

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГА СПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTS

УДК 664.681.1:613.2

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-1-68-81>

Поступила в редакцию 28.12.2022

Received 28.12.2022

**В. А. Васькина¹, И. А. Машкова¹, А. А. Быков², Е. Н. Рогозкин³,
Е. И. Щербакова⁴, А. А. Рушиц⁴, А. С. Саломатов⁴**

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

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Российская Федерация

³Российский биотехнологический университет, Москва, Российская Федерация

⁴Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет),
Челябинск, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ИНКАПСУЛИРОВАННОГО ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА В ОБОЛОЧКАХ ИЗ ГИДРОКОЛЛОИДОВ НА КАЧЕСТВО И СТРУКТУРУ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ

Аннотация. Овсяное печенье содержит в составе транс-изомеры жирных кислот и глютен, оказывающие негативное влияние на здоровье человека. Содержание этих вредных для организма соединений обусловлено включением в рецептуру печенья маргарина и пшеничной муки. Проведена замена маргарина инкапсулированным подсолнечным маслом в оболочках из гидроколлоидов. На основании исследований пенообразующих и эмульгирующих свойств белок-полисахаридных смесей установлено, что наиболее стойкие оболочки на каплях подсолнечного масла образуются из гидроколлоидов, состоящих из молочной сыворотки и тройной смеси полисахаридов (агар, альгинат натрия, карбоксиметилцеллюлоза). Дополнительно, с целью получения безглютенового изделия, из рецептуры была удалена пшеничная мука. Исключение пшеничной муки компенсировали введением смеси кукурузного и картофельного крахмалов. Полученные образцы овсяного печенья сравнивали с контролем. Проведены исследования процесса выпечки. Установлено, что введение в тесто инкапсулированного подсолнечного масла оказывает влияние на теплофизические свойства теста и повышает его показатель температуропроводности, что укорачивает продолжительность выпечки печенья и увеличивает производительность печи на 17 %. Проведены исследования структуры печенья по традиционной и новой технологиям. Томографические снимки показали, что введение инкапсулированного масла в оболочки из гидроколлоидов вместо маргарина и замена пшеничной муки на смесь кукурузного и картофельного крахмалов позволяют получить безглютеновое печенье с более пористой структурой. Овсяное печенье, приготовленное по новым технологиям и рецептуре, обладает лучшими органолептическими показателями, имеет более сбалансированный химический состав, располагает обогащенным жирнокислотным составом, что позволяет рекомендовать его в качестве функционального питания.

Ключевые слова: инкапсуляция, подсолнечное масло, овсяное печенье, крахмал, белок-полисахаридная смесь

Для цитирования: Влияние инкапсулированного подсолнечного масла в оболочках из гидроколлоидов на качество и структуру овсяного печенья / В. А. Васькина [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2024. – Т. 62, № 1. – С. 68–81. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-1-68-81>

**Valentina A. Vaskina¹, Irina A. Mashkova¹, Alexander A. Bykov², Evgeniy N. Rogozkin³, Elena I. Shcherbakova⁴,
Anastasia A. Ruschits⁴, Aleksey S. Salomatov⁴**

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

²Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Dolgoprudny, Russian Federation

³Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation

⁴South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation

THE EFFECT OF ENCAPSULATED SUNFLOWER OIL IN HYDROCOLLOIDS SHELLS ON THE QUALITY AND STRUCTURE OF OATMEAL COOKIES

Abstract. Oatmeal cookies contain trans fats and gluten, which have a negative impact on health. The content of these compounds harmful to the body is due to the inclusion of margarine and wheat flour in the cookies recipe. Margarine was replaced with encapsulated sunflower oil in shells of hydrocolloids. Based on studies of the foaming and emulsifying properties

of protein-polysaccharide mixtures, it was found that the most stable shells on drops of sunflower oil are formed from hydrocolloids consisting of whey and a triple mixture of polysaccharides (agar, sodium alginate, carboxymethylcellulose). Additionally, in order to obtain a gluten-free product, wheat flour was removed from the recipe. The exclusion of wheat flour was compensated by the introduction of a mixture of corn and potato starches. The obtained samples of rich oatmeal cookies were compared with the control. Studies of the baking process have been carried out. It has been established that the introduction of encapsulated sunflower oil into the dough affects the thermophysical properties of the dough and increases its thermal diffusivity, which shortens the duration of baking cookies and increases the productivity of the oven by 17 %. Researches of structure of cookies on traditional and new technology are carried out. Tomographic images showed that the introduction of encapsulated oil in hydrocolloidal shells instead of margarine and the replacement of wheat flour with a mixture of corn and potato starches produced gluten-free cookies with a more porous structure. Oatmeal cookies, prepared according to the new technology and recipe, have better organoleptic characteristics, have a more balanced chemical composition, have an enriched fatty acid composition, which makes it possible to recommend them as a functional food.

Keywords: encapsulation, sunflower oil, oatmeal cookies, starch, protein-polysaccharide mixture

For citation: Vaskina V. A., Mashkova I. A., Bykov A. A., Rogozkin E. N., Shcherbakova E. I., Ruschits A. A., Salomatonov A. S. The effect of encapsulated sunflower oil in hydrocolloids shells on the quality and structure of oatmeal cookies. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2024, vol. 62, no. 1, pp. 68–81 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-1-68-81>

Введение. Среди мучных кондитерских изделий особой популярностью пользуется овсяное печенье, которое относится к высококалорийным продуктам питания [1]. Основными компонентами рецептуры овсяного печенья являются смесь пшеничной и овсяной муки, сахар, жир (сливочное масло или маргарин), измельченный изюм, повидло или виноградное вакуум-сусло, химические разрыхлители, вкусовые и ароматические вещества. В рецептуре печенья содержится много сахара и жира, которые формируют реологические свойства теста, а также структуру и вкус готового изделия. Технология получения овсяного печенья включает следующие стадии: приготовление эмульсии, получение заварки из овсяной муки, замес теста, формование тестовых заготовок и их выпечка. Сначала готовится эмульсия из всех компонентов рецептуры, кроме смеси муки и химических разрыхлителей. Полученная эмульсия относится к типу «масло в сахарном растворе» (дисперсной фазой являются капельки сливочного масла или маргарина, а средой – сахарный раствор с фруктовыми добавками). Одновременно готовится водно-солевой раствор, который затем нагревается до кипения и смешивается с овсяной мукой для получения заварки. Далее в тестомесильную машину загружают эмульсию, заварку из овсяной муки, пшеничную муку и другие рецептурные компоненты, которые перемешиваются для получения теста. Влажность теста составляет 16–19 %, температура – 24–27 °С. Из полученного теста формируются заготовки печенья, которые выпекаются в печи при температуре 180–240 °С в течение 8–13 мин [2].

Существенным недостатком овсяного печенья является использование в рецептуре сливочного масла или маргарина, содержащих транс-изомеры жирных кислот, которые образуются как естественным образом в процессе биогидрирования в организме животных, так и в результате технологического гидрирования жидких растительных масел. Присутствие транс-изомеров жирных кислот в овсяном печенье оказывает негативное влияние на организм. Кроме того, овсяное печенье запрещено употреблять лицам с непереносимостью пшеничного белка – глютена, который содержится в пшеничной муке. Численность населения с повышенной чувствительностью к глютену возрастает с каждым годом, в связи с чем необходимо сосредоточить усилия на разработке продуктов питания для удовлетворения потребностей этой группы людей.

Применение жидких растительных масел взамен сливочного масла или маргарина не только позволяет избавиться овсяное печенье от присутствия транс-изомеров жирных кислот в его составе, но и добиться существенного снижения содержания насыщенных жирных кислот и увеличения содержания полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). При этом существует проблема замены твердых жиров в рецептуре овсяного печенья на жидкие растительные масла (подсолнечное, ореховое, кунжутное, рапсовое, льняное и др.), суть которой состоит в потенциальной механической несовместимости жидкого масла и теста-матрицы. Несовместимость проявляется в вытекании растительного масла из теста и готового печенья даже при малой их концентрации в изделии, если не приняты дополнительные меры по связыванию и/или предотвращению непосредственного взаимодействия веществ матрицы и добавки. Необходимо учитывать, что растительные масла крайне чувствительны к высокой температуре, кислороду, свету и имеют темпе-

ратуру кристаллизации при отрицательных значениях от -2 до -20 °C [3, 4], что ограничивает их применение в производстве овсяного печенья. Проводя замену твердых жиров на растительное масло, сложно сохранить традиционную структуру печенья и избежать процессов деструкции ПНЖК, содержащихся в растительных маслах.

