

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСТРАКЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Н.В. Попова, И.Ю. Потороко

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Постоянно возрастающие потребности общества в биологически активных веществах, в том числе антиоксидантного характера, обуславливают поиск не только перспективных источников их получения, но и методов экстракции. Высокая вариабельность биологически активных соединений требует развития подходящих стандартных подходов для их извлечения. Подбор метода и параметров ведения процесса экстракции БАВ определяет в дальнейшем свойства экстрагированного вещества и его эффективность воздействия. Нами в качестве механизма активизации процесса экстрагирования предложено ультразвуковое воздействие, характеризующееся наличием упругих колебаний и волн частотой выше 15–20 кГц. В качестве источников природных адаптогенов были выбраны: крапива двудомная (*Urtica folia L.*) и овес районированный, сорт «Белозерный». В основу эксперимента заложены следующие факторы экстракции: экстрагенты БАВ (вода и водно-спиртовой раствор, концентрация спирта 70 %); обработка УЗ разной мощности (120 Вт и 240 Вт) экстрагента в течение 5 минут; метод экстрагирования (настаивание и дистилляция). Результаты исследований показали, что наибольшей антиоксидантной активностью по отношению к контролю обладают образец экстракта *Urtica folia L.*, полученный при использовании ультразвукового воздействия мощностью 120 Вт. УЗ воздействие мощностью 120 Вт в течение 5 минут весьма эффективно для сохранения антиоксидантов (АОА $2,4043 \pm 0,084$ мг/мл при контроле $2,0773 \pm 0,06$ мг/мл). Ультразвуковой воздействие на зерно в воде мощностью 120 Вт в течение 5 минут активизирует выделение из овса экстрактивных веществ и повышает антиоксидантную активность экстракта. Таким образом, установлено, что ультразвуковая обработка улучшает кинетику экстрагирования и выход биологически активных веществ из субстрата.

Ключевые слова: биологически активные вещества, экстракция, крапива двудомная, овес, антиоксидантная активность, экстрактивные вещества.

Постоянно возрастающие потребности общества в биологически активных веществах, в том числе антиоксидантного характера, обуславливают поиск не только перспективных источников их получения, но и методов экстракции.

Чрезвычайная ситуация с диетическими соединениями с преимуществами для здоровья – это прекрасная возможность улучшить общественное здравоохранение [11]. Несмотря на динамичное развитие нутрицевтики, физиологические функции биологически активных веществ еще не полностью раскрыты. Однако их добавление в пищевые матрицы признано в качестве фактора сохранения высокого потенциала для снижения риска заболеваний.

Все большее число современных медиков признает необходимость изменения стратегии лечения болезней, причем основной выход видит в развитии профилактического направления в медицине, о котором в последние го-

ды почти полностью забыли. При этом под профилактикой следует понимать не только предупреждение возникновения заболеваний, но и их осложнений, а также защиту организма при современном агрессивном специфическом и хирургическом лечении, реабилитацию больных.

Эффективность продуктов нутрицевтики в профилактике заболеваний зависит от сохранения стабильности, биоактивности и биодоступности активных ингредиентов [14].

Всемирная организация здравоохранения Организация (ВОЗ) прогнозирует, что 80 % населения мира зависит от традиционной медицины как первичной медико-санитарной помощи, в основном с использованием растительных экстрактов и их биологически активных соединений (Azmir и др., 2013).

Адаптогенами называют целую группу препаратов в фармакологии, действие которых направлено на повышение сопротивляемости организма воздействию вредных фак-

торов физического, химического или биологического характера. Действующие вещества данных средств не предполагают непосредственное укрепление иммунитета в ходе приема лекарства, однако положительно воздействуют на жизнь клетки, улучшая работоспособность систем и повышая износостойкость организма в целом. Данное действие основывается на возможности тканей и органов дольше и положительнее переносить стрессовые реакции для адаптации организма [16–18].

