

КАЧЕСТВО, БЕЗОПАСНОСТЬ И ГИГИЕНА ПИТАНИЯ /
QUALITY, SAFETY AND FOOD HYGIENE

Научная статья / *Original article*

УДК 664

DOI: 10.31208/2618-7353-2024-26-88-94

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ
С ЗАМЕНИТЕЛЯМИ НАСЫЩЕННЫХ ЖИРОВ**

**INNOVATIVE FOOD PRODUCTS
WITH SATURATED FATS SUBSTITUTES**

Наталья В. Неповинных, доктор технических наук, доцент

Natalia V. Nepovinnykh, Dr. Sci. (Technology), Associate Professor

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов

Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russia

Контактное лицо: Неповинных Наталья Владимировна, профессор кафедры, кафедра технологии продуктов питания, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; 410012, Россия, Саратов, пр. им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3;
e-mail: nneovinnykh@yandex.ru; тел.: 89172093094; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2923-9202>.

Для цитирования: Неповинных Н.В. Инновационные продукты питания с заменителями насыщенных жиров // Аграрно-пищевые инновации. 2024. Т. 26, № 2. С. 88-94. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2024-26-88-94>.

Principal Contact: Natalia V. Nepovinnykh, Professor of the Department, Department of Food Technology, Saratov State Vavilov Agrarian University; 3, 4, Petr Stolypin Av., Saratov, 410012, Russian Federation;
e-mail: nneovinnykh@yandex.ru; tel.: +7 9172093094; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2923-9202>.

For citation: Nepovinnykh N.V. Innovative food products with saturated fats substitutes. *Agrarno-pishchevye innovacii = Agrarian-and-food innovations*. 2024;26(2):88-94. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2024-26-88-94>.

Резюме

Цель. Разработка бигелей на основе растительного масла с использованием гидрогеля альгината натрия и олеогеля на основе пчелиного воска, подбор оптимального соотношения между концентрацией гидрогеля и олеогеля в составе бигеля, изучение его тепловых и текстурных характеристик.

Материалы и методы. Влияние соотношения гидрогеля и олеогеля на производство бигелей оценивалось с точки зрения тепловых и структурно-механических свойств. Для создания бигелей были использованы следующие рецептурные ингредиенты: вода питьевая, альгинат натрия, пчелиный воск, масло виноградных косточек.

Результаты. Установлено, что увеличение доли гидрогеля повлияло на тепловые свойства, прочность и адгезивность бигелей. В целом увеличение фракции гидрогеля позволило получить бигели с более сильными механическими свойствами и более высокой термостойкостью, что важно учитывать при создании технологий инновационных продуктов питания.

Заключение. Для разработки различных продуктов питания с заменой насыщенных жиров на пищевые бигелевые матрицы необходимо грамотное регулирование их физико-химических и текстурных свойств.

Ключевые слова: заменители насыщенных жиров, бигели, олеогели, гидрогели

Abstract

Purpose. Development of plant oil-based bigels using sodium alginate hydrogel and beeswax-based oleogel, selection of the optimal ratio between the concentration of hydrogel and oleogel in the composition of bigel, study of its thermal and textural characteristics.

Materials and Methods. Effect of hydrogel-to-oleogel ratio on bigel production was evaluated in terms of thermal and structural-mechanical properties. The following recipe ingredients: drinking water, sodium alginate, beeswax, grape seed oil, were used to produce bigels.

Results. It was found that increasing proportion of hydrogel had influenced on thermal properties, strength and adhesiveness of the bigels. In general, an increase hydrogel fraction made it possible to obtain bigels with stronger mechanical properties and higher heat resistance, which is important to consider when creating technologies for innovative food products.

Conclusion. For developing various food products with substitution of saturated fats with food bigel matrices, it is necessary to regulate competently their physicochemical and textural properties.

