

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ЭКСТРАКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

И.Ю. Потороко, И.В. Калинина

В статье рассматривается возможность использования ультразвукового воздействия для повышения эффективности и интенсификации процесса экстракции из вторичных продуктов переработки ягодного сырья. Приведен сравнительный анализ различных режимов воздействия ультразвука, обоснован наиболее эффективный режим.

Ключевые слова: *пищевая и перерабатывающая промышленность, экстракция, ультразвуковое кавитационное воздействие.*

Значение экстракционных методов в технологии пищевых производств в последние годы неизменно возрастает, что обусловлено необходимостью внедрения ресурсосберегающих технологий переработки сырья и обеспечения максимального извлечения его ценных компонентов. Важной областью применения экстракции является также переработка вторичного сырья.

Экстракционные методы являются основными методами переработки растительного сырья в пищевой отрасли. От эффективности протекания этого процесса во многом зависит качество готового продукта, его пищевая ценность.

В основе экстракции лежит принцип избирательного извлечения конкретного вещества или нескольких компонентов из одной фазы в другую, имеющую с ней границу раздела. Принято выделять два вида экстрагирования: экстрагирование растворенных веществ и экстрагирование твердых веществ. Общим моментом при этом является приведение в контакт приготовленных несмешивающихся систем: экстрагируемого материала и экстрагента, т. е. процесс экстрагирования должен представлять собой проникновение молекул одного вещества в другое вещество с последующим самопроизвольным выравниванием концентрации молекул этих веществ в обеих фазах [1, 2, 3, 5, 7].

Задача любого процесса экстракции из растительного сырья заключается в том, чтобы экстрагент с как можно меньшими препятствиями преодолевал мембранные преграды клеток и максимально извлекал ценные вещества растительного сырья.

Технология экстракции разнообразна, что обусловлено широким набором экстрагентов

и различных способов ведения процесса.

В промышленных целях могут использоваться такие способы экстракции как экстракция с погружением экстрагируемого материала, экстракция ступенчатым орошением растворителем, экстракция смешанным способом и т. д. (рис. 1).

Каждый из способов экстракции характеризуется как собственными преимуществами, так и недостатками. Необходимо также учитывать, что большинство способов экстрагирования предполагает использование повышенных температур воздействия. Однако при этом все или большая часть термолабильных биологически активных соединений разрушаются, а они в некоторых случаях составляют до 90 % всех активных веществ, извлекаемых из сырья.

В настоящее время особую актуальность приобретает поиск технологии «холодных» экстрактов, которые в отличие от «горячих» экстрактов, содержат полный спектр биологически активных веществ в неразрушенном состоянии, при этом вместо нагрева для повышения диффузии могут использоваться различные физические приемы воздействия.

В качестве такого приема можно рассматривать ультразвуковое воздействие. На основании результатов существующих исследований в области ультразвука можно предположить, что применение активационных процессов позволит интенсифицировать процесс экстракции.

В литературе вопросы использования ультразвукового воздействия для ускорения процессов экстракции освещены достаточно скудно, при этом перспективы такого воздействия очевидны.



Рис. 1. Способы экстракции, применяемые в пищевых производствах

Эффективность использования ультразвука может быть объяснена воздействием ряда специфических факторов, присущих ультразвуковым колебаниям, которые представлены на рис. 2.

Исследования показывают, что при использовании ультразвука наблюдается не только значительное ускорение производственного процесса, но и увеличение по сравнению с другими способами экстрагирования основного продукта. Повышение эффективности экстракции обусловлено увеличением коэффициента массопереноса и величины межфазной поверхности [2, 4, 6, 7].

При воздействии на процесс экстракции ультразвуком в жидкой среде возникают знакопеременное звуковое давление, способствующее проникновению жидкости в трещины и капилляры экстрагируемого вещества, а также быстрые течения: звуковой ветер, кавитация. Интенсификация процесса экстракции, а равно и коэффициент диффузии зависят от значений амплитуды и частоты вынужденных колебаний жидкости.

При воздействии на среду ультразвука уменьшается динамическая вязкость полярных жидкостей; микротрещины и поры, имеющиеся в твердой фазе, разветвляются, увеличиваются их размеры и глубина. Рассматривая гидродинамику среды в одиночном капилляре (трещине), можно различить три зоны: с турбулентным движением жидкости, с вязким подслоем и с диффузионным подслоем [6, 7, 9].