Вид адаптогена определяется в зависимости от положения в его структуре основного действующего вещества, ее особенности, в свою очередь, определяют влияние на организм:

- *адаптогены растительного происхождения* (природные источники – женьшень, радиола розовая, лимонник, аралия, элеутерококк, имбирь и облепиха);

- *адаптогены животного происхождения* (экстракты, вытяжки, порошки, бальзамы и мази с костными тканями рогов марала, пятнистого оленя или кровью и секретами желез данных животных. В фармакологические формы также входят продукты пчеловодства, порошки из раковин морских обита-

телей, вытяжки из свежих улиток, червей, пиявок и тому подобные компоненты);

- *адаптогены из гуминовых веществ* (данные адаптогены входят в органический состав почвенных, водных экосистем и твердых горючих ископаемых);

- *минеральные адаптогены* (мумие);

- *адаптогены синтетического происхождения* (вещество оксиэтиламония метилфеноксиацетат или препарат «Трекрезан», структура молекул которого схожа с некоторыми молекулами человеческого организма и некоторых растений).

Высокая вариабельность биологически активных соединений требует развития подходящих стандартных подходов для их извлечения. Фактически, качество дальнейших этапов разделения, идентификации и характеристики биоактивных соединений сильно зависит от пригодности выбранного процесса экстракции. Все имеющиеся методы направлены на извлечение наиболее ценных соединений, преобразование биоактивных соединений в более подходящие формы [1, 4, 9, 12].

Все существующие способы экстрагирования классифицируют на: статические и динамические (рис. 1). В процессе их производ-



Рис. 1. Методы экстракции

ства используются специальные растворители (глицерин, эфир, вода или спирт).

Полученные таким образом растительные экстракты делят на:

- подвижные (жидкие);
- густые (содержание влаги в составе экстракта не превышает 25 %);
- сухие/сыпучие (содержание влаги не превышает 5 %).

Экстрагент подбирают в зависимости от того, к какому компоненту (спирту, воде и т. д.) чувствительно исходное сырье. Экстракты, получаемые промышленным способом, подлежат обязательной стандартизации, которая определяет минимально необходимое содержание тех или иных компонентов в составе конечного вещества.

Некоторые из наиболее применяемых методов включают:

1. Извлечение методом Сокслета, обычно с гексаном, петролейным эфиром, этилацетатом или метанолом; эта методика позволяет выполнять несколько циклов экстракции с «обновленным» растворителем, но процесс слишком длинный, и растворители являются дорогостоящими. Этот метод обычно используется для извлечения липофильных компонентов, используя гексан или петролейный эфир в качестве растворителей. Однако он также может быть использован для полярных соединений, как в случае конкретных фенольных соединений, которые эффективно экстрагируются метанолом [10].

2. Ультразвуковая экстракция (УЗЭ), основанная на использовании ультразвуковых вибраций к извлеченному образцу. Несмотря на то, что сильно зависит от типа растворителя, размера образца, pH экстракции, температуры и давления, это быстрый и простой метод, позволяет одновременно извлекать несколько партий; часто совмещается с метанолом, ацетоном, водой и этилацетатом. Эта технология успешно применяется для извлечения различных биологически активных соединений, такие как каротиноиды, полисахариды, белки, фенольные соединения, ароматические соединения или стеролы [20].

3. Флюидная экстракция, обычно выполняемая с двуокисью углерода под высоким давлением. Осуществляется при низких температурах, требует небольших объемов растворителей, времени осуществления экстракции, обладает высокой селективностью. На эффективность этого метода влияют такие

параметры, как давление, температура, время осуществления и растворимость [10].

4. Ускоренная экстракция растворителем – производится с помощью одинаковых растворителей, но с использованием более высокого давления и повышенных температур. Имеет дополнительные преимущества по увеличению объема получаемых экстрактов, ускорению процесса экстракции, автоматизации процесса и повышению его кинетики. Используется для извлечения фенольных соединений и каротиноидов [10, 14, 19].

5. Извлечение встряхиванием. В этом типе экстракции используются вибрационные устройства, что повышает эффективность экстракции и сокращает ее время. Основным преимуществом этого метода является увеличение поверхности взаимодействия растворителя с растительным материалом. Высокое разнообразие встряхивающих устройств или доступные растворители делают его пригодным для экстракции большого количества компонентов [10].

