентные полисахаридные комплексы: 1 — (A+G+K); 2 — (A+G+P); 3 — (A+K+P) и 4 — (G+K+P). В качестве контроля использовали раствор ИСБ. Экспериментальные данные о влиянии полисахаридных комплексов на пенообразующую способность и эмульгирующие свойства БПС, представлены на Рисунках 1 и 2.

Согласно данным Рисунка 1, полисахаридные комплексы, входящие в состав БПС, по их влиянию на показатель пенообразующей способности можно показать как следующий ряд: 4 — (G+K+P) > 1 — (A+G+K) > 2 — (A+G+P) > 3 — (A+K+P). При исследовании стойкости пены установлено, что полисахаридные комплексы 1 — (A+G+K) и 4 — (G+K+P), входящие в состав БПС, позволили получить пенные массы, которые отличались не только высокой пенообразующей способностью, но и стойкостью пены во времени.

Согласно данным Рисунка 2 видно, что эмульгирующие свойства полисахаридных смесей, входящих в состав БПС, можно поставить в ряд: 1 —

Рисунок 1

Пенообразующая способность белково-полисахаридных комплексов

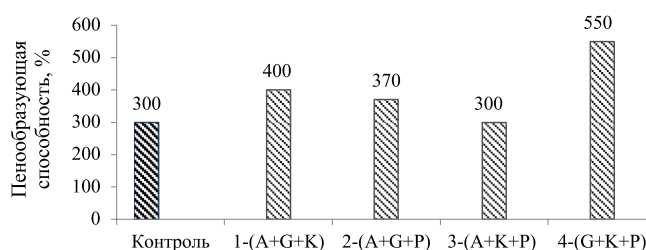
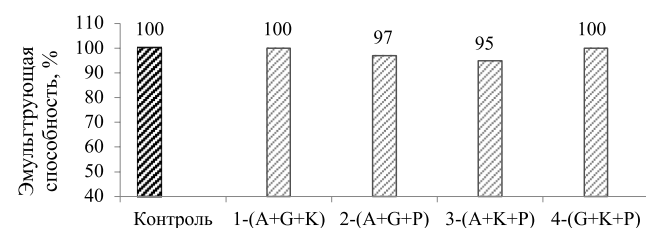


Рисунок 2

Эмульгирующая способность белково-полисахаридных комплексов



$(A+G+K) = 4 - (G+K+P) > 2 - (A+G+K) > 3 - (A+K+P)$.
Выявлено, что полисахаридные комплексы 1 – $(A+G+K)$ и 4 – $(G+K+P)$ в составе БПС обеспечивали получение эмульсий со 100%-й стойкостью. Таким образом, на основании проведенных исследований для дальнейшей работы использовали БПС с полисахаридным комплексом 4 – $(G+K+P)$ в качестве стенового материала для капсулирования масла грецкого ореха и получения эмульсионного геля.

Влияние эмульсионного геля на процесс выпечки тестовых заготовок печенья

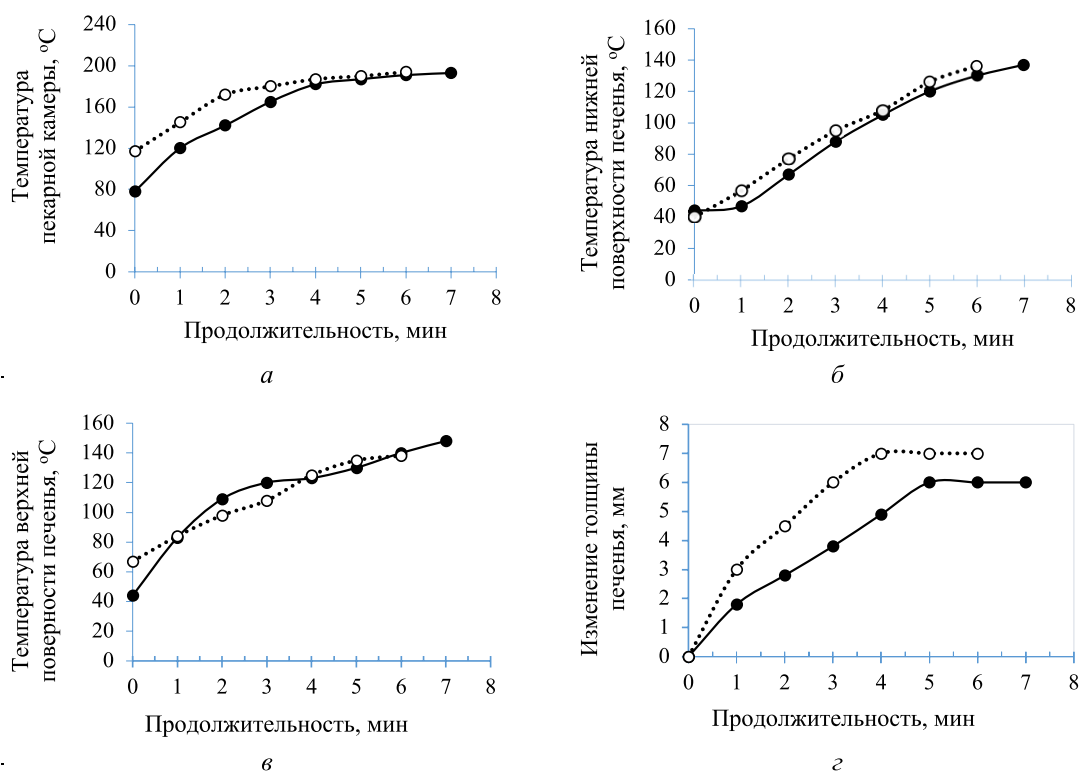
С приготовленным эмульсионным гелем замешивали тесто и изучали процесс выпечки тестовых заготовок печенья, полученных по традиционной и новой технологии. Экспериментальные данные, иллюстрирующие изменение температуры при выпечке тестовых заготовок, показаны на Рисунках 3 а, б, в, а трансформации толщины печенья – на Рисунке 3 г.