Снижение в рационе человека насыщенных жирных кислот и увеличение ПНЖК является общемировой тенденцией. Зарубежные ученые практикуют разнообразные технологии введения жидких растительных масел в продукты питания. Одним из направлений, предложенных канадскими учеными [5], является структурирование пищевых масел с получением органогелей, которые признаны наиболее перспективной и универсальной стратегией замены твердых жиров в пищевых продуктах. Данная разработка позволяет получать олеогели с уникальными свойствами, аналогичными твердым жирам в изделии, что отвечает разнообразным физическим свойствам, включая термическое поведение, механическую прочность и реологию [6, 7]. Вследствие этого олеогели выпускаются со свойствами, подобными жиру, замена которого производится в продукте питания. Помимо замещения твердых жиров, концепция олеогелирования позволяет решить проблемы миграции масла в продуктах, а также защиты и доставки гидрофобных молекул [8, 9].

Другим направлением, разработанным американскими учеными [10], является инкапсуляция жидких растительных масел в стеновой материал (оболочки) из гидроколлоидов или белок-полисахаридных смесей (БПС), которая имеет определенные преимущества в технологии, связанные с экологически чистыми ингредиентами, простотой процесса эмульгирования, образованием более мелких капель масла и мягким гелеобразованием в сплошной среде. В эмульсионных гелях на основе БПС в качестве белка наиболее часто применяется изолят белка молочной сыворотки (ИБМ) или изолят белка сои (ИБС). Кроме того, предложенная технология позволяет использовать различные белки и полисахариды в качестве эмульгаторов для повышения эффективности инкапсуляции жидких растительных масел [11, 12].

Известны примеры использования в технологии овсяного печенья растительных масел взамен маргарина или сливочного масла. Так, популярен способ приготовления печенья¹, включающий введение в качестве жирового компонента смеси из подсолнечного и рыжикового масел совместно со стабилизатором, состоящим из белковой основы – ИБС и полисахаридной части – гуаровой и ксантановой камеди, препарата пшеничной клетчатки. Следует отметить, что предложенный состав стабилизатора для смеси масел представляет собой белок-полисахаридную смесь, которая недостаточно надежна по эмульгирующей способности, что не позволяет инкапсулировать и удерживать значительное количество масла.

В данной работе изучена возможность полной замены маргарина подсолнечным маслом в производстве овсяного печенья. Инкапсуляцию подсолнечного масла проводили в стеновой материал из гидроколлоидов. Исследовано влияние молочной сыворотки в составе стенового материала на свойства эмульсионных гелей и качество овсяного печенья. Ранее авторами выполнялись исследования по влиянию БПС на инкапсуляцию жидких растительных масел для получения таких кондитерских изделий, как кремы для тортов и пирожных, мягкая карамель, мягкий грильяж [13–15].

Цель работы – исследование влияния инкапсулированного подсолнечного масла на качество овсяного печенья с последующей разработкой рецептуры и технологии.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований являлись сырье и материалы: вода питьевая, мука пшеничная высшего сорта (ГОСТ 26574-2017²), мука овсяная (ГОСТ Р 31645-2012³), крахмал кукурузный (ГОСТ 32159-2013⁴), крахмал картофельный (ГОСТ Р 53876-2010⁵),

¹ Способ приготовления печенья: пат. RU 2459415 / Т. В. Рензьева, А. Д. Мерман. Опубл. 27.08.2012.

² Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия: ГОСТ 26574-2017. Введ. 01.01.2019. М.: Стандартинформ, 2018. 11 с.

³ Мука для продуктов детского питания. Технические условия: ГОСТ Р 31645-2012. Введ. 01.07.2013. М.: Стандартинформ, 2013. 8 с.

⁴ Крахмал кукурузный. Общие технические условия: ГОСТ 32159-2013. Введ. 01.07.2014. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с.

⁵ Крахмал картофельный. Технические условия: ГОСТ Р 53876-2010. Введ. 01.01.2012. М.: Стандартинформ, 2019. 7 с.

сахар белый (ГОСТ 33222-2015¹), патока (ГОСТ 33917-2016²), маргарин (ГОСТ 32188-2013³), масло подсолнечное (ГОСТ 1129-2013⁴), альгинат натрия, карбоксиметилцеллюлоза и агар (ГОСТ 33310-2015⁵), сыворотка молочная сухая (ГОСТ 33958-2016⁶), химические разрыхлители (ГОСТ 2156-76⁷).

При проведении исследований использованы методы: определения влаги (массовую долю сухих веществ в овсяном печенье измеряли на влагомере ПИВИ) и плотности (основан на измерении объема индикатора, вытесненного погруженной в него лабораторной пробой).

Стойкость эмульсии оценивали методом центрифугирования в течение 5 мин при 3000 мин⁻¹.

Для уменьшения погрешности измерений проводили два параллельных опыта, результаты вычисляли до второго десятичного знака и округляли до первого. Окончательным результатом принимали среднearифметическое значение результатов двух параллельных определений, расхождение между которыми не превышало 5 %.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе проведены исследования пенообразующей и эмульгирующей способности БПС для создания эмульсии инкапсулированного растительного масла с последующим использованием в производстве овсяного печенья. В белок-полисахаридной смеси белковым компонентом служила сухая молочная сыворотка (СМС), а в качестве полисахаридов применяли агар (AG), альгинат натрия (AN) и карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ).

Опыты проводили следующим образом. В емкость загружали полисахариды, молочную сыворотку и добавляли воду комнатной температуры, после чего емкость закрывали плотной крышкой и ставили в термостат, предварительно разогретый до температуры (60 ± 2) °С, на 40–50 мин для набухания биополимеров [16]. Набухшую смесь биополимеров взбивали с помощью миксера в течение 30 мин, поддерживая температуру (60 ± 2) °С. Контролем служил раствор молочной сыворотки 12%-й концентрации.

Вначале проведены исследования пенообразующей способности раствора молочной сыворотки 12%-й концентрации. Затем готовили БПС на основе СМС с добавлением отдельных, бинарных и тройных смесей полисахаридов. Экспериментальные данные влияния отдельных полисахаридов на кратность пены раствора молочной сыворотки представлены на рис. 1.

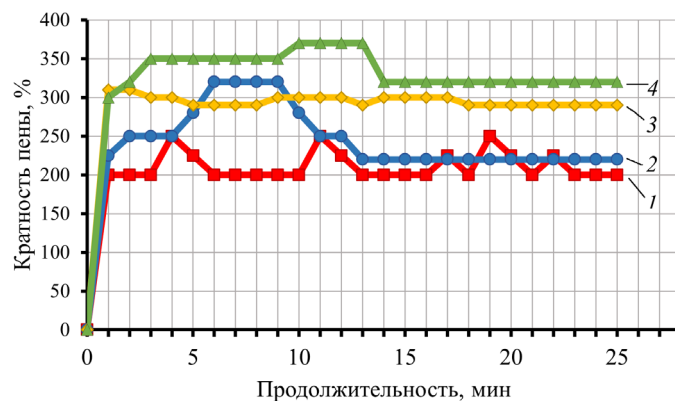


Рис. 1. Кратность пены раствора молочной сыворотки в зависимости от добавок отдельных полисахаридов: КМЦ (2), AG (3), AN (4) в сравнении с контролем (1)

Fig. 1. The foam ratio of the whey solution depending on the addition of individual polysaccharides: CMC (2), AG (3), AN (4) in comparison with the control (1)

¹ Сахар белый. Технические условия: ГОСТ 33222-2015. Введ. 01.07.2016. М.: Стандартинформ, 2019. 15 с.