Таким образом, подбор метода и параметров ведения процесса экстракции БАВ определяет в дальнейшем свойства экстрагированного вещества и его эффективность воздействия.

Нами в качестве механизма активизации процесса экстрагирования предложено ультразвуковое воздействие, характеризующееся наличием упругих колебаний и волн частотой выше 15–20 кГц. В результате действия ультразвука в жидкой среде возникает кавитация – массы пульсирующих пузырьков, заполненных паром, газом или их смесью.

Движение пузырьков в различных направлениях, их схлопывание, слияние друг с другом и т. д. порождают в жидкости импульсы сжатия (микроударные волны) и микропотоки, что способствует локальному нагреванию среды, возникновению ионизации. В результате указанных эффектов происходит разрушение находящихся в жидкости твердых тел (кавитационная эрозия), жидкость перемешивается, инициируются или ускоряются различные физические и химические процессы.

Степень и глубина кавитационных процессов определяются условиями ультразвукового воздействия, которое способствует образованию в жидкости участков с высоким и низким давлением, которые, в свою очередь, обуславливают формирование в среде зон высоких сжатий и зон разрежений.

Материалы и методы

В качестве источников природных адаптогенов было выбрано следующее растительное сырье:

– крапива двудомная (*Urtica folia L.*), содержит некоторые одно- и двухосновные карбоновые кислоты (муравьиную, масляную, щавелевую, янтарную, фумаровую), некоторые оксикислоты (молочную, лимонную, хинную, галловую). В траве присутствует аминокислоты, азотсодержащие соединения, эфирное масло в том числе метилгептенон, ацетофенон; стероиды – ситостерин; витамины: В1, В2, С, Е, К, РР, каротин; дубильные вещества, флавоноиды; кумарины, а также порфирины – протопорфирин, копропорфирин I; тритерпеновые вещества и лигнаны, макро- и микроэлементы, находящиеся в связанном состоянии, белки, клетчатку и пектиновые вещества. Существуют данные, что из надземной части крапивы двудомной выделили кофейную кислоту, рутин, кверцетин, гиперин, изокверцетин [10]. В листьях содержится большое количество различных водо- и жирорастворимых витаминов (В1, В2, пантотеновая кислота, аскорбиновая кислота – 200 мг %), биологически активных соединений (β -каротин – 50 мг %, хлорофилл, кумарины, флавонолы, алкалоиды – 0,19–0,29 % и др.), камедей, органических кислот, макро- и микроэлементов. В порошке сахаров – 5,3 %, жиров 3,3 %, крахмала – до 10 %, белков – 17–20 %. В состав белков входят незаменимые аминокислоты лизин, треонин, валин, лейцин, триптофан [2, 3, 5–7].

– овес районированный, сорт «Белозерный». Выведен Сибирским НИИ растениеводства и селекции и Уральским НИИ сельского хозяйства. Разновидность var. mutica. Белозерный, безостый, в отдельные годы наблюдается слабая остистость. Зерно промежуточного типа между толстоплодным и среднеплодным, средней крупности, масса 1000 зерен 32–35 г, пленчатость от низкой до средней – 23–28 %. Содержание белка в крупе 14–16 %

Овес богат витаминами А, В и Е, различными минеральными веществами, жирами, крахмалом. Овес содержит большое количество бета-глюкана, который является типом растворимой клетчатки. Бета-глюкан частично растворяется в воде и образует густой гелеобразный раствор в кишечнике, он снижает уровень ЛПНП и общего холестерина, уровень сахара в крови и инсулиновый отклик,

повышает чувство наполненности в желудке, увеличивает рост полезных бактерий в пищеварительном тракте. Многие исследования показали, что бета-глюкан в овсе эффективно способствует снижению как общего уровня холестерина, так и уровня «вредного» холестерина ЛПНП, антиоксиданты в овсе работают вместе с витамином С для предотвращения окисления ЛПНП [8, 15, 21].