У кромки открытой микротрещины при интенсивном движении жидкости происходят

турбулизация микропотоков, а затем и срыв вихрей. Здесь процесс растворения твердой фазы лимитируется коэффициентом турбулентной диффузии. Поступающие из первой во вторую зону турбулентные пульсации осуществляют перенос основной массы экстрагируемого вещества.

В третьей зоне массообмен обусловлен хаотическим молекулярным движением. Продольные и поперечные размеры микротрещин являются важным фактором в процессе растворения.

При возникновении ультразвукового переменного давления ($\pm 5 \times 10^5$ Па) в жидкости, находящейся в трещине, создаются колебательные тангенциальные смещения микрообъемов растворителя вдоль стенок, которые переходят в однонаправленное движение раствора. Молекулярная диффузия практически сменяется достаточно быстрым конвективным массопереносом.

Мощные ультразвуковые волны значительно увеличивают скорость пропитки различных материалов, имеющих капиллярную структуру. Это объясняется тем, что высота подъема жидкости под действием ультразвука увеличивается и находится в прямой зависимости от диаметра капилляра и избыточного звукового давления. Звукокапиллярное давление независимо от положения источника ультразвука всегда направлено по нормали к срезу капилляра.

Время проникновения экстрагента зависит от скорости вытеснения воздуха из клетки, т. е. от значения капилляропроводности сырья. Однако многие капилляры заканчива-

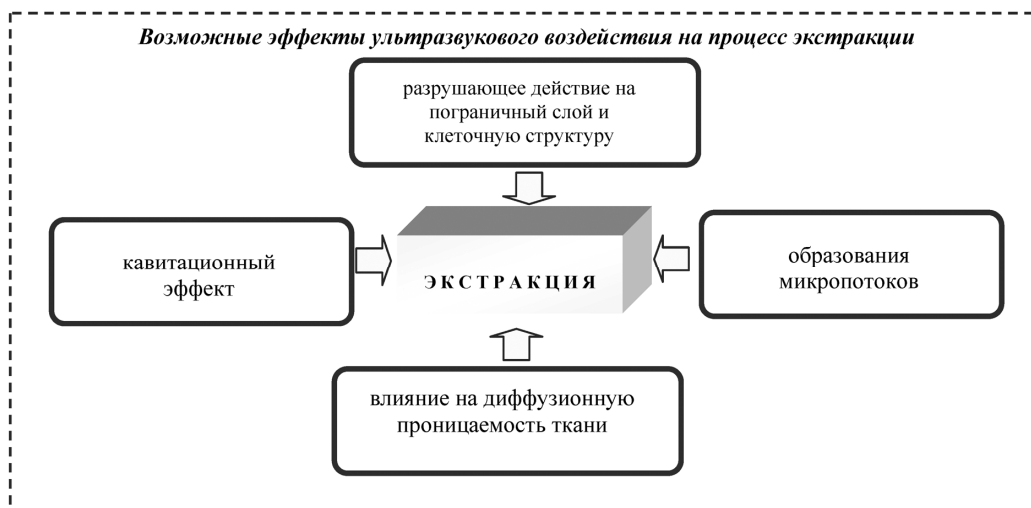


Рис. 2. Возможные эффекты ультразвукового воздействия на процесс экстракции

ются в пачках и фибриллах, не выходя наружу. Здесь воздух удерживается до тех пор, пока не растворится в экстрагенте. Кроме того, часть воздуха в виде воздушных пузырьков различной конфигурации остается внутри клетки.

Ультразвук, создавая звукокапиллярный эффект, не только ускоряет вытеснение таких пузырьков воздуха, но и создает условия для растворения его в жидкостях. Образуется вакуум, т. е. возникает так называемый эффект губки. В результате время замачивания сырья под действием ультразвука значительно сокращается. С помощью ультразвука при обычной температуре (0–25 °С) увеличивается предел растворимости в диапазоне трудно и практически нерастворимых веществ, причем концентрация насыщения может превышать известные константы в 5–30 раз [2, 6, 7, 8, 9].

Нами была поставлена задача исследовать возможность использования эффектов ультразвукового кавитационного воздействия в технологии экстракции из вторичных продуктов переработки ягодного сырья.

В качестве объекта исследования были выбраны выжимки клюквы как вторичный продукт переработки ягод при производстве морсов.

