

Исследование водно-спиртовых экстрактов листьев облепихи, полученных способом предварительного замораживания сырья

А.В. Сафина^а, Л.Ю. Исмаилов^б, Р.Р. Сафин^с

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
ул. К. Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан

^а alb_saf@mail.ru, ^б lenar-2015@mail.ru, ^с cfaby@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-7344-9242>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-7454-9069>, ^с <https://orcid.org/0000-0002-0226-4232>

Статья поступила 08.09.2023, принята 13.09.2023

В работе рассмотрен способ водно-спиртовой экстракции предварительно замороженных листьев облепихи и представлены результаты экспериментальных исследований экстрактов, получаемых при различных температурах извлечения. Установлено, что рациональная продолжительность стадии предварительного замораживания листьев составляет 20 мин при медленной скорости охлаждения (0,1–1 см/ч). Продолжительность последующего настаивания 40%-ным водным раствором этанола при гидромодуле процесса 1:10 зависит от температуры растворителя и составляет 40 мин при 40 °С, 35 мин при 60 °С и 30 мин при 80 °С. С использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета методом жидкостной хроматографии определены химические составы получаемых экстрактов. Проведенный анализ позволил выявить в экстрактах преобладающее наличие таких компонентов, как моносахарид 3-О-метил-D-глюкоза и многоатомный спирт инозитол, причем их выход зависит от температуры процесса. Оптимальной температурой для получения высокого содержания 3-О-метил-D-глюкозы является 40 °С, а для инозитола — 80 °С. При температуре 60 °С извлекаются оба компонента, более 32 % 3-О-метил-D-глюкозы и более 60 % инозитола. На основе полученных результатов разработана принципиальная технологическая схема процесса водно-спиртовой экстракции предварительно замороженных листьев облепихи, позволяющая при вариации температурных режимов получать высокие выходы целевых компонентов в экстрактах в зависимости от требований заказчика.

Ключевые слова: экстракция; замораживание; листья облепихи; инозитол; 3-О-метил-D-глюкоза.

Study of water-alcohol extracts of sea buckthorn leaves obtained by the method of preliminary freezing of raw materials

A. V. Safina^а, L. Yu. Ismailov^б, R. R. Safin^с

Kazan National Research Technological University; 68, K. Marx St., Kazan, Republic of Tatarstan

^а alb_saf@mail.ru, ^б lenar-2015@mail.ru, ^с cfaby@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-7344-9242>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-7454-9069>, ^с <https://orcid.org/0000-0002-0226-4232>

Received 08.09.2023, accepted 13.09.2023

The paper considers the method of water-alcohol extraction of pre-frozen sea buckthorn leaves and presents the results of experimental studies of extracts obtained at different extraction temperatures. It has been established that the rational duration of the stage of preliminary freezing of the leaves is 20 minutes at a slow cooling rate (0.1-1 cm/h). The duration of the subsequent infusion with a 40% aqueous solution of ethanol at a hydromodule of the process of 1:10 depends on the temperature of the solvent and is 40 minutes at 40 °C, 35 minutes at 60 °C and 30 minutes at 80 °C. Using the equipment of the Center for Collective Use "Nanomaterials and Nanotechnologies" of the Kazan National Research Technological University, the chemical compositions of the obtained extracts were determined by liquid chromatography. The analysis made it possible to reveal in the extracts the prevailing presence of such components as the monosaccharide 3-O-methyl-D-glucose and the polyhydric alcohol inositol, and their yield depends on the process temperature. The optimal temperature for obtaining a high content of 3-O-methyl-D-glucose is 40 °C, and for inositol - 80 °C. At a temperature of 60 °C, both components are extracted: more than 32% of 3-O-methyl-D-glucose and more than 60% of inositol. On the basis of the obtained results, a flow chart of the process of water-alcohol extraction of pre-frozen sea buckthorn leaves was developed, which allows, by varying the temperature regimes, to obtain high yields of target components in extracts, depending on the requirements of the customer.

Keywords: extraction; freezing; sea buckthorn leaves; inositol; 3-O-methyl-D-glucose.

Введение. Облепиха (*Hippophae rhamnoides* L.) представляет собой выносливое растение, произрастающее в виде деревьев и кустарников как в Азии, так и в Европе. Облепиху часто используют в качестве декоративного

растения для улучшения среды обитания диких животных, она очень устойчива к высоким температурам, засухе, способна быстро развивать корневую систему, предотвращая эрозию почвы [1].

Ягоды, листья и кора облепихи на протяжении многих лет использовались в лечебных и пищевых целях в России и Китае [2]. Плоды, как и листья облепихи, считаются хорошим источником большого количества биологически активных компонентов. Они содержат витамины А, С, Е, К, рибофлавин, фолиевую кислоту, α -, β -, δ -каротины, ликопины, флавоноиды, яблочную и щавелевую кислоты, стиролы, а также аминокислоты [3]. Листья облепихи богаты флавоноидами, дубильными веществами, тритерпенами, которые активно используются в качестве добавок в корм животных, производства косметических и фармацевтических препаратов [4].