Данные Рисунка 3а свидетельствуют, что температурные режимы в пекарной камере полностью выравнивались в течение 4 мин при выпечке тестовых заготовок печенья (толщиной 5 мм), приготовленных как по традиционной, так и новой технологии, что обеспечивало равные условия термообработки образцов. При этом изменение температуры на верхней и на нижней поверхностях тестовых заготовок печенья (Рисунки 3б и 3в), приготовленных по традиционной и новой технологиям, также выравнивались в течение 4 мин термообработки. По данным Рисунка 3г видно, что изменение толщины печенья, приготовленного по традиционной технологии, продолжается в течение 5 мин, при этом прирост по высоте составил 6 мм, т. е. достиг до 11 мм, и, соответственно, для изделия, полученного по новой технологии длится – 4 мин, а подъем по толщине – 7 мм, и поднялся до 12 мм.

По показателю изменения толщины печенья, связанного с подъемом теста в процессе выпечки,

Рисунок 3

Изменение температуры в пекарной камере (а), на нижней (б) и верхней (в) поверхности печенья и трансформации толщины изделия (г)



Примечание. Для образцов печенья, приготовленных по традиционной (—●—) и новой (····○····) технологии

на Рисунке 3г можно выделить три стадии. Так, в течение первой минуты выпечки (первая стадия) наблюдали рост толщины печенья, приготовленного по традиционной технологии на 1,8 мм, а по новой — на 3 мм. В течение следующих 3–4 мин термообработки (вторая стадия) продолжается подъем высоты тестовых заготовок, что обусловлено следующими процессами: прогрев теста до температуры выше 60 °С, разложение химических разрыхлителей, испарение влаги, выделение большого количества диоксида углерода и пара, как следствие, резкое снижение плотности печенья. Затем в течение 2 мин (третья стадия) наблюдалось стабильное сохранение толщины печенья, приготовленного как по традиционной, так и новой технологиям. На этой же стадии зафиксирована модификация цвета поверхности тестовой заготовки от бледно-серого оттенка до золотисто-коричневого испеченного печенья.

Влияние эмульсионного геля на физико-химические и органолептические показатели качества печенья

Изменение физико-химических показателей качества (плотность, влажность, намокаемость) печенья, представлены на рисунке 4 а, б, в. При этом печенье, приготовленное по традиционной технологии (контроль), по совмещенной технологии (образец 1), в которой применяется эмульсионный гель на основе масла грецкого ореха, инкапсулированного белок-полисахаридной смесью (из новой технологии) и пшеничная мука (из традиционной технологии), а также по новой технологии

(образец 2) с применением эмульсионного геля и смеси амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов.

Согласно Рисунку 4а, печенье, приготовленное по новой технологии из смеси амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов (образец 2) обладало наиболее низкой плотностью (470 кг/м³) по сравнению с контролем (490 кг/м³). Печенье по совмещенной технологии, где использовали с эмульсионным гелем и пшеничную муку (образец 1), оно имело плотность (550 кг/м³), что на 10,9% выше контрольного образца.

