

УДК 665.347.8:(664.681+664.654.22+664.641.22)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА, ИНКАПСУЛИРОВАННОГО В БЕЛКОВО-ПОЛИСАХАРИДНУЮ ОБОЛОЧКУ, В ТЕХНОЛОГИИ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО КЕКСА

Е. С. Новожилова, И. А. Машкова, В. А. Васькина, А. Л. Челнокова

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Цель исследования – разработка технологии безглютенового кекса с использованием подсолнечного масла. Известны методы формирования потребительских свойств таких продуктов за счет использования эмульсионных гелей на основе жидких растительных масел, инкапсулированных в белково-полисахаридные оболочки. Вместе с тем недостаточно научных знаний о технологических свойствах белково-полисахаридных смесей для формирования оболочек в случае инкапсулирования жидких растительных масел в структуру кекса, что определило общую научную задачу исследования.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись кексы из гречневой муки, изготовленные по технологии на химических разрыхлителях с использованием подсолнечного масла, инкапсулированного в оболочку из белково-полисахаридной смеси. Применяли общепринятые и специальные методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и мучных кондитерских изделий.

Результаты. Изучены технологические свойства белково-полисахаридных смесей, включающих концентрат сывороточных белков и трехкомпонентные комплексы из разных комбинаций полисахаридов. Подобран оптимальный состав белково-полисахаридной смеси, обладающей водоудерживающей способностью 5,81 г/г, жирудерживающей способностью 0,68 г/г, пенообразующей способностью 582 % и 100 %-й эмульгирующей способностью. С применением такой смеси проведено инкапсулирование подсолнечного масла в структуру эмульсионного геля для безглютенового кекса. Выявлены изменения технологических режимов получения кексового теста из гречневой муки при внесении инкапсулированного подсолнечного масла. По показателям качества безглютеновый кекс соответствовал требованиям СТБ 2265, обладал улучшенной пищевой ценностью.

Заключение. Технологические свойства белково-полисахаридной смеси, включающей концентрат сывороточных белков и трехкомпонентный комплекс полисахаридов из агара, карбоксиметилцеллюлозы и пектина, позволили инкапсулировать подсолнечное масло в структуру безглютенового кекса из гречневой муки и сформировать необходимые потребительские свойства готового изделия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *безглютеновый кекс; подсолнечное масло; гречневая мука; белково-полисахаридная смесь; инкапсулирование; эмульсионный гель.*

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Новожилова, Е. С. Использование подсолнечного масла, инкапсулированного в белково-полисахаридную оболочку, в технологии безглютенового кекса / Е. С. Новожилова, И. А. Машкова, В. А. Васькина, А. Л. Челнокова // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2024. – № 2(37). – С. 11–23.

THE USE OF SUNFLOWER OIL, ENCAPSULATED IN A PROTEIN- POLYSACCHARIDE COATING, IN GLUTEN-FREE MUFFIN TECHNOLOGY

A. S. Navazhylava, I. A. Mashkova, V. A. Vaskina, A. L. Chalnakova

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

ABSTRACT

Introduction. The aim of the research is to develop the technology of gluten-free muffin using sunflower oil. There are known methods for forming the consumer properties of such products through the use of emulsifying gels based on liquid vegetable oils, encapsulated in protein-polysaccharide coatings. However, there is insufficient scientific knowledge regarding the technological properties of protein-polysaccharide mixtures for

forming coatings in the case of encapsulating liquid vegetable oils within the structure of the muffin, which has defined the overall scientific objective of the study.

Materials and methods. The objects of the study are the muffins made from buckwheat using a technology of leavening agents and sunflower oil encapsulated in a protein-polysaccharide mixture. Commonly accepted and specialized methods were used to investigate the properties of raw materials, semi-finished products and flour confectionery.

Results. The technological properties of protein-polysaccharide mixtures, including whey protein concentrate and three-component complexes from various combinations of polysaccharides, were studied. An optimal composition of protein-polysaccharide mixture was identified, possessing a water-holding capacity of 5.81 g/g, a fat-holding capacity of 0.68 g/g, a foaming capacity of 582 %, and an emulsifying capacity of 100%. Using this mixture, sunflower oil was encapsulated within the structure of an emulsifying gel for gluten-free muffin. Changes in the technological modes for producing buckwheat flour muffin batter were identified when incorporating encapsulated sunflower oil. According to quality indicators, the gluten-free muffin met the requirements of the current standard and had an improved nutritional value.

Conclusion. The technological properties of the protein-polysaccharide mixture, which includes whey protein concentrate and a three-component polysaccharide complex made from agar, carboxymethylcellulose, and pectin enabled the encapsulation of sunflower oil within the structure of gluten-free buckwheat flour muffin and formed the necessary consumer properties of the final product.

KEY WORDS: *gluten-free cake; sunflower oil; buckwheat flour; protein-polysaccharide mixture; encapsulation; emulsion gel.*

FOR CITATION: Navazhylava, A. S. The use of sunflower oil encapsulated in a protein-polysaccharide shell in gluten-free cake technology / A. S. Navazhylava, I. A. Mashkova, V. A. Vaskina, A. L. Chalnakova // Vestnik of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. – 2024. – №. 2(37). – P. 11–23.

ВВЕДЕНИЕ

Кексы представляют собой высококалорийные мучные кондитерские изделия (далее – МКИ), выпеченные из сдобного теста на основе муки, сахара, жира, яйцепродуктов, молочного и другого сырья с крупными и (или) мелкими добавлениями (цукаты, орехи, изюм и др.) и разнообразной внешней отделкой¹. Несмотря на высокое содержание жиров, углеводов и низкую биологическую ценность, кексы популярны среди потребителей разного возраста.