Было доказано, что облепиха имеет множество полезных свойств, таких как профилактическое действие против гриппа, поврежденный слизистый оболочки, адаптации к последствиям стресса и сердечно-сосудистых заболеваний [5]. Экстракты листьев облепихи обладают антиоксидантными, противовирусными, противоопухолевыми, антибактериальными и иммуномодулирующими свойствами [6].

Галловая и эллаговая кислоты экстрактов листьев облепихи оказывают противодиабетическое и радиозащитное действие [7]. Известно, что водные и водно-спиртовые экстракты листьев облепихи обладают выраженной цитопротекторной активностью [8]. Богатые фенолами экстракты листьев облепихи оказывают гепатопротекторное действие против окислительного повреждения [9].

В силу высокой ценности биомассы облепихи актуальными являются вопросы поиска рациональных способов выделения ценных компонентов и получение дополнительного количества биологически активных веществ (БАВ) из листьев облепихи.

В России существует множество как малых, так и крупных предприятий, занимающихся извлечением БАВ для производства необходимой для населения продукции, например, лекарств, биологических добавок, различных кремов, сывороток, эфирных масел и т. п. На таких предприятиях в основном используются классические способы экстракции ввиду своей простоты и низкой стоимости, однако они имеют ряд недостатков, низкий выход БАВ и длительность протекания процесса. Существует множество современных разработок в области интенсификации процесса экстракции, например, экстракция с использованием ультразвука, низкого давления, СВЧ- или сверхкритическая флюидная экстракция [10]. Однако, несмотря на их достоинства, такие способы экстракции практически не были внедрены на существующих предприятиях, поскольку требуют больших капиталовложений и сложного аппаратного оформления.

В связи с этим актуальной задачей на сегодняшний день является повышение эффективности именно классических способов экстракции. В работе [11] предложен способ классического настаивания (мацерации), отличающийся тем, что исходное сырье предварительно замораживают. При этом происходящие в структуре материала изменения способствуют наилучшему выходу экстрактивных веществ, что позволяет повысить эффективность классической экстракции.

В данном случае замораживание выступает в качестве инструмента интенсификации процесса экстрак-

ции. Механизм данного процесса объясняется следующим образом. При замораживании происходит кристаллизация свободной и связанной влаги в растительном материале. Сам процесс замораживания осуществляется в несколько этапов. В интервале температур от +20 до 0 °С растительное сырье охлаждается, в интервале от 0 до -5 °С происходит переохлаждение и начало кристаллизации влаги, в интервале от -5 до -18 °С осуществляется полное замораживание материала. Анализ литературных источников показал, что при различной скорости замораживания образуются кристаллы льда различных размеров [12]. Процессы замораживания при различных скоростях наглядно отражены на рис. 1.

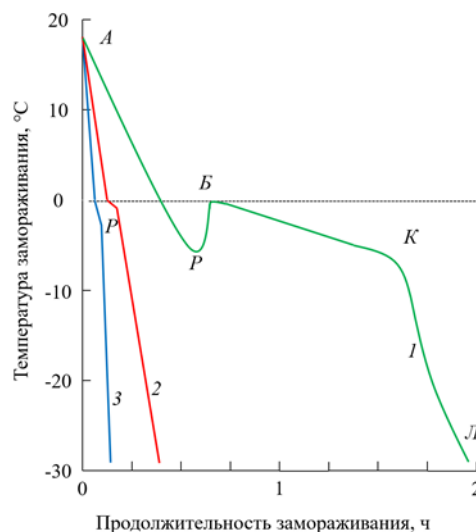


Рис. 1. Температурные кривые процесса замораживания в зависимости от скорости замораживания

На графике представлены следующие температурные кривые:

- 1 — для медленного замораживания со скоростью 0,1–1 см/ч;
- 2 — для быстрого замораживания со скоростью 1–5 см/ч;
- 3 — для сверхбыстрого замораживания со скоростью 5–20 см/ч.

Для всех кривых, как видно на рис. 1, характерны 3 температурные стадии, которые были описаны выше. Отрезок А–Р — период охлаждения, точка Р является критической, соответствующей началу кристаллизации. Дальнейшее понижение температуры обеспечивает полное замораживание сырья. При этом при быстром и сверхбыстром замораживании (кривые 2, 3) наблюдается снижение температуры пропорционально работе холодильной установки.

В случае сверхбыстрой заморозки, например, в криогенных жидкостях, образование кристаллов льда не происходит. При средней скорости замораживания размеры образующихся кристаллов льда соответствуют размерам растительной клетки, поэтому структура материала сохраняется [13].

