

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-79-86>
УДК 533[664.143:615.322]

Оригинальная статья
<http://fptt.ru/>

Исследование процесса сушки шиповника в поле действия ультразвука

Е. И. Верболоз^{id}, М. А. Иванова^{id}, В. А. Демченко^{id}, С. Фартуков^{id}, Н. К. Евона*^{id}



Дата поступления в редакцию: 22.01.2020
Дата принятия в печать: 23.03.2020

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»,
197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Kronverkskiy pr., 49

*e-mail: n412@mail.ru



© Е. И. Верболоз, М. А. Иванова, В. А. Демченко, С. Фартуков, Н. К. Евона, 2020

Аннотация.

Введение. Плоды шиповника богаты макро- и микронутриентами, но высокие температуры сушки разрушают большинство полезных веществ. Уменьшить время сушки и снизить температурный режим возможно за счет применения ультразвуковых технологий, положительно зарекомендовавших себя в различных отраслях пищевой промышленности. Целью исследования являлось уменьшение потери витаминов за счет применения ультразвуковых технологий, а также улучшить качественные показатели высушенного продукта.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования является шиповник вида *Rosa canina*, собранный на юге Казахстана. Данный подвид шиповника характеризуется малым содержанием витамина С, тем не менее это самый распространенный кустарник в России и странах содружества независимых государств. После высушивания исходного сырья по стандартным методикам был проведен органолептический анализ продукта, обработанного в поле ультразвука и без него. Была измерена влажность конечного продукта и определено содержание витамина С в обоих образцах.

Результаты и их обсуждение. Сушку плодов шиповника осуществляли в пароконвектомате с встроенным генератором ультразвуковых волн. Были подобраны оптимальные параметры процесса сушки с применением ультразвукового воздействия: частота ультразвуковых колебаний – 22 кГц, время обработки сырого продукта – 2,5 часа, температура в камере пароконвектомата составила +56 °С. Полученный продукт соответствует требованиям ГОСТа. Подтверждена гипотеза об улучшении качественных показателей и сохранении витамина С в сырье при использовании ультразвуковой обработки в процессе сушки.

Выводы. Удаление влаги из плодов шиповника с наложением поля ультразвука позволяет создать ресурсосберегающую технологию, имеющую экономическое и социально важное назначение.

Ключевые слова. Акустика, колебания, розоцветные плоды, витамины, сырье, медицина, кондитерская промышленность, качество

Для цитирования: Исследование процесса сушки шиповника в поле действия ультразвука / Е. И. Верболоз, М. А. Иванова, В. А. Демченко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-79-86>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/eng>

Ultrasound Drying of Rose Hips: a Process Study

Е.И. Verboloz^{id}, М.А. Ivanova^{id}, В.А. Demchenko^{id}, S. Fartukov^{id}, N.K. Evona*^{id}

Received: January 22, 2020
Accepted: March 03, 2020

ITMO University,
49, Kronverksky Ave., St. Petersburg, 197101, Russia

*e-mail: n412@mail.ru



© E.I. Verboloz, M.A. Ivanova, V.A. Demchenko, S. Fartukov, N.K. Evona, 2020

Abstract.

Introduction. Rose hips are rich in macro- and micronutrients. Unfortunately, heat treatment destroys most nutrients. Ultrasonic technologies make it possible to reduce the drying time and lower the temperature regime. The research objective was to adjust ultrasound technology to rose hip production in order to reduce the loss of vitamins and improve the quality indicators of the dried product.

Study objects and methods. The research featured rose hips of the *Rosa canina* species collected in the south of Kazakhstan. This subspecies of wild rose is poor in vitamin C. Nevertheless, this shrub is extremely common in Russia and other countries of the

Commonwealth of Independent States. The raw material was dried according to standard methods. One group of samples was treated with ultrasound, while the other served as control. Both groups underwent a sensory evaluation and were tested for moisture and vitamin C.