² Патока крахмальная. Общие технические условия: ГОСТ 33917-2016. Введ. 01.01.2018. М.: Стандартинформ, 2017. 47 с.

³ Маргарины. Общие технические условия: ГОСТ 32188-2013. Введ. 01.07.2014. М.: Стандартинформ, 2014. 13 с.

⁴ Масло подсолнечное. Технические условия: ГОСТ 1129-2013. Введ. 01.07.2014. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.

⁵ Добавки пищевые. Загустители пищевых продуктов. Термины и определения: ГОСТ 33310-2015. Введ. 01.04.2016. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.

⁶ Сыворотка молочная сухая. Технические условия: ГОСТ 33958-2016. Введ. 01.09.2017. М.: Стандартинформ, 2016. 11 с.

⁷ Натрий двууглекислый. Технические условия: ГОСТ 2156-76. Введ. 01.01.1977. М.: Издательство стандартов, 1976. 16 с.

Видно, что пенообразующая способность 12%-го раствора молочной сыворотки составила 250 % (контроль), при этом полученная пенная масса характеризуется неустойчивостью, крупной дисперсностью и быстро разрушается. Добавление отдельных полисахаридов в раствор молочной сыворотки приводит к повышению пенообразующей способности. Так, добавление АГ или КМЦ обеспечивает повышение пенообразующей способности раствора молочной сыворотки до 300–320 % соответственно, а АН – до 370 %. Следовательно, отдельные полисахариды по их степени повышения пенообразующей способности раствора молочной сыворотки можно поставить в ряд: АН > КМЦ > АГ.

Затем проведены исследования влияния добавок бинарных смесей полисахаридов на пенообразующую способность раствора молочной сыворотки. При введении в раствор молочной сыворотки двойной смеси полисахаридов (АН + КМЦ) наблюдается пенообразующая способность, равная 250 %, а добавление (АГ + АН) или (АГ + КМЦ) повышает пенообразующую способность до одинаковой величины, равной 300 %. Таким образом, растворы молочной сыворотки с добавками бинарных смесей полисахаридов проявляют достаточно хорошую устойчивость пенной массы во времени. Бинарные смеси полисахаридов по их степени увеличения пенообразующей способности раствора молочной сыворотки можно поставить в ряд: (АГ + АН) = (АГ + КМЦ) > (АН + КМЦ).

Далее изучено влияние тройной смеси полисахаридов (АГ + АН + КМЦ) на пенообразующую способность раствора молочной сыворотки. Обнаружено, что пенообразующая способность раствора молочной сыворотки с добавкой тройной смеси полисахаридов составила 250 %, что по величине не отличается от контроля. Следует отметить, что полученная пенная масса характеризуется хорошей стойкостью во времени, что позволяет использовать БПС для инкапсуляции подсолнечного масла. Подробнее ознакомиться с характеристиками бинарных и трехкомпонентных смесей полисахаридов, а также их влиянием на пенообразующую способность можно в более ранних работах [13, 14].

Изучена возможность использования БПС в качестве стенового материала для инкапсуляции растительного масла. Эксперименты проводили следующим образом. Навеску молочной сыворотки и тройную смесь полисахаридов (АГ + АН + КМЦ) загружали в емкость, добавляли воду и выдерживали смесь при температуре 60 °С в течение 40–50 мин для набухания биополимеров. Набухшую смесь гидроколлоидов взбивали в течение 7–10 мин для получения пенной массы, в которую вливали тонкой струйкой подсолнечное масло (в соотношении 1 : 1 к массе раствора БПС). Стойкость полученной эмульсии оценивали методом центрифугирования. Принцип основан на разделении смесей, состоящих из двух компонентов с разной удельной плотностью [17]. В центрифугу вносили эмульсию, которая подвергалась центрифугированию в течение 5 мин (3000 мин⁻¹) и далее оценивали по степени расслаивания массы.

На втором этапе проведены исследования процесса выпечки тестовых заготовок печенья, приготовленных по традиционной и новой технологиям. Тесто по новой технологии готовили с использованием инкапсулированного подсолнечного масла взамен маргарина. Из приготовленного теста формовали тестовые заготовки печенья, которые затем выпекали в лабораторной печи при температуре в пекарной камере 180–200 °С [18]. При выпечке тестовых заготовок до готового печенья наблюдались следующие изменения: значительное уменьшение плотности, связанное с разложением химических разрыхлителей, снижение содержания влаги на 1–4 % и модификация окраски поверхности от бледно-серого тона теста до золотисто-коричневого цвета печенья [19], которые в совокупности формируют структуру и показатели качества овсяного печенья.

На противне размещали отформованные тестовые заготовки печенья и устанавливали термопары для измерения температуры на нижней и верхней поверхностях изделия, а также температуры в пекарной камере. Рядом с печеньем размещали вертикальный эталон высотой 20 мм. Экспериментальные данные процесса выпечки печенья по традиционной и новой технологиям представлены на рис. 2.

Видно, что температура в пекарной камере полностью выравнивается в течение 4 мин (рис. 2, а), что обеспечивает одинаковые условия процесса выпечки печенья, приготовленного как по традиционной, так и по новой технологии. Температурные режимы на нижней и верхней поверхностях печенья, приготовленных как по традиционной, так и по новой технологии, выравниваются в течение 6 мин выпечки (рис. 2, б и 2, с). Видно, что в процессе выпечки тестовых заготовок

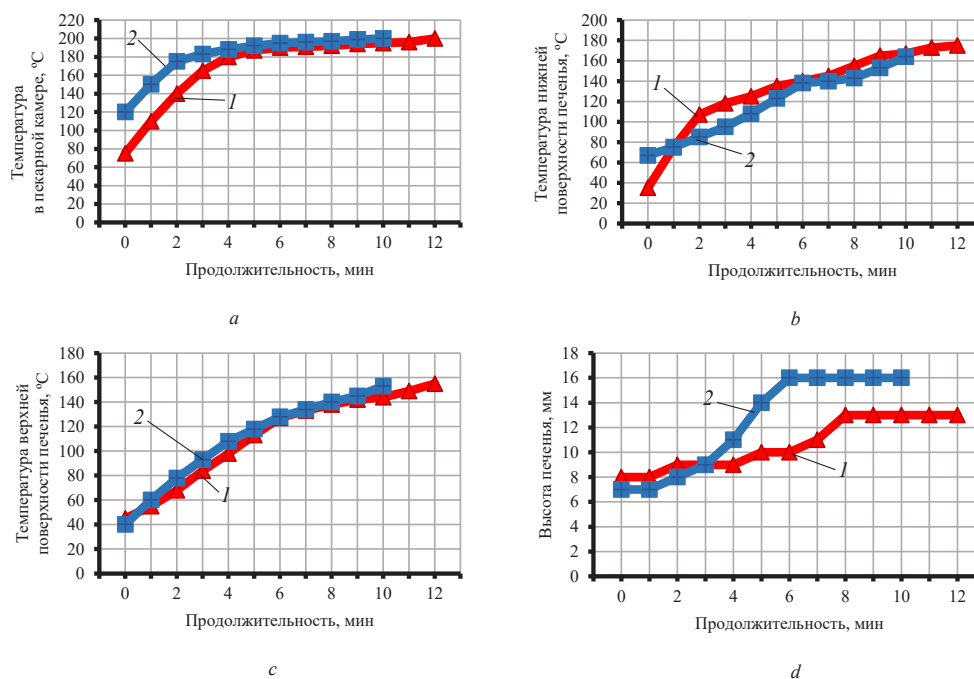


Рис. 2. Изменение температуры в пекарной камере (а) во время выпечки изделий по традиционной (1) и новой (2) технологиям; изменение температуры нижней (b) и верхней (c) поверхностей печенья; изменение высоты изделий (d), приготовленных по традиционной (1) и новой (2) технологиям

Fig. 2. Change in temperature during baking in the baking chamber (a), prepared using traditional (1) and new (2) technology; change in temperature of lower (b) and upper (c) surfaces of cookies; change in product height (d), prepared using traditional (1) and new (2) technology