Иной характер изменения температуры в процессе замораживания наблюдается в случае низкой мощности холодильного оборудования. Медленное замораживание обеспечивает рост больших кристаллов льда [14], вследствие чего наблюдается заметное выделение теплоты

кристаллизации, что и вызывает повышение температуры — отрезок Р–Б. Постепенное понижение температуры обеспечивает замораживание до 70 % влаги в материале — отрезок Б–К (интервал температур от 0 до –5 °С). Дальнейшее охлаждение приводит к домораживанию оставшейся влаги и полной заморозке материала до требуемой температуры — отрезок К–Л. Размер образующихся кристаллов льда при таком способе замораживания составляет в среднем 500 мкм [15]. При среднем размере растительной клетки до 15 мкм более 90 % клеток материала будет разрушено [16].

Проведенный анализ показал, что при реализации предлагаемого способа стадии предварительного замораживания сырья необходимо осуществлять при медленной скорости — 0,1–1 см/ч. В таком случае в растительном сырье на предварительном этапе экстракции структура растительного сырья уже будет разрушена крупными кристаллами льда [17]. Такое разрушение растительных клеток будет способствовать лучшему вымыванию биологически активных веществ из исследуемого сырья.

В работе представлен способ, включающий стадии предварительного замораживания сырья, последующей пропитки подогретым экстрагентом и непосредственно

экстракции листьев. Для разработки практических рекомендаций по реализации данного способа экстракции листьев облепихи требуются дополнительные исследования.

В данной работе поставлены задачи по исследованию процесса водно-спиртовой экстракции предварительно замороженных листьев облепихи, анализу химического состава полученных экстрактов, а также разработке принципиальной технологической схемы получения целевых компонентов.

Материалы и методы. Для проведения экспериментальных исследований были подготовлены листья облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides L.*), собранные в Республике Татарстан, которые были измельчены на электрической мельнице. Измельченные листья облепихи предварительно были заморожены в холодильной установке с медленной скоростью замораживания (0,1–1 см/ч).

Для проведения исследований в области экстракции использовался комплекс установок (рис. 2), обеспечивающий проведение испытаний для различных стадий описываемого способа, а именно: холодильная камера, экстракционная установка и сушильное устройство.

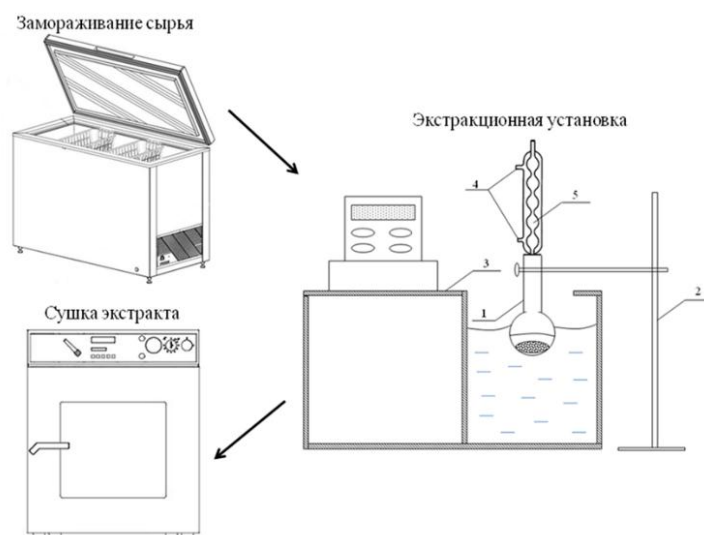


Рис. 2. Комплекс установок для экстракции с предварительным замораживанием: 1 — колба; 2 — штатив; 3 — жидкостной термостат; 4 — отводы конденсатора; 5 — конденсатор

Перечень вспомогательного оборудования: электронные весы МАССА-К ВК-1500 с точностью измерения 0,02 г и электрическая мельница.

В качестве экстрагента использовался 40%-ный водный раствор этанола в соотношении «сырье – растворитель» 1:10. Температура процесса экстракции составляла 40; 60 и 80 °С.

Эксперименты проводились следующим образом: навеска измельченных замороженных листьев облепихи до 3,0 мм весом 5 ± 1 г. загружались в экстракционную емкость, куда заливался экстрагент в объеме 50 г при соответствующей температуре. Целевые компоненты, находящиеся на поверхности частиц сырья, соприкасаясь с экстрагентом, начинают переходить в растворитель, а возникающая разность концентраций обуславливает диффузию экстрактивных веществ из

глубинных слоев растительного материала.