Для исследований применялся аппарат ультразвуковой технологической «Волна» модель УЗТА-0,4/22-ОМ (технические характеристики представлены в табл. 1). Принцип действия основан на использовании свойств ультразвуковых колебаний высокой интенсивности в жидких и жидкодисперсных средах.

Для процесса экстракции был определен

режим ультразвуковой обработки: частота (22±1,65) кГц, мощность 180 Вт, экспозиция 5 мин. Соотношение выжимок и экстрагента устанавливалось одинаковое для всех исследуемых образцов – 1,5:10. Выбор режима ультразвукового воздействия базировался на предварительно проведенных пилотных исследованиях.

Таблица 1
Технические характеристики УЗТА-0,4/22-ОМ

Наименование показателя	Значение
Частота механических колебаний, кГц	22±1,65
Максимальная потребляемая мощность, Вт	400
Диапазон регулирования мощности, %	30–100
Избыточное давление обрабатываемой среды, атм, не более	4

Ряд исследований, представленных в литературе, также указывал на возможность повышения эффективности процесса экстракции при сочетании ультразвукового и термического воздействия невысокими температурами. Для изучения этого эффекта в перечень исследуемых объектов были включены образцы, подвергнутые ультразвуковому воздействию в установленных режимах с последующим нагреванием до температуры 30 °С в течение 5 мин. Температурный режим был установлен исходя из задачи максимального сохранения полезных веществ выжимок ягоды.

Таким образом, был сформирован перечень объектов исследований, состоящий из 4 образцов экстрактов, характеристика кото-

рых с указанием технологических особенностей их получения представлена в табл. 2.

Оценивались следующие показатели экстрактов: содержание сухих веществ, массовая доля дубильных веществ, интенсивность цвета. Результаты исследования представлены в табл. 3 и на рис. 3.

Известно, что эффективность экстракции, в первую очередь, определяется количеством веществ, перешедших из экстракционного материала в растворитель. По этой причине на первом этапе был определен показатель содержание сухих веществ во всех исследуемых образцах экстрактов.

Результаты, представленные в таблице, свидетельствуют о выраженном влиянии ультразвукового воздействия на процесс экстракции из выжимок клюквы. Необходимо отметить, что, несмотря на имеющиеся в литературе сведения о росте растворяющей способности озвученной воды, наши исследования не показали значительного эффекта увеличения сухих веществ в экстракте 1. Использование в качестве экстрагента воды, обработанной ультразвуком в течение 5 мин при мощности воздействия 180 Вт, привело к потере 15,4 % экстрактивных веществ по отношению к контролю.

Гораздо более эффективно, как показали наши исследования, подвергать ультразвуковой обработке готовую смесь воды и выжимок ягоды. Так воздействие в течение 5 мин

при мощности 180 Вт позволило на 19 % увеличить содержание сухих веществ в готовом экстракте, при этом время, затрачиваемое на экстракцию, сократили на 15 мин.

Однако максимальный эффект увеличения содержания сухих веществ был получен при использовании 3-го способа экстракции. Дополнительное перемешивание экстракта в течение 5 мин при температуре 30 °С увеличило выход экстрагируемых веществ еще на 22,6 % (примерно в 1,5 больше, чем в контроле). Но временные затраты увеличились на 5 мин по отношению к предыдущему образцу, однако по отношению к контролю все же время экстрагирования было сокращено в 2 раза.

Полученные эффекты увеличения выхода экстрактивных веществ при использовании ультразвуковой обработки обусловлены механическим действием ультразвука, способствующим прониканию растворителя в растительную ткань. Разрушая клеточные стенки, ультразвук облегчает поступление экстрактивных веществ из клеток в растворитель. Кроме того, дробление частиц посредством ультразвуковой кавитации увеличивает площадь соприкосновения между экстрагируемыми веществами и экстрагентом.

