

Ультразвуковая экстракция биологически активных соединений из семян томатов

П. Г. Думитраш, М. К. Болога, Т. Д. Шемякова

*Институт прикладной физики АН Молдовы,
ул. Академическая, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова, e-mail: pdumitras@yahoo.com*

Проведена оценка эффективности ультразвукового кавитационного воздействия на процесс экстракции биологически активных веществ из семян томата. Использование ультразвуковой кавитации позволяет осуществить экстракцию при пониженной температуре (около 30–40°C) без использования химических реагентов. Предложенный способ обеспечивает существенное сокращение продолжительности и понижение температуры экстракции.

Ключевые слова: ультразвуковая кавитация, экстракция, биологически активные вещества, семена томата.

УДК 534.29-7

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы все более актуальными становятся проблемы разработки и освоения эффективных технологий по переработке растительного сырья, в том числе по предотвращению и минимизации образования отходов, созданию замкнутых циклов безотходного производства. Обращается первостепенное внимание на необходимость разработки процессов чистого производства, извлечения из отходов ценных веществ [1, 2].

При промышленной переработке растительного сырья для производства плодовых и овощных соков, томатной пасты, растительного масла, вина образуется большое количество твердых отходов в виде выжимок, обрезков, некондиционного сырья, которые содержат множество полезных компонентов. Рекомендуются рассматривать такие отходы как побочный продукт или сырье для переработки с целью извлечения различных биологически активных веществ (БАВ) с последующим использованием их в качестве ингредиентов пищи или фармакологических препаратов [3]. Например, выжимки томатов являются прекрасным источником таких компонентов, как каротиноиды, протеины, сахара, волокна, воски и масла (с содержанием ненасыщенных жирных кислот 75%). При этом для извлечения БАВ можно применять экстракцию в системе «твердое тело-жидкость», проводить ее с помощью жидкости под давлением, суперкритической жидкости, ультразвука, микроволнового излучения, импульсного электрического поля, ферментов [4]. Выполнены исследования по получению ценных для здоровья веществ из отходов переработки томатов, маслин, винограда и их влиянию на организм человека. В рамках программы FP5-LIFE QUALITY разработаны новые пищевые добавки, экстрагированные из твердых отхо-

дов промышленной переработки томатов, для применения в функциональной пище [5]. По программе FP6-FOOD выполнены исследования с целью оценки и распространения стратегий экстракции биологически активных соединений из отходов переработки томатов, маслин и винограда [6]. Обобщены сведения и технологии относительно биологически активных соединений в отходах промышленной переработки томатов, маслин и винограда, от методик экстракции до практического применения и обоснования экономической эффективности экстракции.

В Европе, к примеру, в 2005 году были переработаны 10 миллионов тонн томатов, и твердые отходы в виде выжимок из кожицы и семян (2% от веса исходного сырья) составили 200 тысяч тонн. Основные БАВ, содержащиеся в выжимках, – это ликопин, растительные волокна, масло семян томата, ферменты. Из 100 кг выжимок получены 75 кг растительного волокна, 4 кг масла семян и 3 кг воска, из которых можно извлечь около 110 мг ликопина, являющегося мощным антиоксидантом, уменьшающего риск сердечно-сосудистых заболеваний, оказывающего противоопухолевое и иммуностимулирующее действие; используемого, как натуральный пищевой краситель. В рамках программы FP6-FOOD выполнен проект LYCOCARD, касающийся роли ликопина в предупреждении сердечно-сосудистых заболеваний [7]. В частности, выяснено влияние технологической обработки на ликопин, взаимодействие между различными ингредиентами пищи, метаболизм и молекулярные аспекты усвоения ликопина организмом, биологические эффекты изомеров ликопина и его метаболитов.

В томатах помимо ликопина, каротиноидов и масла содержатся биологически активные соединения, относящиеся к группе стероидных гликозидов, которые широко распространены в расте-

ниях в качестве вторичных метаболитов и вырабатываются для защиты растений от различных поражающих факторов [8, 9]. Именно они определяют лечебное действие многих растений (женьшеня, диоскореи, и др.), применяемых в народной медицине [10, 11]. В Молдове исследования по выделению стероидных гликозидов из растительного сырья, изучению их структуры и свойств начались более 50 лет назад под руководством академика АНМ Г.В. Лазурьевского [12], затем продолжились в Институте генетики АНМ. К середине девяностых годов было выделено и исследовано около 150 веществ этого класса из более 20 видов растений [13, 14]. Показано, что стероидные гликозиды обладают противоопухолевым и противовоспалительным действием [11, 15], снижают содержание холестерина в крови, проявляют антиоксидантные свойства, подавляют жизнеспособность фитопатогенных грибов [16], микроорганизмов и вирусов, могут стимулировать рост растений [17].

