

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЛИЯНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ УЛЬТРАЗВУКА НА СТЕПЕНЬ ЭКСТРАКЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

И. Ю. ПОТОРОКО, доктор технических наук, профессор,

И. В. КАЛИНИНА, кандидат технических наук, доцент,

Р. И. ФАТКУЛИН, кандидат технических наук, доцент,

Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

(454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76)

Д. ИВАНОВА, доктор биологических наук, профессор,

Й. Д. КИСЕЛОВА-КАНЕВА, доктор биологических наук,

Медицинский университет им. Проф. Доктора Параскев-Стоянова

(Болгария, 9002, г. Варна, Бульвар Царя Освободителя, д. 84)

Ключевые слова: экстракция, бетанины, ультразвуковое воздействие, сублимационная сушка.

Статья посвящена исследованию действия низкочастотного ультразвука ($22 \pm 1,65$ кГц) на степень экстракции биологически активных компонентов из растительного сырья. Беталаин впервые был выделен из свеклы (лат. *Beta vulgaris* L.), установлено, что данная группа соединений обладает мощным противовоспалительным и антиоксидантным эффектами. Некоторые исследования указывают, что беталаины оказались способны нейтрализовать токсины и поддерживать естественный процесс детоксикации клеток, а также уменьшают количество ферментов, вызывающих воспаление. При экстракции пигментов вместе с ними извлекаются сопутствующие вещества, что затем отрицательно сказывается на свойствах красителя. В этой связи выделение пигментов из сложной матрицы сырья без снижения технологических и физиологических свойств весьма сложная задача. Экспериментально обосновано, что для эффективного извлечения биологически активных веществ применимо ультразвуковое воздействие (УЗВ) в режиме: мощность 180 Вт, время воздействия 5 мин. Установлено, что данный режим УЗВ обуславливает максимальное сохранение в среднем на 8...12 % бетанины и бетаксантины свекольного сока, полученного в процессе прямого отжима. Применение лиофильной сушки сока позволяет максимально сохранить биологически активные компоненты и их соотношение в одном экстракте. Применение спектрофотометрического метода исследования экстрактов дает объективную оценку стабильности беталанинов при воздействии ультразвука разной мощности и длительности. Так, максимум абсорбции при длине волны 477 нм достигается при мощности УЗВ 70 % в течение 1...3 минут, при длине волны 538 нм при мощности 50 и 70 %, соответственно при 5 и 1 минутах воздействия ультразвука. В технологии получения сухого водорастворимого экстракта из растительного сырья можно выделить процессы мацерации, низкотемпературной и ультразвуковой обработки, которые дают значительное повышение эффективности экстракции биологически активных компонентов.

THE INFLUENCE OF ULTRASOUND CAVITATION ON THE EXTRACTION LEVEL OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM VEGETATIVE RAW MATERIALS

I. Yu. POTOROKO, doctor of technical sciences, professor

I. V. KALININA, candidate of technical sciences,

South Ural State University (National Research University)

(76 Lenina Ave., 454080, Chelyabinsk)

D. IVANOVA, doctor of biological sciences, professor

I. D. KISELOVA-KANEVA, doctor of biological sciences

Medical University named after Dr. Paraskev Stoyanov

(84 Tsar Osoboditel Blv., 9002, Varna, Bulgaria)

Keywords: extraction, betanin, ultrasonic influence, sublimation drying.

The article is devoted to a research of action of a low frequency ultrasound ($22 \pm 1,65$ kHz) on an extraction level biologically of the active components from vegetable raw materials. For the first time Betalain was selected from beet (*Beta vulgaris* L.), as is known, this group of connections has powerful anti-inflammatory and antioxidant effects. Some researches are specified that betalain is capable to neutralize toxins and to support natural process of a detoxication of cells and also reduce amount of the enzymes causing inflammation. During extraction process of colorants together with them the accompanying substances which then to have an adverse effect on properties of dye are derived. For this reason allocation of pigments from raw materials without decrease in technological and physiological properties is a difficult task. Experimentally it is justified that for effective extraction biologically of the active agents ultrasonic influence in the mode is applicable: power is 180 W, time of influence – 5 min. Has been set, this mode of ultrasonic influence is saving on average on 8 ... 12 % of a betanin of the direct extraction beet juice. Application of lyophilic drying of juice allows to save the biological active components and their ratio in the extract. Spectrophotometric method of a research of extracts gives an objective assessment to stability of betalain in case of influence of an ultrasound of different power and duration. The absorption maximum is reached in case of wavelength – 477 nanometers, power – 70 % during 1 ... 3 minutes and 538 nanometers, power – 50 and 70 %, 5 and 1 minutes. In technology of dry water-soluble extract from vegetative raw materials, it is possible to select processes of maceration, the low-temperature and ultrasonic processing which give the substantial increase of efficiency of extraction of biologically active components.

