

УДК 664:577.115.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕТУЛИНСОДЕРЖАЩИХ ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ ИЗ БЕРЕСТЫ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.) В СОСТАВЕ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

© *Е.В. Аверьянова^{1*}, М.Н. Школьников^{1,2}*

¹ *Бийский технологический институт – филиал Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, ул. Трофимова, 27, Бийск, 659305 (Россия), e-mail: averianova.ev@bti.secna.ru*

² *Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, Екатеринбург, 620144 (Россия)*

Востребованность пищевых ингредиентов в современных технологиях достаточно велика, однако производство консервантов, антиокислителей и других пищевых добавок в РФ крайне ограничено, что создало высокую импортозависимость, неприемлемую в современных условиях. К сырьевым источникам консервантов можно отнести бересту березы повислой, содержащую от 10 до 40% тритерпенового спирта – бетулина, обладающего высокой биологической активностью и консервирующим действием благодаря доказанным антиокислительным свойствам. Однако слабая растворимость бетулина в водной среде ограничивает его использование в составе пищевых продуктов. В данной работе проведено исследование по разработке способа получения микронизированной формы бетулина для использования в качестве пищевого ингредиента в продуктах питания различного состава. Установлены следующие значения параметров и режимов ультразвуковой микронизации водных суспензий бетулина: частота – 50 ± 5 кГц, акустическая мощность – 50 Вт, температура – порядка 50 °С, продолжительность – 60 мин. Показано, что микронизация бетулина в условиях ультразвукового воздействия свидетельствуют об увеличении однородности его водной суспензии, выравнивании размера и формы частиц, что приводит к минимизации влияния барьерных факторов при усвоении бетулина и определяет его эффективность и биодоступность в составе пищевых продуктов как на водной, так и на жировой основе.

Ключевые слова: береста березы, бетулин, микронизация, ультразвуковое воздействие, пищевой ингредиент.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (мнемокод 0611-2020-013; номер темы FZMM-2020-0013, ГЗ № 075-00316-20-01).

Введение

С учетом объемов потребления пищевых ингредиентов и высокой импортозависимости пищевой и перерабатывающей промышленности все острее встает вопрос о необходимости развития этого сектора отечественной экономики. В настоящее время в сфере пищевых ингредиентов функционируют порядка 200 российских фирм, но это в основном производители комплексных добавок, работающие с импортными индивидуальными ингредиентами, что не решает в целом вопросы импортозамещения [1].

Алтайский край является одним из немногих регионов России, аграрный потенциал которого позволяет в полном объеме обеспечить внутренний спрос практически на все основные виды продовольственной продукции, за исключением теплолюбивых сельскохозяйственных культур (бахчевых, фруктов). Ресурсы регионального продовольственного рынка формируются, главным образом, за счет продукции собственного производства, что обеспечивает высокий уровень продовольственной независимости региона [2].

Аверьянова Елена Витальевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры биотехнологии, e-mail: averianova.ev@bti.secna.ru

Школьников Марина Николаевна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии, профессор кафедры технологии питания, e-mail: shkolnikova.m.n@mail.ru

ства, что обеспечивает высокий уровень продовольственной независимости региона [2].

При этом одним из приоритетных направлений реализации стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Алтайского

* Автор, с которым следует вести переписку.

края на период до 2025 г. является «комплексная переработка сельскохозяйственного сырья, обеспечивающая максимальное использование вторичных сырьевых ресурсов, которые могут быть источником для получения натуральных пищевых ингредиентов» [3].

В настоящее время значительная часть вторичных ресурсов агропромышленного комплекса не участвует в процессах биоконверсии [4], в то время как особенность химического состава делает их ценными источниками для получения функциональных пищевых ингредиентов, для производства обогащенных биологически активными веществами продуктов питания специального назначения, а также замены традиционных сырьевых источников микронутриентов. Например, частичное решение этой проблемы заключается в использовании многотоннажных отходов деревообрабатывающей промышленности.

В этом аспекте Алтайский край имеет общий запас насаждений 538.93 млн м³. 251.59 млн м³ на лиственные породы деревьев приходится 46.6%, которые занимают 55.8% покрытых лесной растительностью земель, в том числе березовые 34.2%. Площадь, занятая под насаждениями березы составляет 1285.4 га, а запасы ее древесины в крае – 145.54 млн м³. Запас спелых и перестойных лесных насаждений березы в эксплуатационных лесах Алтайского края – 13598.8 тыс. м³ [5], что свидетельствует о достаточном запасе этого вида сырья для его глубокой переработки в практически значимые продукты.

Древесина березы (лат. *Betula Pendula* Roth.) широко используется в фанерном и целлюлозно-бумажном производствах, где березовая кора является крупнотоннажным отходом, составляющим 15–17% от объема заготавливаемой древесины, используемым в небольшом количестве для получения дегтя и декоративных изделий, а в основной массе утилизируемым сжиганием или вывозом в отвалы, что загрязняет окружающую среду [6].