После проведения экстракции полученные смеси последовательно фильтровали через марлевый фильтр и фильтр «белая лента». Получение порошкообразного водорастворимого экстракта происходило в сушильной камере с вакуумом 0,05–0,9 кгс/см². Для обеспечения надежности результатов исследований по определению концентрации водорастворимых веществ в материале эксперименты повторялись трижды. Охлаждение полученного порошка осуществлялось при комнатной температуре.

Химический анализ полученных экстрактов осуществлялся методом газовой хромато-масс-спектрометрии на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 9000».

Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматери-

алы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках гранта № 075-15-2021-699.

Результаты. В результате проведенных экспериментальных исследований установлены рациональные параметры продолжительности отдельных стадий водно-спиртовой экстракции предварительно замороженных листьев облепихи.

В ходе лабораторных испытаний установлено, что рациональной продолжительностью стадии предварительного замораживания листьев является 20 мин. Такая продолжительность обусловлена необходимостью увеличения количества кристаллов, их размеров в межклеточном пространстве, повышения концентрации растворенных органических веществ и минеральных солей и полного замораживания структуры материала, поскольку уменьшение продолжительности предварительного замораживания менее 20 мин не приводит к образованию крупных кристаллов льда, способствующих механическому повреждению клеток; при повышении продолжительности замораживания исходного сырья повышения выхода целевого продукта не наблюдается, однако увеличивается общая продолжительность процесса.

Продолжительность стадии настаивания замороженных листьев облепихи определяется условием полного оттаивания и насыщения листьев экстрагентом для последующего высокого выхода целевых компонентов. На рис. 3 представлена кинетика выхода экстрактивных веществ из листьев облепихи в зависимости от температуры процесса.

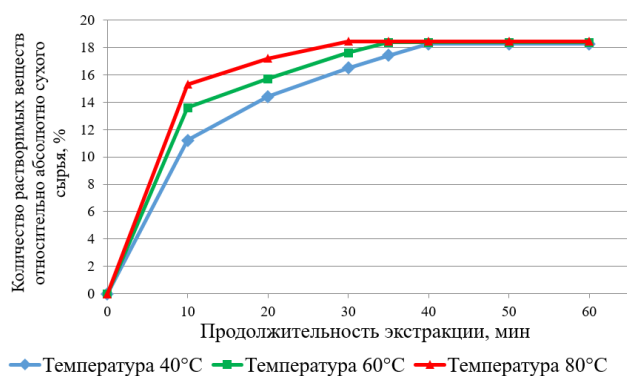


Рис. 3. Кинетические кривые выхода экстрактивных веществ в зависимости от температуры при водно-спиртовой экстракции листьев облепихи

Анализ кривых показывает, что с повышением температуры увеличивается выход целевых компонентов из замороженных листьев облепихи. Установлено, что при температуре экстракции 80 °C извлекается на 0,54 % экстрактивных веществ больше, чем при экстракции при 60 °C, и на 1,15 % выше, чем при температуре 40 °C относительно наибольших выходов.

Рациональная продолжительность стадии настаивания замороженных листьев облепихи при температуре 40 °C составляет 40 мин, при 60 °C — 35 мин, при 80 °C — 30 мин. Повышение продолжительности стадии настаивания свыше указанных пределов увеличивает

общую продолжительность процесса без повышения его эффективности.

Для подтверждения эффективности предлагаемого способа экстракции на рис. 4 приведены сравнительные данные по выходу экстрактивных веществ из листьев облепихи без использования стадии замораживания и с предварительной заморозкой исходного сырья. Как видно на диаграмме, стадия предварительного замораживания листьев облепихи способствует увеличению выхода ЭВ в среднем на 42 %. Таким образом, предварительное замораживание сырья перед экстракцией, способствующее разрыву клеточной структуры листьев, благотворно влияет на извлечение целевых компонентов предлагаемым способом водно-спиртовой экстракции.

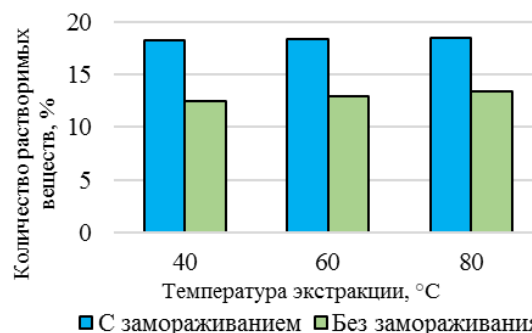


Рис. 4. Выход экстрактивных веществ в зависимости от температуры и способа подготовки исходного сырья

Все экстракты, полученные с использованием предложенного способа, были исследованы методом жидкостной хроматографии на наличие целевых компонентов. Полученные результаты сведены в таблицу.

Представленные в таблице данные свидетельствуют о том, что экстракты листьев облепихи богаты ценными веществами и содержат алканы, амиды, арены, бензолы, гликозиды, гликозиламины, дисахариды, карбоновые кислоты, лактоны, многоатомные спирты, моносахариды, одноосновные полигидроксикарбоновые кислоты, олигосахариды, пиранозы, пираны, спирты, трисахариды, фенолы, фураны и эфиры.