Проведенные исследования позволили предложить ряд препаратов на основе стероидных гликозидов (СГ) в качестве биорегуляторов роста растений. К примеру, молдстим (капсикозид, выделенный из семян перца *Capsicum annum* L.), экостим (томатозид, выделенный из семян томата *Lycopersicon esculentum* Mill.), павстим (пурпуреазид, выделенный из надземной части наперстянки пурпурной *Digitalis purpurea* L.) включены в «Список химических и биологических средств защиты растений и регуляторов роста, разрешенных для применения в сельском и лесном хозяйствах Республики Молдова» (Кишинев, 1994). Показано, что томатозид проявляет антивирусное действие, которое превышает эффективность интерферона [18], и на его основе предложен препарат «Паковирин». Помимо того, что стероидные гликозиды представляют интерес благодаря биологической активности, они могут служить исходным веществом для синтеза соединений со стероидной структурой, применяемых в фармации [11, 16, 19, 20].

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ЭКСТРАКЦИЯ

Влияние ультразвуковой экстракции на получение полифенолов, каротиноидов и хлорофиллов из растительного сырья и водорослей обсуждается в [21]. Параметры ультразвуковой кавитации – температура и продолжительность экстракции – оптимизированы с целью получения максимального выхода экстрагируемых веществ и их биологической активности.

Применение ультразвука отличается существенными преимуществами по сравнению с традиционными технологиями обработки сырья.

В частности, он обеспечивает более глубокое проникновение растворителя в материал с четкой структурой, уменьшает продолжительность обработки, обеспечивает более высокий выход продукта и воспроизводимость, снижает расход растворителя, увеличивает скорость процесса, позволяет экстрагировать термолабильные вещества. Оборудование не требует больших затрат на обслуживание, для обработки расходуется меньше энергии; в итоге процесс становится более экологичным и экономически обоснованным. Например, исследовалась обработка ультразвуком для повышения концентрации полифенолов, флавоноидов, флавонолов, сахаров, минералов и каротиноидов в соках [22–24]. Ультразвуковую экстракцию также использовали для получения растительного масла, протеинов, антоцианов, полисахаридов, ароматических веществ в пищевой промышленности [25, 26]. Для интенсификации экстракции ультразвук часто используется при приготовлении образцов в аналитической химии [27].

При ультразвуковой экстракции в системе «твердое тело-жидкость» главные механизмы включают разрушение структуры поверхности [28, 29], диффузию [30], капиллярные звуковые эффекты и акустические микровихри [31], прохождение через мембраны клеток [32] и локальные тепловые эффекты [29, 31]. Влияние ультразвуковой экстракции (25 кГц/150 Вт/10–40°C/5–55 мин) изучалось при получении полифенолов из яблочных выжимок [33]. Установлено, что с ростом температуры и времени обработки выход полифенолов при оптимальных параметрах ультразвуковой кавитации увеличивается.

Сравнение выхода полифенолов из яблочных выжимок при ультразвуковой и обычной экстракции [34] показало, что выход полифенолов на 30% выше, чем при использовании перемешивания. Оптимальные условия – 25 кГц/150 Вт/30–55 мин при комнатной температуре. Применение ультразвука повышает выход полифенолов на 85% при экстракции из черноплодной рябины *Aronia melanocarpa*. Оптимальное время экстракции примерно такое же, как и в предыдущем примере (30–55 мин), но процесс проводили при более высокой частоте (30,8 кГц) и меньшей мощности (100 Вт) [35]. Кроме того, добавление этанола и увеличение температуры оказывают положительное влияние на выход полифенолов.