Keywords: saturated fat substitutes, bigels, oleogels, hydrogels

Введение. Потребление в ежедневном рационе определенных продуктов питания оказывает негативное влияние на здоровье, и, чтобы предотвратить множество патологий, оказывающих влияние на организм человека, таких как ожирение, сердечно-сосудистые заболевания и их осложнения, необходимо соблюдать рекомендации по здоровому питанию. В настоящее время многие пищевые продукты содержат твердые жиры, которые имеют высокое содержание насыщенных и/или трансжирных кислот; эти жиры широко используются в пищевой промышленности из-за их вкусовых качеств, функциональности и текстуры. Однако из-за их влияния на сенсорные и функциональные свойства пищи достижение оптимальной замены твердых жиров по-прежнему является сложной задачей. Зарубежные и отечественные исследователи частично или полностью заменяли твердые жиры в различных продуктах питания альтернативными заменителями (Puşcaş A et al., 2020; Martins AJ et al., 2020; Jung D et al., 2020; Фролова Ю.В. и др., 2020, 2021; Li L et al., 2022). Однако заменить насыщенные жиры в рецептурах пищевых продуктов нелегко без негативного изменения органолептических свойств, поскольку насыщенные жиры выполняют в пищевых продуктах множество функций, таких как придание вкуса, текстуры и структурообразование.

В пищевой промышленности в качестве заменителей насыщенных жиров в рецептурах продуктов питания могут быть использованы бигели – класс полутвердых пищевых матриц. Пищевые бигели – это новые полутвердые пищевые матрицы, в которых растительное масло иммобилизовано в виде трехмерной сети, обладающей способностью к гелеобразованию (Martins AJ et al., 2019, 2023; Hashemi B et al., 2023, 2024). Олеогелирование – это технология, которая позволяет придавать маслам полутвердую структуру без изменения их химических характеристик. Для этого требуются желирующие вещества, позволяющие получить бигель с текстурными свойствами, подобными твердому жиру.

Целью исследования явилась разработка состава бигелей для замены кондитерского жира и маргарина, являющихся источником насыщенных жиров в рецептурах продуктов питания, исследование по подбору оптимального соотношения между концентрацией гидрогеля и олеогеля в составе бигеля, изучение его тепловых и текстурных характеристик.

Материалы и методы. Для создания бигелей были использованы следующие рецептурные ингредиенты: вода питьевая, альгинат натрия, пчелиный воск, масло виноградных косточек.

Олеогель готовили из смеси 60 мл масла виноградных косточек с 20% природного органогелатора пчелиного воска. Гидрогель готовили в количестве 10 мл 2%-ого водного раствора альгината натрия. Для получения гибридных гелей гидрогель смешивали при помощи механической мешалки (Heidolph, Германия) при 600 об/мин в течение 15 мин при температуре $65 \pm 2^\circ\text{C}$ с олеогелем при трёх различных соотношениях гидрогель : олеогель (1:99; 5:95; 10:90). Контрольным образцом служил олеогель без добавления гидрогеля (0:100).

Результаты и обсуждение. Схематично производство пищевого бигеля представлено на рисунке 1.



Рисунок 1. Схема получения пищевого бигеля

Figure 1. Scheme of production of food bigel:

Растительное масло / Plant oil; Воск пчелиный / Beeswax; Нагреть до 60-80°C / Heat to 60-80°C; Перемешать / Stir; Остудить до комнатной температуры / Cool to room temperature; Олеогель / Oleogel; Гидрогель / Hydrogel; Механическое перемешивание при 600 об/мин 45 мин / Mechanical stirring at 600 rpm for 45 min; Пищевой биогель / Food biogel

Разработанный бигель был включен в составы таких пищевых продуктов, как заменитель маргарина и кондитерского жира: печенье, кексы, кондитерская глазурь, шоколадный продукт (Куценкова В.С. и др., 2021; Неповинных Н.В. и др., 2023; Ghorghi ZB et al., 2023).

Однако важной особенностью при такой замене является проведение исследований по подбору оптимального соотношения между концентрацией гидрогеля и олеогеля в составе бигеля, поскольку от данного соотношения напрямую будут зависеть свойства разработанной бигелевой матрицы и продуктов питания, изготовленных на её основе.

В этой связи нами были изучены тепловые и текстурные характеристики разработанных бигелей. Тепловые свойства образцов гибридных гелей исследовали с помощью дифференциально сканирующей калориметрии (модель DSC-600, Sanaf 173 Co., Иран). Начальная и конечная температуры плавления регистрировались и анализировались с использованием программного обеспечения прибора SPICO (DSC 1.0.0, Китай). В таблице 1 представлены значения начальной температуры плавления, при которой начинается процесс плавления, и конечной температуры плавления, при которой бигель полностью плавится при данной температуре.

