

УДК 582.912.46:582.912.48: 543.42

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКСТРАКТОВ НЕКОТОРЫХ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ВЕРЕСКОВЫХ И ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

© *В.И. Матвеева¹, А.Г. Ручкина^{1*}, К.И. Кобраков¹, Л.К. Шпигун², Н.С. Шмакова³*

¹ *Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), ул. Малая Калужская, 1, Москва, 119071 (Россия), e-mail: oscd@mail.ru*

² *Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Ленинский проспект, 31, Москва, 119991 (Россия)*

³ *АО «Технопарк Слава», Научный проезд, 20/2, Москва, 117246 (Россия)*

Представлены новые данные по сравнительному изучению водно-спиртовых экстрактов из листьев растений семейства вересковых (голубика высокорослая, брусника, вереск). Экстракты растительного сырья получены тремя методами, два из которых – с использованием ультразвуковых излучателей (ультразвуковая ванна и ультразвуковой зонд погружного типа), третий способ – тепловой (традиционный) был выбран в качестве сравнения. Экстракты охарактеризованы такими параметрами, как суммарное содержание экстрактивных веществ, сумма фенольных соединений, флавоноидов, распределение частиц дисперсной фазы по размерам, определенное методом динамического рассеяния света, приведена количественная оценка интегральной антиоксидантной активности. Установлено, что ультразвуковое зондирование обладает более высокой активностью по извлечению фенольных соединений и флавоноидов из листьев брусники и травы вереска, при этом уровень их антиоксидантной активности уступает экстрактам, полученным традиционным методом выдержки растительного сырья при кипении экстрагента. Традиционный тепловой способ характеризуется наивысшими значениями суммы экстрактивных веществ для всех видов сырья и средними значениями по сумме фенольных соединений и флавоноидов. Для «ультразвуковых» экстрактов листьев брусники характерно значительное увеличение содержания частиц <1000 нм по сравнению с традиционным методом, однако для других видов сырья эта закономерность не выполняется. Для всех экстрактов травы вереска наблюдается высокая полидисперсность и наибольшая склонность к образованию осадка при хранении.

Ключевые слова: растительный экстракт, ультразвуковая экстракция, листья голубики высокорослой, распределение частиц по размерам, общая антиоксидантная активность.

Введение

Природные биологически активные вещества являются востребованными ингредиентами для пищевой, фармацевтической и косметической промышленности. Для их получения применяют как традиционные, так и современные интенсивные методы экстракции. Выбор конкретного метода часто происходит исходя из про-

Матвеева Валерия Игоревна – магистрант,
e-mail: oscd@mail.ru

Ручкина Анна Геннадьевна – кандидат химических наук,
доцент, доцент кафедры органической химии,
e-mail: oscd@mail.ru

Кобраков Константин Иванович – доктор химических наук,
профессор, заведующий кафедрой органической химии, e-mail: oscd@mail.ru

Шпигун Лилия Константиновна – доктор химических наук,
профессор, главный научный сотрудник,
e-mail: shpigun@igic.ras.ru

Шмакова Наталья Сергеевна – кандидат технических наук,
заместитель руководителя ТЦКП,
e-mail: shmakova@technopark-slava.ru

изводственных условий, а не в результате выбора оптимального метода. Применение интенсивных технологий позволяет получить серьезные технологические преимущества: сократить время экстракции, увеличить выход экстрагируемых компонентов, снизить расход растворителя, а также, как отмечено в ряде работ, при этом сохраняется высокий уровень антиоксидантных свойств экстрактов [1–5]. В то же время обнаружено, что условия ультразвуковой экстракции способствуют образованию сво-

* Автор, с которым следует вести переписку.

бодных радикалов внутри кавитационных пузырьков, что вызывает нежелательные изменения или разрушение извлеченных соединений [6] и создает дополнительные риски потери антиоксидантных свойств растительных БАВ. Двадцатиминутная ультразвуковая экстракция из корки мандарина приводит к значительным (до 50%) потерям фенолокислот (гидроксикоричные и п-гидроксibenзойная) [7]. Описана деструкция фенолокислот с катехольным фрагментом при длительной экстракции под воздействием ультразвука и других внешних факторов (свет, нагревание, контакт с окислителями и пр.) [8, 9]. С кофейной кислотой в условиях ультразвуковой экстракции происходит декарбоксилирование и олигомеризация, при этом показано, что характер процесса не зависит ни от мощности источника, ни от температуры, ни от растворителя [10]. Нередко при сравнении методов более эффективным оказывалась традиционная экстракция [11, 12].