Results and discussion. The rose hips were dried in a combination steam oven with a built-in ultrasonic wave generator. The research revealed the following optimal parameters of the ultrasound drying process: frequency of ultrasonic vibrations – 22 kHz, processing time – 2.5 h, temperature in the combination steam oven – +56°C, initial moisture content – 30%. The resulting product met the requirements of State Standard. The loss of moisture was 57%. According to State Standard 1994-93, the initial moisture content should be 15% or less. Time decreased from 360 min to 160 min, and the initial moisture was 13%. The experiment confirmed the initial hypothesis that ultrasonic treatment improves the drying process by improving quality indicators and preserving vitamin C in raw materials using.

Conclusion. Ultrasound treatment during moisture removal from rose hips provides a resource-saving technology that fulfills an economically and socially important function.

Keywords. Acoustics, vibrations, Rosaceae fruits, vitamins, raw materials, medicine, confectionery industry, quality

For citation: Verboloz EI, Ivanova MA, Demchenko VA, Fartukov S, Evona NK. Ultrasound Drying of Rose Hips: a Process Study. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):79–86. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-79-86>.

Введение

Сегодня в каждой аптеке можно найти сушеные плоды шиповника как в измельченном виде, так и целые ягоды. Шиповник как лекарственное средство очень популярен, особенно среди людей пожилого возраста, за счет своих многочисленных полезных свойств и низкой цены в сравнении с дорогостоящими препаратами [1, 2]. Шиповник является ярким представителем растения, которое содержит в себе большое количество витаминов, в частности витамина С [3]. Это делает его незаменимым помощником в борьбе с вирусными заболеваниями.

Для применения шиповника в различных отраслях пищевой и медицинской промышленности используют тепловую обработку. Однако в процессе теряется часть витаминов, в частности витамина С [5]. Перечень витаминов, содержащихся в ягодах шиповника, представлен в таблице 1.

Плоды шиповника также широко используют для витаминизации различных кулинарных и кондитерских изделий. Из них готовят пюре, пасту, повидло, мармелад, конфеты, компот, кисели, морс и квас. Плоды шиповника применяются при производстве пивных напитков, хлеба из пшеничной муки, а также мясорастительных паштетов для

придания им дополнительных функциональных свойств [6–9].

Широкое применение в пищевой биотехнологии во всем мире получили сонохимические технологии, т. е. преобразование энергии упругих колебаний ультразвуковой частоты. Перспективными направлениями в области создания ресурсосберегающих технологий в сушке растительного сырья являются инфракрасная сушка и сушка в поле действия ультразвука. Анализируя труды российских и зарубежных ученых в данной области, авторами статьи было решено использовать ультразвук для достижения цели исследования, а именно уменьшение потери витаминов за счет применения современных ультразвуковых технологий, позволяющих снизить температурный режим и сократить время сушки, а также улучшить качественные показатели высушенного продукта [4, 11, 13–20].

Ультразвук – это распространяющееся волнообразно колебательное движение, которое совершают частицы среды. Именно эти колебания и позволяют теплоте воздуха намного быстрее разрушать пограничный слой и проникать к центру ягоды, обеспечивая равномерный прогрев и равномерное удаление влаги [10]. Эффективность ультразвуковой сушки связана с ускорением процессов теплообмена в ультразвуковом поле [12]. При этом материал высушивается и испытывает со стороны газовой среды воздействие ультразвукового поля с уровнем интенсивности до 145 дБ.

Сильное влияние акустических волн на первых стадиях сушки связано с относительно малой толщиной пограничного слоя. Сравнение ультразвуковой сушки с конвективным способом (постоянный обдув поверхности материала) показывает, что даже, когда скорость акустических потоков сравнима со скоростью постоянного потока воздуха при охлаждении, ультразвуковая сушка происходит значительно быстрее, учитывая, что толщина пограничного слоя для акустических

Таблица 1. Содержание витаминов на 100 грамм шиповника семейства «Собачий»

Table 1. Content of vitamins per 100 grams of *Rosa canina*

| Витамины | Содержание, мг |
|----------------|----------------|
| С | 650,000 |
| А | 434,000 |
| Е | 5,840 |
| В ₉ | 3,000 |
| РР | 1,300 |
| В ₅ | 0,800 |
| В ₂ | 0,166 |
| В ₆ | < 1 |



Рисунок 1. Пароконвектомат с ультразвуковым аппаратом

Figure 1. Combination steam oven with a built-in ultrasonic wave generator

потоков меньше, чем толщина гидродинамического пограничного слоя.