Таблица 1. Тепловые свойства бигелей

Table 1. Thermal properties of bigels

Наименование показателя <i>Indicator</i>	Значение показателя <i>Indicator value</i>			
	Контрольный образец <i>Control sample</i>	Бигель при соотношении гидрогель : олеогель <i>Bigel at ratio hydrogel : oleogel 1:99</i>	Бигель при соотношении гидрогель : олеогель <i>Bigel at ratio hydrogel : oleogel 5:95</i>	Бигель при соотношении гидрогель : олеогель <i>Bigel at ratio hydrogel : oleogel 10:90</i>
Начальная температура плавления, °C <i>Initial melting point, °C</i>	55,33±0,21	56,90±0,20	65,00±0,17	64,80±0,13
Конечная температура плавления, °C <i>Ultimate melting point, °C</i>	58,73±0,30	58,60±0,30	67,37±0,17	67,50±0,30

Как видно из представленных данных таблицы 1, начальная и конечная температуры плавления исследуемых образцов бигелей повышались при снижении количества олеогеля в составе бигелей. При этом контрольный образец, изготовленный без использования гидрогеля в своем составе, имел самые низкие начальные и конечные температуры плавления. Этот эффект может быть обусловлен увеличением числа водородных связей из-за увеличения содержания влаги в бигелевых матрицах, изготовленных с гидрогелем, что требует больше энергии для разрыва большего числа водородных связей. Анализируя данные таблицы 1, можно предположить, что приблизительно все молекулы масла связываются с молекулами воды в образце бигеля с соотношением гидрогель : олеогель 5:95, а количество связей в образце бигеля с соотношением гидрогель : олеогель 10:90 не увеличилось, при этом избыток водной фазы, присутствовавший в геле, был захвачен масляной фазой, что не привело к увеличению числа межмолекулярных связей между водой и маслом.

Для определения текстурных свойств образцов использовали анализатор текстуры ТА-ХТ2 (Stable micro system, ТА.ХТplus, Англия) с программным обеспечением Texture Exponent. В таблице 2 приведены показатели текстуры бигелей, где прочность – это усилие, необходимое для получения установленной деформации, адгезивность – это работа, необходимая для извлечения индентора из образца геля. Анализ профиля текстуры позволяет получить различные микро- и макроструктурные сведения о поведении бигелей при пережевывании в ротовой полости. Поскольку все образцы подвергались одинаковому усилию проникновения и продолжительности воздействия, влияние процесса усилия во время исследования образцов устраняется. Полученные результаты подтвердили влияние соотношения гидрогель : олеогель на показатели текстуры бигелей.

Как видно из данных таблицы 2, показатели текстуры изменяются по мере изменения соотношения гидрогель : олеогель в составе бигелей.

Таблица 2. Показатели текстуры бигелей

Table 2. Indicators of bigels texture

Наименование показателя <i>Indicator</i>	Значение показателя <i>Indicator value</i>			
	Контрольный образец <i>Control sample</i>	Бигель при соотношении гидрогель : олеогель <i>Bigel at ratio hydrogel : oleogel</i> 1:99	Бигель при соотношении гидрогель : олеогель <i>Bigel at ratio hydrogel : oleogel</i> 5:95	Бигель при соотношении гидрогель : олеогель <i>Bigel at ratio hydrogel : oleogel</i> 10:90
Прочность, г <i>Strength, g</i>	321,47±3,6	323,37±4,22	396,13±4,58	472,27±3,67
Адгезивность, г <i>Adhesiveness, g</i>	154,4±4,21	143,07±3,86	187,23±4,32	242,23±4,32

Увеличение количества гидрогеля в составе бигелей приводило к повышению прочности и адгезивности, что также объясняется увеличением числа дополнительных водородных связей. Это увеличение происходит как при образовании гидроколлоидного раствора из-за более высокой доли гидрогеля, так и при взаимодействии с молекулами воска в составе бигеля. Чем больше число таких связей, тем прочнее становится образец бигеля. Данные о прочности не выявили существенной разницы между образцом 1:99 и контрольным образцом, поскольку соотношение было недостаточно высоким для установления дополнительных водородных связей между компонентом гидрогеля и молекулами пчелиного воска в компоненте олеогеля, что также коррелирует с тепловыми свойствами данных образцов (см. табл. 1). Однако значительные различия по прочности наблюдались при соотношениях гидрогель : олеогель 5:95 и 10:90. Кроме того, увеличение доли гидрогеля в опытных образцах по сравнению с контрольным образцом привело к более высоким данным по показателю адгезивности.