Массовая доля влаги контрольного образца печенья (Рисунок 4б) соответствовала стандарту (влажность 7,5 ± 1,5%). Печенье, приготовленное по совмещенной технологии из пшеничной муки (образец 1), а также печенье по новой технологии и из смеси амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов (образец 2), имели одинаковые значения показателей влажности в соответствии с требованиями стандарта.

Как видно из Рисунка 4в, намокаемость печенья как контрольного образца, так и опытного (образец 2), приготовленного по новой технологии из смеси амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов, имели значения 150–165%, что соответствовало требованиям стандарта. Печенье (образец 1), полученное по совмещенной технологии с применением эмульсионного геля и пшеничной муки, показало самое низкое значение намокаемости (100%) и самое большое значение плотности (550 кг/м³), что не отвечало требо-

Рисунок 4

Изменение плотности (4а), влажности (4б) и намокаемости (4в) образцов сдобного печенья, приготовленных по традиционной (контроль), совмещенной (образец 1) и новой (образец 2) технологиям

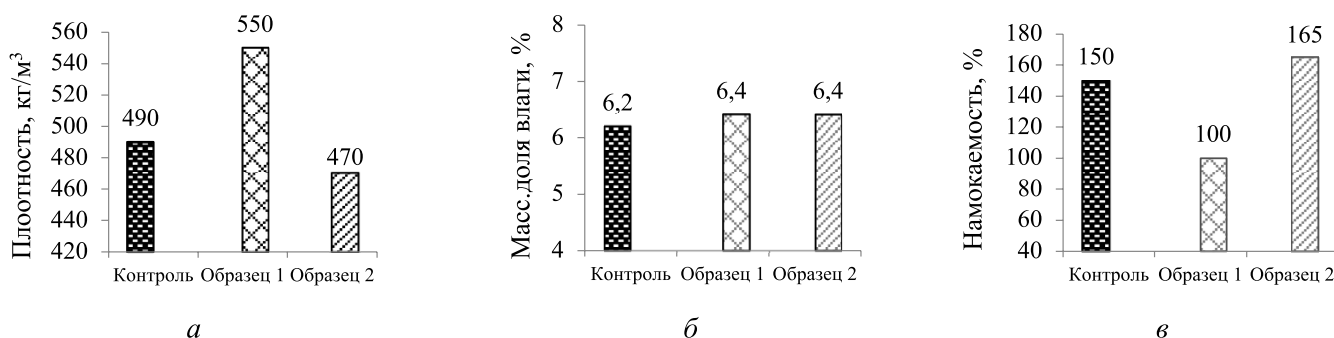


Рисунок 5

Внешний вид образцов печенья



ваниям стандарта и указывало на взаимодействие белков муки с фибриллами БПС.

При изучении органолептических показателей (вкус и запах, форма, поверхность, цвет, вид в изломе) у контрольного образца печенья наблюдали более шероховатую и интенсивно окрашенную поверхность с кристаллами сахара на поверхности. Образцы печенья (образец 2), приготовленные по новой технологии и рецептуре, обладали ровной и гладкой поверхностью, равномерной пористостью, приятным вкусом и ароматом.

Внешний вид образцов печенья, приготовленных по традиционной (контроль) и новой технологии (образец 2), представлены на Рисунке 5.

Результаты сенсорной оценки печенья, приготовленного по традиционной (контроль) и новой технологии (образец 2), представлены в Таблице 1.

Органолептическая оценка показала, что печенье (образец 2) по новой технологии имел более высо-

кую суммарную оценку дегустаторов по таким показателям как «вкус и запах», «поверхность, цвет», а также «вид в изломе» в сравнении с контролем.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данном исследовании для инкапсуляции орехового масла применяли белок-полисахаридную смесь (БПС), включающую изолят белка сои (ИБС), который обладает хорошей способностью диффундировать и адсорбироваться на поверхностях капель масла в процессе эмульгирования или пузырьков воздуха — при пенообразовании, действуя, таким образом, в качестве эффективного эмульгатора или пенообразователя. Именно эти свойства, активно обсуждаемые в последние годы в научной литературе (McClements et al., 2010; Zhang et al., 2014) и обуславливают потенциальное использование изолята соевого белка в кондитерской промышленности. В составе БПС использовали не один полисахарид, а были созданы четыре трехкомпонентные полисахаридные комплексы: 1 — (A+G+K); 2 — (A+G+P); 3 — (A+K+P) и 4 — (G+K+P). В качестве ПНЖК использовали ореховое масло, в составе которого, как известно, содержатся мононенасыщенная олеиновая кислота (38–43%) и полиненасыщенная линолевая кислота (40–45%). Полиненасыщенные линолевая и альфа-линоленовая жирные кислоты относятся к незаменимым и являются строительным материалом для клеточных мембран, участвуют в биосинтезе и регулирующих обменных процессах в организме (Ghazani et al., 2016)