При исследовании ультразвуковой экстракции полифенолов из выжимок черноплодной рябины (отходов производства сока) использовали параметры 30,8 кГц/50–100 Вт/20–70°C/5–240 мин и изучали влияние состава растворителя (0–50% этилового спирта в воде) на выход полифенолов

[36]. Установлено, что ультразвуковая обработка улучшает кинетику экстракции и выход полифенолов на начальной стадии, при этом потребляется меньше энергии, чем при обычной экстракции, а антиоксидантная активность полученного экстракта повышается.

Ультразвуковая экстракция полифенолов из листьев зеленого чая (*Camellia sinensis*) показала, что они являются хорошим сырьем для получения полифенолов [37]; более того, использовались отходы производства чая. Традиционный процесс экстракции проводится с использованием горячей воды и органических растворителей, при этом может происходить нежелательное разрушение катехинов. Во избежание этого листья обрабатывали ультразвуком при частоте 25 кГц в воде при комнатной температуре и небольшой продолжительности. Полученные экстракты указывают на увеличение выхода полифенолов по сравнению с обычной экстракцией при перемешивании.

Виноград и отходы его переработки содержат существенное количество полифенолов, и это привлекает растущее внимание исследователей [38]. В частности, изучено влияние ультразвуковой экстракции при частоте 47 кГц на получение ресвератрола из винограда [39]. При ультразвуковой экстракции относительный выход ресвератрола увеличивается на 24–28% в зависимости от сорта винограда, продолжительность сокращается по сравнению с экстракцией с растворителем. Значительное увеличение выхода фенольных соединений установлено при ультразвуковой обработке с повышением температуры, когда применяли нагрев до 70°C и ультразвуковую обработку (35 кГц/70°C/1 мин) одновременно [40].

Метод экстракции под воздействием ультразвуковой кавитации был применен и для извлечения эфирных масел из ароматических растений, например из листьев мяты [41], полыни [42], лаванды [43], чеснока [44], цветов цитрусовых [45]. При кавитационной экстракции выход эфирных масел из листьев мяты и полыни увеличился на 22%; выход основных компонентов масла лаванды – в 2–3 раза по сравнению с дистилляцией традиционным методом. При применении ультразвуковой кавитации увеличивается не только объем извлекаемых веществ, но существенно снижается термическое воздействие на готовый продукт. Также проведены исследования по экстракции ароматических веществ из специй, например ванилина из стручков ванили, карвона из семян тмина [46] и шафрана [47]. Через час экстракции под воздействием ультразвуковой кавитации количество раствора ванилина такое же, как после экстракции традицион-

ным методом в течение восьми часов. Воздействие ультразвуковой кавитации интенсифицирует процесс мацерации фруктов и трав в спирте в 2–3 раза [26] и широко используется в пищевой промышленности и фармакологии.

Таким образом, под воздействием эффектов кавитации сокращается время обработки и улучшается качество экстрагируемого продукта. Эти эффекты – результат генерации микроскопических пузырьков, которые колеблются, очень быстро растут, а затем сжимаются под воздействием высокого давления. Когда пузырьки в результате сжатия достигают критического размера, они взрываются и выделяется большое количество энергии, температура в центре разрыва пузырька достигает 5000 К, давление 5000 бар. Во время имплозии пузырьков в непосредственной близости от поверхности твердого тела генерируются микропотоки в направлении поверхности. Эти микропотоки могут быть использованы для извлечения биологически активных веществ из растительного сырья. Температура и давление, создаваемые при имплозии, разрушают оболочку клетки растительного сырья, и ее содержимое выбрасывается в окружающую среду.

Анализ литературы показывает, что исследования по использованию ультразвуковой кавитации в процессе экстракции БАВ из семян томатов эпизодичны. Учитывая это, авторы использовали описанные кавитационные эффекты в процессе извлечения БАВ из томатов с целью его интенсификации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для достижения отмеченных целей по интенсификации экстракции БАВ из семян томатов был выбран метод генерирования ультразвуковой кавитации. На основании опыта, накопленного в области получения дисперсных систем и упрощения конструкции экспериментального оборудования, выбрана методика, при которой эффективная энергия измельчения сконцентрирована в малом объеме. Хотя при создании областей кавитации с помощью ультразвуковых магнитостриктивных преобразователей потребление энергии в десятки раз выше, чем в случае гидродинамических генераторов, выбор ультразвукового метода обусловлен тем, что за короткое время (15–30 минут) из растительного сырья могут быть экстрагированы БАВ, которые с помощью классического метода извлекаются в течение 8–24 часов.