Наиболее примечательной является уникальная группа антиоксидантов под названием авентрамыды, которые почти исключительно встречаются у овса. Авентрамыды могут помочь снизить уровень артериального давления за счет увеличения производства оксида азота. Молекулы газа оксида азота помогают расширять кровеносные сосуды, что приводит к лучшему кровообращению. Кроме того, авентрамыды обладают противовоспалительным и противозудным действием [13].

В основу эксперимента были заложены следующие факторы экстракции: экстрагенты БАВ (вода и водно-спиртовой раствор, концентрация спирта 70 %); обработка УЗ разной мощности (120 Вт – 30 % от паспортного значения; 240 Вт – 60 % от паспортного значения) экстрагента в течение 5 минут; метод экстрагирования (настаивание и дистилляция).

Условия экстрагирования овса:

- а) водное;
- б) с добавлением спирта (20, 50 и 70 %);
- в) обработка ультразвуком мощностью 120 и 240 Вт в течение 1, 3 и 5 минут на разных этапах (предварительно воды либо совместно смеси зерна и воды).

Для обработки исследуемых объектов ультразвуковым воздействием применялся ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна-М» (модель УЗТА-04/22-ОМ), обладающий следующими характеристиками:

- частота механических колебаний – $(22 \pm 1,65)$ кГц;
- мощность – 400 ВА;
- интенсивность ультразвукового воздействия – не менее 10 Вт/см²;
- диаметр излучающей поверхности – 25 мм.

Ультразвуковая колебательная система построена на пьезоэлектрических кольцевых элементах и изготовлена из титанового сплава ВТ5. Используемые инженерные решения защищены патентом РФ № 2141386.

Технологические процессы и оборудование

Результаты и их обсуждение

Нами в первую очередь устанавливалось влияние метода экстракции на содержание экстрактивных веществ и антиоксидантную активность получаемых экстрактов. Данные по указанным параметрам по крапиве приведены в табл. 1.

Результаты оценки показали, что наибольшей АОА по отношению к контролю обладают образец экстракта *Urtica folia* L. (2,4043 мг/мл), полученный при использовании ультразвукового воздействия мощностью 120 Вт, и образец на основе водно-спиртового экстрагента без УЗВ (2,5209 мг/мл).

УЗВ воздействие мощностью 120 Вт в течение 5 минут весьма эффективно для сохранения антиоксидантов (АОА $2,4043 \pm 0,084$ мг/мл при контроле $2,0773 \pm 0,06$ мг/мл).

Повышение мощности до 240 Вт дает значительное повышение по показателю накопление экстрактивных веществ – $(67,29 \pm 1,2)$ % при значении этого показателя в контроле $(66,66 \pm 0,9)$ %.

Результаты оценки доли экстрактивных веществ и ОАО в экстрактах из овса приведены в табл. 2.

Визуально результаты можно отразить в виде диаграммы (рис. 2).

Различные условия экстрагирования овса определяют разницу в экстрактивности и антиоксидантной активности экстрактов. Ультразвуковое воздействие на зерно в воде мощностью 120 Вт в течение 5 минут наиболее сильно активизирует выделение из овса экстрактивных веществ, по сравнению с контролем их массовая доля увеличилась в экстракте на 43,7 %, предварительная обработка только воды до внесения в нее зерна также активизирует процесс экстрагирования, но в меньшем объеме – на 15,5 %.

Также применяемые методы экстрагирования способствуют повышению антиоксидантной активности экстрактов, и спиртовых, и с ультразвуковым воздействием.

Согласно исследованиям А. Яшина, Я. Яшина с коллегами основными антиоксидантами цельных зерен являются оксиароматические кислоты – производные бензойной и коричной кислот. В зернах овса и других зерновых обнаружены гидроксibenзойные кислоты (галловая, салициловая, ванилиновая, сиреневая, протокатехиновая и п-гидроксibenзойная), гидроксикоричные кислоты (феруловая, кофейная, о-, м-, и п – кумаровые, коричная, синаповая) [8, 21]. Оксиароматические кислоты в зернах находятся как в