Стоит отметить, что при любой температуре экстракции из листьев облепихи извлекаются гликозиды, многоатомные спирты, моносахариды, олигосахариды, пиранозы, пираны, фенолы, фураны и эфиры. Однако их выход меняется в зависимости от температуры экстракции.

Для извлечения таких соединений, как амиды, арены, гликозиламины, дисахариды и одноосновные полигидроксикарбоновые кислоты, необходима исключительно низкая температура экстракции (40 °C), так как при более высокой температуре данные компоненты не извлекаются из листьев облепихи. Однако выход этих компонентов очень низкий (менее 0,11 %).

Также было установлено, что невысокая температура экстракции (40 °C) не подходит для извлечения бензолов, лактонов, спиртов и трисахаридов из листьев облепихи. Однако и при более высокой температуре их выход значительно низкий (менее 0,42 %).

По полученным результатам видно, что по содержанию в экстрактах листьев облепихи преобладают моносахариды, а именно 3-О-метил-D-глюкоза, и многоатомные спирты — инозитол.

Результаты анализа химического состава сухих экстрактов листьев облепихи

№ п/п	Химический состав	Температура экстракции		
		40 °С	60 °С	80 °С
		Содержание БАВ, %		
1	Алканы	0,022681	0	0,35815
2	Амиды	0,0038	0	0
3	Арены	0,03526	0	0
4	Бензолы	0	0,023052	0,051699
5	Гликозиды	0,35969	0,33414	0,30793
6	Гликозиламины	0,011778	0	0
7	Дисахариды	0,060172	0	0
8	Карбоновые кислоты	0,173304	0,074907	0
9	Лактоны	0	0,091264	0,41407
10	Многоатомные спирты	21,70346	60,744	85,96196
10.1	в т. ч. Инозитол	21,64519	60,744	85,8935
11	Моносахариды	66,663421	35,011192	3,4078
11.1	в т. ч. 3-О-метил-D-глюкоза	63,068	32,508	0
12	Одноосновные полигидроксикарбоновые кислоты	0,1061	0	0
13	Олигосахариды	1,6698	0,70649	0,58427
14	Пиранозы	0,11415	0,033815	1,8055
15	Пираны	0,03042	0,09771	3,10417
16	Спирты	0	0,16684	0,5192
17	Трисахариды	0	0,26127	0
18	Фенолы	0,055279	0,098363	0,239627
19	Фураны	8,96764	1,87681	3,20804
20	Эфиры	0,022548	0,48047	0,037735

Многоатомный спирт инозитол, извлеченный из листьев облепихи, широко используется в гормональной терапии экстракорпорального оплодотворения, стабилизирует уровень сахара при диабете 2-го типа, блокирует приступы паники, снижает риск возникновения метаболического синдрома, улучшает состояние при синдроме поликистозных яичников, повышает фертильность и уровень тестостерона у мужчин. В совокупности экстракты листьев облепихи обладают значительным потенциалом в качестве природных антиоксидантов и средств профилактики заболеваний.

Моносахарид 3-О-метил-D-глюкоза, который был обнаружен при экстракции листьев облепихи предложенным способом, представляет собой аналог глюкозы, который легко транспортируется в большинство клеток, он участвует в регуляции иммунной системы, такой как активация полиморфноядерных лейкоцитов человека. Данный компонент используют для осуществления метаболизма глюкозы в головном мозге, а также для обнаружения опухолей.

Для наглядности параметры извлечения данных компонентов при различных температурах процесса были сведены в график, представленный на рис. 5.

Как видно на рис. 5, экстракция замороженных листьев облепихи 40%-ным водным раствором этанола позволяет получать экстракты с высоким содержанием целевых компонентов.

Так, при температуре процесса 40 °С получаемый экстракт содержит более 63 % такого компонента, как моносахарид 3-О-метил-D-глюкоза, от массы сухого ве-

щества и до 21 % — инозитола. С увеличением температуры в 3 раза увеличивается выход инозитола, однако наблюдается заметное снижение 3-О-метил-D-глюкозы. Ведение процесса экстракции при температуре 80 °С позволяет получить более 85 % инозитола при отсутствии выхода 3-О-метил-D-глюкозы.