На основании результатов, полученных при диспергировании и гомогенизации мякоти натурального сока, бентонита для осветления вина [48], расщеплении крахмала при производстве клейшей массы для пропитки основы хлопчаточ-

бумажной ткани [49], были проанализированы технические характеристики и технологические режимы кавитационной установки для выбора и разработки блока ультразвукового магнитострикционного преобразователя для экстракции БАВ. Определяющим условием создания кавитационной установки являлось обеспечение равномерного кавитационного поля в объеме обработки.

Экспериментальная установка состояла из цилиндрической ванны, в которой реализуется экстракция под действием ультразвуковых кавитационных эффектов, и магнитострикционного преобразователя типа ПМС. Ванна снабжена охлаждающим кожухом для регулирования температуры процесса. Использовались ультразвуковые генераторы диапазоном частот 18–44 кГц. Эффективность ультразвуковой кавитационной экстракции БАВ исследована и оптимизирована подбором интенсивности (амплитуды) ультразвуковых колебаний (ξ , мкм), температуры компонентов смеси (T , °С), продолжительности обработки (t , мин), соотношения между твердой и жидкой фазами.

Для тестирования установки оценивалось влияние ультразвуковой амплитуды, температуры и статического давления на кавитационную эрозию. Было установлено, что температурный диапазон 18–60°С не влияет на кавитационную эрозию, а увеличение амплитуды приводит к ее усилению.

Для решения вопросов энергетики ультразвуковой экстракции необходимо знать, какие факторы оказывают влияние на величину мощности ультразвука, вводимого в экстрагируемую композицию. Известно [50], что развитие кавитации в жидкости приводит к падению эффективного сопротивления нагрузки и ограничению интенсивности ультразвука, вводимого в жидкость. Измерить в условиях кавитации амплитуду и интенсивность колебаний, а также выяснить их распределение непосредственно в объеме жидкости довольно трудно. В этих условиях более рациональным и достаточно точным является косвенный метод определения амплитуды и интенсивности вводимых в обрабатываемый материал (жидкость) ультразвуковых колебаний, предложенный в работах [50–52].

Метод основан на определении амплитуды и интенсивности ультразвуковых колебаний бесконтактным индуктивным электродинамическим датчиком.

На рис. 1 приведена зависимость электрического сигнала, который является косвенной величиной удельного сопротивления нагрузки, от амплитуды колебательной скорости излучателя, по данным [50]. Интенсивность ультразвука определяется по выражению:

$$I_0 = \frac{1}{2} \omega^2 W_0 \xi_{\max} \xi_{\min} = \frac{1}{2} \xi_x^2 R_n / S,$$

где ξ_x – амплитуда колебательной скорости на конце измерительного звена (волновода); R_n/S – сопротивление нагрузки, определенное на измерительном звене; ω – круговая частота возбуждения; W_0 – волновое сопротивление ультразвукового волновода; ξ_{\max} и ξ_{\min} – амплитуда колебательного смещения в пучности и узле колебаний соответственно.

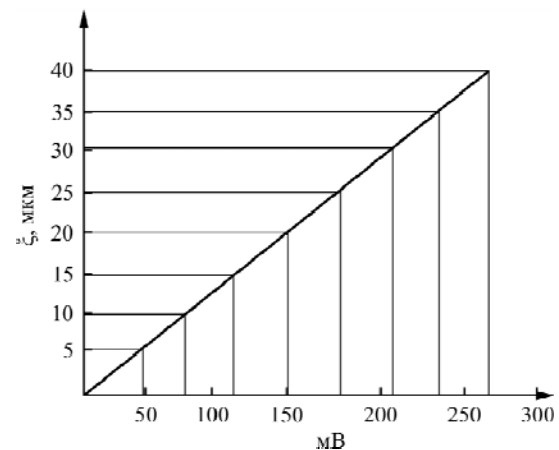


Рис. 1. Взаимозависимость удельного сопротивления нагрузки и амплитуды колебания излучателя.

ЭКСТРАКЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ СЕМЯН ТОМАТОВ, АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

При экстракции БАВ изменялись концентрация семян томатов $C = 10 \div 25\%$, амплитуда ультразвуковых колебаний $\xi = 0 \div 35$ мкм, продолжительность ультразвуковой обработки $t = 0 \div 60$ мин.