Традиционная технология кексов включает приготовление теста, формование, выпечку и отделку. Следует отметить, что стадия приготовления теста является главной, где формируется структура кекса на основе различных разрыхлителей (химические; биологические или без них)². Полуфабрикаты для кексового теста на химических разрыхлителях (пена, эмульсия) представляют собой термодинамически нестабильные структуры [1], а тестовая масса – многофазную суспензированную эмульсионно-пенную систему [2, 3]. Дисперсионной средой кексового теста является насыщенный сахаро-яично-молочный раствор, в котором имеют место три дисперсных фазы: газовая – пузырьки воздуха; жидкая – капельки жира; твердая – частицы муки, сухих молочных продуктов, разрыхлителей. При этом белки яйца и молока образуют оболочки на капельках жира и пузырьках воздуха, что стабилизирует структуру кексового теста. Взаимодействие яичных и молочных белков с клейковиной пшеничной муки при выпечке изделий придает структуре кекса пористость и прочность [3].

¹ Кузнецова, Л. С. Технология производства мучных кондитерских изделий / Л. С. Кузнецова, М. Ю. Сиданова. – 6-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 400 с.

² Технология и оборудование для производства мучных кондитерских изделий: пособие / В. А. Шаршунов, В. А. Васькина, И. А. Машкова [и др.]. – Минск: Мисанта, 2015. – 991 с.

Традиционный рецептурный состав кексов не позволяет употреблять их в диетическом питании, так как включает: 1) насыщенные и трансжирные кислоты (сливочное масло, маргарин, цельномолочное сырье); 2) холестерин (твердые жиры, яйцапродукты); 3) белки-аллергены (яйцапродукты, молочные продукты, пшеничная мука), хотя некоторые из них, например сывороточные, теряют свою активность после термической обработки [4, 5].

Во всем мире здоровому питанию отводится немалая роль в профилактике сердечно-сосудистых и аутоиммунных заболеваний, которые всё чаще диагностируются у более молодых людей³. С учетом растущего спроса на диетические продукты у потребителей возникают пожелания об исключении из рецептур МКИ насыщенных жиров и их трансизомеров, холестерина, глютена и об увеличении содержания полезных нутриентов [6]. Узкий выбор подобных МКИ, в том числе и кексов, на потребительском рынке Беларуси определяет необходимость расширения отечественного ассортимента с применением инновационных технологий и альтернативного сырья в виде жидких растительных масел, безглютеновой муки, сывороточных белков, пищевых волокон.

Известны способы получения кекса на химических разрыхлителях, где взамен твёрдых жиров использовались жидкие масла – подсолнечное, рапсовое, кукурузное, кунжутное [7–12]. Иногда применялись двойные и тройные смеси жидких масел на основе подсолнечного с добавлением горчичного, соевого, льняного, масел грецкого ореха и виноградных косточек [6, 12–15]. Внесение растительных масел в количестве 6–25 % от массы кекса позволяло улучшить липидный профиль изделий, однако влияло на структуру теста и вкус готового продукта. Для стабилизации реологических свойств кексового теста на растительных маслах использовались плодоовощные порошки [6], молочные продукты [10, 11], пищевые волокна [9, 11, 14, 16].

В технологии кекса применялась частичная или полная замена пшеничной муки на отдельные виды безглютеновой муки – гречневую, амарантовую, кукурузную, нуттовую, рисовую, льняную [12, 15, 17–23] или их двухкомпонентные смеси [24–26]. Использование такого мучного сырья позволяло получить специализированный продукт для больных целиакией, иногда специфического вкуса, и при этом не влияло на состав эмульсионно-пенной системы кексового теста (в изделиях по-прежнему применялись твердые жиры, яйцапродукты).

При одновременной замене твердого жира на жидкие масла и пшеничной муки на безглютеновую предусматривалось обязательное введение стабилизирующих добавок, включающих поверхностно-активные вещества (яичный желток, миндальное молоко), пищевые волокна (плодоовощные пюре и порошки). Однако, сезонные и региональные колебания химического состава и функциональных свойств такого сырья не позволяли получать устойчивое качество готовых изделий [15, 18, 27].

Более эффективным способом замены твердых жиров является структурирование растительного масла с помощью пищевых олеогелляторов (водорастворимых полимеров), придающих пищевым дисперсным системам необходимую вязкость, механическую прочность и предсказуемое поведение при технологической обработке [9, 28–31].

Другой перспективный путь замены твердых жиров предполагает инкапсуляцию жидкого растительного масла в виде коллоидных капсул или эмульсионного геля [2, 3, 32–41]. Значимое внимание в этом способе уделяется выбору стенового материала (оболочки или покрытия капсул), способного создавать защитный барьер для капель масла. Стеновыми материалами могут быть животные и растительные белки (молочной сыворотки, риса, сои, гороха, картофеля и др.), полисахариды и другие пищевые полимеры – альгинаты, агар, гурамирабик, этилцеллюлоза, метилцеллюлоза, гуаровая и ксантановая

³ Программа достижения показателя Цели устойчивого развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cardio.by/files/299/TSUR-programma-dlya-sayta.pdf>. – Дата обращения: 20.11.2024.

камеди, пектин, каррагинан, хитозан, инулин, полидекстроза, мальтодекстрины, а также их комбинации [2, 3, 32–41].

В настоящей работе исследована возможность применения положительного опыта разработки безглютеновых МКИ с использованием эмульсионных гелей на основе инкапсулированных жидких растительных масел [3, 37–41] в технологии кекса на химических разрыхлителях. При исключении глютена, насыщенных жиров и их трансизомеров становится возможным повышение пищевой ценности кексов, а также придание им диетических свойств, улучшение ценовой приемлемости для потребителей. Изучение свойств стеновых материалов позволит управлять поведением дисперсной системы кекса как в процессе технологической обработки, так и при хранении готовых изделий, а также рационально использовать местные и региональные сырьевые ресурсы.

Цель исследования – разработка технологии безглютенового кекса с использованием инкапсулированного подсолнечного масла.

Общая научная задача – расширение научных знаний о технологических свойствах белково-полисахаридных смесей, применяемых в качестве оболочки для инкапсулирования жидких растительных масел в составе эмульсионного геля для безглютеновых кексов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись кексы безглютеновые по СТБ 2265 из гречневой муки, изготовленные с применением подсолнечного масла, инкапсулированного в оболочки из белково-полисахаридных смесей, по технологии на химических разрыхлителях. В качестве контроля рассматривались кексы по ГОСТ 15052 из пшеничной муки.