Таблица 1

Результаты оценки экстрактов крапивы

Показатель	Наименование образца				
	контроль	образец 1 (УЗ 5 мин/ 120 Вт)	образец 2 (УЗ 5 мин/ 240 Вт)	образец 3 (дистилляция)	образец 4 (спиртовой экстракт)
АОА, мг/мл	2,0773	2,4043	1,9748	1,9629	2,5209
Содержание экстрактивных веществ (ЭВ), %	66,66	60,90	67,29	69,09	32,38

Таблица 2

Результаты оценки экстрактов овса

Способ получения экстракта	Содержание экстрактивных веществ, %	АОА, мг/мл
Водный (контроль)	31,4480	0,69799
Водно-спиртовой 20 %	30,0546	0,685405
Водно-спиртовой 50 %	33,9890	1,478465
Водно-спиртовой 70 %	26,9672	1,643948
Обработка УЗ смеси (5 мин, 120 Вт)	75,1092	0,80018
Предварительная обработка воды (5 мин, 120 Вт)	46,9945	0,938377

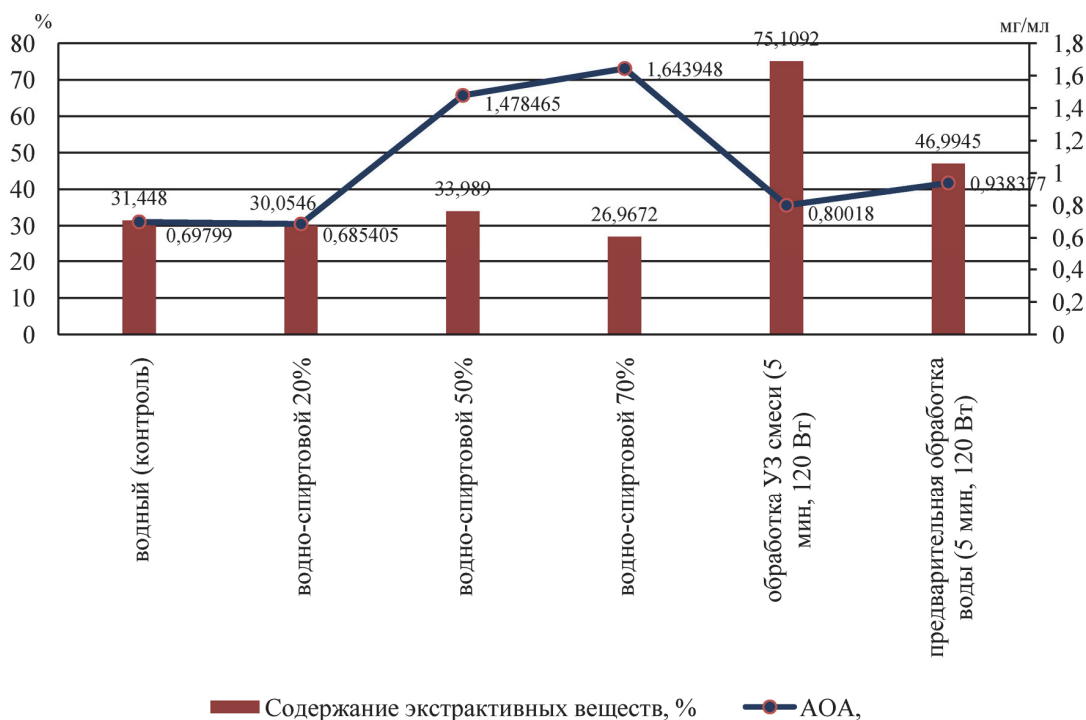


Рис. 2. Результаты определения экстрактивности и АОА экстрактов из овса

свободном, так и связанном состоянии. Свободные оксиароматические кислоты в основном находятся во внешней оболочке и легко экстрагируются органическими растворителями [8].

Наши исследования подтверждают повышение антиоксидантной активности спиртовых экстрактов в среднем на 111,8–135,5 %, ультразвук действует менее активно, повышение АОА экстрактов составило 14,6–34,4 %.