Были использованы высушенные семена томатов, измельченные и подготовленные в соответствии с принятой технологией [12–14], а в качестве растворителя – дистиллированная вода. Измельченные семена томатов загружали в дистиллированную воду, нагретую до 30–35°С, в массовом соотношении 1:3 и обрабатывали в ультразвуковом кавитационном поле в течение 60 минут. При классическом методе экстракции смесь нагревают до 70–90°С. После обработки определяли количество извлеченных БАВ взвешиванием, а состав – хроматографией.

Определяли количество БАВ, извлеченных из семян томатов (m , г), в зависимости от амплитуды колебаний (ξ , мкм) и продолжительности кавитационной обработки (t , мин).

Полученные результаты приведены на рис. 2 и 3. Их анализ показывает, что при обработке семян микроструями ультразвуковой кавитации продолжительность экстракции БАВ сокращается более чем в 8–9 раз, температура обработки

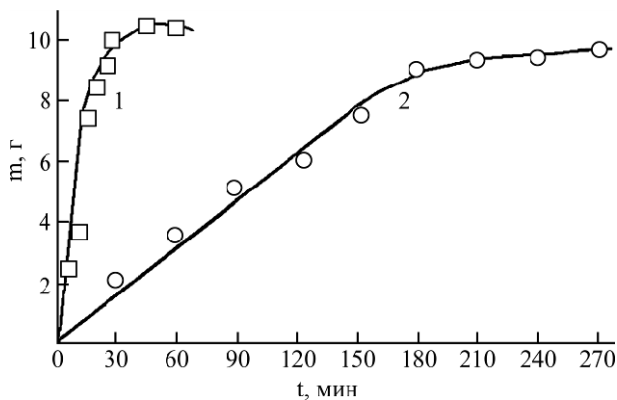


Рис. 2. Извлечение биологически активных веществ из семян томатов в зависимости от времени обработки: 1 – под воздействием ультразвуковой кавитации с амплитудой колебаний $\xi_{\text{const}} = 20$ мкм; 2 – классическим методом.

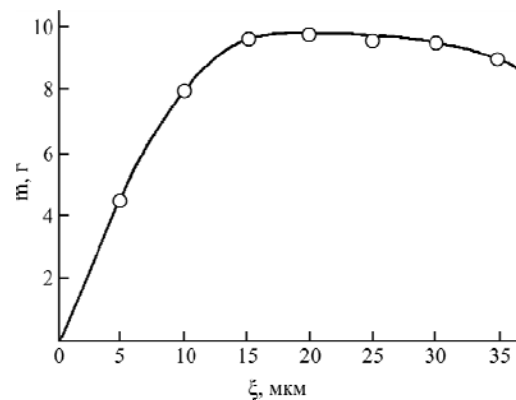


Рис. 3. Извлечение биологически активных веществ из семян томатов в зависимости от амплитуды ультразвуковой кавитации, продолжительность процесса $t_{\text{const}} = 30$ мин.

снижается с 90 до 25–30°C (рис. 3). При продолжительности обработки более 60 минут наблюдается снижение массы БАВ. В первые 8–10 минут обработки из семян извлекается практически вся масса БАВ. Извлечение этого же количества классическим методом достигается при замачивании семян и экстракции продолжительностью более 48 часов.

Ускорение экстракции происходит за счет акустического давления микропотоков, инициированных взрывами пузырьков, и звукового давления, генерируемого капиллярным эффектом, что приводит к ускорению диффузии растворителя в оболочках клеток и последующему набуханию семян. В дальнейшем происходит разрушение семян, из клеток выделяются биологически активные вещества, переходящие в растворитель.

Увеличение амплитуды ультразвуковых колебаний, которое, в свою очередь, приводит к увеличению мощности акустических микроструй, инициированных ультразвуковой кавитацией, имеет максимум при 20–25 мкм (рис. 3). Это подтверждает, что мощность и скорость микроструй настолько велики, что они омывают клетку, не проникая в ее капилляры.

ВЫВОДЫ

1. Использование ультразвуковой кавитации обеспечивает уменьшение продолжительности экстракции биологически активных веществ в 8–9 раз и температуры обработки до 35–40°C.

2. В условиях капиллярно-звукового воздействия значительно ускоряется набухание оболочек семян, клетки разрушаются и происходит интенсивное высвобождение биологически активных веществ, которые переходят в растворитель, в данном случае в воду.