Для изготовления кексов применяли пищевое сырье белорусских и российских производителей: муку пшеничную высшего сорта М54-28 по СТБ 1666 от ОАО «Лидахлебопродукт», муку гречневую «Фермер» по ТУ ВУ 19061456.001-2015 от ООО «БерталСервис», сахар белый по ГОСТ 33222 от ОАО «Слущкий сахарорафинадный комбинат», масло сливочное по СТБ 1890 от ОАО «Бабушкина крынка», масло подсолнечное рафинированное по СТБ 1129 от ОАО «Минский маргаринный завод», яйца куриные пищевые по СТБ 254 от ОАО «Агрокомбинат Дзержинский», воду питьевую по СанПиН 10-124, соль поваренную пищевую по ТУ РБ 101191824.6.035 (ГОСТ 13830) от ОАО «Мозырьсоль», разрыхлитель аммоний углекислый по ГОСТ 9325 от ОАО «Белхим», ароматизатор ванилин по ТУ ВУ 192340348.003 от ООО «Гурмина-ПРО». В составе БПС использовали концентрат сывороточный белковый 80 % по ТУ ВУ 100377914.550 от ОАО «Молочный мир», карбоксиметилцеллюлозы натриевую соль от ООО ТД «Лабораторное оснащение», целлюлозу микрокристаллическую от ЗАО «Эвалар», пектин яблочный 1 сорта по ГОСТ 29186 и агар высшего сорта по ГОСТ 16280 от АО Компания «Проксима».

Водоудерживающую, жирудерживающую и эмульгирующую способности исследуемых белково-полисахаридных смесей определяли общепринятыми методами, основанными на центрифугировании суспензий и эмульсий при 1500 мин^{-1} в течение 15 мин и процентном исчислении содержания жировой, водной и твердой фаз после центрифугирования. Для анализа пенообразующей способности БПС смешивали с водой, выдерживали в течение 40 мин при температуре $(60 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ и взбивали (1000 мин^{-1}) до получения устойчивой пены. Пенообразующую способность выражали как отношение прироста объема пены к начальному объему водной смеси (в процентах) [42].

Для исследования структуры пен и эмульсий использовали микроскоп Альтами тип «БИО-4» с цифровой камерой Альтами CMOS05100KPA и программным обеспечением Altami Studio.

Кексовое тесто смешивали лабораторным миксером, формовали в силиконовые формы, выпекали в лабораторной печи Wiesheu MINIMAT. Влажность теста контролировали

экспресс-методом на приборе ВЧ⁴. Органолептические показатели кексов устанавливали по ГОСТ 5897, сенсорную оценку проводили по 3-балльной шкале (3 – хорошо, 2 – удовлетворительно, 1 – неудовлетворительно) с участием 10 дегустаторов. Массовую долю влаги кексов определяли по ГОСТ 5900 высушиванием в сушильном шкафу, щелочность – по ГОСТ 5898, плотность – объемно-весовым методом, основанном на измерении массы готовых изделий и объема, ими вытесняемого из емкости с сыпучим наполнителем; массовую долю сахара, жира и пищевую ценность изделий – расчетными методами⁵. С помощью анализатора текстуры СТЗ-4500 Brookfield устанавливали адгезионное напряжение теста⁶ и индекс твердости готовых изделий [43].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При получении безглютенового кекса на химических разрыхлителях использовали эмульсионный гель на основе инкапсулированного подсолнечного масла в оболочках из белково-полисахаридных смесей (далее – БПС).

Вначале изучали функциональные свойства БПС. Для этого в состав БПС вносили белковый компонент – концентрат сывороточный белковый (далее – КСБ-80), а также полисахариды – агар (А), карбоксиметилцеллюлозу (К), микрокристаллическую целлюлозу (М), яблочный пектин (Р). В технологии олеогелирования и инкапсулирования жидких масел предпочтение отдается двойным или тройным комбинациям пищевых полимеров, которые проявляют эффект синергизма [3, 29, 30, 33]. Поэтому из вышеперечисленных полисахаридов были созданы четыре трехкомпонентных комплекса: 1 – (А+К+М); 2 – (А+К+Р); 3 – (А+М+Р) и 4 – (К+М+Р). Создание подобных комплексов описано в работах [2, 3, 37–41], но с другими комбинациями полисахаридов и для других дисперсных систем. В качестве контроля рассматривали 12 % водную суспензию КСБ-80 без внесения полисахаридов. Выбор КСБ-80 в качестве белкосодержащего сырья был нами обоснован в результате ранее проведенных исследований [44].

Экспериментальные данные о влиянии новых полисахаридных комплексов на технологические свойства БПС представлены на рисунках 1–3.

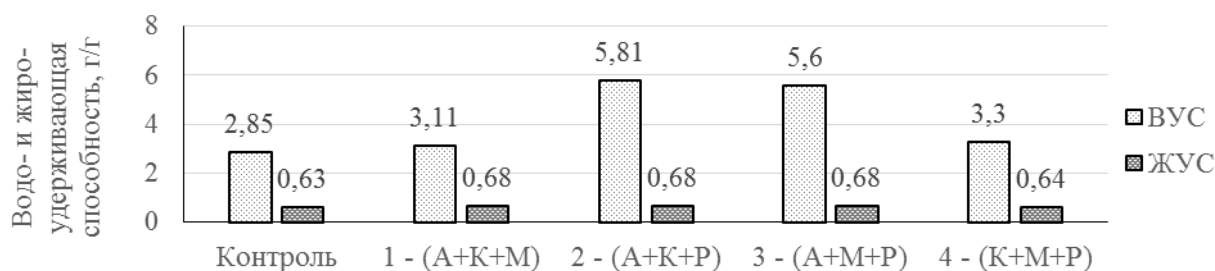


Рис. 1. Водо- и жиродерживающие свойства белково-полисахаридных смесей

Fig. 1. Water- and fat-retaining properties of protein-polysaccharide mixtures

Из рисунка 1 видно, что изучаемые комплексы по влиянию на водоудерживающую способность БПС можно выстроить в ряд: 2 – (А+К+Р) > 3 – (А+М+Р) > 4 – (К+М+Р) > 1 – (А+К+М). По жиродерживающей способности изучаемые БПС отличались незначительно, при этом более высокое значение отмечено при использовании полисахаридных комплексов 1, 2, 3.