Положительная рецензия представлена С. Л. Тихоновым, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой пищевой инженерии Уральского государственного экономического университета.

В настоящее время особое внимание в исследованиях обращено на растительное сырье, которое представляет собой комплекс природных веществ, обладающих разными свойствами, но имеющих важное значение в профилактике большого перечня заболеваний. Беталаин (дигидроиндолный алкалоид), впервые был выделен из свеклы (лат. *Beta vulgaris L.*), обладает мощным противовоспалительным и антиоксидантным эффектами. Некоторые исследования указывают, что беталаины оказались способны нейтрализовать токсины и поддерживать естественный процесс детоксикации клеток, а также уменьшают количество ферментов, вызывающих воспаление [2, 3, 5–10].

Известны две категории беталаинов: бетацианины красно-фиолетового цвета (бетанин, изобетанин, пробетанин, необетанин, амарантин, изоамарантин) и бетаксантины желто-оранжевого цвета (продукты расщепления бетацианинов). Главный компонент бетацианиновых красителей – гликозид растительного алкалоида бетанина.

Предлагают разные схемы синтеза бетацианинов, наиболее известна следующая, которая представлена на рис. 2. Состав бетацианинов сложен и вариативен, он зависит от климатических условий, в которых выращиваются корнеплоды, их зрелости и качества.

При экстракции пигментов вместе с ними извлекаются сопутствующие вещества, которые затем отрицательно сказываются на свойствах красителя. В этой связи выделение пигментов из сложной матрицы сырья без снижения технологических и физиологических свойств весьма сложная задача [1, 4, 12].

На устойчивость бетацианинов оказывает наличие соответствующих ферментов. Известно, что красная столовая свекла содержит в своем составе такие ферменты, как β-глюкозидаза, пероксидаза, полифенолоксидаза. Если их не дезактивировать, это приводит к отщеплению сахарного фрагмента и батохромному сдвигу максимума абсорбции около 4 нм

[11, 19, 23]. Максимальная активность этих ферментов наблюдается при pH 3,4.

Температура является одним из основных факторов, влияющих на стабильность бетацианинов при технологической обработке продукта [12, 13]. С увеличением температуры растет и скорость разрушения молекул [16–21]. При термических нагрузках бетацианины могут быть подвержены изомеризации и декарбоксилированию, что ведет к потере исходной окраски и появлению коричневого оттенка.

Цель и методика исследований. Целью работы явилось исследование влияния кавитационных эффектов ультразвука на степень экстракции бетацианинов из красной столовой свеклы сорта Бордо.

Поставленная задача достигается тем, что способ получения сухого водорастворимого экстракта из столовой свеклы включает в себя: измельчение растительного сырья, отделение сока, ультразвуковую экстракцию жома, его фильтрацию, лиофильную сушку сока и экстракта, их совместное измельчение. Сушка соков и экстрактов проводилась в аппарате для лиофильной сушки «Иней-6» в условиях: температура -50 ± 5 °С, давление не более 6 Па до массовой доли влаги не более 5 %; измельчение высушенного сока и экстракта, их перемешивание и фасовка.

Экстракцию осуществляли с применением ультразвукового воздействия в режиме $22 \pm 1,65$ кГц с интенсивностью ультразвука 2–10 Вт/см² мощностью воздействия 80–120 Вт при температуре не более 45 °С, в течение 5–30 мин.

В качестве контроля проводили экстракцию без применения ультразвукового воздействия в аппарате Сокслета с использованием неполярных растворителей в соответствии с их элюотропным рядом для извлечения всех низкомолекулярных веществ. Оптимизация параметров водной экстракции для извлечения беталаиновых пигментов определялась влиянием продолжительности обработки, температуры, гидро модуля (соотношение жидкой и твердой фаз).