Таким образом, установлено, что ультразвуковая обработка улучшает кинетику экстрагирования и выход биологически активных веществ из субстрата. В технологии экстрагирования исключается этап настаивания, что обеспечивает снижение энергоёмкости процесса. Эти эффекты обусловлены имплозией пузырьков, генерируемых эффектами кавитации. Температура и давление, создаваемое при имплозии, разрушают оболочку клетки растительного сырья, и ее содержимое выбрасывается в среду экстрагента.

Применяемые нами методы экстрагирования дают положительные результаты и требуют дальнейших исследований в указанном направлении.

Литература

1. Марина Н.В., Новоселова Г.Н., Шавнин С.А. Продукты повышенной биологической ценности из нетрадиционного растительного сырья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 1(8). – С. 2079–2082.
2. Попов А.И., Шпанько Д.Н., Черкасова Е.А. Некоторые товароведческие показатели сырья крапивы двудомной и крапивы коноплевидной // Техника и технология пищевых производств. – 2009. – № 3. – С. 54–58.
3. Савенко А.В., Сорокопуд А.Ф., Гриценко В.В. Получение экстрактов листьев крапивы двудомной и березы повислой в вибрационном аппарате // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 38, № 3. – С. 102–109.
4. Синютин С.Е., Романцова С.В., Савельева В.Ю. Экстракция флавоноидов из растительного сырья и изучение их антиоксидантных свойств // Вестник ТГУ. – 2011. – Т. 2, № 1. – С. 345–347.
5. Тринеева О.В., Сливкин А.И. Исследование микроэлементного состава листьев крапивы двудомной // Научные ведомости Белгородского государственного универси-

мета. Серия Медицина. Фармация. – 2015. – № 22. – С. 169–174.

6. Тринева О.В., Сливкин А.И., Воропаева С.С. Определение органических кислот в листьях крапивы двудомной // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2013. – № 2. – С. 215–219.

7. Яцюк В.Я., Чалый Г.А., Сошникова О.В. Биологически активные вещества травы крапивы двудомной // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2006. – № 1. – С. 25–29.

8. Яшин А., Яшин Я., Федина П., Черноусова Н. Определение природных антиоксидантов в пищевых злаках и бобовых культурах // Аналитика. – 2012. Т. 2, № 1. – С. 32–36.

9. Adom K.K., Liu R.H. Antioxidant activity of grains // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2002. – V. 50. – P. 6182–6187. DOI: 10.1021/jf0205099

10. Arceusz Agnieszka, Wesolowski Marek and Konieczynski Pawel. Methods for Extraction and Determination of Phenolic Acids in Medicinal Plants // *Natural Product Communications*. – 2013. – V. 8 (12). – P. 1821–1830.

11. Chen Lingyun, Remondetto Gabriel E., Subirade Muriel. Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems // *Trends in Food Science & Technology*. – 2006. – V. 17, Issue 5. – P. 272–283. DOI: 10.1016/j.tifs.2005.12.011

12. Chester T.L., Pinkston J.D., Raynie D.E. Supercritical fluid chromatography and extraction // *Analytical Chemistry*. – 1996. – V. 68 (12). – P. 487–514. DOI: 10.1021/a1960017i

13. Dykes L., Rooney L.W. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits // *Cereal Foods World*. – 2007. – V. 32 (3). – P. 105–111.

14. Fang Z., Bhandari B. Encapsulation of

polyphenols // *Trends in Food Science & Technology*. – 2010. – V. 21 (10). – P. 510–523. DOI: 10.1016/j.tifs.2010.08.003

15. Jones J.M. Grain-based foods and health // *Cereals Food World*. – 2006. – V. 51. – P. 108.

16. Oliveira B. Vieira da Silva et al. Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies // *Trends in Food Science & Technology*. – 2016. – V. 50. – P. 144–158. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.12.007

17. Palacios I., Lozano M., Moro C., D'Arrigo M., Rostagno M. A., Martínez J.A., García-La fuente A., Guillamón E., & Villares A. Antioxidant properties of phenolic compounds occurring in edible mushrooms // *Food Chemistry*. – 2011. – V. 128(3). – P. 674–678. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.03.085