⁴ Олейникова, А. Я. Практикум по технологии кондитерских изделий: учебное пособие для вузов / А. Я. Олейникова, Г. О. Магомедов, Т. Н. Мирошникова. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 480 с.

⁵ Технология и оборудование для производства мучных кондитерских изделий: пособие / В. А. Шаршунов, В. А. Васькина, И. А. Машкова [и др.]. – Минск: Мисанта, 2015. – 991 с. – С. 914–915; 952–962; 964–970.

⁶ Максимов, А. С. Реология пищевых продуктов: лабораторный практикум / А. С. Максимов, В. Я. Черных. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 176 с.

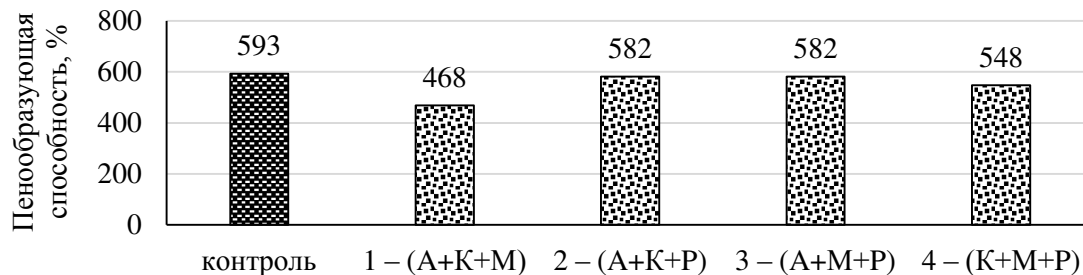


Рис. 2. Пенообразующая способность белково-полисахаридных смесей

Fig. 2. Foaming capacity of protein-polysaccharide mixtures

Как видно из рисунка 2, изучаемые полисахаридные комплексы по их влиянию на пенообразующую способность БПС можно расположить в такой же последовательности, как и для водоудерживающей способности: $2 - (А+К+Р) = 3 - (А+М+Р) > 4 - (К+М+Р) > 1 - (А+К+М)$. Следует отметить, что полисахаридный комплекс 2 - (А+К+Р) в составе БПС формировал пенную массу не только с высокой пенообразующей способностью, но и стойкостью пены во времени.

По влиянию на эмульгирующие свойства БПС (рисунок 3) полисахаридные комплексы можно представить в виде ряда: $2 - (А+К+Р) = 3 - (А+М+Р) > 4 - (К+М+Р) > 1 - (А+К+М)$. Выявлено, что полисахаридные комплексы 2 и 3, включающие агар, пектин и КМЦ (или МКЦ), в составе БПС обеспечивали получение эмульсий со 100 %-й стойкостью.

Полученные результаты хорошо соотносятся с данными по пенообразующим и эмульгирующим свойствам БПС с другим белковым и полисахаридным составом [39, 40].

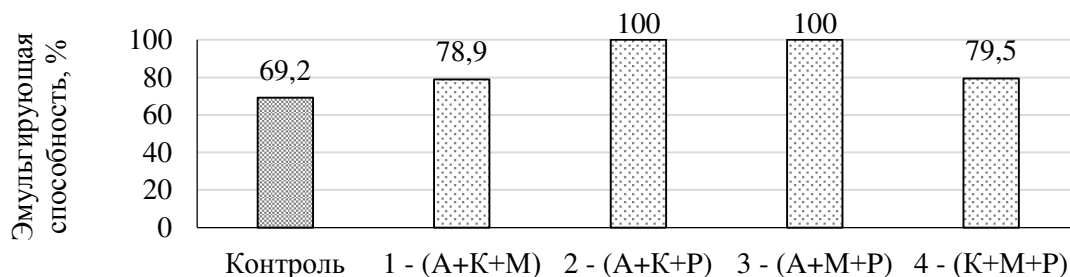


Рис. 3. Эмульгирующая способность белково-полисахаридных смесей

Fig. 3. Emulsifying capacity of protein-polysaccharide mixtures

Таким образом, на основании проведенных исследований создана новая белково-полисахаридная смесь на основе местного и регионального сырья – концентрата сывороточного белка КСБ-80 и полисахаридного комплекса 2 - (А+К+Р). Эту БПС использовали в рецептуре кекса взамен куриных яиц. На рисунке 4 показана микроструктура дисперсных систем (пены и эмульсии) на основе выбранной БПС.

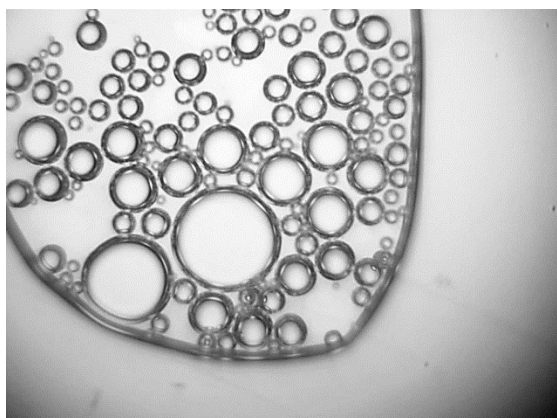
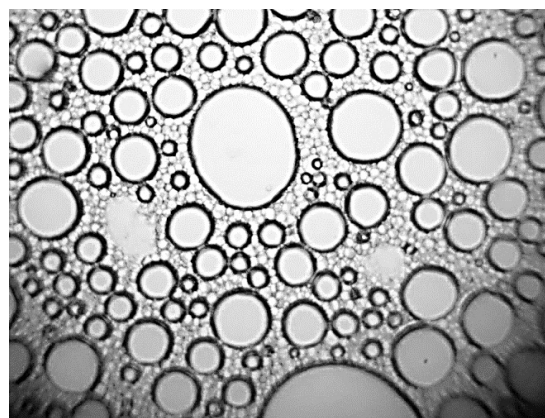
*а* – пена*б* – эмульсия с подсолнечным маслом