В последнее время возрастает внимание специалистов к растительным тритерпеноидам, сочетающим их доступность с высокой биологической активностью. Один из естественных источников лупановых тритерпеноидов – внешняя часть коры березы – береста. Кора березы, отход деревопереработки, содержит от 10 до 40% бетулина в зависимости от сорта березы, условий и места ее произрастания, а также возраста дерева [7]. Бетулин и его производные проявляют широкий спектр биологической активности – противовирусную, противоязвенную, противоопухолевую, гепатопротекторную, капилляроукрепляющую и др. [8–13] и рекомендован Министерством здравоохранения и социального развития РФ в качестве биологически активной добавки с адекватным уровнем потребления 40 мг/сутки. На рисунке 1 обобщены данные по известным и перспективным (заштрихованные квадраты) единичным фактам использования бетулина в виде индивидуального вещества или экстракта в составе пищевых продуктов [14, 15]. Однако промышленный выпуск данных пищевых продуктов ограничен.

В результате анализа специальной научной и технической литературы выявлено, что известные способы получения бетулина имеют ряд недостатков (неполное извлечение, многостадийность процесса выделения и т.д.). Кроме того, имеются технологические трудности введения данного пищевого ингредиента в продукты питания, особенно на водной основе, ввиду гидрофобности бетулина, поэтому многие разработки по извлечению, очистке и использованию бетулина в пищевой промышленности не находят коммерческого применения. В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на повышение растворимости и как следствие биодоступности бетулина в составе пищевых систем. Что обусловило цель настоящего исследования – разработка способа получения микронизированной формы бетулина для использования в качестве пищевого ингредиента в продуктах питания различного состава.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись образцы бересты березы повислой (лат. *Betula pendula* Roth.), семейства Березовые (*Betulaceae*), полученные с деревообрабатывающих предприятий Алтайского края в 2015–2021 гг., измельченные общепринятым способом до размера частиц 3×3 см; образцы бетулинсодержащих экстрактов, полученные из бересты березы по [16]; бетулин, полученный по методу, заявленному в [17], который заключается в предварительной активации бересты ультразвуковым воздействием частотой 22±1.65 кГц, интенсивностью 4.5–8.0 Вт/см², мощностью 167 Вт при температуре 40 °С, в течение 15 мин при погружении пластинок бересты в технологическую емкость, заполненную 86%-ым раствором этилового спирта. Из полученной массы бетулин экстрагировали 86%-ым раствором этилового спирта с гидромодулем 1 : 20 при ультразвуковом воздействии меньшей интенсивности – 5 Вт/см² и температуре от 40 до 70 °С, продолжительность процесса составила 20 мин. Твердый остаток шрота отфильтровывали, бетулин из фильтрата

выделяли обычным способом концентрировали до 1/3 первоначального объема и охлаждали при температуре не выше 8 °С. Выпавший осадок бетулина отфильтровывали, промывали на фильтре горячей водой до нейтральной реакции, перекристаллизовывали из этилового спирта и высушивали при температуре 60 °С до постоянной массы [18].

Показатели доброкачественности образцов бересты березы (влажность, зольность, экстрактивные вещества), содержание дубильных (в пересчете на танин) и фенольных веществ определяли стандартными общепринятыми методами по ГФ РФ XIII (том II, 2015 г.); содержание гидроксикоричных кислот (в пересчете на кофейную, %) – методом прямой спектрофотометрии по [19]; массовую долю бетулина, % – методом ВЭЖХ по [20]. Расчет количественного содержания указанных веществ проводили в пересчете на абсолютно сухое сырье (а.с.с.); регистрация ИК-спектра бетулина осуществлялась в таблетках KBr на приборе Фурье-спектрометр «ФТ-18» (*Bruker*, Германия) в области длин волн 4000–400 см⁻¹; элементный анализ проводили методом сжигания в элементном анализаторе *Flash EA* (Италия).

Ультразвуковую микронизацию 0.2%-ной суспензии бетулина осуществляли с помощью лабораторного ультразвукового комплекса «U-SONIC» ЛУК-0,125/50-О (ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», г. Бийск) в режиме: акустическая мощность – 50 Вт, частота – 50±5 кГц при температуре не более 50 °С, варьируя продолжительность процесса по методологии, предложенной И.В. Калининой для таксифолина [21]. Исследование морфологии частиц бетулина проводили в проходящем свете при освещении по общеизвестному методу светлого поля с использованием медицинского микроскопа МИКМЕД-5 с бинокулярной насадкой.

Обсуждение результатов

Наиболее ценным продуктом коры березы является ее верхний слой – береста, результаты аналитических исследований которой за 7 лет приведены в таблице 1.