происходит подъем теста, связанный с изменением высоты печенья (рис. 2, d). При этом можно выделить три стадии: так, на первоначальной (в течение 2,5 мин) регистрируется подъем на одинаковую высоту тестовых заготовок, приготовленных как по традиционной (1), так и по новой (2) технологии. На второй стадии отмечается «взлет» высоты тестовых заготовок на значительную величину, что обусловлено прогревом массы теста до температуры выше 70 °С, разложением химических разрыхлителей и выделением большого количества углекислого газа [20–22]. Все эти факторы обеспечивают резкое снижение плотности печенья [23, 24]. В частности, подъем печенья, приготовленного по традиционной технологии (1), происходит в течение 8 мин до высоты 13 мм. Подъем опытного печенья по новой технологии (2) совершается в течение 6 мин до высоты 16 мм. На третьей стадии (в течение 4 мин) наблюдается стабильное сохранение высоты печенья, приготовленного как по традиционной (1), так и по новой (2) технологии. Следует отметить, что на этом этапе отмечается модификация окраски от бледно-серого оттенка поверхности тестовых заготовок до золотисто-коричневого цвета выпеченного печенья. Таким образом, вторая и третья стадии выпечки печенья являются определяющими в формировании структуры и показателей качества печенья, на которые основное влияние оказывают теплофизические свойства жиров – подсолнечного масла или маргарина [25]. При нагревании как маргарина, так и подсолнечного масла происходит уменьшение их плотности и теплоемкости, при этом значение коэффициента теплопроводности растет [26, 27]. Коэффициент теплопроводности характеризует скорость изменения температуры вещества или в нашем случае тестовых заготовок [28]. Подсолнечное масло имеет меньшее значение теплоемкости, чем маргарин [29, 30]. Поэтому общая продолжительность выпечки печенья по новой технологии составила 10 мин, а по традиционной – 12 мин. Таким образом, сокращение продолжительности выпечки овсяного печенья по новой технологии приводит к увеличению производительности печи на 17 %.

На третьем этапе проведены исследования влияния инкапсулированного подсолнечного масла на качество и структуру овсяного печенья. Качество печенья оценивали по следующим параметрам: плотность, влажность и намокаемость.

Как видно из рис. 3, плотность контрольного печенья, приготовленного по традиционной технологии, составила 470 кг/м^3 . Более высокую плотность (495 кг/м^3) имело печенье, приготовленное по совмещенному способу (опыт 1), где из новой технологии – взамен маргарина вводили инкапсулированное масло в оболочках из гидроколлоидов, а из традиционной – смесь овсяной и пшеничной муки. Значительно более низкой плотностью (450 кг/м^3) обладало печенье, приготовленное по новой технологии (опыт 2), где заменили как маргарин – на инкапсулированное подсолнечное масло в оболочках из гидроколлоидов, так и пшеничную муку – на смесь кукурузного и картофельного крахмалов. Полученные результаты позволяют заключить, что совмещенный способ, в котором используется как новая, так и традиционная технология, приводит к взаимодействию гидроколлоидов оболочек инкапсулированного масла с белками пшеничной муки и, как следствие, к уплотнению теста и готового изделия (опыт 1). Результаты, полученные при использовании в технологии печенья смеси крахмалов взамен пшеничной муки (опыт 2), позволяют предположить, что оболочки из гидроколлоидов инкапсулированного масла способны проявлять свойства подобно клейковине муки, структурируя тесто и готовое изделие.

Из рис. 4 видно, что массовая доля влаги овсяного печенья, приготовленного по традиционной технологии (контроль), составила 6,1 %. Изделия, которые выпекались по совмещенной технологии (опыт 1), имели повышенную массовую долю влаги, равную 6,4 %. Массовая доля влаги овсяного печенья, приготовленного по новой технологии (опыт 2), составила 5,8 %, что соответствует

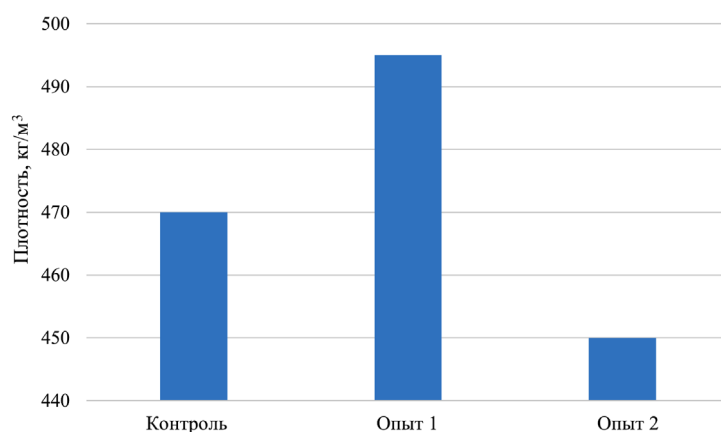


Рис. 3. Изменение плотности овсяного печенья, приготовленного по традиционной (контроль), совмещенной (опыт 1) и новой (опыт 2) технологиям

Fig. 3. Change in the density of oatmeal cookies, prepared according to the technology: traditional (Control), combined (Experiment 1) and new (Experiment 2)

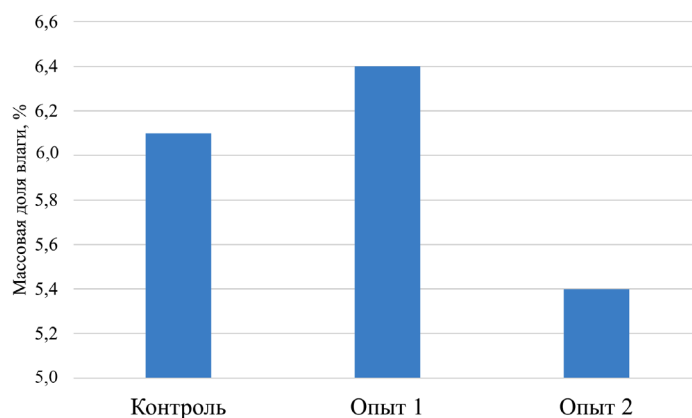


Рис. 4. Изменение влажности овсяного печенья, приготовленного по традиционной (контроль), совмещенной (опыт 1) и новой (опыт 2) технологиям

Fig. 4. Change in the moisture content of oatmeal cookies prepared according to the technology: traditional (Control), combined (Experiment 1) and new (Experiment 2)

стандарту. Следует отметить, что показатели массовой доли влаги в печенье хорошо коррелируются с плотностью изделий, на которую оказывают влияние как гидроколлоиды оболочек инкапсулированного масла, так и состав мучной смеси.

Как видно из рис. 5, намокаемость контрольного печенья составила 135 %. Печенье, приготовленное по совмещенной технологии (опыт 1), имело более низкий показатель намокаемости, равный 110 %. У изделий, выпекаемых по новой технологии (опыт 2), отмечено самое высокое значение намокаемости, равное 150 %, что выше контроля. Следовательно, такие показатели качества овсяного печенья, как массовая доля влаги и намокаемость, тесно связаны с плотностью изделия, а именно с материалом и организацией его структуры.

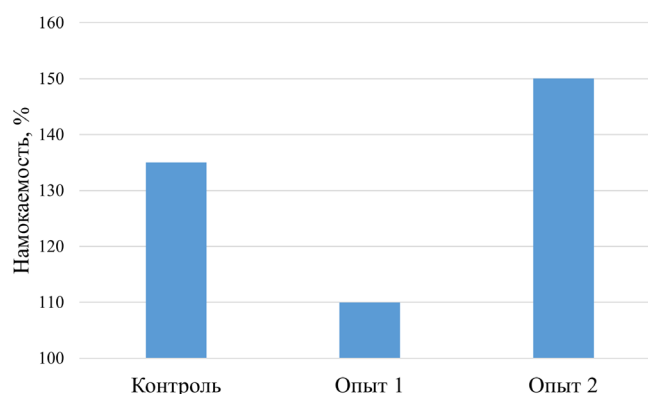


Рис. 5. Изменение намокаемости овсяного печенья, приготовленного по традиционной (контроль), совмещенной (опыт 1) и новой технологиям (опыт 2)

Fig. 5. Change in the wettability of oatmeal cookies prepared according to the technology: traditional (Control), combined (Experiment 1) and new (Experiment 2)

На следующем этапе проведены сравнительные исследования влияния традиционной и новой технологий приготовления овсяного печенья на органолептические показатели качества (вкус, цвет, запах, внешний вид, форма, поверхность и другие). Приготовленные образцы овсяного печенья были предложены дегустаторам для оценки органолептических показателей по пятибалльной шкале. Органолептическую оценку овсяного печенья проводила группа из 10 человек. Результаты органолептической оценки овсяного печенья представлены в табл. 1.