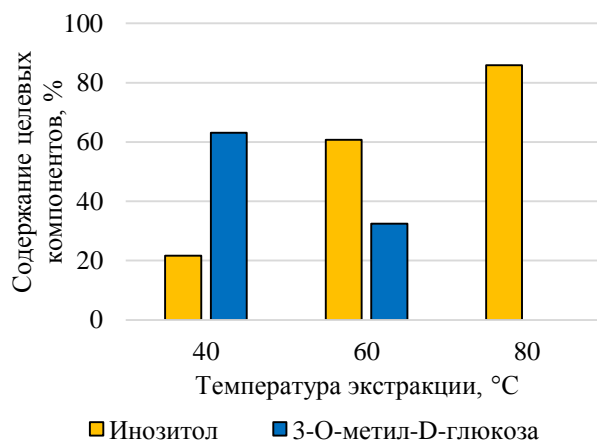


Рис. 5. Содержание целевых компонентов в экстрактах листьев облепихи в зависимости от температуры экстракции

Проведенный анализ показал, что, варьируя температуру процесса, можно целенаправленно получить экстракты с заданными выходами целевых компонентов.

На основе этого разработана принципиальная технологическая схема получения биологически активных веществ с высоким содержанием целевых компонентов, представленная на рис. 6.

Представленная технологическая схема позволяет получать три вида экстрактов с различным содержанием целевых компонентов в зависимости от требований заказчика.

Измельченные листья облепихи подвергаются медленному замораживанию в течение 20 мин. Далее сырье заливается подогретым экстрагентом в соотношении 1:10. На данном этапе температуры растворителя и, соответственно, продолжительность настаивания зависит от выбора конечного компонента.

Так, для извлечения высокого содержания моносахарида 3-О-метил-D-глюкозы рекомендуемая температура

экстракции составляет 40 °С в течение 40 мин. Для получения максимального выхода инозитола целесообразно повысить температуру процесса до 80 °С и настаивать смесь в течение 30 мин.

При температуре экстракции 60 °С извлекается среднее количество рассматриваемых компонентов в течение 35 мин. Полученные водно-спиртовые экстракты фильтруются и досушиваются до получения сухого остатка с высоким содержанием целевого компонента.

Отфильтрованный шрот листьев может быть использован в композитных материалах, производство которых в настоящее время активно исследуется и развивается.

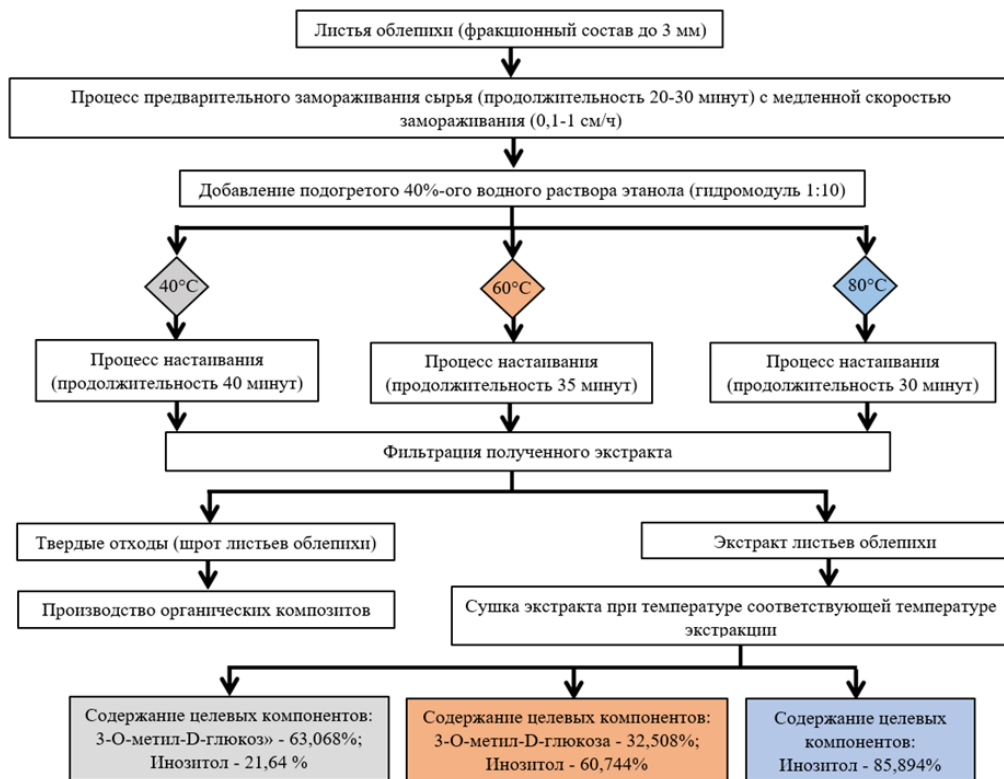


Рис. 6. Принципиальная технологическая схема водно-спиртовой экстракции замороженных листьев облепихи

Заключение. Предложенный способ водно-спиртовой экстракции предварительно замороженных листьев облепихи является эффективным и позволяет повысить выход экстрактивных веществ.