Вторая стадия сушки характеризуется как период нисходящей скорости, а также пониженной влажностью материала и слабым выделением жидкости изнутри. В связи с этим не выполняется падение ее содержания на поверхности. Влияние акустических колебаний сводится к увеличению коэффициента диффузии жидкости в результате ее нагрева при поглощении ультразвука в макрокапиллярах и порах [10].

Эффективным является применение ультразвука на первой стадии, т. е. в период постоянной скорости сушки. На второй стадии процесс сушки носит характер цикла: волна выбивает влагу, которая находится на поверхности продукта, затем влага,

которая осталась внутри материала, равномерно распределяется по капиллярам и процесс запускается снова. Данный процесс происходит до тех пор, пока продукт не достигнет нужной влажности. Наиболее целесообразной ультразвуковая сушка является для мелкодисперсных материалов, которые находятся в процессе обработки в состоянии покоя, т. к. при этом является малым пороговое значение звукового давления и обеспечивается равномерная обработка продукта [10].

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись плоды шиповника семейства «Собачий». Подготовительные операции заключались в мойке и удалении влаги с поверхности растительного сырья. Сушка ши-

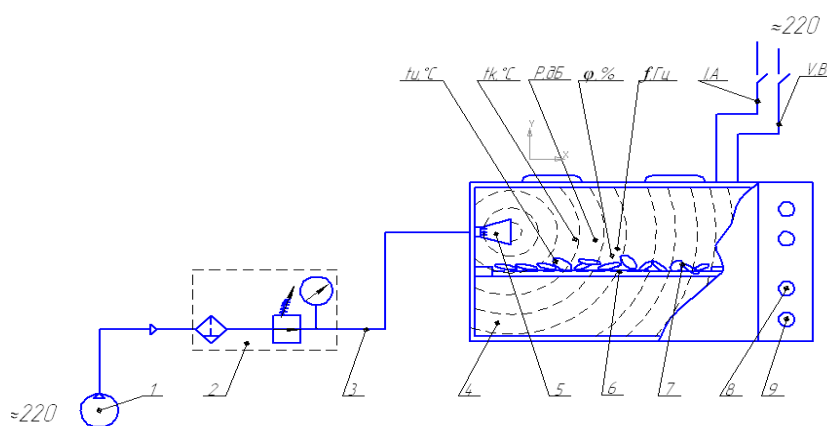


Рисунок 2. Схема установки по сушке шиповника в пароконвектомате с наложением поля ультразвука: 1 – компрессор; 2 – блок подготовки воздуха; 3 – трубопровод; 4 – пекарная камера пароконвектомата; 5 – генератор ультразвуковых волн; 6 – сетчатый поддон; 7 – высушиваемое сырье (шиповник); 8 – регулятор температурных режимов; 9 – кнопка включения/выключения

Figure 2. Installation lay-out for ultrasound drying of rose hips in a combination steam oven: 1 – compressor; 2 – air preparation unit; 3 – pipeline; 4 – baking chamber of the combination steam oven; 5 – generator of ultrasonic waves; 6 – mesh pan; 7 – dried raw materials (rose hips); 8 – temperature controller; 9 – on/off button



Рисунок 3. Плоды шиповника: (а) сушка без ультразвука; (б) сушка с применением ультразвука

Figure 3. Rose hips: (a) dried without ultrasound; (b) dried using ultrasound

повника проводилась в пароконвектомате марки Angelo Po FX61e1 со встроенным ультразвуковым технологическим аппаратом для газовых сред серии «Соловей» (модель УЗАГС-0,3/22-О) [11]. Частота ультразвуковых колебаний – 22 кГц, мощность 280 ВА. Процесс удаления влаги из сырья осуществлялся на сетчатом поддоне, который использовали для улучшения конвекции. На рисунке 1 представлен внешний вид аппарата с размещенным в нем генератором ультразвука.