Тем не менее ультразвуковая экстракция – метод достаточно дешевый и требующий минимального аппаратного оформления – используется все чаще [3–7]. При воздействии на процесс экстракции ультразвуком в жидкой среде возникает знакопеременное звуковое давление, способствующее проникновению жидкости в трещины и капилляры измельченного сырья. Интенсификация процесса экстракции, а равно и коэффициент диффузии зависят от значений амплитуды и частоты вынужденных колебаний жидкости [1]. Однако до сих пор не удается установить единые закономерности формирования свойств систем с жидкой фазой в зависимости от режимов и условий ультразвукового воздействия.

В связи с изложенным работы по изучению экстрактов растений, полученных с использованием принципиально различных способов, остаются актуальными до настоящего времени. Особенно это касается перспективного, но малоизученного сырья.

Голубика высокорослая как ягодная культура для плантационного выращивания в последние десятилетия получила широкое распространение по всему миру. Кроме ягод внимание исследователей привлекает возможность использования и листьев этого высокорослого кустарника, отличающихся высоким содержанием фенольных соединений с доказанной эффективностью [13]. Однако в России эта тема пока не получила должного развития. Польза ягод растений семейства вересковых – голубики, черники, брусники, клюквы – широко пропагандируется, в то время как их листья практически не используются.

Цель представленной работы – оценить возможности ультразвукового и традиционного методов экстракции на основании количественного определения содержания суммы экстрактивных веществ, фенольных соединений, флавоноидов в экстрактах листьев голубики высокорослой в сравнении с экстрактами родственных растений: листьев брусники и травы вереска, а также сопоставить их антиоксидантную активность и распределение по размерам частиц внутренней фазы экстрактов. Полученные данные могут быть востребованы для разработки методов получения средств лечебного, профилактического и косметического применения.

Экспериментальная часть

Объекты исследования. Серийные образцы листьев брусники («ФармаЦвет» серия 10219), травы вереска (ТУ 9185-0137771770-2012, ООО «Русские корни» 2018). Листья голубики высокорослой сорта Нортленд, собранные вручную в октябре-ноябре 2018 г. с молодых кустов, растущих в кислом торфе на приусадебном участке г. Кропоткин Краснодарского края.

Растительное сырье измельчали вручную до размеров частиц 3–5 мм. Насыпная плотность сырья без уплотнения: листья брусники – 0.32 ± 0.011 г/см³; трава вереска – 0.22 ± 0.008 г/см³; листья голубики – 0.17 ± 0.006 г/см³. Содержание влаги в сырье: листья брусники – $7.6 \pm 0.5\%$, трава вереска – $6.6 \pm 0.5\%$; листья голубики – $7.9 \pm 0.5\%$.

Способы получения жидких экстрактов. Экстракты готовили при соотношении сырье : экстрагент 1 : 10. В качестве экстрагента для извлечения фенольной группы соединений использовали 50% этанол [14]. В работе использованы три способа экстракции: 1-й способ (ТЭ) – выдерживание смеси сырья и экстрагента в стеклянной колбе с обратным холодильником при кипении (экстракция в кипящем экстрагенте); 2-й способ (УЗЭ-1) – выдерживание смеси сырья с экстрагентом в стеклянном стакане с помещенным в него ультразвуковым зондом УЗТА-0.2/22-ОМ «Волна» (22 кГц); 3-ий способ (УЗЭ-2) – выдерживание смеси в стеклянной колбе с обратным холодильником, помещенной в ультразвуковую ванну «Сапфир» (1.3 л /24; 35 кГц). Продолжительность экстракции во всех случаях составляла 30 мин, так как это наиболее распространенный режим для ультразвуковой экстракции [15]. Полученные экстракты фильтровали через вату от сырья, затем через фильтровальную бумагу (белая лента). При использовании ультразвуковых приборов в течение времени выдержки наблюдался самопроизвольный разогрев смеси до 35–37 °С.

Аппаратура и методики исследования. Содержание экстрактивных веществ в абсолютно сухом сырье определяли по методике ОФС.1.5.3.006.15 [16]. Для количественного определения фенольных соединений и флавоноидов использовали фотометр фотоэлектрический КФК-3 (ЗОМЗ, Россия). Содержание суммы фенольных соединений определяли с использованием 0.2 н реактива Фолина-Чокальтеу и калибровкой по галловой кислоте [15], определение суммарного содержания флавоноидов проводили с помощью раствора алюминия хлорида с калибровкой по кверцетину [17].

Стабильность экстрактов определяли косвенно по функции распределения частиц дисперсной фазы по размерам при помощи метода динамического рассеяния света на спектрометре Photocog Mini (ООО «Фотокор», Россия), а также по визуальным изменениям при хранении в течение 60 суток.

Количественную оценку интегральной антиоксидантной активности жидких экстрактов проводили с использованием метода проточно-инжекционного анализа со спектрофотометрическим детектированием антиоксидантов по жидкофазной реакции со стабильным хромофорным триарилгидразильным радикалом – 2,2'-дифенил-1-пикрил-гидразилом (ДФПГ•, 90%, Sigma-Aldrich Chem. Comp.) [18]. В качестве количественной характеристики антиоксидантных свойств экстракта использовали общепринятый показатель RS – степень радикального захвата (в %): $RS = (A_0 - A_x) / A_0 \times 100$, где A_0 и A_x – величина светопоглощения раствора радикала до и после добавления образца (экстракта) при 520 нм соответственно.