Таблица 1. Органолептическая оценка образцов овсяного печенья

Table 1. Organoleptic evaluation of oatmeal cookies samples

Показатель качества изделия	Коэффициент значимости показателя	Число степеней качества	Оценка в баллах	Контроль	Опыт
Форма	1	1–3	1–3	2,8 ± 0,14	2,9 ± 0,14
Цвет и внешний вид	2	1–3	2–6	4,1 ± 0,21	5,0 ± 0,25
Структура и консистенция	3	1–3	3–9	7,2 ± 0,36	9,2 ± 0,46
Вкус и аромат	4	1–3	4–12	11,6 ± 0,58	12,4 ± 0,62
Суммарная оценка (Σ 10–30)				25,7 ± 1,28	29,5 ± 1,48

Анализ данных показывает, что образцы овсяного печенья по новым технологии и рецептуре получили более высокую оценку дегустаторов в сравнении с контрольными образцами. Суммарная средняя органолептической оценка печенья, приготовленного по новой технологии, составила 29,5 балла, а традиционного печенья – 25,7 балла, что на 3,8 балла меньше оценки опытных образцов. При этом по показателю «Форма» образцы были оценены практически одинаково. Наиболее существенные отличия коснулись показателей «Цвет и внешний вид» и «Структура и консистенция». Здесь опытные образцы получили значительно более высокие баллы. Вместе с тем по ключевому показателю «Вкус и аромат», за который начислялся наибольший балл,

полученные контрольным и опытным образцами оценки (11,6 и 12,4 балла соответственно) показывают, что полная замена маргарина инкапсулированным маслом способствует улучшению вкуса и аромата готового изделия.

Внешний вид контрольного и опытного образцов овсяного печенья представлен на рис. 6.

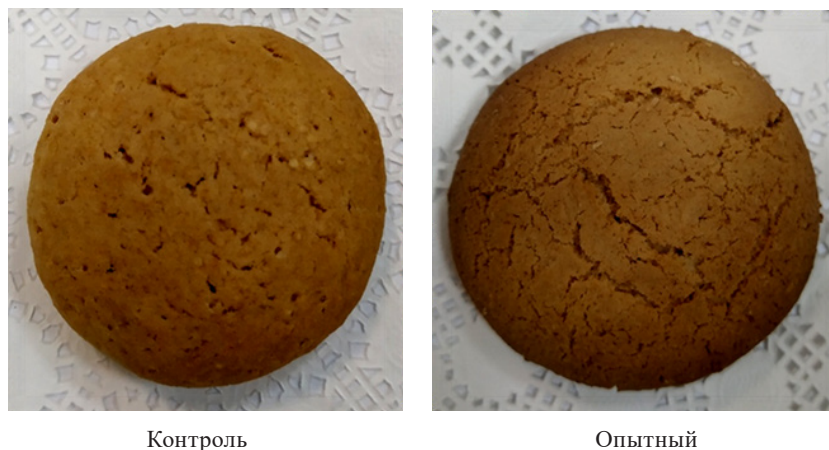


Рис. 6. Внешний вид образцов овсяного печенья, приготовленных по традиционной (контроль) и новой (опытный) технологиям

Fig. 6. Appearance of oatmeal cookies samples, prepared according to the traditional (Control) and new (Experimental) technology

Опытные образцы овсяного печенья, приготовленные по новым технологии и рецептуре, имели ровную поверхность с трещинами, равномерную пористость (поры среднего размера с тонкими межпоровыми стенками), приятный вкус и аромат. При этом в овсяном печенье, приготовленном по традиционной рецептуре, можно было наблюдать кристаллы сахара на поверхности и отсутствие трещин. Следует отметить, что улучшенные органолептические свойства печенья по новой технологии обусловлены тем, что более интенсивно проходит реакция Майяра, которая начинается на стадии капсулирования растительного масла в горячий трехкомпонентный (сахар, белок и полисахариды) сироп, затем продолжается при выпечке тестовых заготовок до изделия.

На следующем этапе методом рентгеновской томографии изучены изменения в структуре овсяного печенья, приготовленного по традиционной и новой технологиям, а также полученные трехмерные изображения контрольного и опытного образцов с разрешением 3,4 мкм на воксель. На рис. 7 показаны сечения изображений, на которых можно отметить большое количество пор. Анализируя трехмерные изображения, можно отметить, что пористость в образцах печенья является преимущественно связанной (система трещин и каверн, соединенных друг с другом и образующих проницаемую систему каналов). Необходимо заметить, что в каждом образце печенья можно обнаружить «глухие» поры, количество которых меньше десяти, и их можно не принимать для рассмотрения.

Непосредственные измерения пористости образцов печенья показали, что у контрольных образцов она составила 58 %, у опытных – 44 %. Значения пористости изделий отличаются от визуального изображения (см. рис. 6). Так, по внешнему виду печенье по новой технологии обладает большим количеством видимых трещин, которые просматриваются невооруженным глазом и имеют характерный размер раскрытия порядка 1 мм, и длиной, сравнимой с образцом. Однако следует отметить, что метод рентгеновской томографии применяли к опытному образцу с размерами пор не более 3 мм (см. рис. 7), и он, с одной стороны, не может считаться представительным для всего образца, а с другой – полученные значения пористости характеризуют влияние того материала, который находится в продукте. Таким образом, структура контрольного печенья по традиционной технологии на маргарине и пшеничной муке отличается от строения опытного печенья, приготовленного по новой технологии с использованием инкапсулированного растительного масла в оболочках из гидроколлоидов и смеси кукурузного и картофельного крахмалов.

Сравнительная характеристика контрольного и опытного образцов овсяного печенья по пищевой ценности и химическому составу представлена в табл. 2.

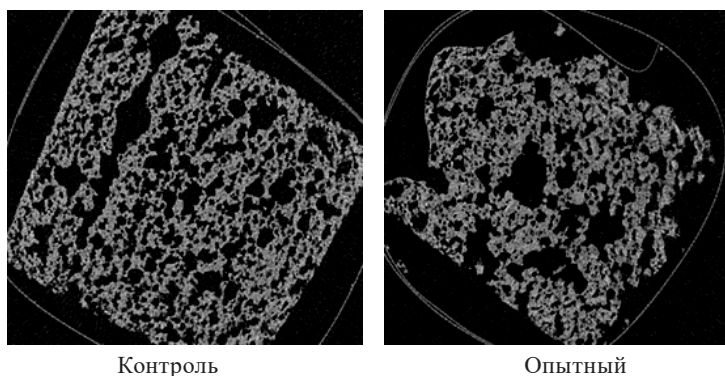


Рис. 7. Трехмерное изображение контрольного и опытного образцов овсяного печенья (3,4 мкм на воксель)

Fig. 7. Three-dimensional image of control and experimental samples of oatmeal cookies (3.4 μm per voxel)

Таблица 2. Пищевая ценность и химический состав контрольного и опытного образцов овсяного печенья
 Table 2. Nutritional value and chemical composition of control and experimental samples of oatmeal cookies

Показатель	Содержание в 100 г продукта	
	Контроль	Сывороточный БПС
Белки, г	7,0	10,6
Жиры, г	12,8	13,1
Углеводы, г	65,9	67,3
Минеральные вещества (мг): кальций, медь, магний, марганец, фосфор, калий, железо	15,0; 112,9; 27,6; 0,690; 72,1; 53,3; 1,3	17,0; 125,7; 32,4; 0,732; 76,4; 54,51; 1,9
Витамины (мг): В ₁ , холин, В ₅ , В ₆ , В ₉ , Е (мкг)	0,15; 47,7; 0,31; 0,130; 22,27; 3,57	0,27; 32,8; 0,35; 0,157; 19,73; 10,92
Жирные кислоты (г): насыщенные, омега-9, омега-6, омега-3	8,55; 3,54; 0,51; 0,13	1,57; 3,26; 8,12; 0,07
Клетчатка, г	2,4	2,1
Энергетическая ценность, ккал	390,4	435,2

Таким образом, введение взамен маргарина инкапсулированного подсолнечного масла в оболочках из гидроколлоидов, содержащих в качестве белка сухую молочную сыворотку, полисахаридов – агар, альгинат натрия и карбоксиметилцеллюлозу, оказывает положительное влияние на пищевую и биологическую ценность готового продукта.