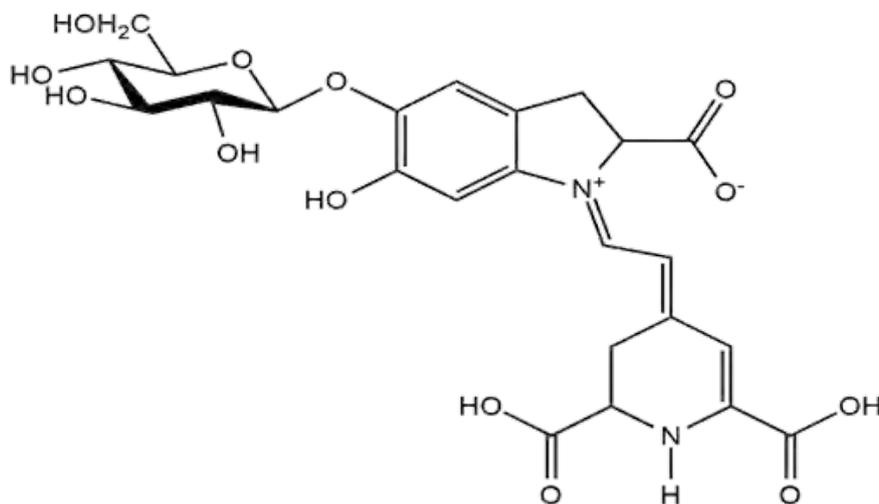


Рис. 1. Структурная формула бетанина (эмпирическая формула: $C_{24}H_{26}N_2O_{13}$)
Fig. 1. Structural formula of betanin (empirical formula: $C_{24}H_{26}N_2O_{13}$)

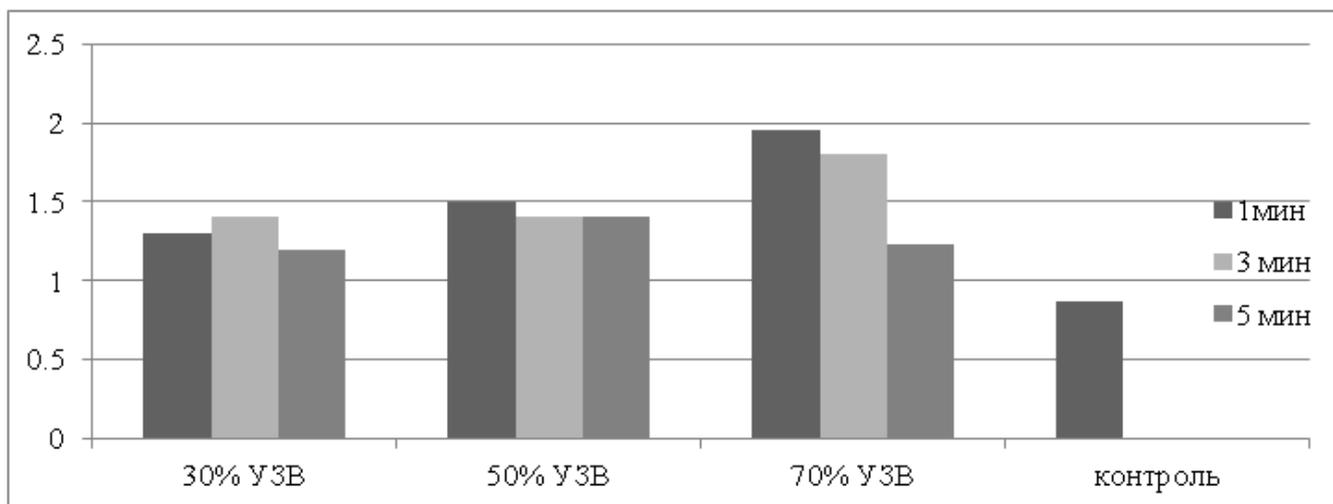


Рис. 3. Содержание бетанина в образцах свекольного сока при УЗВ разной мощности и длительности, г/100 г
 Fig. 3. The maintenance of betanin in samples of beet juice at the different ultrasonic influence power and sonication time, g/100 g

Результаты исследований. Использование ультразвукового воздействия в пищевой промышленности является предметом современных исследований. Эффективность действия ультразвука показана для многих технологических процессов: измельчения, гомогенизации, эмульгирования, обеззараживания жидких пищевых сред. Многочисленные исследования подтверждают, что ультразвуковое воздействие позволяет интенсифицировать диффузионные процессы, лежащие в основе экстракции биологически активных веществ из природных материалов растительного происхождения [14, 15, 22].