Эффективность методов экстракции оценивали по относительным параметрам: содержание экстрактивных веществ, содержание суммы фенольных соединений, содержание флавоноидов. За эталонный показатель приняты соответствующие значения, полученные для экстрактов, приготовленных по методу 2-часовой однократной экстракции в кипящем экстрагенте. Определено экстрактивных веществ: листья брусники – $36.0 \pm 1.5\%$; трава вереска – $24.0 \pm 1.2\%$; листья голубики – $34.0 \pm 1.5\%$. Для этих же извлечений определено содержание фенольных соединений и флавоноидов (мг/г): листья брусники – 34.13 ± 1.5 и 27.81 ± 1.3 ; трава вереска – 17.02 ± 0.8 и 13.70 ± 0.6 ; листья голубики – 48.73 ± 2.2 и 16.72 ± 0.8 соответственно.

Электронные спектры поглощения (ЭСП) экстрактов регистрировали на спектрофотометре UV-VIS SPECORD M40 (Carl Zeiss Jena, Германия).

Определения проводили не менее трех раз для каждого образца.

Результаты и обсуждения

На сегодняшний день одним из ключевых аспектов проблемы приготовления жидких экстрактов с полезными свойствами является выбор способа и оптимальных экспериментальных условий их получения с точки зрения извлечения биологически активных веществ, в том числе обладающих антиоксидантными свойствами. Имеющиеся в литературе сведения об эффективности различных способов получения растительных экстрактов неоднозначны и противоречивы [1–5, 10–12]. Такие противоречия объясняются главным образом тем, что экстрагирование из растительного материала, имеющего клеточную структуру, представляет собой сложный физико-химический процесс, на который влияет целый ряд факторов (температура, вязкость, размер экстрагируемых частиц и др.). При этом извлечение фенольных соединений, в том числе флавоноидов, представляет особую трудность, так как они находятся в центральных вакуолях замыкающих клеток и клеток эпидермиса, а также в суб-эпидермальных клетках листьев и побегов. Обнаружено, что большинство из них ковалентно связано со стенкой растительной клетки [19].

Известно и многократно доказано, что воздействие ультразвуковыми колебаниями на системы с жидкой фазой реализует кавитационные эффекты, которые способны изменять ее структуру и свойства, в том числе фракционный состав частиц дисперсной фазы (разрушение или коагуляция дисперсных частиц).

Все приготовленные экстракты представляли собой темноокрашенные прозрачные микрогетерогенные коллоидные системы с преобладающим размером частиц дисперсной фазы до 10 мкм (табл.).

Из данных, представленных в таблице, можно сделать вывод, что для экстрактов из наиболее плотных листьев брусники, характерно кавитационное диспергирование частиц экстрактивных веществ с помощью обоих используемых способов ультразвукового воздействия. Что касается экстрактов из травы вереска, то здесь наименьшие по размеру частицы получены при использовании УЗ-зонда (УЗЭ-1). Для экстрактов из легких листьев голубики заметного влияния ультразвука на размеры экстрагированных частиц не обнаружено.

Экстракты листьев брусники и голубики сохраняют прозрачность при хранении в комнатных условиях в течение 60 суток. Экстракты травы вереска, полученные всеми методами, образуют заметный осадок, что может быть связано с их неоднородностью и преимущественным содержанием более крупных частиц (табл.).

Результаты измерения дисперсных параметров полученных жидких экстрактов (распределение экстрактивных частиц по размерам)

| Метод экстракции | Количество зарегистрированных частиц, % | | |
|------------------|---|---------------|----------------|
| | <1000 нм | 1000–10000 нм | 10000–30000 нм |
| Листья брусники | | | |
| ТЭ | 0.5±0.04 | 91.5±8.5 | – |
| УЗЭ-1 | 32±3.4 | 68±5.8 | – |
| УЗЭ-2 | 30±2.8 | 70±6.0 | – |
| Трава вереска | | | |
| ТЭ | – | 36±2.5 | 64±6.4 |
| УЗЭ-1 | 28±2.0 | 36±3.6 | 36±2.3 |
| УЗЭ-2 | 12±1.9 | 25±2.4 | 63±2.0 |
| Листья голубики | | | |
| ТЭ | 1±0.08 | 95.5± 4.5 | – |
| УЗЭ-1 | 0.5±0.04 | 95.5±4.5 | – |
| УЗЭ-2 | 1.5±0.14 | 93.5±5.0 | – |