Во время процесса сушки отслеживались температурные и влажностные показатели сырья. Процесс сушки осуществлялся при температуре $t = 56\text{ }^{\circ}\text{C}$, начальная масса плодов шиповника $m_{\text{нач.}} = 0,7\text{ кг}$, начальная влажность $W_{\text{нач.}} = 30\%$.

На рисунке 2 представлена схема установки сушки плодов шиповника с наложением поля ультразвука. Во время проведения эксперимента производились замеры температуры высушиваемого сырья, температуры и влажности в пекарной камере, уровня шума и частоты излучения ультразвукового генератора. Уровень шума не превышал 75 ДБ, частота колебалась в пределах 21–22 кГц.

Результаты и их обсуждение

После сушки с наложением поля ультразвука общая масса плодов сократилась с 1 кг до 0,4 кг. Процент усушки составил 57 %. Влажность шиповника должна быть не более 15 % (ГОСТ 1994-93). После сушки с применением воздушного генератора ультразвука «Соловей» остаточное процентное содержание влаги составило 13 %.

На рисунке 3 представлены образцы сушеного шиповника с применением ультразвука и без.

Плоды шиповника, высушенные с применением ультразвукового генератора, имеют более равномерную окраску, чем те, что сушились только за счет конвекции.

Результаты измерений влажности в процессе сушки шиповника с применением ультразвука и без него представлены на рисунках 4 и 5.

Исходя из результатов проведенных опытов, можно сделать вывод о том, что после сушки

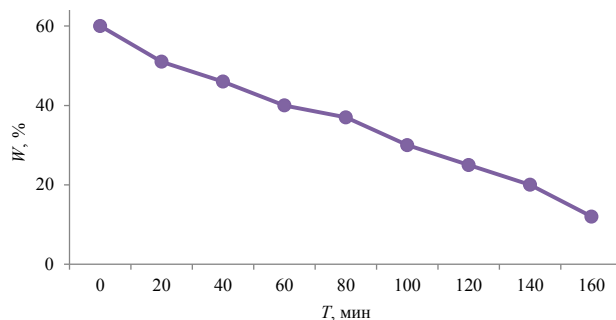


Рисунок 4. График зависимости влагосодержания от времени сушки в пароконвектомате с наложением поля ультразвука

Figure 4. Effect of drying time in a combination steam oven with ultrasound on moisture content

плодов шиповника с наложением поля ультразвука в течение 160 мин, влагосодержание ягод составляет 13 %. При сушке такого же количества шиповника в пароконвектомате без применения воздушного генератора «Соловей» требуется около 360 мин, чтобы достичь необходимого показателя влажности в готовом продукте. При этом энергозатраты на сушку шиповника без применения ультразвука выше в 2,5 раза, чем по технологии сушки с наложением поля ультразвука.

Проведя лабораторные исследования содержания витамина С в сырье, высушенном без применения ультразвуковой технологии и с наложением поля ультразвука, получили данные, представленные в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, содержание витамина С при сушке сырья с наложением поля ультразвука – это более щадящая температурная обработка, позволяющая сохранить больше полезных веществ в обработанном сырье. Данная технология позволяет повысить уровень содержания витамина С в высушенном продукте, а значит содержание