Среди экстрагируемых компонентов клюквы приоритетное значение имеют дубильные вещества, которые представляют собой сложную смесь более трёх десятков полифенольных соединений, состоящую из танина, раз-

Таблица 2

Перечень объектов исследования влияния ультразвука на процесс экстракции

Объекты исследования	Соотношение выжимки : вода	Условия экстракции
Контроль	1,5:10	Перемешивание выжимок клюквы с подготовленной водопроводной водой в течение 20 мин при температуре 60 °С
Экстракт 1	1,5:10	Перемешивание выжимок клюквы с водопроводной водой, обработанной УЗ (мощностью 180 Вт продолжительность 5 мин) 10 мин без нагревания
Экстракт 2	1,5:10	Обработка УЗ (мощностью 180 Вт продолжительность 5 мин) смеси выжимок клюквы с водой без нагревания
Экстракт 3	1,5:10	Обработка УЗ (мощностью 180 Вт продолжительность 5 мин) смеси выжимок клюквы с водой с последующим перемешиванием в течение 5 мин при температуре 30 °С

Таблица 3

Результаты определения физико-химических показателей качества экстрактов

Наименование показателя	Контроль	Экстракт 1	Экстракт 2	Экстракт 3
Содержание сухих веществ, %	2,6±0,03	2,2±0,02	3,1±0,02	3,8±0,03
Содержание дубильных веществ, %	1,4±0,02	1,2±0,02	1,6±0,03	1,7±0,02
Интенсивность цвета	1,48±0,03	1,28±0,04	1,56±0,03	1,62±0,03

личных катехинов и их производных. Большая часть этих соединений обладает Р-витаминной активностью. Кроме того, благодаря своим бактерицидным и антиоксидантным свойствам дубильные вещества в значительной степени формируют физиологическую ценность экстрактов. Нами было определено влияние ультразвукового воздействия на количество экстрагируемых дубильных веществ из выжимок клюквы (рис. 3).

Результаты, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что воздействие ультразвука на этапе экстракции позволило увеличить содержание дубильных веществ в сравнении с контрольным образцом. Исключение составил экстракт 1 обработки, который предусматривал ультразвуковое воздействие исключительно на воду. Очевидно, повышенные экстрактивные способности воды недостаточно эффективно для максимального извлечения дубильных веществ.

Гораздо более эффективными оказались 2 и 3-й способы экстрагирования, которые позволили увеличить содержание дубильных веществ на 14 и 21 % соответственно.

В целом же тенденции экстрагирования дубильных веществ и общего количества сухих веществ в исследуемых образцах носили идентичный характер, что, в свою очередь, подтверждает эффективность 2 и 3-го способов экстрагирования в отношении формирования физиологической ценности экстрактов.

Влияние ультразвукового воздействия на процесс экстракции отразилось и на показателе интенсивности цвета, значения которого для экстрактов 2 и 3 увеличились на 5,4 и 9,5 % соответственно (по сравнению с контролем). Это, вероятно, объясняется интенсификацией процесса экстракции в результате

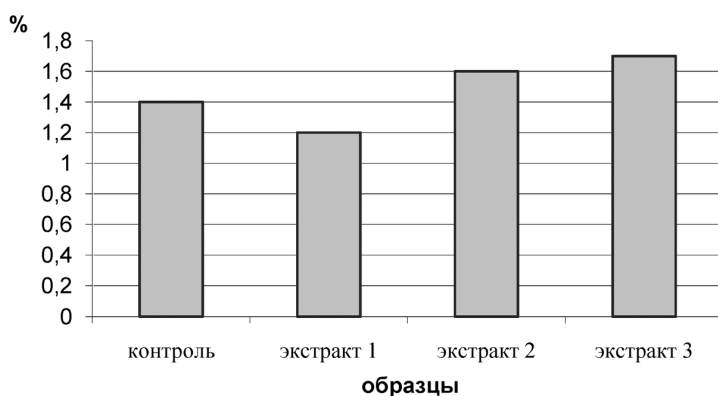


Рис. 3. Содержание дубильных веществ в исследуемых образцах экстрактов (% на сухое вещество)

применения ультразвука, и, как следствие, увеличением цветообразующих веществ (в первую очередь, антоцианов и полифенолов) в числе общего количества экстрагируемых сухих веществ.

Таким образом, серия проведенных нами исследований показала целесообразность и эффективность применения ультразвукового воздействия в технологии экстракции из вторичных продуктов переработки ягодного сырья, что, в свою очередь, определяет перспективы использования этого метода в формировании ресурсосберегающих технологий экстракции и обеспечения максимального извлечения физиологически активных компонентов из растительного сырья.