Вначале была изучена экспериментальная информация о составе БПС для создания оболочек

Таблица 1

Органолептическая оценка образцов печенья

Показатели качества изделия	Коэффициент значимости показателя	Число степеней качества	Оценка в баллах	Контроль	Образец 2
Вкус и запах	4	1–3	4–12	11,2	11,8
Форма	1	1–3	1–3	2,8	2,9
Поверхность, цвет	2	1–3	2–6	4,1	5,0
Вид в изломе	3	1–3	3–9	7,2	8,5
Суммарная оценка (Σ 10–30)				25,3	28,2

на капельках орехового масла. Пенообразующая способность Y изолята соевого белка является физико-химической характеристикой, необходимой для понимания поведения белка при использовании его в качестве оболочек на капельках масла грецкого ореха. Проведены исследования влияния тройных смесей полисахаридов на пенообразующую способность растворов изолята соевого белка. Как видно из рисунка 1, пенообразующая способность Y_{\max} раствора ИБС с концентрацией 6% составляет 300% и является наименьшей. Введение полисахаридов 4 — (G+K+P), 1 — (A+G+K), 2 — (A+G+K), 3 — (A+K+P) в раствор изолята соевого белка приводит к увеличению Y до величин $Y=550\%$, $Y=400\%$, $Y=370\%$, $Y=300\%$ соответственно. При этом устойчивость пены повышалась, а оптимальное время взбивания БПС составляло 15–20 минут в зависимости от состава смесей полисахаридов. Исходя из полученных данных, можно отметить, что добавление тройной смеси полисахаридов в раствор изолята соевого белка приводит к повышению пенообразующей способности.

Проведены исследования инкапсуляции орехового масла оболочкой из БПС в водном растворе. На Рисунке 2 представлены показатели Y_{\max} стойкости эмульсий. Так, эмульсии, приготовленные на основе смесей полисахаридов 1 — (A+G+K) и 4 — (G+K+P) продемонстрировали стойкость в 100%, которые после центрифугирования были не разрушены. Можно предположить, что в данном случае более мелкие пузырьки воздуха в пене приводят к более мелким каплям масла в эмульсии при замещении воздушной фазы масляной. Этот факт является одной из причин большей стойкости эмульсии. Именно тройную смесь полисахаридов 4 — (G+K+P) выбрали в качестве стенового материала для капсулирования масла грецкого ореха и получения эмульсионного геля. Полученный результат указывает на высокую стойкость эмульсии, что косвенно характеризует высокую прочность оболочек из БПС, образующихся на капельках орехового масла. При этом в эмульсионном геле происходит изменение структуры белков ИСБ, которые из глобулярного состояния разворачиваются в длинные, гибкие и эластичные фибриллы, формирующие оболочки на каплях жира (Jansens et al., 2019).

Далее в полученный эмульсионный гель добавляется сахар и смесь уваривается до содержания влаги 16–17% (Рисунок 6). Термообработка сахара-э-