Рис. 4. Микроструктура дисперсных систем на основе белково-полисахаридных смесей (увеличение в 200 раз)

Fig. 4. Microstructure of dispersed systems based on protein-polysaccharide mixtures (magnification 200 times)

На рисунке 4 (*а*) в составе пены видны пузырьки воздуха размерами от 10 до 100 мкм, распределенные в белково-полисахаридном геле, который замедлял их слияние (коалесценцию). Объемная концентрация воздуха в пене составила около 55 %, что хорошо соотносится с результатами определения пенообразующей способности БПС (рисунок 2).

По рисунку 4 (*б*) можно наблюдать, что дисперсную фазу эмульсии составляли не только пузырьки воздуха разных размеров, но и капли подсолнечного масла диаметром 6–10 мкм, заключенные в белково-полисахаридные оболочки и равномерно распределенные в белково-полисахаридном геле. Объемная концентрация воздуха в эмульсии сохранялась на уровне 50 %, что положительно отразилось на структуре и плотности будущих изделий.

С применением подсолнечного масла, инкапсулированного в оболочки из БПС, включающей КСБ-80 и полисахаридный комплекс 2 – (А+К+Р), готовили экспериментальные образцы кексов на химических разрыхлителях. Тесто для образца 1 замешивали на пшеничной муке, а для образца 2 – на гречневой муке. Опыт использования гречневой муки в количестве от 5 до 100 % взамен пшеничной, описанный в литературе [12, 15, 26], позволял улучшить пищевую ценность кексов на твердых жирах.

В качестве контроля использовали образец, изготовленный по рецептуре и технологии кекса «Столичный»⁷ из пшеничной муки высшего сорта, на сливочном масле. Замену сливочного масла на подсолнечное проводили, сохраняя массовую долю жира.

Результаты исследования, отражающие изменение технологических режимов изготовления экспериментальных образцов кексов в сравнении с контролем, показаны в таблице 1. Как видно, использование БПС привело к удвоению общей продолжительности приготовления теста и вместе с тем к повышению его температуры на 5–8 °С, к снижению адгезионного напряжения теста из пшеничной муки в 1,7 раза, из гречневой – в 2,0 раза, что положительно сказалось при формировании изделий. Технологические режимы выпечки в экспериментальных образцах изделий остались без изменений, что, вероятно, обусловлено не столько влиянием жира и БПС [30, 39, 40], как доминированием воздушной фазы в кексовом тесте. Поскольку температура мякиша кексов в конце выпечки составляла 100–101 °С, то изменения жирнокислотного состава подсолнечного масла были несущественными [45].

⁷ Кузнецова, Л. С. Технология производства мучных кондитерских изделий / Л. С. Кузнецова, М. Ю. Сиданова. – 6-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 400 с. – С.74.

Табл. 1. Технологические режимы получения кексов на химических разрыхлителях

Table 1. Technological modes for obtaining muffins using chemical leavening agents

Технологические режимы	Контроль	Образец 1	Образец 2
Температура теста, °С	20±1	25±2	26±1
Влажность теста, %	23,0±0,2	22,9±0,2	21,0±0,2
Общая продолжительность приготовления теста, мин	24–28	44–52	44–52
Адгезионное напряжение теста, кПа	70,3±3,5	41,6±2,0	34,4±1,7
Температура выпечки, °С	195±5	195±5	195±5
Продолжительность выпечки, мин	20	20	20

Внешний вид и результаты органолептической оценки контрольного и экспериментальных образцов кексов представлены на рисунках 5 и 6.



a – контроль

б – образец 1

в – образец 2

Рис. 5. Внешний вид кексов на химических разрыхлителях

Fig. 5. Appearance of muffins with chemical leavening agents

Результаты органолептической оценки (рисунок 6) показали, что кекс из пшеничной муки с применением инкапсулированного подсолнечного масла (рисунок 5б), получил более низкие баллы, чем контроль (рисунок 5а), из-за непропеченности мякиша и невыраженного вкуса. Использование безглютеновой муки совместно с инкапсулированным подсолнечным маслом (рисунок 5в) позволило получить хорошо пропеченное изделие, с балльной оценкой, близкой к контрольному образцу, но с менее светлым мякишем.

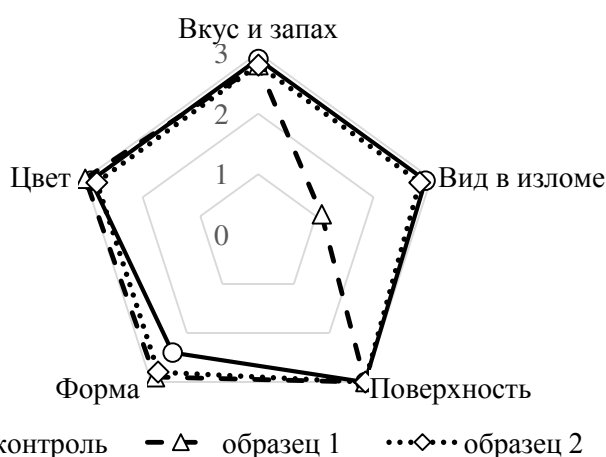


Рис. 6. Результаты органолептической оценки кексов

Fig. 6. Results of organoleptic evaluation of muffins

После остывания все образцы хранили упакованными в полиэтиленовые пакеты при

температуре (18 ± 3) °С. В соответствии с ГОСТ 15052 срок хранения кексов на химических разрыхлителях составлял 7 суток. Изменение физико-химических и структурно-механических показателей качества контрольного и экспериментальных образцов кексов в процессе хранения представлено в таблице 2 и на рисунке 7.