На основании проведенных экспериментов разработаны новые технология и рецептура производства овсяного печенья с добавлением инкапсулированного подсолнечного масла. С целью замены маргарина инкапсулированным подсолнечным маслом в существующую технологию производства овсяного печенья был внесен ряд изменений. Принципиальные изменения затрагивали начальные этапы, такие как набухание гидроколлоидов, приготовление эмульсионного геля в оболочках из гидроколлоидов.

Печенье готовили следующим образом: СМС и тройную смесь полисахаридов смешивали с водой. Затем гидроколлоиды выдерживали в течение 40–60 мин при температуре $(60 \pm 2) ^\circ\text{C}$ для их набухания. В набухшую смесь гидроколлоидов добавляли сахар белый, повидло и соль, все компоненты смешивали и смесь уваривали. Уваренную смесь взбивали до пенной массы и постепенно вливали подсолнечное масло для получения эмульсионного геля в оболочках из гидроколлоидов. Полученную эмульсию продолжали взбивать еще в течение 3–4 мин. Далее горячий $(85 \pm 2) ^\circ\text{C}$ эмульсионный гель загружали в тестомесильную машину и добавляли овсяную муку для получения заварки. После этого заварку охлаждали до комнатной температуры и добавляли соду и смесь кукурузного и картофельного крахмалов. Продолжительность замеса теста составляла около 5–10 мин. Готовое тесто направляли на формование тестовых заготовок печенья, которые выпекали в течение 10–12 мин при температуре 180–210 $^\circ\text{C}$. Выпеченное печенье охлаждали до комнатной температуры и упаковывали в соответствии со стандартом.

Разработанная технологическая схема производства овсяного печенья с инкапсулированным подсолнечным маслом представлена на рис. 8.

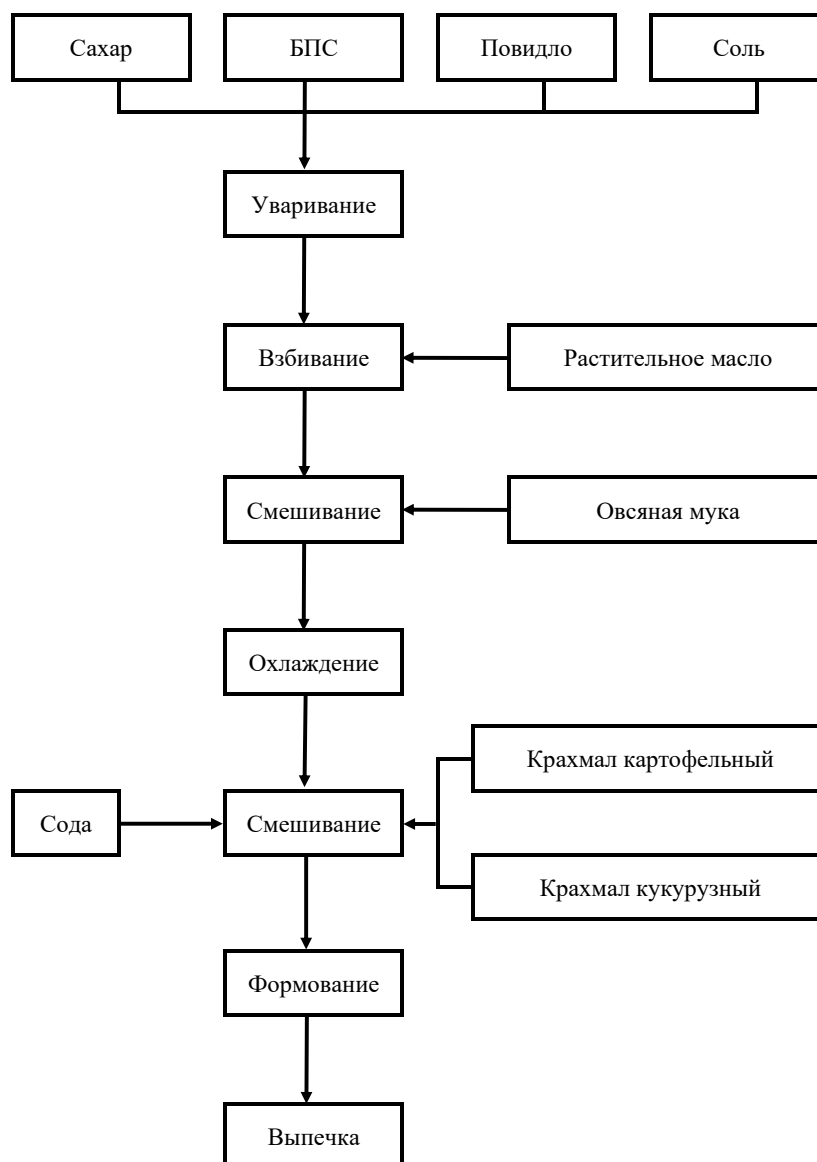


Рис. 8. Технологическая схема приготовления овсяного печенья

Fig. 8. Process flow diagram for the preparation of oatmeal cookies

Выводы. Представлены результаты по разработке технологии овсяного печенья, обогащенного подсолнечным маслом при полной замене пшеничной муки смесью кукурузного и картофельного крахмалов. По полученным данным можно сделать следующие выводы.

1. Проведены исследования пенообразующих и эмульгирующих свойств гидроколлоидов, состоящих из сухой молочной сыворотки и смеси полисахаридов, с целью выбора стенового материала для инкапсуляции подсолнечного масла. Выявлено, что наиболее стойкие оболочки на каплях подсолнечного масла образуются из гидроколлоидов, состоящих из молочной сыворотки и тройной смеси полисахаридов – (AG + AN + КМЦ).

2. Исследовано влияние инкапсулированного подсолнечного масла на процесс выпечки овсяного печенья по новой технологии. Установлено, что введение в тесто инкапсулированного подсолнечного масла оказывает влияние на теплофизические свойства теста и повышает показатель его температуропроводности, что укорачивает продолжительность выпечки печенья и повышает производительность печи на 17 %.

3. Проведены исследования структуры печенья, приготовленного по новой технологии. Томографические снимки показали, что замена пшеничной муки на смесь кукурузного и картофель-

ного крахмалов в изделиях, выпекаемых по новой технологии, приводит к более пористой структуре и получению безглютенового продукта.

4. Овсяное печенье, приготовленное по новым технологии и рецептуре, обладает лучшими органолептическими показателями, имеет более сбалансированный химический состав, располагает обогащенным жирнокислотным составом, что позволяет рекомендовать его в качестве функционального питания.