Листья растений семейства вересковых – это ценное лекарственное сырье, обладающее многочисленными лечебно-профилактическими свойствами. Согласно литературным данным, в них содержится до 20–23% биологически активных веществ, включая фенольные антиоксиданты – флавоноиды, арбутин, фенолкарбоновые и оксикоричные кислоты и кумарины [13, 20, 21]. При этом исследуемые объекты различаются по составу. Полученные нами электронные спектры поглощения всех изученных экстрактов в диапазоне длин волн 190 – 400 нм имели близкий профиль полос поглощения, но разной интенсивности в зависимости от вида сырья и способа экстрагирования. На ЭСП наблюдаются характерные для фенольных соединений в УФ-области полосы поглощения, свидетельствующие о достаточно высокой степени извлечения этих веществ с помощью выбранных способов экстракции. Наблюдаются характерные для флавоноидов максимумы в области 270–290 нм и 330–350 нм, а также полосу поглощения с λ_{\max} 200–220 нм, которую обычно связывают с простыми фенолами, например арбутином, содержание которого в листьях брусники и родственных ей растений довольно высокое [22].

Установлено, что степень интенсивности полос поглощения также зависит от вида растительного сырья и уменьшается в ряду голубика > брусника > вереск. Для экстрактов листьев голубики, приготовленных по различным методикам, интенсивность полос поглощения уменьшается в ряду ТЭ>УЗЭ-1>УЗЭ-2. Для экстрактов листьев брусники порядок отличается: УЗЭ-1>ТЭ>УЗЭ-2 (рис. 1). Для экстрактов травы вереска интенсивность полос поглощения практически одинакова для всех способов экстракции.

Количественное определение содержания экстрактивных веществ в растительных экстрактах является сложнейшей экспериментальной задачей из-за многообразия их химической структуры. Поэтому для объективной оценки эффективности выбранных способов получения экстрактов нами были использованы интегральные количественные показатели, а именно: общее содержание экстрактивных веществ, суммарное содержание фенольных соединений и флавоноидов, которые были рассчитаны относительно данных, характеризующих соответствующие экстракты, полученные по стандартной методике ОФС.1.5.3.006.15. Как видно из рисунков 2–4, по своему химическому составу эти экстракты существенно различаются между собой. Относительный уровень суммарного извлечения экстрактивных веществ при однократной традиционной экстракции в течение 30 мин и экстракции с использованием ультразвукового зонда листьев голубики и брусники составляет максимальное значение – более 90%, в то время как для экстрактов вереска относительная величина не превышает 50% (рис. 2). По содержанию экстрактивных веществ в экстрактах листьев брусники и листьев голубики используемые методы можно расположить в ряд ТЭ>УЗЭ-1>УЗЭ-2. Однако для экстрактов травы вереска относительное содержание экстрактивных веществ мало зависит от метода (40–50%).

Найденные значения степени извлечения суммы фенольных соединений варьировались в широком диапазоне от 38 до 92%, в зависимости от вида растительного сырья и способа получения экстракта. Как следует из результатов, приведенных на рисунке 3, наибольший выход фенольных соединений из листьев брусники и травы вереска удалось получить с помощью УЗ-зонда (УЗЭ-1), для листьев голубики ультразвуковые методы УЗЭ-1 и УЗЭ-2 показывают одинаковые результаты – 68%. Степень извлечения фенолов без использования ультразвука составила 47–58%.

Несколько иную картину наблюдали при определении флавоноидов (рис. 4). Только для экстрактов листьев брусники показатели полноты извлечения флавоноидов так же высоки, как и в случае фенольных

соединений, при этом максимальные значения (94%) получены при использовании способа УЗЭ-1, эффективность заметно падает в ряду УЗЭ-1>ТЭ>УЗЭ-2. Для травы вереска порядок тот же, но значения заметно ниже (рис. 4). Эффективность извлечения флавоноидов из листьев голубики оказалась минимальной для всех методов, из которых лучшие результаты (около 43%) получены для способа ТЭ. Для всех видов сырья самые низкие значения получены для метода УЗЭ-2.

Полученный ряд антиоксидантной способности изученных экстрактов можно выстроить следующим образом: листья брусники > листья голубики > трава вереска, независимо от способа экстракции. Этот порядок практически полностью совпадает с порядком изменения общего содержания в этих экстрактах экстрактивных веществ, в том числе фенольных соединений. При этом наиболее высокой активностью характеризуются экстракты, полученные выдержкой в кипящем растворителе (рис. 5).