Проведенный анализ различных способов замораживания показал, что крупные кристаллы льда образуются при медленном замораживании, разрушая структуру материала и увеличивая выход ценных компонентов в процессе последующей экстракции. При этом экспериментально определено, что продолжительность замораживания листьев облепихи составляет 20 мин.

Сопоставлением экспериментальных данных по экстракции листьев облепихи 40%-ным водным раствором этанола с гидромодулем 1:10 установлено, что предварительное замораживание способствует увеличению выхода компонентов в среднем на 42 % относительно использования незамороженного сырья.

Рациональная продолжительность экстракции листьев облепихи при температуре экстрагента 40 °С со-

ставляет 40 мин, а при последующем увеличении температуры на 20 °С продолжительность процесса сокращается на 5 мин.

Химический анализ получаемых экстрактов методом жидкостной хроматографии показал, что количество целевых компонентов зависит от температуры процесса. Так, содержание моносахарида 3-О-метил-D-глюкозы максимально при температуре 40 °С и составляет более 63 % от общей массы экстракта. С увеличением температуры процесса увеличивается содержание в экстракте многоатомного спирта инозитола, величина которого составляет более 85 % при температуре экстракции 80 °С.

Проведенные исследования позволили разработать принципиальную технологическую схему водно-спиртовой экстракции предварительно замороженных листьев облепихи, позволяющую получать три вида экстрактов с различным содержанием целевых компонентов в зависимости от вариации температурных параметров.

Литература

1. Гроховатский И.А., Отенов Т.О., Отенова Ф.Т. Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L) Алтайской вариации в условиях юга Приаралья // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2012. № 11. С. 56-58.
2. Singh V. (2005) Sea buckthorn (*Hippophae* L.) A Multipurpose Wonder Plant. Volume 2; Edited by Singh V. Daya Publishing House; New Delhi.
3. Upendra K.S., Sharma K., Sharma N., Sharma A., Singh H.P., Sinha A.K. (2008). Microwave-assisted efficient extraction of different parts of *Hippophae rhamnoides* for the comparative evaluation of antioxidant activity and quantification of its phenolic constituents by reversephase high performance liquid chromatography (RP-HPLC) // Journal of Agricultural and Food Chemistry 56. P. 374-379.
4. Beveridge T., Li T.S., Oomah B.D., Smith A. 1999. Sea buckthorn products: manufacture and composition // Journal of Agricultural and Food Chemistry 47. P. 3480-3488.
5. Eccleston C., Baoru Y., Tahvonen R., Kallio H., Rimbach G.H., Minihane A.M. 2002. Effects of an antioxidant-rich juice (sea buckthorn) on risk factors for coronary heart disease in humans // Journal of Nutritional Biochemistry 13. P. 346-354.
6. Tsybikova D.T., Rasputina D.B., Zalykeeva D.N., Darzhapova G.Z., Kundanova L.L. 1983. A study of leaves and the oil cake of sea buckthorn; biology, chemistry and pharmacology of sea buckthorn. Novosibirsk, 1983. P. 107-109.
7. Pandurangan N., Bose C., Banerji A. 2011. Synthesis and anti-oxygenic activities of sea buckthorn flavone 3-ols and analogs. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters 21. P. 5328-5330.
8. Nitin K., Upadhyay M.S., Kumar Y., Gupta A. 2010. Antioxidant, cytoprotective and antibacterial effects of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves. Food and Chemical Toxicology 48. P. 3443-3448.
9. Maheshwari D.T., Yogendra Kumar M. S., Verma S. K., Singh V.K., Singh S.N. 2011. Antioxidant and hepatoprotective activities of phenolic rich fraction of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves. Food and Chemical Toxicology 49. P. 2422-2428.
10. Сафина А.В., Исмаилов Л.Ю. Обзор исследований в области интенсификации процессов экстракции растительного сырья // Деревообрабатывающая пром-сть. 2021. № 2. С. 85-97.
11. Safin R.R., Safina A.V., Ismailov L.Yu. Intensification of water extraction of non-fruit parts of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) // E3S Web Conf. 2023. V. 371.
12. Gilma Auxiliadora Santos Gonçalves, Nathane Silva Resende, Elisângela Elena Nunes Carvalho, Jaime Vilela de Resende, Eduardo Valério de Barros Vilas Boas. 2017. Effect of pasteurisation and freezing method on bioactive compounds and antioxidant activity of strawberry pulp // International Journal of Food Sciences and Nutrition, 68:6. P. 682-694.
13. Lina Cheng, Da-Wen Sun, Zhiwei Zhu, Zi Zhang. 2017. Emerging techniques for assisting and accelerating food freezing processes: A review of recent research progresses, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57:4. P. 769-781.
14. Giovana Bonat Celli, Amyl Ghanem, Marianne Su-Ling Brooks. 2016. Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products, Food Reviews International, 32:3. P. 280-304.
15. Lihui Zhang, Min Zhang, Arun S. Mujumdar. 2021. Technological innovations or advancement in detecting frozen and thawed meat quality: A review, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57:17. P. 3620-3631.
16. Xiao-Fei Wu, Min Zhang, Benu Adhikari, Jincai Sun. 2017. Recent developments in novel freezing and thawing technologies applied to foods, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57:17. P. 3620-3631.
17. Сафина А.В., Исмаилов Л.Ю. Технология переработки плодоносящих веток облепихи с использованием теплового насоса // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: тр. XVII Междунар. евразийского симпозиума (13-16 сент. 2022 г.). Екатеринбург, 2022. С. 48-59.