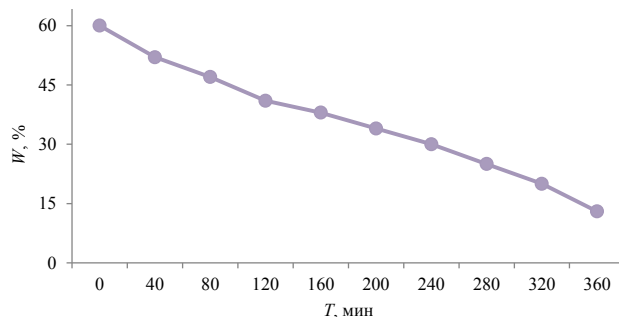


Рисунок 5. График зависимости влагосодержания от времени сушки в пароконвектомате без применения ультразвука

Figure 5. Effect of drying time in a combination steam oven without ultrasound on moisture content

Таблица 2. Содержание витамина С в образцах шиповника

Table 2. Vitamin C content in rose hip samples

| Определяемые показатели | Результаты исследований | НД на методы исследований |
|--|-------------------------|---------------------------|
| Код Б-19-22921-1-шиповник без обработки ультразвуком | | |
| Витамин С | 424 мг/100 г | М 04-07-2010 |
| Код Б-19-22921-2-шиповник с обработкой ультразвуком | | |
| Витамин С | 509 мг/100 г | М 04-07-2010 |

витаминов, перечисленных в таблице 1, по мнению авторов, будет иметь повышенные показатели.

Анализ качественных показателей образцов шиповника показал, что за счет применения ультразвука в процессе сушки удастся в большей степени сохранить цвет и запах. Вкус при заваривании отличается большей насыщенностью, по сравнению с шиповником, высушенным без ультразвука. Номограмма качественных показателей представлена на рисунке 6.

Анализ качественных показателей осуществлялся по 5 бальной шкале. Применение шкалы позволило привлечь к оцениванию дегустаторов с невысокой сенсорной чувствительностью и небольшим опытом.

Выводы

Применение ультразвука позволяет увеличить скорость процесса сушки в 2 раза, уменьшить потери витаминов на 17 %, а значит улучшить качество выпускаемого продукта. Уменьшение времени температурной обработки позволяет снизить энергозатраты на производственный процесс, снижение энергозатрат – себестоимость выпускаемой продукции.

Критерий авторства

Е. И. Верболоз руководила проектом. М. А. Иванова и В. А. Демченко занималась разработкой методики эксперимента, преобразованием получен-

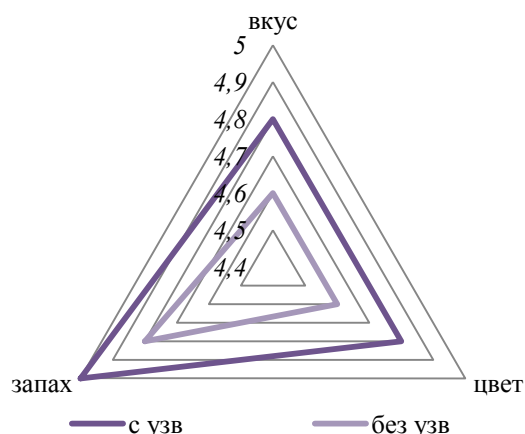


Рисунок 6. Номограмма качественных показателей шиповника, высушенного с применением ультразвука и без

Figure 6. Nomographic chart of quality indicators of rose hips dried with and without ultrasound

ных данных в статью. С. Фартуков и Н. К. Евова занимались закупкой сырья, проведением эксперимента, сбором полученных данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