Табл. 2. Физико-химические показатели качества кексов

Table 2. Physicochemical quality indicators of muffins

Наименование показателя	Контроль	Образец 1	Образец 2
Массовая доля влаги, % в день изготовления	20,5±0,2	19,2±0,2	19,6±0,2
в конце срока хранения (7 суток)	15,0±0,2	15,4±0,2	15,4±0,2
Щелочность, град	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01

Из данных таблицы 2 видно, что использование инкапсулированного подсолнечного масла и гречневой муки в сравнении с контрольным образцом не отразилось на щелочности кексов, но привело к более низкой влажности изделий после выпечки и к меньшей потере влаги при хранении. При этом физико-химические показатели качества всех исследуемых кексов соответствовали требованиям действующих стандартов ГОСТ 15052 и СТБ 2265.

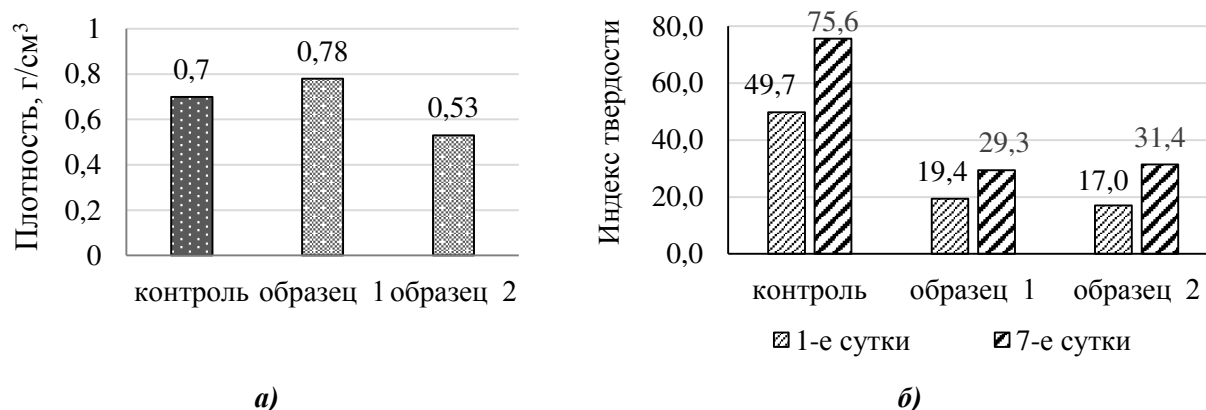


Рис. 7. Структурно-механические показатели качества кексов

Fig. 7. Structural and mechanical quality indicators of muffins

Как видно из рисунка 7а, использование инкапсулированного растительного масла в кексе из пшеничной муки привело к уплотнению мякиша образца 1 по сравнению с контролем, что, возможно, связано с взаимодействием клейковины муки с белково-полисахаридными фибриллами БПС. Безглютеновый кекс с использованием инкапсулированного подсолнечного масла (образец 2) отличался минимальной плотностью, что подтверждает предположение о замещении глютена протеинами гречневой муки и белково-полисахаридными оболочками, способными проявлять структурирующие свойства подобно клейковине муки [37, 40]. Индекс твердости (рисунок 7б) в день изготовления и по окончании хранения у обоих образцов с использованием инкапсулированного растительного масла был ниже, чем у контроля, причем кексы из гречневой и пшеничной муки по твердости различались незначительно.

При оценке пищевой ценности отмечено снижение содержания жира и улучшение жирового состава безглютенового кекса в сравнении с контрольным образцом (таблица 3) за счет использования растительного масла и исключения из рецептурного состава молочного жира и яицпродуктов. При этом содержание ненасыщенных жирных кислот возросло в 3,06 раза, количество трансизомеров жирных кислот убавилось в 8,3 раза, а также полностью

исключен холестерин. Применение гречневой муки привело к изъятию глютена из состава продукта, к обогащению пищевыми волокнами и минеральными веществами, к уменьшению доли крахмала и снижению энергетической ценности 100 г кекса на 28 ккал.

Табл. 3. Пищевая ценность 100 г кексов

Table 3. Nutritional value of 100 g of muffins

Наименование показателя	Контроль	Образец 1	Образец 2
Белки, г	6,7	5,9	6,8
Жиры, г,	25,5	23,5	24,4
в том числе:			
моно- и полиненасыщенные жирные кислоты, г	6,7	20,5	20,5
холестерин, г	0,13	0	0
трансизомеры жирных кислот, г	1,92	0,23	0,23
Углеводы общие, г	54,8	54,5	52,2
в том числе:			
крахмал, г	24,7	24,8	20,4
моно- и дисахариды, г	28,2	28,0	27,9
Пищевые волокна, г	0,04	0,16	3,99
Зола, г	0,57	0,30	0,67
Энергетическая ценность, ккал	461	439	433

Разработанный безглютеновый кекс предназначен для диетического питания людей с заболеваниями целиакией (непереносимостью глютена), аллергией на казеин и куриный белок, гиперхолестеринемией (высоким уровнем холестерина) и для ведущих здоровый образ жизни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены технологические свойства белково-полисахаридных смесей, включающих концентрат сывороточных белков и трехкомпонентные комплексы из разных комбинаций полисахаридов. Подобран оптимальный состав белково-полисахаридной смеси с трехкомпонентным комплексом полисахаридов из агара, карбоксиметилцеллюлозы и пектина, обладающей водоудерживающей способностью 5,81 г/г, жирудерживающей способностью 0,68 г/г, пенообразующей способностью 582 % и 100 %-й эмульгирующей способностью. Технологические свойства и состав выбранной белково-полисахаридной смеси позволили инкапсулировать подсолнечное масло в структуру безглютенового кекса из гречневой муки и сформировать необходимые потребительские свойства готового изделия.