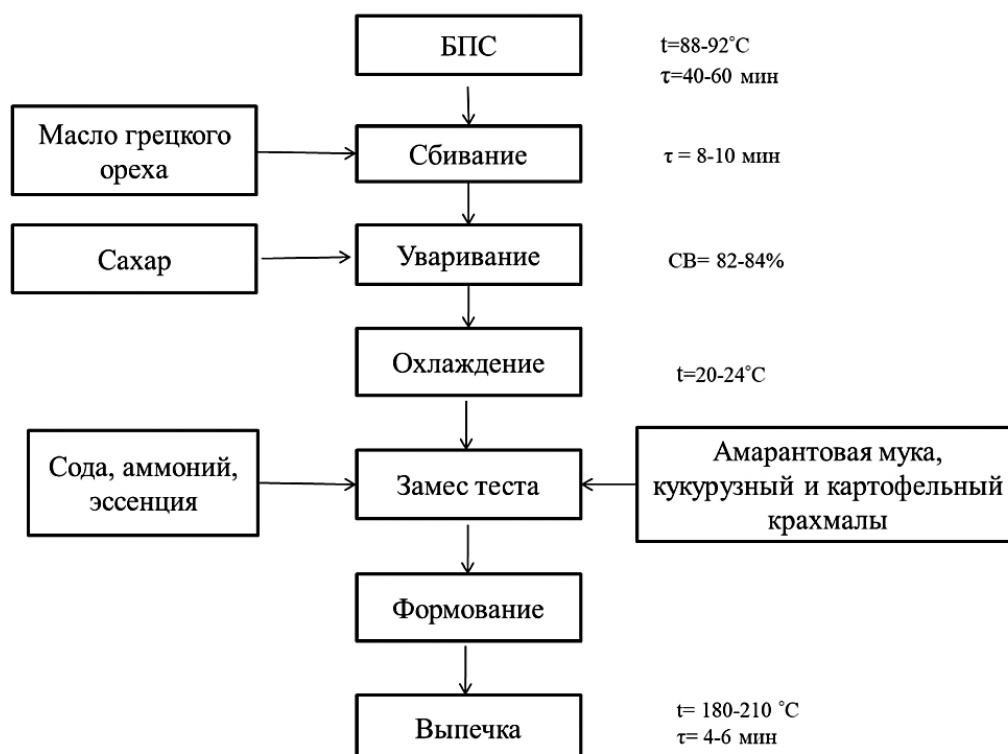
мульсионного геля приводит к реакции Майяра между белками и сахарами, а также обеспечивает спекание оболочек на капельках масла в прочные капсулы (Starowicz & Zieliński, 2019). Затем уваренный сахаро-эмульсионный гель интенсивно сбивается для охлаждения массы до температуры 20–24°C, что приводит к кристаллизации избыточного сахара и образованию твердой фазы. В итоге формируется дисперсная система «суспендированная эмульсия-гель-пена», состоящая из сплошной среды — насыщенный сахаро-БПС раствор, а также находящиеся в ней 3 фазы: твердая — кристаллы (8–10%) закристиализовавшегося сахара; жидкая — капельки масла грецкого ореха; воздушная — пузырьки воздуха. Далее в «суспендированную эмульсию-гель-пену» вводится безглютеновая мучная смесь, состоящая из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов (образец 2), все компоненты перемешиваются для получения теста. При этом частицы мучной смеси смешиваются с кристаллами сахара, что повышает долю твердой фазы в тесте. Это обусловлено тем, что содержание влаги как в мучной смеси (14,5%), так и в «суспендированной эмульсии-гель-пене» должны оставаться в значениях (16,0–17,5%), предупреждающих воздействие на биополимеры. Тесто для сдобного печенья по новой технологии выглядит в виде крошки, которая в течение 20 минут выдерживается для равномерного распределения влаги по массе.

Замена в рецептуре сдобного печенья сливочного масла на масло грецкого ореха (Рисунок 3 а, б, в, г) оказывало влияние на стадию выпечки тестовых заготовок, что связано с различиями жирно-кислотного состава. В сливочном масле преобладают насыщенные жирные кислоты (50–65%), среди которых короткоцепочечные кислоты составляют 20–25%. А в составе масла грецкого ореха входят в основном полиненасыщенные жирные кислоты (80–90%). Такое различие в составе жирных кислот обуславливает и различия в теплофизических свойствах жировых продуктов.

При нагревании как сливочного, так и масла грецкого ореха снижаются их значения плотности и теплоемкости (Юсупов и соавт., 1997), но при этом возрастает величина коэффициента температуропроводности, который характеризует скорость изменения температуры в веществе или, в данном случае, в тестовой заготовке печенья. Масло грец-

Рисунок 6

Технологическая схема производства сдобного печенья с инкапсулированным маслом



кого ореха имеет меньшее значение теплоёмкости, чем сливочное масло, что приводит к снижению продолжительности выпечки печенья по новой технологии до 6 минут, по сравнению с контролем — 7 минут. Таким образом, сокращение продолжительности выпечки печенья приводит к увеличению производительности печи на 14,3%.

На основании проведенных экспериментов разработаны новая технология и рецептура производства сдобного печенья с добавлением инкапсулированного масла грецкого ореха. При замене сливочного масла инкапсулированным маслом грецкого ореха в существующую технологию производства сдобного печенья были внесены ряд изменений. Принципиальные изменения затрагивали начальные этапы, такие как набухание гидроколлоидов, приготовление эмульсионного геля в оболочках из гидроколлоидов, уваривание с сахаром. Печенье готовили следующим образом: ИБС и тройную смесь полисахаридов смешивали с водой и гидроколлоиды выдерживали в течение 40–60 мин при температуре $(90 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ для набухания. В набухшую смесь гидроколлоидов взбивали до пенной массы и постепенно вливали масло грецкого ореха для полу-