E.I. Verboloz supervised the project. M.A. Ivanova and V.A. Demchenko were engaged in the development of experimental techniques and converting the data into a readable form. S. Fartukov and N.K. Evona purchased raw materials, conducted the experiment, collected and processed the data.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Gurol, A. Herbal supplement products used by mothers to cope with the common health problems in childhood / A. Gurol, A. S. Taplak, S. Polat // *Complementary Therapies in Medicine*. – 2019. – Vol. 47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.102214>.
2. Santos, J. S. Rosehip as a potential healing agent / J. S. Santos, L. C. L. De Sá Barreto, I. Kamada // *Revista Cubana de Enfermeria*. – 2018. – Vol. 34, № 1.
3. Ламан, Н. Шиповник – природный концентрат витаминов и антиоксидантов / Н. Ламан, Н. Копылова // *Наука и инновации*. – 2017. – Т. 176, № 10. – С. 45–49.
4. Mason, T. J. Power ultrasound in food processing – the way forward / T. J. Mason // *Ultrasound in Food Processing* / M. J. W. Povey, T. J. Mason. – London : Blackie Academic and Professional, 1998. – P. 105–126.
5. Kadacal, C. Thermal degradation kinetics of ascorbic acid, thiamine and riboflavin in rosehip (*Rosa canina L*) nectar / C. Kadacal, T. Duman, R. Ekinci // *Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 38, № 4. – P. 667–673. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-457x.11417>.
6. Иванченко, О. Б. Применение плодов шиповника в технологии пивных напитков / О. Б. Иванченко, М. М. Данина // *Пиво и напитки*. – 2015. – № 2. – С. 12–15.
7. Применение сиропа из плодов шиповника при производстве хлеба из муки пшеничной / О. А. Блинова, Н. В. Праздничкова, А. П. Троц [и др.] // *Успехи современной науки*. – 2016. – № 1. – С. 45–47.

8. Скрипникова, Д. П. Изучение влияния порошка плодов шиповника на химический состав и функционально-технологические свойства мясорастительных паштетов / Д. П. Скрипникова, К. А. Лещуков // *International Scientific Review*. – 2016. – Т. 17, № 7. – С. 27–30.
9. The influence of rosehip polyphenols on the quality of smoked pork sausages, compared to classic additives / V. Nicorescu, C. Papuc, C. Predescu [et al.] // *Revista de Chimie*. – 2018. – Vol. 69, № 8. – P. 2074–2080.
10. Sastry, S. K. Effect of ultrasonic vibration on fluid-to-particle convective heat transfer coefficients / S. K. Sastry, G. Q. Shen, J. L. Baisdell // *Journal of Food Science*. – 1989. – Vol. 54, № 1. – P. 229–230. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb08611.x>.
11. Influence of temperature and ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of red pepper / J. A. Carcel, D. Castillo, S. Simal [et al.] // *Drying Technology*. – 2018. – Vol. 37, № 4. – P. 486–493. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1473417>.
12. Mathematical modeling of spicy herbs intensive drying with ultrasound / E. I. Verboloz, M. A. Ivanova, V. A. Demchenko [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2020. – Vol. 421, № 3. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032054>.
13. Influence of ultrasound application on both the osmotic pretreatment and subsequent convective drying of pineapple (*Ananas comosus*) / J. L. G. Correa, M. C. Rasia, A. Mulet // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2017. – Vol. 41. – P. 284–291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.002>.
14. Model-based investigation into atmospheric freeze drying assisted by power ultrasound / J. V. Santacatalina, D. Fissore, J. A. Carcel // *Journal of Food Engineering*. – 2015. – Vol. 151. – P. 7–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.013>.
15. Food drying process by power ultrasound / S. de la Fuente-Blanco, ERF de Sarabia, VM Acosta-Aparicio [et al.] // *Ultrasonics*. – 2006. – Vol. 44. – P. E523–E527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2006.05.181>.
16. Secado convectivo de alimentos asistido por ultrasonidos de potencia / J. V. García-Perez, J. Bon, J. A. Carcel [et al.] // *44º Congreso Español de acústicaencuentro*. – Valladolid, 2013. – P. 1585–1591.
17. Effect of ultrasound on drying kinetics of El Henna leaves (*Lawsonia inermis*) / S. Bennaceur, L. Bennamoun, A. Mulet [et al.] // *IDS'2018: 21st International Drying Symposium / Polytechnic University of Valencia*. – Valencia, 2018. – P. 887–894. DOI: <https://doi.org/10.4995/ids2018.2018.7530>.
18. Юдин, А. В. Эффективность сушки кипрей-чая с применением ультразвука / А. В. Юдин, Е. И. Верболоз // *Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: Материалы XLVI научной и учебно-методической конференции / Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики*. – СПб., 2017. – С. 332–335.
19. Mieszczakowska-Frac, M. Effects of ultrasound on polyphenol retention in apples after the application of predrying treatments in liquid medium / M. Mieszczakowska-Frac, B. Dyki, D. Konopacka // *Food and Bioprocess Technology*. – 2015. – Vol. 9, № 3. – P. 543–552. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1648-z>.
20. Impact of power ultrasound on chemical and physicochemical quality indicators of strawberries dried by convection / J. Gamboa-Santos, A. Montilla, A. C. Soria [et al.] // *Food Chemistry*. – 2014. – Vol. 161. – P. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.106>.