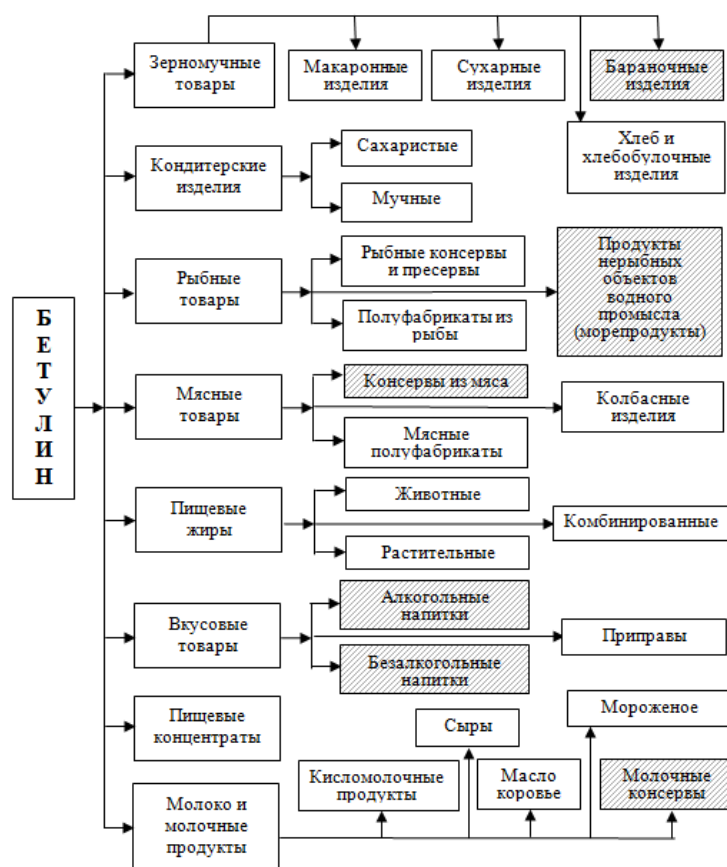


Рис. 1. Продукты питания, содержащие в качестве пищевого ингредиента бетулин (составлено авторами)

Таблица 1. Показатели доброкачественности и химический состав бересты березы повислой, произрастающей в Алтайском крае, % (n=5, M±m)

Год заготовки бересты	Влажность	Зола общая	Экстрактивные вещества	Бетулин	Дубильные вещества, в пересчете на танин	Гидроксикоричные кислоты, в пересчете на кофейную кислоту
2015	2.35±0.12	0.67±0.02	34.16±0.55	21.81±1.08	3.12±0.11	0.87±0.03
2016	2.62±0.12	0.67±0.02	33.18±0.50	22.93±1.03	2.62±0.13	0.75±0.03
2017	2.28±0.12	0.96±0.02	31.54±0.50	21.27±1.05	3.00±0.14	0.81±0.03
2018	2.57±0.12	0.78±0.02	34.12±0.50	22.31±1.03	2.93±0.13	0.71±0.03
2019	2.45±0.12	0.65±0.02	33.16±0.55	21.69±1.08	3.40±0.11	0.94±0.03
2020	2.54±0.12	0.70±0.02	37.14±0.50	22.31±1.03	2.87±0.13	0.67±0.03
2021	2.36±0.12	0.96±0.02	29.25±0.50	21.14±1.05	3.05±0.14	0.85±0.03
Среднее значение	2.45	0.77	33.22	21.92	3.00	0.80

Из данных таблицы 1 следует, что береста березы является доброкачественным растительным сырьем, содержащим большое количество экстрактивных веществ, достаточное для промышленной переработки, соотношение и содержание которых меняется незначительно в зависимости от года заготовки бересты.

На основе литературных данных по комплексной безотходной технологии утилизации коры березы с выделением экстрактивных веществ и пиролизом твердого остатка [22] предложен метод переработки бересты в бетулинсодержащие экстракты с последующим выделением бетулина, для интенсификации которого применяли активацию бересты ультразвуковыми колебаниями в режиме развитой кавитации на стадии подготовки сырья и последующей экстракцией в условиях ультразвукового воздействия меньшей интенсивности в течение 20 мин. За это время бетулин количественно диффундирует в экстракт.

Данные о химическом составе бетулинсодержащих экстрактов и количественном содержании в них бетулина приведены в таблице 2.

Согласно данным таблицы 2 коэффициент извлечения бетулина составил 97–98%; после концентрирования экстракта и очистки бетулина $T_{пл}=259–260$ °С (из этилового спирта). Подлинность препарата подтверждена данными ИК-спектроскопии: $\nu(\text{O-H})$ 3374.42 cm^{-1} , для CH_3 -групп $\nu(\text{C-H})_s$ 2939.92 cm^{-1} и $\delta(\text{C-H})_s$ 1375.62 cm^{-1} , $\nu(\text{C-O})$ 1029.57 cm^{-1} , что соответствует литературным данным [11] и результатами элементного анализа: найдено – С – 81.2%; Н – 11.5%; О – 7.2%. $\text{C}_{30}\text{H}_{50}\text{O}_2$; вычислено – С – 81.4%; Н – 11.3%; О – 7.2%.

Выделенные из бересты березы в чистом виде бетулин и его производные занимают лидирующую позицию среди природных соединений, проявляющих биологическую активность, что является предпосылкой их использования в пищевых продуктах, в том числе специализированных и функциональных, при условии повышения биодоступности данного класса соединений. Наиболее эффективным способом повышения биодоступности БАВ является ультразвуковая микронизация, благодаря которой происходит увеличение поверхности соприкосновения частиц с водой, за счет чего абсорбция БАВ в желудочно-кишечном тракте достигает 60–65% [23].

Продолжительность ультразвуковой микронизации варьировали 10, 20, 30, 40, 50 и 60 мин – образцы 2, 3, 4, 5, 6, 7, соответственно. Контрольный образец (образец 1) получен механическим суспендированием 0.2%-ной суспензии бетулина в течение 2 ч при температуре 50 °С. Фотографии полученных суспензий, представлены в двух проекциях на рисунке 2.