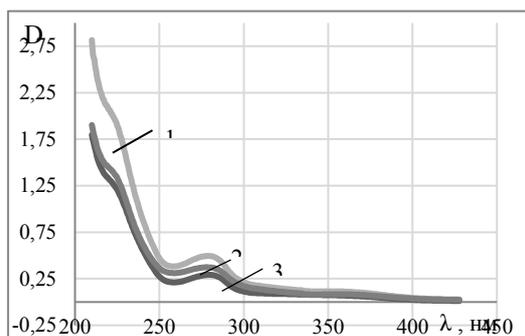


Рис. 1. ЭСП экстрактов листьев брусники, полученных различными способами (1 – УЗЭ-1; 2 – ТЭ; 3 – УЗЭ-2)

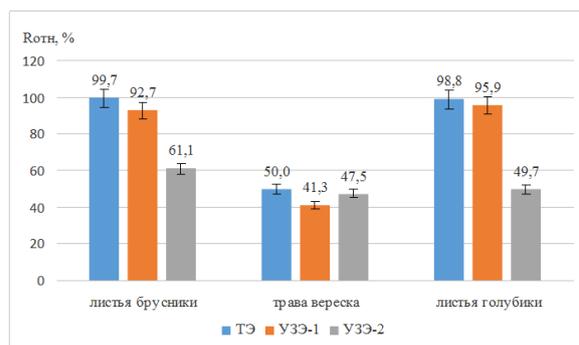


Рис. 2. Относительная степень извлечения $R_{отн}$ экстрактивных веществ при различных способах получения экстрактов, %

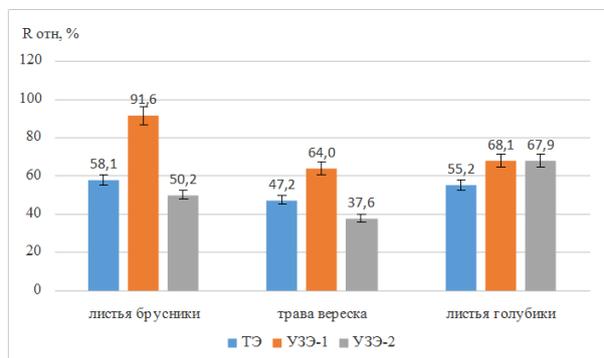


Рис. 3. Степень извлечения фенольных соединений при различных способах получения экстрактов, %

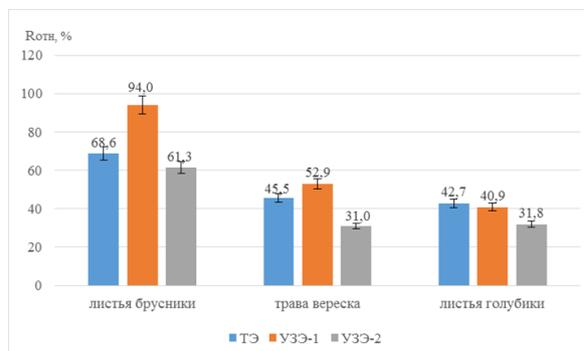
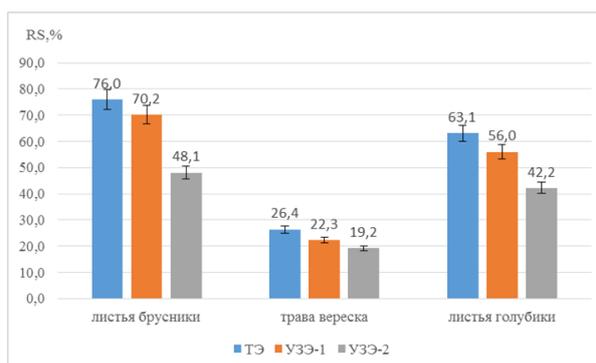


Рис. 4. Степень извлечения флавоноидов при различных способах получения экстрактов, %

Рис. 5. Степень радикального захвата RS, характеризующая интегральную антиоксидантную активность полученных растительных экстрактов (20-кратное разбавление), %



Очевидно, поскольку в этом случае температура кипения растворителя не превышает 373 К, каких-либо негативных процессов с участием экстрагируемых веществ практически не происходит [23]. Напротив, ультразвуковые волны, особенно если частота колебаний выше 20–22 кГц, способны не только изменять конформационную структуру молекулы, ее пространственную ориентацию и свойства, но и деформировать, рвать молекулярную цепочку на отдельные фрагменты [8, 24]. Неслучайно антиоксидантная способность экстрактов, приготовленных с помощью ультразвуковой зондовой установки, существенно выше, чем экстрактов, приготовленных в ультразвуковой ванне.