Список использованных источников

1. Мошканова, И. А. Современное производство пряников / И. А. Мошканова, Е. С. Новожилова, В. А. Васькина // Кондит. и хлебопекар. пр-во. – 2017. – № 1/2. – С. 44–47.
2. Технология производства мучных кондитерских изделий / Мичур. фил., Брян. гос. аграр. ун-т; сост. Т. В. Мамченко. – Брянск: [б. и.], 2015. – 98 с.
3. Effect of different antioxidants on lycopene degradation in oil-in-water emulsion / R. Bou [et al.] // Eur. J. Lipid Sci. Technol. – 2011. – Vol. 113, № 6. – P. 724–729. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000524>
4. Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato purée / J. Shi [et al.] // Food Control. – 2008. – Vol. 19, № 5. – P. 514–520. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.06.002>
5. Gravelle, A. J. Ethylcellulose oleogels: structure, functionality, and food applications / A. J. Gravelle, A. G. Marangoni // Adv. Food Nutr. Res. – 2018. – Vol. 84. – P. 1–56. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.01.002>
6. Kouzounis, D. Partial replacement of animal fat by oleogels structured with monoglycerides and phytosterols in frankfurter sausages / D. Kouzounis, A. Lazaridou, E. Katsanidis // Meat Sci. – 2017. – Vol. 130. – P. 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.004>
7. Tanti, R. Hydroxypropyl methylcellulose and methylcellulose structured oil as a replacement for shortening in sandwich cookie creams / R. Tanti, S. Barbu, A. G. Marangoni // Food Hydrocoll. – 2016. – Vol. 61. – P. 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.032>
8. Mattice, K. D. Oleogels in food / K. D. Mattice, A. G. Marangoni // Encyclopedia of food chemistry / ed.: L. Melton, F. Shahidi, P. Varelis. – Amsterdam, 2019. – Vol. 2. – P. 255–260. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21662-4>
9. O’Sullivan, C. M. Edible oleogels for the oral delivery of lipid soluble molecules: composition and structural design considerations / C. M. O’Sullivan, S. Barbut, A. G. Marangoni // Trends Food Sci. Technol. – 2016. – Vol. 57, pt. A. – P. 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.018>
10. Design principles of oil-in-water emulsions with functionalized interfaces: mixed, multilayer, and covalent complex structures / M. Li [et al.] // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. – 2020. – Vol. 19, № 6. – P. 3159–3190. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12622>
11. Preparation and characterization of emulsion-filled gel beads for the encapsulation and protection of resveratrol and α -tocopherol / W. Feng [et al.] // Food Res. Int. – 2018. – Vol. 108. – P. 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.035>
12. Highly efficient encapsulation of linseed oil into alginate/lupin protein beads: optimization of the emulsion formulation / J. A. Piornos [et al.] // Food Hydrocoll. – 2017. – Vol. 63. – P. 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.031>
13. Васькина, В. А. Использование молочной сыворотки для создания в креме эмульсионно-пенной структуры / В. А. Васькина, А. А. Двоглазова // Пищевая индустрия. – 2019. – № 2. – С. 26–29.
14. Монастырский, В. Е. Использование инкапсулированного растительного масла в производстве молочных конфет / В. Е. Монастырский, В. А. Васькина // Кондит. и хлебопекар. пр-во. – 2018. – № 9–10. – С. 62–64.
15. Васькина, В. А. Увеличение срока годности и качества конфет с фруктово-грильяжным корпусом / В. А. Васькина, С. В. Бабарыкина, Ю. Ю. Панченко // Кондит. и хлебопекар. пр-во. – 2018. – № 3–4. – С. 20–22.
16. Interactions of vegetable proteins with other polymers: structure-function relationships and applications in the food industry / D. Lin [et al.] // Trends Food Sci. Technol. – 2017. – Vol. 68. – P. 130–144. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.006>
17. Tang, C.-H. Emulsifying properties of soy proteins: a critical review with emphasis on the role of conformational flexibility / C.-H. Tang // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. – 2017. – Vol. 57, № 12. – P. 2636–2679. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1067594>
18. Molecular mechanism for improving emulsification efficiency of soy glycinin by glycation with soy soluble polysaccharide / X.-Q. Peng [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2018. – Vol. 66, № 46. – P. 12316–12326. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03398>
19. Relationship between molecular flexibility and emulsifying properties of soy protein isolate-glucose conjugates / R. Li [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2019. – Vol. 67, № 14. – P. 4089–4097. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06713>
20. Тенденции развития технологии кондитерских изделий / З. А. Канарская [и др.] // Вестн. Воронеж. гос. ун-та инженер. технологий. – 2016. – № 3. – С. 195–204. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-3-195-204>
21. Новые сорта хлебобулочных и мучных кондитерских изделий диабетического назначения / Ю. Ф. Росляков [и др.] // Науч. тр. КубГТУ. – 2015. – № 2. – С. 226–231.
22. Фахретдинова, Д. Р. Использование амарантовой муки и молочной сыворотки для обогащения мучных кондитерских изделий / Д. Р. Фахретдинова, А. А. Нигматьянов, И. В. Миронова // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. – 2017. – № 4 (66). – С. 260–262.
23. Natural sweeteners: health benefits of stevia / S. Gandhi [et al.] // Foods Raw Mater. – 2018. – Vol. 6, № 2. – P. 392–402. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-392-402>
24. Матвеева, Т. В. Мучные кондитерские изделия функционального назначения. Научные основы, технологии, рецептуры / Т. В. Матвеева, С. Я. Корячкина. – СПб.: ГИОРД, 2016. – 360 с.

25. Study of structural change during in vitro digestion of heated soy protein isolates / T. Tian [et al.] // *Foods*. – 2019. – Vol. 8, № 12. – Art. 594. <https://doi.org/10.3390/foods8120594>
26. Voutsinas, L. P. Relationships of hydrophobicity to emulsifying properties of heat denatured proteins / L. P. Voutsinas, E. Cheung, S. Nakai // *J. Food Sci.* – 1983. – Vol. 48, № 1. – P. 26–32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb14781.x>
27. Pelegrine, D. H. G. Whey proteins solubility as function of temperature and pH / D. H. G. Pelegrine, C. A. Gasparetto // *LWT – Food Sci. Technol.* – 2005. – Vol. 38, № 1. – P. 77–80. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.013>
28. Properties of microparticles from a whey protein isolate/alginate emulsion gel / A. M. Leon [et al.] // *Food Sci. Technol. Int.* – 2018. – Vol. 24, № 5. – P. 414–423. <https://doi.org/10.1177/1082013218762210>
29. Li, D. Proteins from land plants – potential resources for human nutrition and food security / D. Li // *Trends Food Sci. Technol.* – 2013. – Vol. 32, № 1. – P. 25–42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.005>
30. Ghazani, S. M. Healthy fats and oils / S. M. Ghazani, A. G. Marangoni // *Encyclopedia of food grains: in 4 vol.* / ed.: C. Wrigley [et al.]. – 2nd ed. – Oxford, 2016. – Vol. 2. – P. 257–267. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00100-1>