Таблица 2. Химический состав лабораторных образцов бетулинсодержащих экстрактов, (n=5, M±m)

Образец бересты, год	Массовая концентрация экстрактивных веществ, г/л	Содержание бетулина в экстракте*, %	Содержание дубильных веществ в экстракте*, %	Содержание фенольных веществ в экстракте*, %
2015	20.58±0.50	46.18±0.60	6.41±0.11	2.05±0.14
2016	20.76±0.50	46.22±0.63	6.85±0.13	3.27±0.17
2017	20.47±0.50	45.82±0.58	6.00±0.14	2.63±0.14
2018	20.13±0.50	45.14±0.58	6.14±0.14	2.81±0.14
2019	20.62±0.50	46.00±0.60	6.40±0.11	2.32±0.14
2020	20.81±0.50	46.31±0.63	6.70±0.13	3.14±0.17
2021	20.23±0.50	45.64±0.58	6.05±0.14	2.74±0.14
Среднее значение	20.51	45.90	6.36	2.71

* – в пересчете на абсолютно сухое вещество (а.с.в.).

Для изучения морфологических характеристик частиц бетулина были приготовлены неокрашенные препараты типа «раздавленная капля». Результаты микроскопии водных суспензий бетулина показали, что УЗ-воздействие позволяет изменить морфологию частиц бетулина. Размер частиц бетулина уменьшается пропорционально продолжительности УЗ-воздействия (рис. 3).

Частицы бетулина в образцах микронизированной суспензии имеют средний геометрический размер от 85 мкм (при продолжительности УЗВ 10 мин) до 22.5 мкм (при продолжительности УЗВ 60 мин). В процессе микронизации наблюдается увеличение однородности суспензии, выравнивание размера и формы частиц бетулина. Сформированные частицы имеют форму, близкую к сферической (коэффициент сферичности $K_{сф}=0.8-0.9$), которая, как известно, улучшает диспергируемость, увеличивает растворимость, физиологическую активность и другие свойства микронизированных частиц БАВ в водных средах [24]. В таблице 3 представлены результаты дисперсионного анализа частиц бетулина в водной дисперсионной среде для образцов, полученных в результате микронизации.

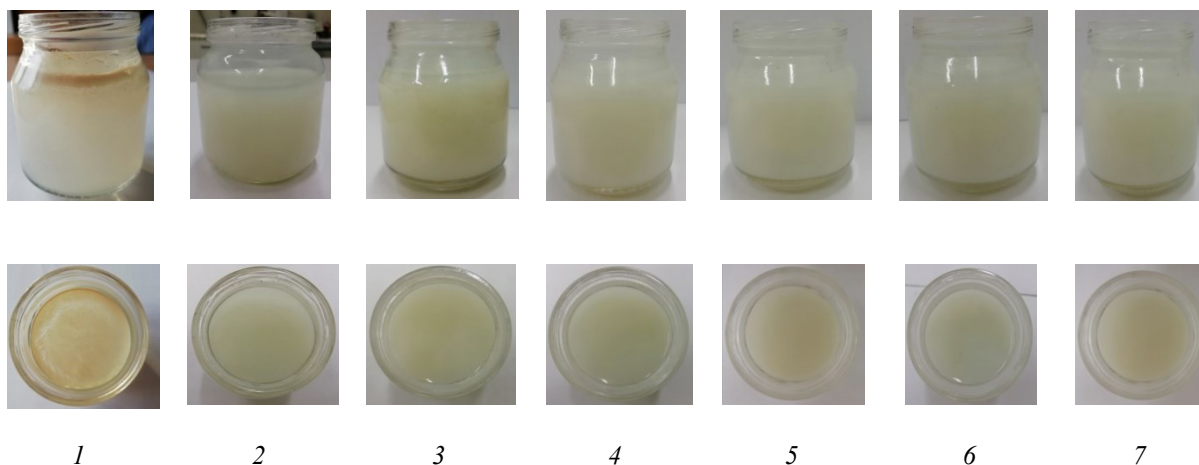


Рис. 2. Образцы микронизированной суспензии бетулина: 1 – контроль; 2 – УЗВ в течение 10 мин; 3 – УЗВ в течение 20 мин; 4 – УЗВ в течение 30 мин; 5 – УЗВ в течение 40 мин; 6 – УЗВ в течение 50 мин; 7 – УЗВ в течение 60 мин