Литература

1. Особенности и технологии производства экстракционных продуктов. – <http://www.biozevtika.ru>.
2. Применение ультразвуковых колебаний для ускорения процессов в жидких средах. – <http://u-sonic.ru/book>.
3. Технологии использования ультразвука в пищевых средах. – <http://bio-x.ru>.
4. Ультразвуковая дезинтеграция – метод разрушения клеточной оболочки дрожжей. – <http://bio-x.ru>.
5. Фаткуллин, Р.И. Перспективы использования ультразвуковой экстракции в технологии производства морсов / Р.И. Фаткуллин, И.В. Калинина // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. – № 3(003). – СПб.: Издательско-полиграфический центр, 2012. – С. 55–60.
6. Шестаков, С.Д. Электронный журнал «Техническая акустика» / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля. – <http://www.ejta.org>. – 2010. – 10.
7. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции // С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуи, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – 152 с.
8. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. // Electronic Journal «Technical Acoustics». – <http://www.ejta.org>. – 2011. – 9.
9. Ashokkumar M., Krasulya O., Shestakov S., Rink R. // Applied Physics Research. – 2012, February. – V. 4, 1. – P. 19–29.

Потороко Ирина Юрьевна. Доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Товароведение и экспертиза потребительских товаров», зам. директора Института экономики, торговли и технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, i_potoroko@mail.ru

Калинина Ирина Валерьевна. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Товароведение и экспертиза потребительских товаров», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, i_kalinina79@inbox.ru

Поступила в редакцию 23 января 2014 г.

**Bulletin of the South Ural State University
Series "Food and Biotechnology"
2014, vol. 2, no. 1, pp. 42–47**

PROSPECTS OF USING ULTRASOUND IN EXTRACTION TECHNOLOGY

I.Yu. Potoroko, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

I.V. Kalinina, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

A possible use of ultrasound to increase efficiency and intensify extraction from by-products after processing berries is considered in the paper. The comparative analysis of different modes of ultrasound exposure is carried out and the most effective mode is justified.

Keywords: food and processing industries, extraction, ultrasound cavitation exposure.

References

1. *Osobennosti i tehnologii proizvodstva jekstrakcionnyh produktov* [Peculiarities and Technology of Extracts Production]. Available at: <http://www.biozevtika.ru>.
2. *Primenenie ul'trazvukovyh kolebanij dlja uskoreniya processov v zhidkih sredah* [Use of Ultrasound Vibrations for Process Acceleration in Fluid Media]. Available at: <http://u-sonic.ru/book>.
3. *Tehnologii ispol'zovaniya ul'trazvuka v pishhevyyh sredah* [Techniques of Using Ultrasound in Food Environments]. Available at: <http://bio-x.ru>.
4. *Ul'trazvukovaya dezintegracija – metod razrusheniya kletочноj obolochki drozhzhej* [Ultrasound Disintegration as a Method of Yeast Cell Wall Damage]. Available at: <http://bio-x.ru>.
5. Fatkullin, R.I., Kalinina I.V. [Prospects of Using Ultrasound Extraction in Fruit Drinks Production Technology]. *Problemy jekonomiki i upravlenija v trgovle i promyshlennosti* [Problems of Economics and Management in Trade and Industry], no. 3(003). St. Petersburg, 2012, pp. 55–60. (in Russ.)
6. Shestakov S.D., Krasulja O.N. *Jelektronnyj zhurnal "Tehnicheskaja akustika"* [Electronic Journal "Engineering Acoustics"]. Available at: <http://www.ejta.org>, 2010, 10.
7. Shestakov S.D., Krasulja O.N., Bogush V.I., Potoroko I.Ju. *Tehnologija i oborudovanie dlja obrabotki pishhevyyh sred s ispol'zovaniem kavitacionnoj dezintegracii* [Technology and Equipment for Food Environments Processing with the Help of Cavitation Disinfection]. Moscow, GIOR Publ., 2013. 152 p.
8. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. *Electronic Journal "Technical Acoustics"*. Available at: <http://www.ejta.org>, 2011, 9.
9. Ashokkumar M., Krasulya O., Shestakov S., Rink R. *Applied Physics Research*, February 2012, vol. 4, 1, pp. 19–29.

Potoroko Irina Yurievna, Doctor of Science (Engineering), associate professor, head of the Department of Merchandising and Examination of Consumer Goods, deputy director of the Institute of Economics, Trade and Technologies, South Ural State University, Chelyabinsk, i_potoroko@mail.ru

Kalinina Irina Valerievna, Candidate of Science (Engineering), associate professor, Department of Merchandising and Examination of Consumer Goods, South Ural State University, Chelyabinsk, i_kalinina79@inbox.ru

Received 23 January 2014