18. Peterson D.M. Oat antioxidants // *Journal of Cereal Science*. – 2001. – V. 33, Issue 2. – P. 115–129. DOI: 10.1006/jcrs.2000.0349

19. Saha S., Walia S., Kundu A., Sharma K., & Paul R.K. Optimal extraction and fingerprinting of carotenoids by accelerated solvent extraction and liquid chromatography with tandem mass spectrometry // *Food Chemistry*. – 2015. – V. 177. – P. 369–375. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.01.039

20. Vilkhuk K., Mawson R., Simons L., & Bates D. Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2008. – V. 9(2). – P. 161–169. DOI: 10.1016/j.ifset.2007.04.014

21. Yashin Ya.I., Nemzer B.V., Ryzhnev V.Yu., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. and Fedina P.A. Creation of a Databank for Content of antioxidants in food products by an amperometric method // *Molecules*. – 2010. – V. 15. – P. 7450–7466. DOI: 10.3390/molecules15107450

Попова Наталия Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), nvrporova@susu.ru

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina_potoroko@mail.ru

Поступила в редакцию 3 января 2018 г.

INCREASE OF EFFICIENCY OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCE EXTRACTION FROM VEGETABLE RAW MATERIAL BY ULTRASONIC TREATMENT

N.V. Popova, I.Yu. Potoroko

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Constantly increasing needs of the society in biologically active substances including of the antioxidant nature determine the search for not only the promising sources of their production but also for the extraction methods. High variability of biologically active compounds requires the development of suitable standard approaches for their extraction. Selection of the method and parameters of the BAS extraction process determines the properties of the extracted substance and its efficiency in future. As an activation mechanism for the extraction process we have chosen an ultrasonic treatment characterized by the presence of elastic vibrations and waves with a frequency higher than 15–20 kHz. Great nettle (*Urtica folia* L.) and zoned oats of cv. “Belozerniy” have been selected as sources of natural adaptogens. The experiment is based on the following extraction factors: BAS extraction agents (water and water-alcohol solution with 70 % of alcohol concentration), ultrasonic processing of an extraction agent with different power (120 W and 240 W) for 5 minutes, extraction method (infusion and distillation). The results of the analysis have shown that the sample of *Urtica folia* L. extract obtained by using 120 W ultrasonic processing possesses the greatest antioxidant activity in relation to the control. Ultrasonic processing of 120 W for 5 minutes is very effective for preserving antioxidants (AOA 2.4043 ± 0.084 mg/ml at a control of 2.0773 ± 0.06 mg/ml). The ultrasonic effect on the grain in water with a power of 120 W for 5 minutes activates the release of extractive substances from oat and increases the antioxidant activity of the extract. Thus, it has been found that ultrasonic treatment improves the kinetics of extraction and the release of biologically active substances from the substrate.

Keywords: biologically active substances, extraction, great nettle, oats, antioxidant activity, extractive substances.

References

1. Marina N.V., Novoselova G.N., Shavnin S.A. [Products of the increased biological value from non-traditional vegetative raw material]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2010, vol. 12, no. 1(8), pp. 2079–2082. (in Russ.)
2. Popov A.I., Shpan'ko D.N., Cherkasova E.A. [Some standardization indicators of raw materials *Urtica dioica* L. and *Urtica cannabina* L.]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2009, no. 3, pp. 54–58. (in Russ.)
3. Savenko A.V., Sorokopud A.F., Gritsenko V.V. [The production of nettle and birch leaves extracts in the vibration device]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2015, vol. 38, no. 3, pp. 102–109. (in Russ.)
4. Sinyutina S.E., Romantsova S.V., Savel'eva V.Yu. [Extraction of flavonoids from vegetable raw material and analysis of their antioxidant properties]. *Vestnik TGU* [Bulletin of TSU], 2011, vol. 2, no. 1, pp. 345–347. (in Russ.)
5. Trineeva O.V., Slivkin A.I. [Analysis of microelement composition of great nettle leaves]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Meditsina. Farmatsiya*, 2015, no. 22, pp. 169–174. (in Russ.)
6. Trineeva O.V., Slivkin A.I., Voropaeva S.S. [Definition of organic acids in leaves of *urticae dioicae*]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy], 2013, no. 2, pp. 215–219. (in Russ.)
7. Yatsyuk V.Ya., Chalyy G.A., Soshnikova O.V. [Biologically active substances of the herb of *urtica dioica*]. *Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik imeni akademika I.P. Pavlova* [I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald], 2006, no. 1, pp. 25–29. (in Russ.) DOI: 10.17816/PAVLOVJ2017130-41