чения эмульсионного геля в оболочках из гидроколлоидов. Затем в эмульсионный гель добавляли сахар белый и смесь уваривали. Заваренную массу для охлаждения и кристаллизации сахара взбивали в течение 10–15 мин. Далее охлажденную эмульсию загружали в тестомесильную машину и добавляли соду и смесь из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов. Продолжительность замеса теста составляла около 5–8 мин. Готовое тесто направляли на формование тестовых заготовок печенья, которые выпекали в течение 4–6 мин при температуре 180–210 °С. Выпеченное печенье охлаждали до комнатной температуры и упаковывали в соответствии со стандартом. Разработанная технологическая схема производства сдобного печенья с инкапсулированным маслом представлена на Рисунке 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решена задача создания новой технологии безглютенового сдобного печенья с использованием эмульсионного геля на основе масла грецкого ореха в оболочках из белково-полисахаридных

смесей. В результате проведенных исследований получены новые научные данные о функциональных свойствах белково-полисахаридных смесей, позволяющие капсулировать масло грецкого ореха в оболочки. Установлен оптимальный состав БПС, где в качестве белка используется изолят белка сои, а полисахариды представлены комплексом из гуммиарабика, натрий карбоксиметилцеллюлозы и пектина. Согласно разработанной технологии пшеничную муку заменяют безглютеновой смесью из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов в соотношении 1:1:1, а вместо твердого животного жира вносят масло грецкого ореха, капсулированное в оболочки из БПС, которые ликвидируют дефицит поверхностно-активных веществ и выполняют важную роль в образовании эмульсии и теста. Использование масла грецкого ореха в составе сдобного печенья позволяет изменить теплофизические свойства теста и уменьшить продолжительность выпечки печенья, исключить транс-изомеры жирных кислот из продукта и их негативное влияние на организм. Сдобное печенье, приготовленное по новой или предложенной технологии и рецептуре, не содержит глютена, транс-изомеров жирных кислот, его можно рекомендовать в качестве специализированных продуктов для больных целиакией, а также приверженцев вегетарианства.

Полученные результаты можно применить на другие виды печенья и с различными жидкими расти-

тельными маслами. При этом, ограничением для использования нового вида растительного масла является подбор соответствующего стенового материала, а также возможные изменения в стадиях технологического процесса. Подбор нового эмульгатора проводится на основе изучения поверхностно-активных свойств (пенообразующие и эмульгирующие свойства). Сравнение этапов новой технологии с традиционной, а также положительная их оценка являются пропуском к использованию в производстве.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Васькина В.А. — концептуализация; методология, руководство исследованием.

Новожилова Е. С. — создание черновика рукописи; визуализация.

Дубцова Г.Н. — создание рукописи и ее редактирование.

Рогозкин Е. Н. — концептуализация; методология, верификация данных.

Молчанова Е. Н. — создание черновика рукописи.

Кузнецов Я. К. — проведение исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Бутин, С. А., Васькина, В. А., & Шеголева, И. Д. (2022). Влияние полисахаридного комплекса в стеновом материале эмульсионного геля на качество шоколадно-ореховой начинки для кондитерских изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), <https://doi.org/10.36107/10.36107>
- Васькина, В. А., Бутин, С. А., Веретенникова, Е. В., & Мухамедиев, Ш. А. (2016). Создание эмульсии льняного масла, инкапсулированного белок-полисахаридной смесью. *Кондитерское производство*, 5, 10-15.
- Васькина, В. А., & Вайншенкер Т. (2008). Влияние растительных жиров на качество печенья. *Хлебопродукты*, 1, 56-57.
- Васькина, В. А., Кандроков, Р. Х., Быков, А. А., & Новожилова, Е. С. (2022). Исследование влияния состава стенового материала инкапсулированного орехового масла на структуру и качество молочной помады. *Весті Національної академії наук Білорусі*.
- Серия аграрных наук*, 60(3), 332-344. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-3-332-344>
- Зайцева, Л. В., Нечаев, А. П., & Бессонов, В. В. (2012). Транс-изомеры жирных кислот: история вопроса, актуальность проблемы, пути решения. М.: Дели плюс.
- Мажидова, Н. К. (2016). Получение твердых жиров с минимальным содержанием трансизомеризованных жирных кислот. *Масложировая промышленность*, 2, 26-29.
- Почицкая, И. М., & Рослик, В. Л. (2016). Определение трансизомеров жирных кислот в масложировой продукции с использованием метода инфракрасной спектроскопии. *Масложировая промышленность*, 5, 28-35.
- Рензязева, Т. В., Тубольцева А. С., & Рензязев А. О. (2022). Мука различных видов в технологии мучных кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 52(2), 407-416. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2373>