Установлено, что кекс из гречневой муки соответствовал требованиям СТБ 2265 по органолептическим и физико-химическим показателям; обладал улучшенной пищевой ценностью по количеству ненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон и минеральных веществ; отличался сниженным содержанием трансизомеров жирных кислот, отсутствием глютена и холестерина. Выявлены изменения технологических режимов получения кексового теста при внесении инкапсулированного подсолнечного масла.

Работа выполнена в рамках задания Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Мухамедиев, Ш. А. Эмульсии и пены: строение, получение, устойчивость. Ч. 1, 2 / Ш. А. Мухамедиев, В. А. Васькина // Масла и жиры. – 2008. – № 10. – С. 22–26; № 11. – С. 2–5.

- 2 Васькина, В. А. Белок-полисахаридные смеси – альтернатива белкам яйца и молока в технологии получения крема эмульсионно-пенной структуры / В. А. Васькина, Н. В. Рубан, Т. Г. Богатырева, И. Т. Белявская // Кондитерское производство. – 2015. – № 3. – С. 26–31.
- 3 Кекс на банановой муке и молочной сыворотке: пат. RU 2732587 / В. А. Васькина [и др.]. – Оpubл. 21.09.2020.
- 4 Диетология: руководство / под ред. А. Ю. Барановского. – СПб.: Спутник врача, 2008. – Т. 1. – 188 с.
- 5 Почичкая, И. М. Определение трансизомеров жирных кислот в масложировой продукции с использованием метода инфракрасной спектроскопии / И. М. Почичкая, В. Л. Рослик // Масложировая промышленность. – 2016. – № 5. – С. 28–33.
- 6 Туркова, А. Ю. Совершенствование технологии кексов функционального назначения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / А. Ю. Туркова; Приокский гос. ун-т. – Орел, 2015. – 26 с.
- 7 Способ производства кекса: пат. RU 2551577 / Э. М. Сурмач [и др.]. – Оpubл. 27.05.2015.
- 8 Кекс «Южноуральский»: пат. RU2723619 / Н. Л. Наумова, А. Д. Тошев, А. А. Евдокимова. – Оpubл. 16.06.2020.
- 9 Cervera, S. M. Cellulose ether emulsions as fat replacers in muffins: Rheological, thermal and textural properties / S. M. Cervera, A. Salvador, T. Sanz // LWT – Food Science and Technology. – 2015. – V.63, I.2. – P. 1083–1090.
- 10 Способ приготовления мучного кондитерского изделия вида кексов и мучное кондитерское изделие на его основе: пат. RU 2385563 / М. П. Могильный, Т. Ш. Шалтумаев. – Оpubл. 10.04.2010.
- 11 Рензьева, Т. В. Мучные кондитерские изделия функциональной направленности на основе многокомпонентных смесей / Т. В. Рензьева, А. С. Тубольцева, А. О. Рензьев // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 47, № 4. – С. 77–83.
- 12 Пономарева, Е. И. Обогащенные мучные кондитерские изделия повышенной антиоксидантной активности / Е. И. Пономарева [и др.] // Инновационная техника и технология. – 2019. – № 2 (19). – С. 5–9.
- 13 Лукина, С. И. Влияние нетрадиционные видов сырья на показатели качества и сохранение свежести кексов / С. И. Лукина // Научный альманах. – 2015. – № 8 (10). – С. 849–851.
- 14 Бочкарева, З. А. Моделирование рецептур кексов с маслом грецкого ореха и экструдатом пшеничных отрубей / З. А. Бочкарева, А. И. Сушенцова // Инновационная техника и технология. – 2019. – № 3 (20). – С. 5–9.
- 15 Поснова, Г. В. Разработка кексов на основе гречневой муки, сбалансированных по жирнокислотному составу / Г. В. Поснова, Е. А. Богель, Н. Г. Иванова // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: материалы XXXII международной научно-практической конференции, 04–05 июля 2023 года, Bengaluru, India. – Bengaluru: Pothi.com, 2023. – С. 98–102.
- 16 Рензьева, Т. В. Закономерности формирования качества мучных кондитерских изделий с использованием растительных масел / Т. В. Рензьева, Е. В. Дмитриева // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2009. – № 1 (307). – С. 48–50.
- 17 Имаева, А. А. Возможности использования нетрадиционных видов муки в производстве мучных кондитерских изделий // Российский электронный научный журнал. – 2020. – № 1 (35). – С. 83–93.
- 18 Жаркова, И. М. Разработка технологии и оценка эффективности нового продукта – функционального безглютенового кекса / И. М. Жаркова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 1. – С. 70–85.
- 19 Смесь для низкоуглеводной выпечки: пат. RU 2631694 / Н. А. Тарасенко, Е. М. Кустова. – Оpubл. 26.09.2017.
- 20 Способ производства безглютеновых кексов: пат. RU 2647505 / Н. С. Родионова, Я. П. Домбровская, С. И. Аралова. – Оpubл. 16.03.2018.
- 21 Способ производства диетических маффинов из безглютенового сырья: пат. RU 2667162 / В. Г. Кулаков [и др.]. – Оpubл. 17.09.2018.
- 22 Лаврова, Л. Ю. Использование нетрадиционных видов муки в производстве бездрожжевых кексов / Л. Ю. Лаврова, А. Н. Лесникова, А. И. Балакина // Хлебопродукты. – 2018. – № 6. – С. 58–60.
- 23 Половцева, А. А. Использование кукурузной, рисовой и амарантовой муки в рецептуре безглютеновых кексов / А. А. Половцева, О. Н. Наумцев, А. В. Борисова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 1 (373). – С. 48–52.
- 24 Безглютеновые масляные бисквиты для питания детей школьного возраста / И. В. Плотникова [и др.] // Хлебопродукты. – 2021. – № 2. – С. 49–53.
- 25 Резниченко, И. Ю. Обоснование применения амарантовой и кунжутной муки для разработки мучных изделий специализированного назначения / И. Ю. Резниченко, Е. Ю. Егорова // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. – 2018. – Т. 20. – С. 164–171.
- 26 Шаншарова, Д. А. Совершенствование технологии мучных изделий с применением продуктов переработки зерновых и масличных культур / Д. А. Шаншарова, Д. Б. Муратханов // Инновационные технологии в науке: управление качеством, метрологическое обеспечение, новые подходы и цифровизация производства в сфере АПК: сборник научных материалов I Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроч. к Всемирному дню метрологии, 28 апреля 2023 г. / Саратовский гос. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова; отв. ред. Н. В. Коник. – Саратов, 2023. – С. 447–454.