References

1. Gurol A, Taplak AS, Polat S. Herbal supplement products used by mothers to cope with the common health problems in childhood. *Complementary Therapies in Medicine*. 2019;47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.102214>.
2. Santos JS, De Sá Barreto LCL, Kamada I. Rosehip as a potential healing agent. *Revista Cubana de Enfermeria*. 2018;34(1).
3. Laman N, Kapylova N. Rosehips as a natural concentrate of vitamins and antioxidants. *Science and Innovations*. 2017;176(10):45–49. (In Russ.).
4. Mason TJ. Power ultrasound in food processing – the way forward. In: Povey MJW, Mason TJ, editors. *Ultrasound in Food Processing*. London: Blackie Academic and Professional; 1998. pp. 105–126.
5. Kadakal C, Duman T, Ekinci R. Thermal degradation kinetics of ascorbic acid, thiamine and riboflavin in rosehip (*Rosa canina L*) nectar. *Food Science and Technology*. 2018;38(4):667–673. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-457x.11417>.
6. Ivanchenko OB, Danina MM. The use of rose hips in the technology of beer drinks. *Beer and beverages*. 2015;(2):12–15. (In Russ.).
7. Blinova OA, Prazdnichkova NV, Trots AP, Makushin AN. The use of syrup from hips in the production of bread from wheat flour. *Modern science success*. 2016;(1):45–47. (In Russ.).
8. Skripnikova DP, Leshchukov KA. The study of the influence of the powder of rosehips on the chemical composition and functional and technological properties of and cereal paste. *International Scientific Review*. 2016;17(7):27–30. (In Russ.).
9. Nicorescu V, Papuc C, Predescu C, Gajaila I, Petcu C, Stefan G. The influence of rosehip polyphenols on the quality of smoked pork sausages, compared to classic additives. *Revista De Chimie*. 2018;69(8):2074–2080.
10. Sastry SK, Shen GQ, Blaisdell JL. Effect of ultrasonic vibration on fluid-to-particle convective heat-transfer coefficients. *Journal of Food Science*. 1989;54(1):229–230. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb08611.x>.