Выводы

Применение ультразвука является одним из наиболее перспективных подходов к интенсификации экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья. В данной работе проведена экспериментальная оценка дисперсных параметров, химического состава и антиоксидантных свойств водно-этанольных экстрактов из листьев брусники, листьев голубики и травы вереска, полученных экстракцией растворителем в ультразвуковом поле по сравнению с экстракцией в кипящем растворителе. Установлено, что во всех случаях использование УЗ-зонда позволяет достичь высокой степени извлечения экстрактивных веществ, в том числе фенольных соединений, которая изменяется в ряду: экстракт листьев брусники > экстракт листьев голубики > экстракт травы вереска. Наибольшей эффективностью антиоксидантного действия характеризуются водно-этанольные экстракты всех изученных растений, полученные в кипящем растворителе с обратным холодильником. Найденное ухудшение антиоксидантных свойств экстрактов при их получении в условиях ультразвукового воздействия, вероятно, обусловлено протеканием негативных процессов с участием фенольных соединений и флавоноидов, приводящих к их структурным изменениям. Этот фактор в некоторых случаях может играть решающее значение для выбора способа получения экстрактов антиоксидантного действия. Однако учитывая экономическую привлекательность ультразвукового зондирования и вероятность снижения антиоксидантной способности экстрактов на 13–14% в сравнении с экстракцией в кипящем растворителе, метод требует предварительной оптимизации условий для каждого вида сырья с контролем качества экстрактов по наиболее интересующим параметрам.

Список литературы

1. Azwanida N.N. A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation // *Med. Aromat. Plants*. 2015. Vol. 4. 196. DOI: 10.4172/2167-0412.1000196.
2. Danlami J.M., Arsad A., Zaini M.A.A., Sulaiman H. A comparative study of various oil extraction techniques from plants // *Rev. Chem. Eng.* 2014. Vol. 30(6). Pp. 605–626. DOI: 10.1515/revce-2013-0038.
3. İnce A.E., Şahin S., Şümmü S.G. Extraction of phenolic compounds from melissa using microwave and ultrasound // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2013. Vol. 37. Pp. 69–75. DOI: 10.3906/tar-1201-1.
4. Han H., Wang S., Rakita M., Wang Y., Han Q., Xu Q. Effect of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds on the Characteristics of Walnut Shells // *Food and Nutrition Sciences*. 2018. Vol. 9. Pp. 1034–1045. DOI: 10.4236/fns.2018.98076.
5. Jovanović A.A., Đorđević V.B., Zdunić G.M., Pljevljakušić D.S., Šavikin K.P., Godevac D.M., Bugarski B.M. Optimization of the extraction process of polyphenols from *Thymus serpyllum* L. herb using maceration, heat- and ultrasound-assisted techniques // *Sep. Purif. Technol.* 2017. Vol. 179. Pp. 369–380. DOI: 10.1016/j.seppur.2017.01.055.
6. Bremner D., Burgess A., Chand R. The Chemistry of Ultrasonic Degradation of Organic Compounds // *Current Organic Chemistry*. 2011. Vol. 15. Pp. 168–177. DOI: 10.2174/138527211793979862.
7. Ma Y.-Q., Ye X.-Q., Fang Z.-X., Chen J.-C., Xu G.-H., Liu D.-H. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Extracts from Ultrasonic Treatment of Satsuma Mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) Peels // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56 (14). Pp. 5682–5690. DOI: 10.1021/jf072474o.
8. Setyaningsih W., Saputro I.E., Palma M., Barroso C.G. Stability of 40 Phenolic Compounds during Ultrasound Assisted Extractions (UAE) // *AIP Conf. Proc.* 2016. Vol. 1755. 080009. DOI: 10.1063/1.4958517.
9. Patil S., Torres B., Tiwari B.K., Wijngaard H.H., Bourke P., Cullen P.J., O'Donnell C.P., Valdramidis V.P. Safety and quality assessment during the ozonation of cloudy apple juice // *J. Food Sci.* 2010. Vol. 75. Pp. 437–443. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01750.x.
10. Sun Y., Qiao L., Ye X., Liu D., Zhang X., Huang H. The Sonodegradation of Caffeic Acid under Ultrasound Treatment: Relation to Stability // *Molecules*. 2013. Vol. 18(1). Pp. 561–573. DOI: 10.3390/molecules18010561.
11. Jamal M., Amir M., Ali Z., Mujeeb M. A comparative study for the extraction methods and solvent selection for isolation, quantitative estimation and validation of ursolic acid in the leaves of *Lantana camara* by HPTLC method // *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2018. Vol. 4 (2). Pp. 229–233. DOI: 10.1016/j.fjps.2018.07.002.
12. Traversier M., Gaslonde T., Lecso M., Michel S., Delannay E. Comparison of extraction methods for chemical composition, antibacterial, depigmenting and antioxidant activities of *Eryngium maritimum* // *International Journal of Cosmetic Science*. 2020. Vol. 42. Pp. 127–135. DOI: 10.1111/ics.12595.
13. Ferlemi A.-V., Lamari F.N. Berry Leaves: An Alternative Source of Bioactive Natural Products of Nutritional and Medicinal Value // *Antioxidants*. 2016. Vol. 5. N2. P. 17. DOI: 10.3390/antiox5020017.

14. Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений. М., 1974. 214 с.
15. Lee L.S., Lee N., Kim Y.H., Lee C.H., Hong S.P., Jeon Y.W., Kim Y.E. Optimization of ultrasonic extraction of phenolic antioxidants from green tea using response surface methodology // *Molecules*. 2013. Vol. 18(11). Pp. 13530–13545. DOI: 10.3390/molecules181113530.
16. Государственная фармакопея РФ. XIV изд. М., 2018. URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>
17. Патент №2475724 (РФ). Способ количественного определения флавоноидов в растительном сырье флуориметрическим методом / А.А. Мальцева, Т.А. Брежнева, А.И. Сливкин, А.С. Чистякова. 20.02.2013.
18. Шпигун Л.К., Замятина Н.Н., Шушеначев Я.В., Камилова П.М. Проточно-инжекционные методы оценки антиоксидантной активности веществ на основе свободнорадикальных реакций // *Журнал аналитической химии*. 2012. Т. 67. №10. С. 893–901.
19. Huie C.W. A review of modern sample-preparation techniques for the extraction and analysis of medicinal plants // *Anal. Bioanal. Chem.* 2002. Vol. 373. Pp. 23–30. DOI: 10.1007/s00216-002-1265-3.
20. Тарун Е.И., Храповицкая А.В., Шидловская Е.Ю., Курченко В.П. Антиоксидантная активность экстрактов из листьев голубики и брусники // *Экологический вестник*. 2016. №1. С. 35–39.
21. Лазарев А.С., Клязува А.В., Ручкина А.Г., Кобраков К.И., Шпигун Л.К. Состав и антиоксидантные свойства экстрактов из листьев голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) // *Химия растительного сырья*. 2019. №4. С. 223–232. DOI: 10.14258/jcrpm.2019045498.
22. Dai J., Mumper R.J. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties // *Molecules*. 2010. Vol. 15. Pp. 7313–7352.
23. Соломатин А.А., Хазиев Р.Ш., Макарова А.С., Иванова С.А. Кинетика экстракции биологически активных веществ из растительного сырья кипящим растворителем // *Теоретические основы химической технологии*. 2015. Т. 49. №2. С. 206–212.
24. Bremner D., Burgess A. Chand R. The chemistry of ultrasonic degradation of organic compounds // *Curr. Org. Chem.* 2011. Vol. 15. Pp. 168–177.

Поступила в редакцию 28 октября 2021 г.

После переработки 2 декабря 2021 г.

Принята к публикации 15 декабря 2021 г.

Для цитирования: Матвеева В.И., Ручкина А.Г., Кобраков К.И., Шпигун Л.К., Шмакова Н.С. Сравнительная характеристика экстрактов некоторых растений семейства вересковых и эффективности методов их получения // *Химия растительного сырья*. 2022. №2. С. 105–112. DOI: 10.14258/jcrpm.20220210516.

Matveeva V.I.¹, Ruchkina A.G.^{1}, Kobrakov K.I.¹, Shpigun L.K.², Shmakova N.S.³ COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF SOME PLANTS FAMILY HEATHER EXTRACTS AND THE EFFECTIVENESS OF METHODS FOR THEIR PRODUCTION*

¹ *Russian State University, A.N. Kosygin (Technology. Design. Art), ul. Malaya Kaluzhskaya, 1, Moscow, 119071 (Russia), e-mail: occd@mail.ru*

² *Institute of General and Inorganic Chemistry N.S. Kurnakova Russian Academy of Sciences, Leninsky prospect, 31, Moscow, 119991 (Russia)*

³ *Technopark Slava JSC, Nauchny proezd, 20/2, Moscow, 117246 (Russia)*

The paper presents new data related to the comparative study of water-alcohol leaf extracts of the heather plants family (highbush blueberry, lingonberry, heather). Leaf extracts were obtained by three methods, two of which were using ultrasonic emitters (an ultrasound bath and a submersible ultrasonic probe), the third method, thermal (traditional), was chosen as a comparison. The extracts are characterized by parameters as the total content of extractive substances, the sum of phenolic compounds, flavonoids, the dispersed phase size particles distribution determined by the method of dynamic light scattering, and a quantitative assessment of the integral antioxidant activity is given. It has been established that ultrasonic probing has a highest activity in extracting phenolic compounds and flavonoids from lingonberry leaves and heather grass, and at the same time the level of their antioxidant activity is inferior to the extracts obtained by the traditional method at which the plant raw materials is boiled with the extractant. The traditional thermal method is characterized by the highest values of the sum of extractives for all types of raw materials and average values for the sum of phenolic compounds and flavonoids. There are observed a significant increase in the content of particles with the size <1000 nm for "ultrasonic" lingonberry leaf extracts is compared to the traditional method, however this pattern is not fulfilled for other types of raw materials. All heather herb extracts have a high polydispersity and the greatest tendency to sediment formation during the storage.

Keywords: plant extract, ultrasonic extraction, highbush blueberry leaves, particle size distribution, general antioxidant activity.