Заключение. Таким образом, из полученных данных настоящего исследования можно сделать вывод о том, что для разработки различных продуктов питания с заменой насыщенных жиров на пищевые бигелевые матрицы необходимо грамотное регулирование их физико-химических и текстурных свойств.

Благодарность: Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда на тему «Биополимерные гели как структуры пищи: «умные» ингредиенты и пищевые инкапсуляторы» (грант № 24-26-00108).

Acknowledgment: The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation on the topic “Biopolymer gels as food structures: “smart” ingredients and food encapsulators” (Grant No. 24-26-00108).

Список источников

1. Олеогели как перспективные пищевые ингредиенты липидной природы / Ю.В. Фролова, А.А. Кочеткова, Р.В. Соболев, В.М. Воробьева, В.М. Коденцова // Вопросы питания. 2021. Т. 90, № 4. С. 64-73. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-64-73>.
2. Органогели – заменители насыщенных и транс-жиров: производство и применение в пищевых технологиях / В.С. Куценкова, Е.В. Косарева, В.С. Чуплина, Н.В. Неповинных // Основы и перспективы органических биотехнологий. 2021. № 2. С. 16-20.

3. Применение пищевых гелей в индустрии питания / Н.В. Неповинных, К. Нишинари, С. Еганехзад, В.С. Куценкова, О.Н. Петрова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2023. № 5-6 (394). С. 118-124. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.5-6.19>.
4. Фролова Ю.В., Соболев Р.В., Саркисян В.А. Практика применения олеогелей в технологии колбасных изделий // Мясные технологии. 2020. № 8. С. 44-47. <https://doi.org/https://doi.org/10.33465/2308-2941-2020-08-44-47>.
5. Edible oleogels as solid fat alternatives: Composition and oleogelation mechanism implications / L Li, G Liu, O Bogojevic, JN Pedersen, Z Guo // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2022. Vol. 21 (3). P. 2077-2104. <https://doi.org/10.1111/1541-4337>.
6. Fabrication of novel hybrid gel based on beeswax oleogel: Application in the compound chocolate formulation / ZB Ghorghi, S Yeganehzad, MA Hesarinejad, A Faezian, V Kutsenkova, Z Gao, K Nishinari, N Nepovinnikh // Food Hydrocolloids. 2023. Vol. 140 (4). Article number: 108599. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108599>.
7. Food-grade bigels: Evaluation of hydrogel:oleogel ratio and gelator concentration on their physicochemical properties / AJ Martins, A Guimarães, P Fuciños, P Sousa, A Venâncio, LM Pastrana, MA Cerqueira // Food Hydrocolloids. 2023. Vol. 143 (6). Article Number: 108893. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108893>.
8. Hashemi B, Varidi M, Jafari SM. Fabrication and characterization of novel whey protein-based bigels as structured materials with high-mechanical properties // Food Hydrocolloids. 2023. Vol. 145 (6). Article number: 109082. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109082>.
9. Hashemi B, Assadpour E, Jafari SM. Bigels as novel carriers of bioactive compounds: Applications and research trends // Food Hydrocolloids. 2024. Vol. 147. Article number: 109427. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109427>.
10. Hybrid gels: Influence of oleogel/hydrogel ratio on rheological and textural properties / AJ Martins, P Silva, F Maciel, LM Pastrana, RL Cunha, MA Cerqueira, AA Vicente // Food Research International. 2019. Vol. 116. P. 1298-1305. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.019>.
11. Oleogels in food: a review of current and potential applications / A Puşcaş, V Mureşan, C Socaciu [et al.] // Foods. 2020. Vol. 9, no. 1. P. 70. <https://doi.org/10.3390/foods9010070>.
12. Oleogels for development of health-promoting food products / AJ Martins, AA Vicente, LM Pastrana [et al.] // Food Sci. Hum. Wellness. 2020. Vol. 9, no. 1. P. 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.12.001>.
13. Utilization of butter and oleogel blends in sweet pan bread for saturated fat reduction: dough rheology and baking performance / D Jung, I Oh, J Lee [et al.] // LWT. 2020. Vol. 125. Article number: 109194. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109194>.