Восстановление свекольного жмыха влажностью 82,7 % осуществляли дистиллированной водой в соотношении 1 : 4. После восстановления образцы подвергли ультразвуковому воздействию на мощностях 30 %, 50 % и 70 % от паспортного значения. Время УЗВ 1, 3, 5 мин. Для каждой мощности. Затем образцы фотометрировали на диапазоне 260-ниже 80 Вт не обеспечивается достаточный выход биологически активных веществ из растительного сырья и как следствие ухудшаются показатели пищевой ценности экстрактов.

Выше 120 Вт происходит увеличение температуры экстракции, что может привести к разрушению термонеустойчивых биологически активных веществ и требует использование охлаждающей рубашки при экстракции.

Как видно из таблицы максимум абсорбции при длине волны 477 нм достигается при мощности УЗВ 70 % в течение 1...3 минут, при длине волны 538 нм при мощности 50 и 70 %, соответственно при 5 и 1 минутах воздействия ультразвука.

Результаты исследований по определению влияния ультразвукового воздействия на изменение содержания пигмента бетанина в процессе экстрагирования и последующей обработки экстракта подтверждают положительный эффект. Так, потери пигмента

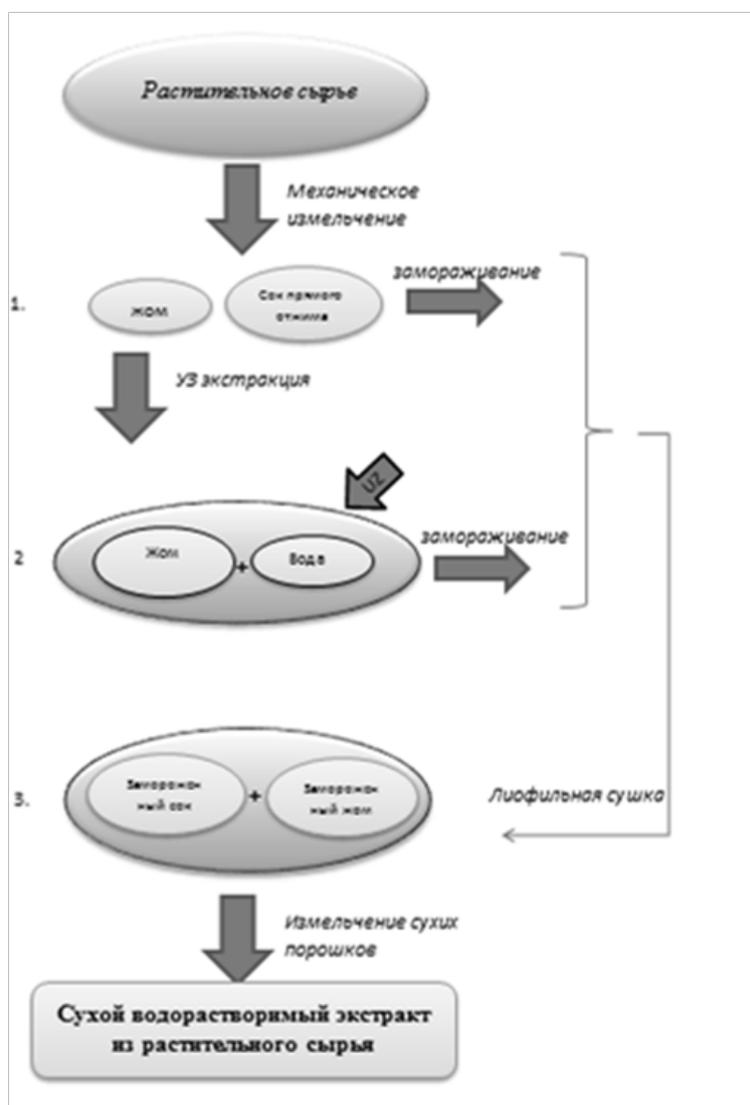


Рис. 4. Схема получения сухого водорастворимого экстракта из растительного сырья
 Fig. 4. Scheme of receiving dry water-soluble extract from vegetative raw materials

составляют от 8 до 12 %, в зависимости от режимов УЗВ (рис. 3).

Схема получения сухого водорастворимого экстракта из растительного сырья представлена на рис. 4 отражает последовательность проведения операций подготовки исходного сырья и способы его обработки.

Технологическая линия предусматривает следующие операции: измельчение растительного сырья (свежего или замороженного) до фракции не более 3 мм; извлечение сока прямого отжима; смешивание оставшегося жома с подготовленной (очищенной) или дистиллированной водой в соотношении измельченное сырье: экстрагент 1 : (5–20). В технологии получения сухого водорастворимого экстракта из растительного сырья, можно выделить процессы

мацерации, низкотемпературной и ультразвуковой обработки, которые дают значительное повышение эффективности экстракции биологически активных компонентов.