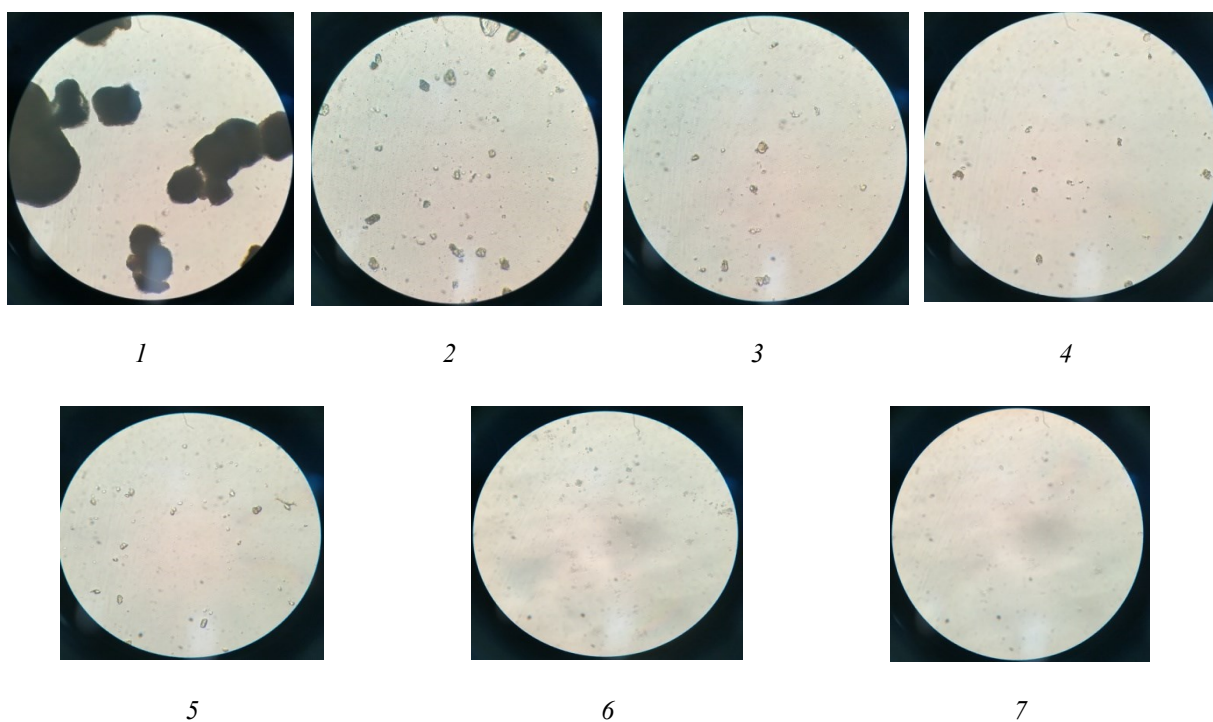


Рис. 3. Морфология частиц бетулина исследуемых суспензий ($\times 100$): 1 – контроль; 2 – УЗВ 10 мин; 3 – УЗВ 20 мин; 4 – УЗВ 30 мин; 5 – УЗВ 40 мин; 6 – УЗВ 50 мин; 7 – УЗВ 60 мин

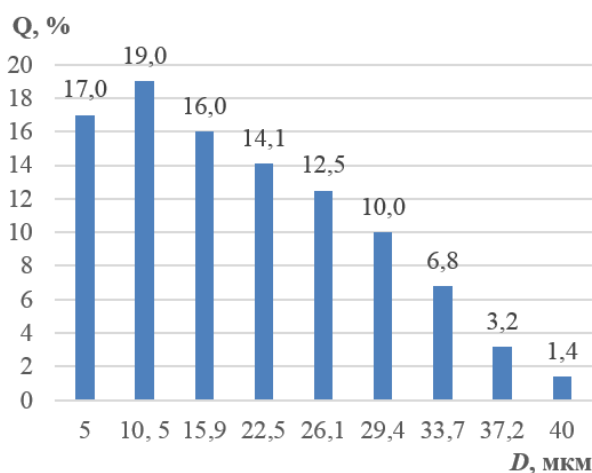
Для образца бетулина, полученного в результате часовой микронизации (образец 7), наблюдается максимальная плотность распределения мелкодисперсных частиц, имеющих наименьшие размеры. Этот образец взят за основу при построении гистограммы и дифференциальной кривой распределения частиц по размерам (рис. 4).

Исследуемая система бетулина в воде является полидисперсной. Дифференциальная кривая распределения имеет один максимум, соответствующий наибольшему содержанию фракции (19.0%) с размером частиц в данной суспензии 10.5 мкм.

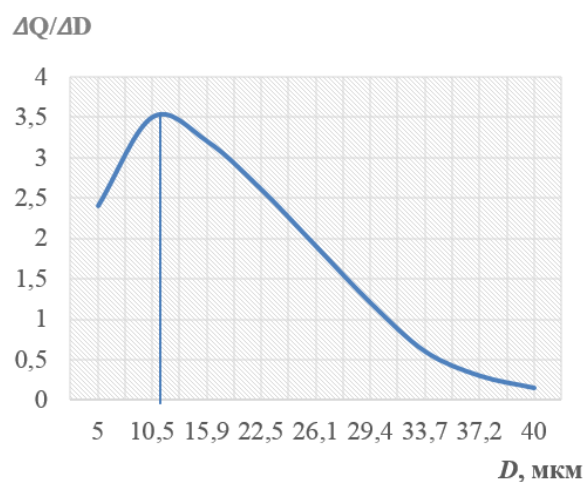
Таким образом, выбран образец суспензии с преимущественным размером частиц бетулина 10.5 мкм. Данный образец получен ультразвуковой микронизацией в течение 60 мин (акустическая мощность – 50 Вт, частота – 50 ± 5 кГц при температуре не более 50 °С) и может быть рекомендован в качестве ингредиента при разработке пищевых продуктов как на водной, так и на жировой основе.