References

1. Moshkanova I. A., Novozhilova E. S., Vas'kina V. A. Modern production of gingerbread. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and Bakery Production], 2017, no. 1/2, pp. 44–47 (in Russian).
2. Mamchenko T. V. (comp.). *Technology for the production of flour confectionery*. Bryansk, 2015. 98 p. (in Russian).
3. Bou R., Boon C., Kweku A., Hidalgo D., Decker E.A. Effect of different antioxidants on lycopene degradation in oil-in-water emulsion. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2011, vol. 113, no. 6, pp. 724–729. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000524>
4. Shi J., Dai Y., Kakuda Y., Mittal G., Xue S. J. Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato purée. *Food Control*, 2008, vol. 19, no. 5, pp. 514–520. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.06.002>
5. Gravelle A. J., Marangoni A. G. Ethylcellulose oleogels: structure, functionality, and food applications. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2018, vol. 84, pp. 1–56. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.01.002>
6. Kouzounis D., Lazarido A., Katsanidis E. Partial replacement of animal fat by oleogels structured with monoglycerides and phytosterols in frankfurter sausages. *Meat Science*, 2017, vol. 130, pp. 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.004>
7. Tanti R., Barbu T. S., Marangoni A. G. Hydroxypropyl methylcellulose and methylcellulose structured oil as a replacement for shortening in sandwich cookie creams. *Food Hydrocolloids*, 2016, vol. 61, pp. 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.032>
8. Mattice K. D., Marangoni A. G. Oleogels in food. *Encyclopedia of food chemistry*. Vol. 2. Amsterdam, 2019, pp. 255–260. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21662-4>
9. O'Sullivan C. M., Barbut S., Marangoni A. G. Edible oleogels for the oral delivery of lipid soluble molecules: composition and structure design considerations. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, vol. 57, pt. A, pp. 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.018>
10. Li M., McClements D. J., Liu X., Liu F. Design principles of oil-in-water emulsions with functionalized interfaces: Mixed, multilayer, and covalent complex structures. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, vol. 19, no. 6, pp. 3159–3190. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12622>
11. Feng W., Yue C., Wusigale Ni Y., Liang L. Preparation and characterization of emulsion-filled gel beads for the encapsulation and protection of resveratrol and α -tocopherol. *Food Research International*, 2018, vol. 108, pp. 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.035>
12. Piornos J. A., Burgos-Díaz C., Morales E., Rubilar M., Acevedo F. Highly efficient encapsulation of linseed oil into alginate / lupin protein beads: Optimization of the emulsion formulation. *Food Hydrocolloids*, 2016, vol. 63, pp. 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.031>
13. Vas'kina V. A., Dvoeglazova A. A. The use of milk whey to create an emulsion-foam structure in the cream. *Pishcheyaya industriya* [Food Industry], 2019, no. 2, pp. 26–29 (in Russian).
14. Monastyrskii V. E., Vas'kina V. A. Use of encapsulated vegetable oil in the production of dairy sweets. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and Bakery Production], 2018, no. 9–10, pp. 62–64 (in Russian).
15. Vas'kina V. A., Babarykina S. V., Panchenko Yu. Yu. Increase in shelf life and quality of candies with fruit and brioche coating. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and Bakery Production], 2018, no. 3–4, pp. 20–22 (in Russian).
16. Lin D., Lu W., Kelly A. L., Zhang L., Zheng B., Miao S. Interactions of vegetable proteins with other polymers: structure-function relationships and applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, vol. 68, pp. 130–144. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.006>
17. Tang C.-H. Emulsifying properties of soy proteins: a critical review with emphasis on the role of conformational flexibility. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, vol. 57, no. 12, pp. 2636–2679. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1067594>
18. Peng X.-Q., Xu Y.-T., Liu T.-X., Tang C.-H. Molecular mechanism for improving emulsification efficiency of soy glycinin by glycation with soy soluble polysaccharide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, vol. 66, no. 46, pp. 12316–12326. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03398>
19. Li R., Wang X., Liu J., Cui Q., Wang X., Chen S., Jiang L. Relationship between molecular flexibility and emulsifying properties of soy protein isolate-glucose conjugates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, vol. 67, no. 14, pp. 4089–4097. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06713>
20. Kanarskaya Z. A., Khuzin F. K., Ivleva A. R., Gematdinova V. M. Trends in the development of confectionery technology. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2016, no. 3, pp. 195–204 (in Russian). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-3-195-204>
21. Roslyakov Y. F., Kochetov V. K., Vershinina O. L., Gonchar V. V. Use of crop topinambur powder in technology bakers products. *Nauchnye trudy KubGTU = Scientific Works of KubSTU*, 2015, no. 2, pp. 226–231 (in Russian).

22. Fakhretdinova D. R., Nigmatyanov A. A., Mironova I. V. The use of amaranth flour and whey to enrich floury confectionery products. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2017, no. 4 (66), pp. 160–162 (in Russian).
23. Gandhi S., Gat Y., Arya S., Kumar V., Panghal A., Kumar A. Natural sweeteners: health benefits of stevia. *Foods and Raw Materials*, 2018, vol. 6, no. 2, pp. 392–402. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-392-402>
24. Matveeva T. V., Koryachkina S. Ya. *Flour confectionery products of functional purpose. Scientific bases, technologies, recipes*. St. Petersburg, GIORD Publ., 2016. 360 p. (in Russian).
25. Tian T., Teng F., Zhang S., Qi B., Wu C., Zhou Y., Li L., Wang Z., Li Y. Study of structural change during in vitro digestion of heated soy protein isolates. *Foods*, 2019, vol. 8, no. 12, art. 594. <https://doi.org/10.3390/foods8120594>
26. Voutsinas L. P., Cheung E., Nakai S. Relationships of hydrophobicity to emulsifying properties of heat denatured proteins. *Journal of Food Science*, 1983, vol. 48, no. 1, pp. 26–32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb14781.x>
27. Pelegrine D., Gasparetto C. Whey proteins solubility as function of temperature and pH. *LWT – Food Science and Technology*, 2005, vol. 38, no. 1, pp. 77–80. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.013>
28. Leon A. M., Medina W. T., Park D. J., Aguilera J. M. Properties of microparticles from a whey protein isolate/alginate emulsion gel. *Food Science and Technology International* 2018, vol. 24, no. 5, pp. 414–423. <https://doi.org/10.1177/1082013218762210>
29. Li D. Proteins from land plants – potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science & Technology*, 2013, vol. 32, no. 1, pp. 25–42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.005>
30. Ghazani M. S., Marangoni A. G. Healthy fats and oils. *Encyclopedia of food grains. Vol. 2*. 2nd ed. Oxford, 2016, pp. 257–267. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00100-1>

Информация об авторах

Васькина Валентина Андреевна – доктор технических наук, профессор кафедры технологии хлебопродуктов, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (пр. Шмидта, 3, 212027, Могилев, Республика Беларусь). <https://orcid.org/0000-0002-3157-9911>. E-mail: v.a.vaskina@inbox.ru

Машкова Ирина Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии хлебопродуктов, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (пр. Шмидта, 3, 212027, Могилев, Республика Беларусь). <https://orcid.org/0000-0002-9948-6754>. E-mail: helenn66@mail.ru

Быков Александр Андреевич – кандидат технических наук, доцент, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (Институтский пер., 9, 141700, Долгопрудный, Московская обл., Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0002-4529-348X>. E-mail: aleks-bykov@yandex.ru

Рогозкин Евгений Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Российский биотехнологический университет (Волоколамское ш., 11, 125080, Москва, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0002-5196-6417>. E-mail: rogozkin47@yandex.ru

Щербакова Елена Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации общественного питания, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (пр. Ленина, 76, 454080, Челябинск, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0003-0702-7719>. E-mail: shcherbakovaei@susu.ru

Рушиц Анастасия Андреевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации общественного питания, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (пр. Ленина, 76, 454080, Челябинск, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0002-8330-2236>. E-mail: rushchitcaa@susu.ru

Саломатов Алексей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации общественного питания, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (пр. Ленина, 76, 454080, Челябинск, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0001-6838-9137>. E-mail: salomatovas@susu.ru

Information about the authors

Valentina A. Vaskina – D. Sc. (Engineering), Professor of the Department of Bread Products Technology, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (3, Schmidt Ave., 212027, Mogilev, Republic of Belarus). <https://orcid.org/0000-0002-3157-9911>. E-mail: v.a.vaskina@inbox.ru

Irina A. Mashkova – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Bread Products Technology, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (3, Schmidt Ave., 212027, Mogilev, Republic of Belarus). <https://orcid.org/0000-0002-9948-6754>. E-mail: helenn66@mail.ru

Alexander A. Bykov – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University) (9, Institutskiy Lane, 141700, Dolgoprudny, Moscow Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-4529-348X>. E-mail: aleks-bykov@yandex.ru

Evgeniy N. Rogozkin – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Russian Biotechnological University (11, Volokolamsk highway, 125080, Moscow, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-5196-6417>. E-mail: rogozkin47@yandex.ru

Elena I. Shcherbakova – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technology and Organization of Public Catering, South Ural State University (National Research University) (76, Lenin Ave., 454080, Chelyabinsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-0702-7719>. E-mail: shcherbakovaei@susu.ru

Anastasia A. Ruschits – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technology and Organization of Public Catering, South Ural State University (National Research University) (76, Lenin Ave., 454080, Chelyabinsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-8330-2236>. E-mail: rushchitcaa@susu.ru

Aleksey S. Salomatov – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technology and Organization of Public Catering, South Ural State University (National Research University) (76, Lenin Ave., 454080, Chelyabinsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-6838-9137>. E-mail: salomatovas@susu.ru