- Юсупов, Ш. Т., Сафаров, М. М., Зарипова, М. А., & Тагоев, С. А. (1997). Теплоемкость растительных масел в широком интервале параметров состояния. *Инженерно-физический журнал*, 5(70), 843.
- Barragán-Martínez, L. P., Román-Guerrero, A., Vernon-Carter, E. J., & Alvarez-Ramirez, J. (2022). Impact of fat replacement by a hybrid gel (canola oil/candelilla wax oleogel and gelatinized corn starch hydrogel) on dough viscoelasticity, color, texture, structure, and starch digestibility of sugar-snap cookies. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 29, 100563. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100563>
- Batirel, S., Yilmaz, A. M., Sahin, A., Perakakis, N., Ozer, N. K., & Mantzoros, C. S. (2018). Antitumor and antimetastatic effects of walnut oil in esophageal adenocarcinoma cells. *Clinical Nutrition*, 37(6A), 2166-2171. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.10.016>
- Cervera S.M., Salvador A., & Sanz T. (2015). Cellulose ether emulsions as fat replacers in muffins: Rheological, thermal and textural properties. *LWT – Food Science and Technology*, 63(1.2), 1083–1090. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.067>.
- Chen, Q., Dong, L., Li, Y., Liu, Y., Xia, Q., Sang, S., Wu, Z., Xiao, J., & Liu, L. (2023). Research advance of non-thermal processing technologies on ovalbumin properties: The gelation, foaming, emulsification, allergenicity, immunoregulation and its delivery system application. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2179969>
- Chowdhury, B., Sharma, A., Akshith, F. N. U., Mohan, M. S., Salunke, P., & Anand, S. (2023). A review of oleogels applications in dairy foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2215871>
- Ekin, M., Kutlu, N., Meral, R., Ceylan, Z., & Cavidoglu, İ. (2021). A novel nanotechnological strategies for obtaining fat-reduced cookies in the bakery industry: Revealing sensory, physical properties, and fatty acid profile of cookies prepared with oil-based nanoemulsions. *Food Bioscience*, 42, 101-184. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101184>
- Hadnađev, T. D., Hadnađev, M., Pojić, M., Rakita, S., & Krstonošić, V. (2015). Functionality of OSA starch stabilized emulsions as fat replacers in cookies. *Journal of Food Engineering*, 167(B), 133-138. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.02.002>
- Gharaie, Z., Azizi, M. H., Barzegar, M., & Gavlighi, H. A. (2019). Gum tragacanth oil/gels as an alternative to shortening in cookies: Rheological, chemical and textural properties. *LWT*, 105, 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.025>
- Ghazani, S.M., & Marangoni, A.G. (2016). Healthy fats and oils (2016). In C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman, & J. Faubion (Eds.), *Encyclopedia of food grains* (vol. 2, pp. 257-267). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00100-1>
- Jansens, K. J. A., Rombouts, I., Grootaert, C., Brijs, K., Van Camp, J., Van der Meeren, P., Rousseau, F., Schymkowitz, J., & Delcour, J. A. (2019,a). Rational Design of Amyloid-Like Fibrillary Structures for Tailoring Food Protein Techno-Functionality and Their Potential Health Implications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1), 84-105. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12404>
- Kai, Y., Luo, X., Zhai, Y., Liu, J., Chen, K., Shao, X., Wu, X., Li, Y., & Chen, Z. (2021). Influence of sodium alginate on the gelatinization, rheological, and retrogradation properties of rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, 708-715. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.207>
- Kouhsari, F., Saberi, F., Kowalczewski, P. Ł., Lorenzo, J. M., & Kieliszek, M. (2022). Effect of the various fats on the structural characteristics of the hard dough biscuit. *LWT*, 159, 113–227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113227>
- Lai, Q., Doan, N. T. T., & Nguyen, T. T. (2021). Influence of wall materials and homogenization pressure on microencapsulation of rice bran oil. *Food and Bioprocess Technology*, 14(10), 1885-1896. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02685-0>
- Li, Q., He, Q., Xu, M., Li, J., Liu, X., Wan, Z., & Yang, X. (2020). Food-grade emulsions and emulsion gels prepared by soy protein-pectin complex nanoparticles and glycyrrhizic acid nanofibrils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(4), 1051-1063. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04957>
- Lokesh, K., Brennan, M., Brennan, C., & Zheng, H/ (2022). Influence of whey protein isolate on pasting, thermal, and structural characteristics of oat starch. *Journal of Dairy Science*, 105(1), 56–71. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20711>
- Martins, A. J., Cerqueira, F., Vicente, A. A., Cunha, R. L., Pastrana, L. M., & Cerqueira, M. A. (2022). Gelation behavior and stability of multicomponent sterol-based oleogels. *Gels*, 8(1), 37. <https://doi.org/10.3390/gels8010037>
- Martins, A. J., Vicente, A. A., Cunha, R. L., & Cerqueira, M. A. (2018). Edible oleogels: An opportunity for fat replacement in foods. *Food & Function*, 9(2), 758-773. <https://doi.org/10.1039/C7FO01641G>
- Mert, B., & Demirkesen, I. (2016). Reducing saturated fat with oleogel/shortening blends in a baked product. *Food Chemistry*, 199, 809-816. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.087>
- McClements, D.J. (2010). Emulsion design to improve the delivery of functional lipophilic components. In M.P. Doyle & T.R. Klaenhammer (Eds.), *Annual review of food science and technology* (vol. 1, pp. 241-269). <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100722>
- Oliveira, T. S., Silva, O. F., Kluczkovski, A. M., & Campelo, P. H. (2020). Potential use of vegetable proteins to reduce Brazil nut oil oxidation in microparticle systems. *Food Research International*, 137, 109526. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109526>
- Paciulli, M., Littardi, P., Carini, E., Paradiso, V. M., Castellino, M., & Chiavaro, E. (2020). Inulin-based emulsion filled gel as fat replacer in shortbread cookies: Effects during storage. *LWT*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109888>
- Patel, A. R., & Dewettinck, K. (2016). Edible oil structuring: an overview and recent updates. *Food & Function*, 7, 20-29. <https://doi.org/10.1039/c5fo01006c>
- Patel, A. R. (2017). *Edible oil structuring. Concepts, methods and applications*. The Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781788010184>