* Corresponding author.

Referenses

1. Azwanida N.N. *Med. Aromat. Plants*, 2015, vol. 4, 196. DOI: 10.4172/2167-0412.1000196.
2. Danlami J.M., Arsad A., Zaini M.A.A., Sulaiman H. *Rev. Chem. Eng.*, 2014, vol. 30(6), pp. 605–626. DOI: 10.1515/revce-2013-0038.
3. İnce A.E., Şahin S., Şümnü S.G. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2013, vol. 37, pp. 69–75. DOI: 10.3906/tar-1201-1.
4. Han H., Wang S., Rakita M., Wang Y., Han Q., Xu Q. *Food and Nutrition Sciences*, 2018, vol. 9, pp. 1034–1045. DOI: 10.4236/fns.2018.98076.
5. Jovanović A.A., Đorđević V.B., Zdunić G.M., Pljevljakušić D.S., Šavikin K.P., Godevac D.M., Bugarski B.M. *Sep. Purif. Technol.*, 2017, vol. 179, pp. 369–380. DOI: 10.1016/j.seppur.2017.01.055.
6. Bremner D., Burgess A., Chand R. *Current Organic Chemistry*, 2011, vol. 15, pp. 168–177. DOI: 10.2174/138527211793979862.
7. Ma Y.-Q., Ye X.-Q., Fang Z.-X., Chen J.-C., Xu G.-H., Liu D.-H. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, vol. 56 (14), pp. 5682–5690. DOI: 10.1021/jf072474o.
8. Setyaningsih W., Saputro I.E., Palma M., Barroso C.G. *AIP Conf. Proc.*, 2016, vol. 1755, 080009. DOI: 10.1063/1.4958517.
9. Patil S., Torres B., Tiwari B.K., Wijngaard H.H., Bourke P., Cullen P.J., O'Donnell C.P., Valdramidis V.P. *J. Food Sci.*, 2010, vol. 75, pp. 437–443. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01750.x.
10. Sun Y., Qiao L., Ye X., Liu D., Zhang X., Huang H. *Molecules*, 2013, vol. 18(1), pp. 561–573. DOI: 10.3390/molecules18010561.
11. Jamal M., Amir M., Ali Z., Mujeeb M. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2018, vol. 4 (2), pp. 229–233. DOI: 10.1016/j.fjps.2018.07.002.
12. Traversier M., Gaslonde T., Lecso M., Michel S., Delannay E. *International Journal of Cosmetic Science*, 2020, vol. 42, pp. 127–135. DOI: 10.1111/ics.12595.
13. Ferlemi A.-V., Lamari F.N. *Antioxidants*, 2016, vol. 5, no. 2, p. 17. DOI: 10.3390/antiox5020017.
14. Zaprometov M.N. *Osnovy biokhimii fenol'nykh soyedineniy*. [Fundamentals of biochemistry of phenolic compounds]. Moscow, 1974, 214 p. (in Russ.).
15. Lee L.S., Lee N., Kim Y.H., Lee C.H., Hong S.P., Jeon Y.W., Kim Y.E. *Molecules*, 2013, vol. 18(11), pp. 13530–13545. DOI: 10.3390/molecules181113530.
16. *Gosudarstvennaya farmakopeya RF. XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV ed.]. Moscow, 2018. URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>. (in Russ.).
17. Patent 2475724 (RU). 20.02.2013. (in Russ.).
18. Shpigun L.K., Zamyatina N.N., Shushenachev Ya.V., Kamilova P.M. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 2012, vol. 67, no. 10, pp. 893–901. (in Russ.).
19. Huie C.W. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2002, vol. 373, pp. 23–30. DOI: 10.1007/s00216-002-1265-3.
20. Tarun Ye.I., Khrapovitskaya A.V., Shidlovskaya Ye.Yu., Kurchenko V.P. *Ekologicheskij vestnik*, 2016, no. 1, pp. 35–39. (in Russ.).
21. Lazarev A.S., Klyuzova A.V., Ruchkina A.G., Kobrakov K.I., Shpigun L.K. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 223–232. DOI: 10.14258/jcprm.2019045498. (in Russ.).
22. Dai J., Mumper R.J. *Molecules*, 2010, vol. 15, pp. 7313–7352.
23. Solomatin A.A., Khaziyeu R.Sh., Makarova A.S., Ivanova S.A. *Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii*, 2015, vol. 49, no. 2, pp. 206–212. (in Russ.).
24. Bremner D., Burgess A., Chand R. *Curr. Org. Chem.*, 2011, vol. 15, pp. 168–177.

Received October 28, 2021

Revised December 2, 2021

Accepted December 15, 2021

For citing: Matveeva V.I., Ruchkina A.G., Kobrakov K.I., Shpigun L.K., Shmakova N.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 105–112. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220210516.