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа частиц бетулина для микронизированных образцов

Номер образца	Интервал диаметров частиц, мкм	Средний диаметр частиц \bar{D} , мкм	Содержание частиц в интервале $D \leq \bar{D}$, Q, %	Плотность распределения частиц в интервале $D \leq \bar{D}$, Q/\bar{D} , %/мкм
2	50.0–120.0	85.0	65.3	0.77
3	30.0–100.0	65.0	69.9	1.08
4	20.0–90.0	55.0	65.8	1.20
5	10.0–80.0	45.0	66.2	1.47
6	5.0–65.0	35.0	64.8	1.85
7	5.0–40.0	22.5	66.1	2.94



а) гистограмма



б) дифференциальная кривая

Рис. 4. Графическое представление распределения частиц бетулина по размерам в воде

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований установлены оптимальные значения параметров и режимов процесса микронизации водных суспензий бетулина, полученного из бересты березы. Так, для повышения биодоступности бетулинсодержащих пищевых ингредиентов целесообразно применять ультразвуковую микронизацию 0.2%-ой водной суспензии бетулина частотой – 50 ± 5 кГц, акустической мощностью – 50 Вт, при температуре, не превышающей 50 °С, в течение 60 мин. Результаты исследований по микронизации бетулина в условиях ультразвукового воздействия свидетельствуют об увеличении однородности водной суспензии бетулина, выравнивании размера и формы частиц бетулина, что приводит к минимизации влияния барьерных факторов при усвоении пищевого ингредиента, определяющих его эффективность и биодоступность в составе пищевых продуктов, как на водной, так и на жировой основе.

Список литературы

1. Бурдун Н.И. Развивать производство отечественных пищевых ингредиентов, ускорить импортозамещение // Пищевая промышленность. 2016. №6. С. 80–81.
2. Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Доклад о ходе и результатах реализации в 2019 году государственных программ в сфере развития сельского хозяйства и сельских территорий Алтайского края. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.altagro22.ru/activity/reporting/reporting-program/>.
3. Официальный сайт органов власти Алтайского края: Постановление «Об утверждении стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности алтайского края на период до 2025 года» № 330 от 25.06.2012 г. [Электронный ресурс]. URL: https://www.altaregion22.ru/official_docs/e207729.html?sphrase_id=1048276.
4. Корнен Н.Н., Першакова Т.В., Шахрай Т.А. Пищевые и биологически активные добавки из вторичных растительных ресурсов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. №121(07). С. 1–17.
5. Указ Губернатора Алтайского края № 33 от 26 февраля 2019 года «Об утверждении лесного плана Алтайского края (2019-2028 гг.)». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/553109198>.
6. Веприкова Е.В., Терещенко Е.А., Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н. Использование бересты коры березы для получения сорбционных материалов // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2012. Т. 5. №2. С. 178–188.
7. Сафина А.В., Абдуллина Д.Р., Сафин Р.Г., Арсланова Г.Р., Валеев К.В. Энерго- и ресурсосберегающая технология экстрагирования бетулина из отходов бересты березы // Лесной вестник. 2021. Т. 25. №4. С. 99–106. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-99-106.
8. Zhang W., Jiang H., Yang J., Jin M., Du Y., Sun Q., Xu H. Safety assessment and antioxidant evaluation of betulin by LC-MS combined with free radical assays // Analytical Biochemistry. 2019. Vol. 587. Article 113460. DOI: 10.1016/j.ab.2019.113460.
9. Chen H., Xiao H., Pang J. Parameter Optimization and Potential Bioactivity Evaluation of a Betulin Extract from White Birch Bark // Plants. 2020. Vol. 9(3). P. 392. DOI: 10.3390/plants9030392.
10. Niewolik D., Niewolik D., Bednarczyk-Cwynar B., Ruszkowski P., Sosnowski T. R., Jaszcz K. Bioactive Betulin and PEG Based Polyanhydrides for Use in Drug Delivery Systems // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. N3. Article 1090. DOI: 10.3390/ijms22031090.
11. Кузнецова С.А., Скворцова Г.П., Мальяр Ю.Н., Скурыдина Е.С., Веселова О.Ф. Выделение бетулина из бересты березы и изучение его физико-химических и фармакологических свойств // Химия растительного сырья. 2013. №2. С. 93–100. DOI:10.14258/jcprm.201302093.
12. Payamnoor V., Nazari J., Hajati R.J. Effects of explant type on callogenesis and the amount of betulin and betulinic acid produced under in vitro conditions in two birch species (*Betula* spp.) // Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 2019. Vol.35. N4. Pp. 577–587. DOI: 10.22092/ijmapr.2019.124949.2478.
13. Kumar D., Kashyap D.K. Chapter 15 – Hybrid Approach for Transformation for Betulin (an Anti-HIV Molecule) // New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Elsevier, 2019. Pp. 193–203. DOI: 10.1016/B978-0-444-63504-4.00015-3.
14. Заворохина Н.В., Панкратьева Н.А., Бюлер А.В. Влияние наносуспензии бетулина на качество и длительность хранения пшеничного хлеба // Современная наука и инновации. 2019. №4. С. 137–144.
15. Максимюк В.А., Решетник Е.И. Исследование возможности обогащения молочных продуктов питания экстрактом коры березы // Пищевые инновации и биотехнологии. 2017. С. 526–527.
16. Селянина Л.И. Выделение бетулина из отходов переработки березы экстракцией спиртом // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2004. №4. С. 92–96.
17. Патент №2640587 (РФ). Способ получения бетулина / Е.В. Аверьянова, М.Н. Школьников, С.Н. Цыганок, В.Н. Хмелев, В.А. Шакура. 2018.
18. Аверьянова Е.В., Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Шакура В.А. Исследование процесса извлечения БАВ из растительного сырья в условиях ультразвуковой экстракции // 18 Международная конференция – семинар молодых специалистов по микро- и нанотехнологиям и электронным устройствам EDM. Новосибирск, 2017. С. 416–421.
19. Лигостаева Ю.В., Ханина М.А., Родин А.П., Ларионова И.С. Фармакогностическое исследование экстрактов из бересты и возможность сорбции биологически активных веществ бересты на наноалмазах // Вестник Московского государственного областного гуманитарного института. Серия: медико-биологические науки. Спецвыпуск фармакогнозия. 2014. №1. С. 41–46.
20. Воробьева О.А., Мельникова Н.Б. Разработка и валидация методов анализа компонентов фармацевтической композиции бетулина и тимола в масле семян тыквы *Cucurbita Pepo* // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. №10–2. С. 295–303.
21. Калинина И.В., Потороко И.Ю., Фаткуллин Р.И., Иванова Д., Канева-Киселова Й., Сонавэйн Ш. Повышение биоактивности дигидрокверцетина на основе ультразвуковой микронизации // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2019. №1. С. 27–33.
22. Кузнецов Б.Н., Левданский В.А., Кузнецова С.А. Химические продукты из древесной коры. Красноярск, 2012. 260 с.