References

1. Frolova YuV, Kochetkova AA, Sobolev RV, Vorobyeva VM, Kodentsova VM. Oleogels as prospective nutritional ingredients of lipid nature. *Voprosy pitaniia = Problems of Nutrition*. 2021;90(4):64-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-64-73>.
2. Kosareva EV, Chuplina VS, Kutsenkova VS, Nepovinnikh NV. Organogels – substitutes for saturated and trans fats: production and application in food technologies. *Osnovy i perspektivy organicheskikh biotekhnologij = Fundamentals and prospects of organic biotechnologies*. 2021;(2):16-20. (In Russ.).
3. Nepovinnikh NV, Nishinari K, Eganekhzad S, Kutsenkova VS, Petrova ON. Application of food gels in the food industry. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Pishchevaya*

- tekhnologiya = Izvestiya vuzov. Food technology.* 2023;394(5-6):118-124. (In Russ.). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.5-6.19>.
4. Frolova YuV, Sobolev RV, Sarkisyan VA. The practice of using oleogels in sausage technology. *Myasnye tekhnologii = Meat Technology.* 2020;(8):44-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2020-08-44-47>.
 5. Li L, Liu G, Bogojevic O, Pedersen JN, Guo Z. Edible oleogels as solid fat alternatives: Composition and oleogelation mechanism implications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2022;21(3):2077-2104. <https://doi.org/10.1111/1541-4337>.
 6. Ghorghi ZB, Yeganehzad S, Hesarinejad MA, Faezian A, Kutsenkova V, Gao Z, Nishinari K, Nepovinnykh N. Fabrication of novel hybrid gel based on beeswax oleogel: Application in the compound chocolate formulation. *Food Hydrocolloids.* 2023;140(4):108599. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108599>.
 7. Martins AJ, Guimarães A, Fuciños P, Sousa P, Venâncio A, Pastrana LM, Cerqueira MA. Food-grade bigels: Evaluation of hydrogel:oleogel ratio and gelator concentration on their physicochemical properties. *Food Hydrocolloids.* 2023;143(6):108893. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108893>.
 8. Hashemi B, Varidi M, Jafari SM. Fabrication and characterization of novel whey protein-based bigels as structured materials with high-mechanical properties. *Food Hydrocolloids.* 2023;145(6):109082. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109082>.
 9. Hashemi B, Assadpour E, Jafari SM. Bigels as novel carriers of bioactive compounds: Applications and research trends. *Food Hydrocolloids.* 2024;(147):109427. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109427>.
 10. Martins AJ, Silva P, Maciel F, Pastrana LM, Cunha RL, Cerqueira MA, Vicente AA. Hybrid gels: Influence of oleogel/hydrogel ratio on rheological and textural properties. *Food Research International.* 2019;(116):1298-1305. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.019>.
 11. Puşcaş A, Mureşan V, Socaciu C et al. Oleogels in food: a review of current and potential applications. *Foods.* 2020;9(1):70. <https://doi.org/10.3390/foods9010070>.
 12. Martins AJ, Vicente AA, Pastrana LM et al. Oleogels for development of health-promoting food products. *Food Sci. Hum. Wellness.* 2020;9(1):31-39. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.12.001>.
 13. Jung D, Oh I, Lee J et al. Utilization of butter and oleogel blends in sweet pan bread for saturated fat reduction: dough rheology and baking performance. *LWT.* 2020;(125):109194. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109194>.

Вклад автора: Автором разработан состав бигелей, проведены исследования по подбору оптимального соотношения между концентрацией гидрогеля и олеогеля в составе бигеля, изучены его тепловые и текстурные характеристики.

Contribution of the author: The author developed the composition of bigels, conducted studies on the selection of optimal ratio between the concentration of hydrogel and oleogel in the composition of bigel, and studied its thermal and textural characteristics.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию / *The article was submitted:* 19.05.2024;
одобрена после рецензирования / *approved after reviewing:* 19.06.2024;
принята к публикации / *accepted for publication:* 21.06.2024