Выводы. Рекомендации. Полученные результаты свидетельствуют о выраженном влиянии процесса кавитации, возникающего при ультразвуковом воздействии на количественные и качественные показатели ведения технологии экстрагирования биологически активных веществ их растительного сырья. Это приводит к тому, что УЗВ обуславливает максимальное сохранение в среднем на 8...12 % бетанины и бетаксантины свекольного сока, полученного в процессе прямого отжима. Применение лиофильной сушки сока позволяет максимально сохранить биологически активные компоненты и их соотношение в одном экстракте.

Литература

1. Богданов В. Д., Дацун В. М., Ефимова М. В. Общие принципы переработки сырья и введение в технологию производства продуктов питания : учебное пособие // Петропавловск-Камчатский, 2007. 213 с.
2. Бункин Н. Ф., Бункин Ф. В. Бабстоны, стабильные газовые микропузырьки в сильно разбавленных растворах электролитов // ЖЭТФ. 1992. Т. 101. Вып. 2. С. 512–527.
3. Гореликова Г. А., Маюрникова Л. А., Степанова О. А. Влияние растительных экстрактов на качество и функциональные свойства сокодержущих напитков // Пиво и напитки. 2008. № 4. С. 40–41.
4. Калинина И. В. Инновационные подходы в формировании потребительских свойств продуктов питания социально значимых групп // Вестник ЮурГУ. 2015. № 3. С. 180–184.
5. Потороко И. Ю., Кретьова Ю. И., Калинина И. В. Практические аспекты использования ресурсоэффективных технологий в пищевых производствах как фактора качества готовой продукции // Товаровед продовольственных товаров. 2014. № 10. С. 8–13.
6. Потороко И. Ю., Кретьова Ю. И., Цирульниченко Л. А. Современные подходы и методы интенсификации процессов пищевых производств // Товаровед продовольственных товаров. 2014. № 1. С. 41–45.
7. Шестаков С. Д., Красуля О. Н., Богущ В. И., Потороко И. Ю. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции. М., 2013. 152 с.
8. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing // Electronic Journal “Technical Acoustics”. 2011. № 9. URL : <http://www.ejta.org>.
9. Ashokkumar M., Krasulya O., Shestakov S. and Rink R. A New Look at Cavitation and the Applications of Its Liquid-Phase Effects in the Processing of Food and Fuel // Applied Physics Research. 2012. Vol. 4. № 1. P. 19–29.
10. Krefting D., Mettin R. and Lauterborn W. Stereoscopic high-speed recording of bubble filaments // Ultrasonics Sonochemistry. 2004. № 11. P. 39–42.
11. Mawson R., Knoerzer K. A brief history of the application of ultrasonics in food processing // 19-th ICA Congress. Madrid, 2007.
12. Naumenko N. V., Kalinina I. V. Sonochemistry effects influence on the adjustments of raw materials and finished goods properties in food production // Materials Science Forum. 2016. Vol. 870. P. 691–696.
13. Naumenko N., Paymulina A., Ruskina A., Khudyakov V. Effects of various raw ingredients on bread quality // Agronomy Research. 2017. № 15. P. 1375–1385.
14. Nilova L. Naumenko N., Kalinina I. A study of the forms of bound water in bread and bakery products using differential thermal analysis // Agronomy Research. 2017. № 15. P. 1386–1398.
15. Potoroko I. Y., Ruskina A. A. Modeling of Potato Convenience of Exposure Effects of Ultrasound // Materials Science Forum. 2016. Vol. 870. P. 697–702.
16. Zisu B. et al. Ultrasonic processing of dairy systems in large scale reactors // Ultrasonics Sonochemistry. 2010. № 17. P. 1075–1081.
17. Suslick K. S. Chemical effects of ultrasound // Scientific American. 1989. № 2. С. 80–86.
18. Tsirolnichenko L., Potoroko I., Krasulya O., Gudina I. Increasing the level of hydration of biopolymers in meat processing systems based on the use of acoustically activated brines // Agronomy Research. 2017. № 15. P. 1419–1425.
19. Fatkullin R., Popova N., Kalinina I., Botvinnikova V. Application of ultrasonic waves for the improvement of particle dispersion in drinks // Agronomy Research. 2017. № 15. P. 1295–1303.
20. Ультразвуковые технологии и установки. URL : <http://www.reltec.biz/ru>.