3. Экстракция БАВ из семян томатов ультразвуковым кавитационным методом позволяет увеличить выход томатызида с антивирусным

действием, а следовательно, обеспечить увеличение выхода препарата «Паковирин» на его основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Waste prevention in Europe the status in 2013. *EEA Report no. 9*, 2014. <http://www.eea.europa.eu/publications/waste-prevention-in-europe-2014>, EEA 09 2014 Waste prevention.pdf
2. Пинаев В.Е., Чернышев Д.А. *Науковедение*. 2014, **4**, 1–12. <http://naukovedenie.ru/PDF/04EVN414.pdf>
3. Laufenberg G., Kunz B., Nystroem M. *Bioresour Technol.* 2003, **87**, 167–198.
4. Baiano A. *Molecules*. 2014, **19**, 14821–14842.
5. EU TOM(ato) project. http://cordis.europa.eu/project/rcn/61753_en.html, http://cordis.europa.eu/project/rcn/69033_en.html
6. *BIOACTIVE-NET*. Final Report. http://cordis.europa.eu/publication/rcn/11990_en.html
7. *LYCOCARD*. Annual Reports 2007–2010. http://www.lycocard.com/index.php/lyco_pub/download/
8. Friedman M. *J Agric Food Chem.* 2002, **50**(21), 5751–5780.
9. Nohara T., Ikeda T., Yukio Fujiwara Y. *J Nat Medicine*. 2007, **61**(1) 1–13.
10. Cheok Ch.Y., Salman H.A.K., Sulaiman R. *Food Res Int.* 2014, **59**, 16–40.
11. Sparg S.G., Light M.E., van Staden J. *J Ethnopharmacol.* 2004, **94**(2–3), 219–243.
12. Кинтя П.К., Лазурьевский Г.В. *Стероидные гликозиды ряда спиростана*. Кишинев: Штиинца, 1979. 146 с.
13. Кинтя П.К., Лазурьевский Г.В., Балашова Н.Н., Балашова И.Т., и др. *Строение и биологическая активность стероидных гликозидов ряда спиростана и фуростана*. Кишинев: Штиинца, 1987. 142 с.
14. Kintia P.K. *Saponins Used in Traditional and Modern Medicine*, G.R. Waller, K. Yamasaki (eds.), New York: Springer, Plenum Press, 1996, 309–334.