11. Carcel JA, Castillo D, Simal S, Mulet A. Influence of temperature and ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of red pepper. *Drying Technology*. 2019;37(4):486–493. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1473417>.
12. Verboloz EI, Ivanova MA, Demchenko VA, Moldovanov D, Evona NK. Mathematical modeling of spicy herbs intensive drying with ultrasound. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;421(3). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032054>.
13. Correa JLG, Rasia MC, Mulet A, Carcel JA. Influence of ultrasound application on both the osmotic pretreatment and subsequent convective drying of pineapple (*Ananas comosus*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017;41:284–291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.002>.
14. Santacatalina JV, Fissore D, Carcel JA, Mulet A, Garcia-Perez JV. Model-based investigation into atmospheric freeze drying assisted by power ultrasound. *Journal of Food Engineering*. 2015;151:7–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.013>.
15. de la Fuente-Blanco S, de Sarabia ERF, Acosta-Aparicio VM, Blanco-Blanco A, Gallego-Juarez JA. Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*. 2006;44:E523–E527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2006.05.181>.
16. García-Perez JV, Bon J, Carcel JA, Mulet A, Gallego-Juarez JA, Acosta VM, et al. Secado convectivo de alimentos asistido por ultrasonidos de potencia [Convective drying of food assisted by power ultrasound]. 44º Congreso Español de acústicaencuentro [44th Spanish Congress of Acoustics Encounter]; 2013; Valladolid. Valladolid; 2013. p. 1585–1591. (In Spanish).
17. Bennaceur S, Bennamoun L, Mulet A, Draoui B, Carcel JA. Effect of ultrasound on drying kinetics of El Henna leaves (*Lawsonia inermis*). *IDS'2018: 21st International Drying Symposium*; 2018; Valencia. Valencia: Polytechnic University of Valencia; 2018. p. 887–894. DOI: <https://doi.org/10.4995/ids2018.2018.7530>.
18. Yudin AV, Verboloz EI. Ehffektivnost' sushki kiprey-chaya s primeneniem ul'trazvuka [Efficiency of ultrasound drying of rosebay tea]. *Al'manakh nauchnykh rabot molodykh uchenykh Universiteta ITMO: Materialy XLVI nauchnoy i uchebno-metodicheskoy konferentsii* [Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University: Materials of the XLVI scientific and educational conference]; 2017; St. Petersburg. St. Petersburg: ITMO University; 2017. p. 332–335. (In Russ.).
19. Mieszczakowska-Frac M, Dyki B, Konopacka D. Effects of ultrasound on polyphenol retention in apples after the application of predrying treatments in liquid medium. *Food and Bioprocess Technology*. 2016;9(3):543–552. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1648-z>.
20. Gamboa-Santos J, Montilla A, Soria AC, Carcel JA, Garcia-Perez JV, Villamiel M. Impact of power ultrasound on chemical and physicochemical quality indicators of strawberries dried by convection. *Food Chemistry*. 2014;161:40–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.106>.

Сведения об авторах

Верболоз Елена Игоревна

д-р. техн. наук, профессор, доцент факультета пищевой биотехнологии и инженерии, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, e-mail: elena.verboloz@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9460-6251>

Иванова Марина Александровна

канд. техн. наук, доцент факультета пищевой биотехнологии и инженерии, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, e-mail: mtomz85@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8450-7284>

Демченко Вера Артемовна


канд. техн. наук, старший преподаватель факультета пищевой биотехнологии и инженерии, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, e-mail: dem8484@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-1051-8933>

Information about the authors


Elena I. Verboloz

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Associate Professor of the Faculty of Food Biotechnology and Engineering, ITMO University, 49, Kronverksky Ave., St. Petersburg, 197101, Russia, e-mail: elena.verboloz@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9460-6251>

Marina A. Ivanova


Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Faculty of Food Biotechnology and Engineering, ITMO University, 49, Kronverksky Ave., St. Petersburg, 197101, Russia, e-mail: mtomz85@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8450-7284>

Vera A. Demchenko

Cand.Sci.(Eng.), Senior Lecturer of the Faculty of Food Biotechnology and Engineering, ITMO University, 49, Kronverksky Ave., St. Petersburg, 197101, Russia, e-mail: dem8484@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-1051-8933>

Фартуков Сергей

магистр факультета пищевой биотехнологии и инженерии, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, e-mail: sergey.96f@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-2248-7430>


Sergey Fartukov

Master of the Faculty of Food Biotechnology and Engineering, ITMO University, 49, Kronverksky Ave., St. Petersburg, 197101, Russia, e-mail: sergey.96f@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-2248-7430>


Евона Никита Константинович

аспирант факультета пищевой биотехнологии и инженерии, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, e-mail: n412@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9402-2889>

Nikita K. Evona

Postgraduate Student of the Faculty of Food Biotechnology and Engineering, ITMO University, 49, Kronverksky Ave., St. Petersburg, 197101, Russia, e-mail: n412@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9402-2889>