21. Ультразвук для обработки жидкости. URL : <http://www.hielscher.com>.
22. Особенности производства экстракционных продуктов. URL : <http://www.biozevtika.ru>.
23. Ультразвуковые аппараты и технологии. URL : <http://www.u-sonic.com>.

References

1. Bogdanov V. D., Datsun V. M., Yefimova M. V. General principles of processing of raw materials and introduction to production technologies of food : manual // Petropavlovsk-Kamchatsky, 2007. 213 p.
2. Bunkin N. F., Bunkin F. V. Babstona, stable gas microbubbles in strongly diluted solutions of electrolytes // JETP. 1992. Vol. 101. Issue 2. P. 512–527.
3. Gorelikova G. A., Mayurnikova L. A., Stepanova O. A. Influence of plant extracts on quality and functional properties of juice drinks // Beer and drinks. 2008. № 4. P. 40–41.
4. Kalinina I. V. Innovative approaches in formation of consumer properties of food of socially important groups // Messenger of SUSU. 2015. № 3. P. 180–184.
5. Potoroko I. Yu., Kretova Yu. I., Kalinina I. V. Practical aspects of using of resource-efficient technologies in food productions as factor of quality of finished goods // the Commodity researcher of food products. 2014. № 10. P. 8–13.
6. Potoroko I. Yu., Kretova Yu. I., Tsiulnichenko L. A. Modern approaches and methods of an intensification of processes of food productions // Commodity researcher of food products. 2014. № 1. P. 41–45.
7. Shestakov S. D., Krasulya O. N. Bogush V. I., Potoroko I. Yu. Technology and the equipment for processing of food environments with use of cavitation disintegration. M., 2013. 152 p.
8. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing // Electronic Journal “Technical Acoustics”. 2011. № 9. URL : <http://www.ejta.org>.
9. Ashokkumar M., Krasulya O., Shestakov S. and Rink R. A New Look at Cavitation and the Applications of Its Liquid-Phase Effects in the Processing of Food and Fuel // Applied Physics Research. 2012. Vol. 4. № 1. P. 19–29.
10. Krefling D., Mettin R. and Lauterborn W. Stereoscopic high-speed recording of bubble filaments // Ultrasonics Sonochemistry. 2004. № 11. P. 39–42.
11. Mawson R., Knoerzer K. A brief history of the application of ultrasonics in food processing // 19-th ICA Congress. Madrid, 2007.
12. Naumenko N. V., Kalinina I. V. Sonochemistry effects influence on the adjustments of raw materials and finished goods properties in food production // Materials Science Forum. 2016. Vol. 870. P. 691–696.
13. Naumenko N., Paymulina A., Ruskina A., Khudyakov V. Effects of various raw ingredients on bread quality // Agronomy Research. 2017. № 15. P. 1375–1385.
14. Nilova L. Naumenko N., Kalinina I. A study of the forms of bound water in bread and bakery products using differential thermal analysis // Agronomy Research. 2017. № 15. P. 1386–1398.
15. Potoroko I. Y., Ruskina A. A. Modeling of Potato Convenience of Exposure Effects of Ultrasound // Materials Science Forum. 2016. Vol. 870. P. 697–702.
16. Zisu B. et al. Ultrasonic processing of dairy systems in large scale reactors // Ultrasonics Sonochemistry. 2010. № 17. P. 1075–1081.
17. Suslick K. S. Chemical effects of ultrasound // Scientific American. 1989. № 2. C. 80–86.
18. Tsiulnichenko L., Potoroko I., Krasulya O., Gudina I. Increasing the level of hydration of biopolymers in meat processing systems based on the use of acoustically activated brines // Agronomy Research. 2017. № 15. P. 1419–1425.
19. Fatkullin R., Popova N., Kalinina I., Botvinnikova V. Application of ultrasonic waves for the improvement of particle dispersion in drinks // Agronomy Research. 2017. № 15. P. 1295–1303.
20. Ultrasonic technologies and installations. URL : <http://www.reltec.biz/ru>.
21. Ultrasound for liquid processing. URL : <http://www.hielscher.com>.
22. Features of production of extraction products. URL : <http://www.biozevtika.ru>.
23. Ultrasonic devices and technologies. URL : <http://www.u-sonic.com>.

Исследования выполнены при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16 марта 2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011; при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16 марта 2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011 и средств субсидии на выполнение базовой части государственного задания проект № 40.8095.2017/БЧ; при поддержке программы Фонда содействия «УМНИК».