23. Воронков А.В., Гамзелива О.Ю. Обзор современных флеботропных препаратов на основе флавоноидов как перспективных эндотелиопротекторов при лечении хронических заболеваний вен // *Амбулаторная хирургия*. 2019. №1–2. С. 27–33. DOI: 10.21518/1995-1477-2019-1-2-27-33.
24. Telange D.R., Patil A.T., Pethe A.M., Fegade H., Anand S., Dave V.S. Formulation and characterization of an apigenin-phospholipid phytosome (APLC) for improved solubility, in vivo bioavailability, and antioxidant potential // *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2017. Vol. 108. Pp. 36–49. DOI: 10.1016/j.ejps.2016.12.009.

Поступила в редакцию 23 марта 2022 г.

После переработки 30 июня 2022 г.

Принята к публикации 8 июля 2022 г.

Для цитирования: Аверьянова Е.В., Школьникова М.Н. Повышение эффективности бетулинсодержащих пищевых ингредиентов из бересты березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в составе пищевых систем // *Химия растительного сырья*. 2022. №4. С. 333–341. DOI: 10.14258/jcprm.20220411171.

Averyanova E.V.^{1}, Shkolnikova M.N.^{1,2}* IMPROVING THE EFFICIENCY OF BETULIN-CONTAINING FOOD INGREDIENTS FROM SILVER BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH.) IN FOOD SYSTEMS

¹ *Biysk Technological Institute – branch of Altai State Technical University, ul. Trofimova, 27, Biysk, 659305 (Russia), e-mail: averianova.ev@bti.secna.ru*

² *Ural State University of Economics, ul. 8 Marta/Narodnoy Voli, 62/45, Yekaterinburg, 620144 (Russia)*

The demand for food micro-ingredients in modern technologies is quite high, however, the production of preservatives, antioxidants and other food additives in the Russian Federation is extremely limited, which has created a high import dependence unacceptable in modern conditions. Raw sources of preservatives include birch bark containing 10–40% betulin – a triterpenoid with high biological activity and preservative / antioxidant properties. However, the weak solubility of betulin in an aqueous medium hinders its use in food products. In this work, a study was carried out to develop a method for obtaining a micronized form of betulin for use as a food ingredient in food products of various compositions. The following values of parameters and modes of ultrasonic micronization of water suspensions of betulin were established: frequency – 50±5 kHz, acoustic power – 50 W, temperature, about 50 °C, duration 60 min. It is shown that the micronization of betulin under ultrasonic exposure indicates an increase in the uniformity of its aqueous suspension of betulin, the alignment of the size and shape of particles, which minimizes the influence of barrier factors during the assimilation of a food additive and determines its effectiveness and bioavailability in the composition of both water-based and fat-based foods.

Keywords: birch bark, betulin, micronization, ultrasonic exposure, food ingredient.

References

1. Burdun N.I. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2016, no. 6, pp. 80–81. (in Russ.).
2. *Ofitsial'nyy sayt Ministerstva sel'skogo khozyaystva Doklad o khode i rezul'tatakh realizatsii v 2019 godu gosudarstvennykh programm v sfere razvitiya sel'skogo khozyaystva i sel'skikh territoriy Altayskogo kraya*. [Official website of the Ministry of Agriculture Report on the progress and results of the implementation in 2019 of state programs in the field of development of agriculture and rural areas of the Altai Territory]. URL: <https://www.altagro22.ru/activity/reporting/reporting-program/>. (in Russ.).

* Corresponding author.