- Perry, P. A., & Donald, A. M. (2002). The effect of sugars on the gelatinisation of starch. *Carbohydrate Polymers*, 49(2), 155–165. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00324-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00324-1)
- Perța-Crișan, S., Ursachi, C. Ș., Chereji, B. D., Tolan, I., & Munteanu, F. D. (2023). Food-Grade Oleogels: Trends in Analysis, Characterization, and Applicability. *Gels*, 9(5), 386. <https://doi.org/10.3390/gels9050386>
- Sanz, T., Salvador, A., Vélez, G., Muñoz, J., & Fiszman, S. M. (2005). Influence of ingredients on the thermo-rheological behaviour of batters containing methylcellulose. *Food Hydrocolloids*, 19(5), 869–877. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.11.003>
- Sharma, A., Aratrika, R., & Singhal, R. S. (2021). A biorefinery approach towards valorization of spent coffee ground: Extraction of the oil by supercritical carbon dioxide and utilizing the defatted spent in formulating functional cookies. *Future Foods*, 4, 100090. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100090>
- Silva, R. C. D., Ferdaus, M. J., Foguel, A., & da Silva, T. L. T. (2023). Oleogels as a fat substitute in food: A current review. *Gels*, 9(3), 180. <https://doi.org/10.3390/gels9030180>
- Srivastava, S., & Mishra, H. N. (2021). Development of microencapsulated vegetable oil powder-based cookies and study of its physicochemical properties and storage stability. *LWT*, 152, 112364. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112364>
- Starowicz, M., & Zieliński, H. (2019). How does the Maillard reaction influence sensorial properties (color, flavor and texture) of food products? *Food Reviews International*, 35(8), 707–725. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600538>
- Tan, C., & McClements, D. J. (2021). Application of advanced emulsion technology in the food industry: A review and critical evaluation. *Foods*, 10(4), 812.
- Torres, M. D., Moreira, R., Chenlo, F., & Morel, M. H. (2013). Effect of water and guar gum content on thermal properties of chestnut flour and its starch. *Food Hydrocolloids*, 33(2), 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.03.004>
- Turasan, H., Sahin, S., & Sumnu, G. (2015). Encapsulation of rosemary essential oil. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.036>
- Yılmaz, E., & Öğütçü, M. (2014). Properties and stability of hazelnut oil organogels with beeswax and monoglyceride. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(6), 1007–1017. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2434-1>
- Yiu, C. C. Y., Liang, S. W., Mukhtar, K., Kim, W., Wang, Y., & Selomulya, C. (2023). Food emulsion gels from plant-based ingredients: Formulation, processing, and potential applications. *Gels*, 9(5), 366. <https://doi.org/10.3390/gels9050366>
- Zhou, Y., Wang, D., Zhang, L., Du, X., & Zhou, X. (2008). Effect of polysaccharides on gelatinization and retrogradation of wheat starch. *Food Hydrocolloids*, 22(4), 505–512. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.01.010>
- Zhang, Z., Decker, E.A., & McClements, D.J. (2014). Encapsulation, protection, and release of polyunsaturated lipids using biopolymer-based hydrogel particles. *Food Research International*, 64, 520–526.