15. Friedman M. *J Agric Food Chem.* 2015, **63**(13), 3323–3337.
16. Васильева И.С., Пасешниченко В.А. *Успехи биологической химии*, 2000, **40**, 153–204.
17. Ботнаръ В.Ф., Боровская А.Д., Веверица Е.К. Эффективность природных биорегуляторов роста при возделывании пшеницы озимой. *Buletinul AŞM. Ştiinţele vieţii*. 2014, (3), 60–67.
18. Spinu K., Vorozhbit V., Grushko T., Kintia P., et al. *Saponins Used in Traditional and Modern Medicine*, G.R. Waller, K. Yamasaki (eds.), New York: Springer, Plenum Press, 1996, pp. 505–510.
19. Nohara T., Iwakawa E., Matsushita S., Fujiwara Y., et al. *Chem Pharm Bull*, 2008, 1013–1014.
20. Hanson J.R. *Nat Prod. Rep.* 2010, **27**, 887–899.
21. Roselló-Soto E., Galanakis C.M., Brnčić M., Orlien V., et al. *Trends Food Sci Technol.* 2015, **42**(2), 134–149.
22. Abid M., Jabbar S., Wu T., Hashim M.M., et al. *Ultrason Sonochem.* 2014, **21**(1), 93–97.
23. Bhat R., Kamaruddin N.S.B.Ch., Min-Tze L., Karim A.A. *Ultrason Sonochem.* 2011, **18**(6), 1295–1300.
24. Rawson A., Tiwari B.K., Patras A., Brunton N., et al. *Food Res Int.* 2011, **44**(5), 1168–1173.
25. Deng Q., Zinoviadou K.G., Galanakis C.M., Orlien V., et al. *Food Eng Rev.* 2015, **7**(3), 357–381.
26. Vilku K., Mawson R., Simons L., Bates D. *Innov Food Sci Emerging Technol.* 2008, **9**(2), 161–169.
27. He Y. *Chem Papers.* 2014, **68**(8), 995–1007.
28. Galanakis C.M. *Trends Food Sci Technol.* 2012, **26**(2), 68–87.
29. Shirsath S.R., Sonawane S.H., Gogate P.R. *Chem Eng Processes: Process Intensif.* 2012, **53**, 10–23.
30. Yue L., Zhang F., Wang Z. *Separ Sci Technol.* 2012, **47**(1), 124–130.
31. Hamida T. *Transp Porous Media.* 2007, **70**(2), 231–255.
32. Kaddur K., Tranquart F., Midoux P., Pichon C., et al. *Proceedings IEEE Ultrasonics Symp.* NY: IEEE, 2007, 656–659.
33. Virost M., Tomao V., Le Bourvellec C., Renard C.M.C.G., et al. *Ultrason Sonochem.* 2010, **17**(6), 1066–1074.
34. Pingret D., Fabiano-Tixier A.-S., Bourvellec C.L., Renard C.M.G.C., et al. *J Food Eng.* 2012, **111**(1), 73–81.
35. Galvan D'Alessandro L., Kriaa K., Nikov I., Dimitrov K. *Separ Purif Technol.* 2012, **93**, 42–47.
36. Galvan D'Alessandro L., Dimitrov K., Vauchel P., Nikov I. *Chem Eng Res Design.* 2014, **92**(10), 1818–1826.
37. Phung L.H., Tran T.K., Nguyen T.C., Do H.Q., et al. *ASEAN J Chem Eng.* 2012, **12**(2), 52–60.
38. Galanakis C.M., Markouli E., Gekas V. *Separ Purif Technol.* 2013, **107**, 245–251.
39. Cho Y.-J., Hong J.-Y., Chun H.S., Lee S.K., et al. *J Food Eng.* 2006, **77**(3), 725–730.
40. Corrales M., Toepfl S., Butz P., Knorr D., et al. *Innov Food Sci Emerging Technol.* 2008, **9**(1), 85–91.
41. Shotipruk A., Kaufman P.B., Wang H.Y. *Biotechnol progr.* 2001, **17**, 924–928.
42. Asfaw N., Licence P., Novitskii A.A., Poliakoff M. *Green Chem.* 2005, **7**, 352–356.
43. Da Porto C., Decorti D., Kikic I. *Food Chem.* 2009, **112**, 1072–1076.
44. Kimbaris A.C., Siatis N.G., Daferera D.J., Tarantilis P.A., et al. *Ultrason Sonochem.* 2006, **13**, 54–59.
45. Alissandrakis E., Daferera D., Tarantilis P.A., Polissiou M., et al. *Food Chem.* 2003, **82**, 575–579.
46. Chemat S., Lagha A., AitAmar H., Bartels P., et al. *Flavour Fragr J.* 2004, **19**, 188–193.
47. Kanakis C D., Daferera D.J., Tarantilis P., Polissiou M. *J Agric Food Chem.* 2004, **52**, 4515–4520.
48. Dumitras P., Bologa M., Cuciu T., Shemyakova T. *Proceedings Int. Conf. "Modern Technologies in the Food Industry–2012"*. v. I, Chisinau, 2012. 60–65.
49. Dumitras P.G., Sawhney A.P.S., Bologa M.K. *Surf Eng Appl Electrochem.* 2005, **41**(1), 83–89.
50. *Физика и техника мощного ультразвука*. Ч. II. М.: Наука, 1988. 265 с.
51. Абрамов О.В., Теумин И.И. *Труды III конференции по применению ультразвука в производстве сплавов и термической обработки*. Вып 3. М.: Металлургия, 1962, с. 14–21.
52. Ланин В.Л., Дежкунов Н.В., Томаль В.С. *Технология и конструирование*. 2008, (2), 51–55.

Поступила 27.04.15
После доработки 12.02.16

Summary

The efficiency of an ultrasonic cavitation action on the extraction process of biologically active substances from tomato seeds is evaluated. Application of the ultrasonic cavitation allows one to perform the extraction at lower temperatures of approximately 30–40°C without chemical reagents. The proposed method ensures a substantial reduction of the extraction duration and lowers the process temperature.

Keywords: ultrasonic cavitation, extraction, biologically active substances, tomato seeds.