Reference

1. Grohovatskij I.A., Otenov T.O., Otenova F.T. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L) of the Altai variation in the conditions of the south of the Aral Sea // Problems of botany of South Siberia and Mongolia. 2012. № 11. P. 56-58.
2. Singh V. (2005). Sea buckthorn (*Hippophae* L.) A Multipurpose Wonder Plant. Volume 2; Edited by Singh V. Daya Publishing House; New Delhi.
3. Upendra K.S., Sharma K., Sharma N., Sharma A., Singh H.P., Sinha A.K. (2008). Microwave-assisted efficient extraction of different parts of *Hippophae rhamnoides* for the comparative evaluation of antioxidant activity and quantification of its phenolic constituents by reversephase high performance liquid chromatography (RP-HPLC) // Journal of Agricultural and Food Chemistry 56. P. 374-379.
4. Beveridge T., Li T.S., Oomah B.D., Smith A. 1999. Sea buckthorn products: manufacture and composition // Journal of Agricultural and Food Chemistry 47. P. 3480-3488.
5. Eccleston C., Baoru Y., Tahvonen R., Kallio H., Rimbach G.H., Minihane A.M. 2002. Effects of an antioxidant-rich juice (sea buckthorn) on risk factors for coronary heart disease in humans // Journal of Nutritional Biochemistry 13. P. 346-354.
6. Tsybikova D.T., Rasputina D.B., Zalykeeva D.N., Darzhapova G.Z., Kundanova L.L. 1983. A study of leaves and the oil cake of sea buckthorn; biology, chemistry and pharmacology of sea buckthorn. Novosibirsk, 1983. P. 107-109.
7. Pandurangan N., Bose C., Banerji A. 2011. Synthesis and anti-oxygenic activities of sea buckthorn flavone 3-ols and analogs. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters 21. P. 5328-5330.
8. Nitin K., Upadhyay M.S., Kumar Y., Gupta A. 2010. Antioxidant, cytoprotective and antibacterial effects of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves. Food and Chemical Toxicology 48. P. 3443-3448.
9. Maheshwari D.T., Yogendra Kumar M. S., Verma S. K., Singh V.K., Singh S.N. 2011. Antioxidant and hepatoprotective activities of phenolic rich fraction of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves. Food and Chemical Toxicology 49. P. 2422-2428.
10. Safina A.V., Ismailov L.YU. Review of research in the field of intensification of the processes of extraction of vegetable raw materials // Derevoobrabatvaushaya promishlennost' (Woodworking industry). 2021. № 2. P. 85-97.
11. Safin R.R., Safina A.V., Ismailov L.Yu. Intensification of water extraction of non-fruit parts of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) // E3S Web Conf. 2023. V. 371.
12. Gilma Auxiliadora Santos Gonçalves, Nathane Silva Resende, Elisângela Elena Nunes Carvalho, Jaime Vilela de Resende, Eduardo Valério de Barros Vilas Boas. 2017. Effect of pasteurisation and freezing method on bioactive compounds and antioxidant activity of strawberry pulp // International Journal of Food Sciences and Nutrition, 68:6. P. 682-694.
13. Lina Cheng, Da-Wen Sun, Zhiwei Zhu, Zi Zhang. 2017. Emerging techniques for assisting and accelerating food freezing processes: A review of recent research progresses, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57:4. P. 769-781.
14. Giovana Bonat Celli, Amyl Ghanem, Marianne Su-Ling Brooks. 2016. Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products, Food Reviews International, 32:3. P. 280-304.
15. Lihui Zhang, Min Zhang, Arun S. Mujumdar. 2021. Technological innovations or advancement in detecting frozen and

- thawed meat quality: A review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
16. Xiao-Fei Wu, Min Zhang, Benu Adhikari, Jincai Sun. 2017. Recent developments in novel freezing and thawing technologies applied to foods, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57:17. P. 3620-3631.
 17. Safina A.V., Ismailov L.YU. Processing technology of fruit-bearing branches of sea buckthorn using a heat pump // *Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka: tr. XVII Mezhdunar. evrazijskogo simpoziuma (13-16 sent. 2022 g.)*. Ekaterinburg, 2022. P. 48-59.