8. Yashin A., Yashin Ya., Fedina P., Chernousova N. [Determination of Natural Antioxidants in Cereal Grains and Bean Cultures]. *Analitika* [Analytics], 2012, vol. 2, no. 1, pp. 32–36. (in Russ.)
9. Adom K.K., Liu R.H. Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 50, pp. 6182–6187. DOI: 10.1021/jf0205099
10. Arceusz Agnieszka, Wesolowski Marek and Konieczynski Pawel. Methods for Extraction and Determination of Phenolic Acids in Medicinal Plants. *Natural Product Communications*, 2013, vol. 8 (12), pp. 1821–1830.
11. Chen Lingyun, Remondetto Gabriel E., Subirade Muriel. Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. *Trends in Food Science & Technology*, 2006, vol. 17, iss. 5, pp. 272–283. DOI: 10.1016/j.tifs.2005.12.011
12. Chester T.L., Pinkston J.D., Raynie D.E. Supercritical fluid chromatography and extraction. *Analytical Chemistry*, 1996, vol. 68 (12), pp. 487–514. DOI: 10.1021/a1960017i
13. Dykes L., Rooney L.W. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits. *Cereal Foods World*, 2007, vol. 32 (3), pp. 105–111.
14. Fang Z., Bhandari B. Encapsulation of polyphenols. *Trends in Food Science & Technology*, 2010, vol. 21 (10), pp. 510–523. DOI: 10.1016/j.tifs.2010.08.003
15. Jones J.M. Grain-based foods and health. *Cereals Food World*, 2006, vol. 51, p. 108.
16. Oliveira B. Vieira da Silva et al. Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, vol. 50, pp. 144–158. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.12.007
17. Palacios, I., Lozano, M., Moro, C., D'Arrigo, M., Rostagno, M. A., Martínez, J. A., García-La fuente, A., Guillamón, E., & Villares, A. Antioxidant properties of phenolic compounds occurring in edible mushrooms. *Food Chemistry*, 2011, vol. 128(3), pp. 674–678. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.03.085
18. Peterson, D.M. Oat antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 2001, vol. 33, iss. 2, pp. 115–129. DOI: 10.1006/jcrs.2000.0349
19. Saha S., Walia S., Kundu A., Sharma K., & Paul R.K. Optimal extraction and fingerprinting of carotenoids by accelerated solvent extraction and liquid chromatography with tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*, 2015, vol. 177, pp. 369–375. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.01.039
20. Vilku K., Mawson R., Simons L., & Bates D. Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2008, vol. 9(2), pp. 161–169. DOI: 10.1016/j.ifset.2007.04.014
21. Yashin Ya.I., Nemzer B.V., Ryzhnev V.Yu., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. and Fedina P.A. Creation of a Databank for Content of antioxidants in food products by an amperometric method. *Molecules*, 2010, vol. 15, pp. 7450–7466. DOI: 10.3390/molecules15107450

Natalia V. Popova, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University (Chelyabinsk), nvpopova@susu.ru

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University (Chelyabinsk), irina_potoroko@mail.ru

Received January 3, 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Попова, Н.В. Повышение эффективности экстракции биологически активных веществ из растительного сырья методом ультразвукового воздействия / Н.В. Попова, И.Ю. Потороко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2018. – Т. 6, № 1. – С. 14–22. DOI: 10.14529/food180102

FOR CITATION

Popova N.V., Potoroko I.Yu. Increase of Efficiency of Biologically Active Substance Extraction from Vegetable Raw Material by Ultrasonic Treatment. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 14–22. (in Russ.) DOI: 10.14529/food180102