3. *Ofitsial'nyy sayt organov vlasti Altayskogo kraya: Postanovleniye «Ob utverzhdenii strategii razvitiya pi-shchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti altayskogo kraya na period do 2025 goda» № 330 ot 25.06.2012 g.* [Official website of the authorities of the Altai Territory: Decree "On approval of the strategy for the development of the food and processing industry of the Altai Territory for the period up to 2025" No. 330 of 06/25/2012]. URL: https://www.altairegion22.ru/official_docs/e207729.html?sphrase_id=1048276. (in Russ.).
4. Kornen N.N., Pershakova T.V., Shakhray T.A. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, no. 121(07), pp. 1–17. (in Russ.).
5. *Ukaz Gubernatora Altayskogo kraya № 33 ot 26 fevralya 2019 goda «Ob utverzhdenii lesnogo plana Altayskogo kraya (2019-2028 gg.)»*. [Decree of the Governor of the Altai Territory No. 33 dated February 26, 2019 "On Approval of the Forest Plan of the Altai Territory (2019-2028)"]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/553109198>. (in Russ.).
6. Veprikova Ye.V., Tereshchenko Ye.A., Chesnokov N.V., Kuznetsov B.N. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya*, 2012, vol. 5, no. 2, pp. 178–188. (in Russ.).
7. Safina A.V., Abdullina D.R., Safin R.G., Arslanova G.R., Valeev K.V. *Lesnoy vestnik*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 99–106. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-99-106. (in Russ.).
8. Zhang W., Jiang H., Yang J., Jin M., Du Y., Sun Q., Xu H. *Analytical Biochemistry*, 2019, vol. 587, article 113460. DOI: 10.1016/j.ab.2019.113460.
9. Chen H., Xiao H., Pang J. *Plants*, 2020, vol. 9(3), p. 392. DOI: 10.3390/plants9030392.
10. Niewolik D., Niewolik D., Bednarczyk-Cwynar B., Ruszkowski P., Sosnowski T. R., Jaszcz K. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, vol. 22, no. 3, article 1090. DOI: 10.3390/ijms22031090.
11. Kuznetsova S.A., Skvortsova G.P., Malyar Yu.N., Skurydina Ye.S., Veselova O.F. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2013, no. 2, pp. 93–100. DOI:10.14258/jcprm.201302093. (in Russ.).
12. Payamnoor V., Nazari J., Hajati R.J. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 2019, vol.35, no. 4, pp. 577–587. DOI: 10.22092/ijmapr.2019.124949.2478.
13. Kumar D., Kashyap D.K. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier, 2019, pp. 193–203. DOI: 10.1016/B978-0-444-63504-4.00015-3.
14. Zavorokhina N.V., Pankrat'yeva N.A., Byuler A.V. *Sovremennaya nauka i innovatsii*, 2019, no. 4, pp. 137–144. (in Russ.).
15. Maksimiyuk V.A., Reshetnik Ye.I. *Pishchevye innovatsii i biotekhnologii*, 2017, pp. 526–527. (in Russ.).
16. Selyanina L.I. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2004, no. 4, pp. 92–96. (in Russ.).
17. Patent 2640587 (RU). 2018. (in Russ.).
18. Aver'yanova Ye.V., Khmelev V.N., Tsyganok S.N., Shakura V.A. *18 Mezhdunarodnaya konferentsiya – seminar molodykh spetsialistov po mikro- i nanotekhnologiyam i elektronnykh ustroystvam EDM*. [18th International Conference - Seminar for Young Specialists on Micro- and Nanotechnologies and Electronic Devices EDM]. Novosibirsk, 2017, pp. 416–421. (in Russ.).
19. Ligostayeva Yu.V., Khanina M.A., Rodin A.P., Larionova I.S. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo gumanitarnogo instituta. Seriya: mediko-biologicheskiye nauki. Spetsvypusk farmakognoziya*, 2014, no. 1, pp. 41–46. (in Russ.).
20. Vorob'yeva O.A., Mel'nikova N.B. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2015, no. 10–2, pp. 295–303. (in Russ.).
21. Kalinina I.V., Potoroko I.Yu., Fatkullin R.I., Ivanova D., Kaneva-Kiselova Y., Sonaveyn Sh. *Tekhnologiya i tovarovedeniye innovatsionnykh pishchevykh produktov*, 2019, no. 1, pp. 27–33. (in Russ.).
22. Kuznetsov B.N., Levdanskiy V.A., Kuznetsova S.A. *Khimicheskiye produkty iz drevesnoy kory*. [Chemical products from tree bark]. Krasnoyarsk, 2012, 260 p. (in Russ.).
23. Voronkov A.V., Gamzeleva O.Yu. *Ambulatornaya khirurgiya*, 2019, no. 1–2, pp. 27–33. DOI: 10.21518/1995-1477-2019-1-2-27-33. (in Russ.).
24. Telange D.R., Patil A.T., Pethe A.M., Fegade H., Anand S., Dave V.S. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2017, vol. 108, pp. 36–49. DOI: 10.1016/j.ejps.2016.12.009.

Received March 23, 2022

Revised June 30, 2022

Accepted July 8, 2022

For citing: Averyanova E.V., Shkolnikova M.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 4, pp. 333–341. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220411171.