- 27 Смоленцева, А. А. Разработка безглютеновых мучных кондитерских изделий с оптимальным составом полиненасыщенных жирных кислот / А. А. Смоленцева, Ю. Г. Петрушина, А. А. Казаринов // Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий: материалы I Междунар. конгресса, Кемерово, 28–30 ноября 2022 г. / Кемеровский гос. ун-т ; под общ. ред. А. Ю. Просекова. – Кемерово, 2022. – С. 411–414.
- 28 Marangoni, A. G. Edible oleogels: Structure and health implications / A. G. Marangoni, N. Garti, – Urbana (Illinois): AOCS Press, 2018 – 456 p.
- 29 Edible oleogels based on water soluble food polymers: preparation, characterization and potential application / A. R. Patel [et al.] // Food & Function. – 2014. – Vol. 5, № 11. – P. 2833–41. Doi: 10.1039/c4fo00624k. PMID: 25214474.
- 30 High internal phase emulsion-template oleogels stabilized by sodium caseinate: quercetin complexes and potential application in pound cakes / M. Santos [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2024. – Vol. 366.
- 31 Edible polysaccharide-based oleogels and novel emulsion gels as fat analogues: A review / X. Hu [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2023. – Vol. 322.
- 32 Food-grade emulsions and emulsion gels prepared by soy protein–pectin complex nanoparticles and glycyrrhizic acid nanofibrils / Q. Li [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2020. – Vol. 68 (4), 1051–1063.
- 33 Reduced fat and sugar cakes developed by protein/polysaccharide/licorice extract ternary gel-like foams / S. Fatah-Jahromi [et al.] // LWT. – 2024. – Vol. 194.
- 34 Применение инкапсулированного масла в приготовлении теста: пат. RU 2586158 / Ю. Арфстен, Р. Бец, Ш. Ульрих, Г. Савин, Б. Валлес Памьес. – Оpubл. 10.06.2016.
- 35 Innovative encapsulation technology of food systems using a by-product of dairy production / R. A. Zhuravlev [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2017. – Vol. 5, № 1. – P. 81–89.
- 36 Murugkar, D. A. Effect of nano-encapsulation of flaxseed oil on the stability, characterization and incorporation on the quality of eggless cake / D. A. Murugkar, A. A. Zanwar, A. Shrivastava // Applied Food Research. – 2021. – Vol.1, Issue 2.
- 37 Васькина, В. А. Исследование влияния амарантовой муки и стенового материала инкапсулированного орехового масла на качество сырцовых пряников / В. А. Васькина, Р. Х. Кандроков, Л. Н. Хайдар-Заде // Вес. Нац. Акад. Навук Беларусі. Сер. Аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 243–254.
- 38 Влияние продуктов переработки конопли и природы белка в стеновом материале эмульсионного геля на качество и структуру заварного полуфабриката для эклера / В. А. Васькина [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – № 1. – С. 139–151.
- 39 Применение растительных эмульсионных гелей в технологии безглютенового сдобного печенья / В.А. Васькина [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2024. – № 32 (1). – С. 71–84.
- 40 Васькина, В. А. Влияние инкапсулированного подсолнечного масла в оболочках из гидроколлоидов на качество и структуру овсяного печенья / В. А. Васькина [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. Аграр. навук. – 2024. – Т. 62, № 1. – С. 68–81.
- 41 Щеголева, И. Д. Пищевая ценность безглютенового заварного полуфабриката на основе продуктов переработки конопли / И. Д. Щеголева [и др.] // Хлебопродукты. – 2024. – № 4. – С. 37–41.
- 42 Красноштанова, А. А. Получение и оценка функциональных свойств белковых изолятов и гидролизатов из растительного сырья / А. А. Красноштанова, Л. В. Шульц // Химия растительного сырья. – 2022. – № 4. – С. 299–309.
- 43 Черных, В. Я. Современный инструментальный метод контроля показателей текстуры булочных и сдобных изделий / В. Я. Черных // Хлебопечение России. – 2021. – № 5. – С. 26–33.
- 44 Технологические аспекты применения белоксодержащего молочного сырья при инкапсулировании растительных масел / Е. С. Новожилова, А.Л. Казютин, А.Л. Челнокова // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: сборник научных статей и докладов XI Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. доц. И.В. Плотниковой; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2024. – 300 с. – С. 66–70.
- 45 Исследование влияния термообработки на окислительную устойчивость купажей растительных масел в различных средах / А. Н. Никитенко [и др.] // Труды БГТУ. – 2019. – Серия 2, № 1. – С. 54–61.

Поступила в редакцию 25.11.2024 г.

ОБ АВТОРАХ:

Новожилова Елена Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии хлебопродуктов, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, e-mail:helenn66@mail.ru.

Машкова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии хлебопродуктов, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, e-mail:tehno_f@mail.ru.

Васькина Валентина Андреевна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии хлебопродуктов, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, e-mail:VAVaskina@inbox.ru.

Челнокова Анастасия Леонидовна, студент технологического факультета, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, e-mail:lunnuekrolikii@gmail.com.

ABOUT AUTHORS:

Alena S. Navazhylava, PhD (Engineering), Associate Professor, Department of technology of bread products, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail:helenn66@mail.ru.

Irina A. Mashkova, PhD (Engineering), Associate Professor, Department of technology of bread products, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail:tehno_f@mail.ru.

Valentina A. Vaskina, Doctor of Technical Sciences, Professor (Full), Department of technology of bread products, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail:VAVaskina@inbox.ru.

Anastasiya L. Chalnakova, Student, Faculty of Technology, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail:lunnuekrolikii@gmail.com.