

Жирнокислотный состав флюидных экстрактов семян Облепихи крушиновидной

Ирина Юрьевна Сергеева, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой

Ксения Викторовна Старовойтова, канд. техн. наук, доцент

E-mail: centol@mail.ru

Ирина Владимировна Долголюк, канд. техн. наук, доцент

Лариса Алексеевна Рябоконева, аспирант

Екатерина Васильевна Назимова, канд. техн. наук, доцент

Вероника Юрьевна Богер, канд. техн. наук, доцент

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово

Необходимость поиска путей импортозамещения в области производства биологически активных веществ и функциональных ингредиентов на их основе заставляет ученых и производителей искать пути валоризации отечественного сырья, например разработка новых и оптимизация существующих протоколов извлечения биологически активных веществ из различных природных источников. В качестве источников рассматриваются вторичные сырьевые ресурсы консервных и других пищевых производств. К перспективным видам сырья относится Облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.), богатая гидрофильными и липофильными биологически активными соединениями. Ценность липидов семян облепихи связывают с высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот и жирорастворимых компонентов. Цель исследования заключалась в изучении особенностей жирнокислотного состава флюидных экстрактов семян облепихи, полученных при варьировании технологических режимов процесса экстракции. Изучено влияние рабочего давления (от 10,13 до 20,27 МПа) и скорости подачи CO₂ (от 2 до 4 л/мин) на выход экстракта и его жирнокислотный состав. Наибольший выход экстракта ($9,29 \pm 0,20$ %) достигнут при давлении 20,27 МПа и скорости подачи CO₂ 4 л/мин. Исследован жирнокислотный состав экстрактов, полученных при варьировании технологических параметров экстракции. Установлено, что в целом он соотносится с литературными данными, но в отдельных образцах обнаружены редкие насыщенные жирные кислоты со средней длиной углеводородной цепи: ундециловая C_{11:0} в количестве 0,16 %, лауриновая C_{12:0} (0,12 %) и тридециловая C_{13:0} (0,14 %). Высокое содержание линолевой (до 66 %) и α -линоленовой (до 17,39 %) жирных кислот делает экстракт косточки облепихи ценным источником эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот, что позволит использовать его в качестве функционального ингредиента для обогащения молочной продукции.

Ключевые слова: жирнокислотный состав, семена облепихи, флюидная экстракция, параметры экстракции, *Hippophaë rhamnoides* L.

Для цитирования: Жирнокислотный состав флюидных экстрактов семян

Облепихи крушиновидной / И. Ю. Сергеева, К. В. Старовойтова, И. В. Долголюк [и др.] / Сыроделие и маслоделие. 2025. № 2. С. 61–69. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-2-24>

Введение

Актуальной является проблема широкого распространения среди населения Российской Федерации социально значимых заболеваний, возникающих под воздействием вредных антропогенных факторов, включая профессиональные и экологические. Жители крупных, в т. ч. промышленных, городов нуждаются в профилактической поддержке здоровья путем введения в рацион на постоянной основе протективных веществ, обладающих антиоксидантной, противовоспалительной, онкопротекторной и другими видами биологической активности [1]. Решением данной проблемы может стать введение в рацион биологически активных добавок и продуктов питания, обогащенных соответствующими функциональными ингредиентами. Высоким функциональным потенциалом, широкой сенсорной восприимчивостью и универсальностью обладают молочные продукты, что делает их идеальными объектами для модификации и обогащения [2].

Кроме того, молочные продукты являются сложными пищевыми системами, включающими липидную фазу, подверженную гидролитическим и окислительным процессам, что заставляет разработчиков и производителей искать пути предотвращения порчи и продления сроков годности без снижения пищевой ценности продукта [3]. С этой задачей могут справиться натуральные добавки антиоксидантного действия, сочетающие в себе технологические и лечебно-профилактические функции, за счет присутствия природных антиоксидантов, таких как каротиноиды и токоферолы [4].

Обеспечение нужд пищевой промышленности в биологически активных веществах и функциональных ингредиентах на их основе до сегодняшнего дня во многом зависело от импортных поставок, многие из которых в настоящее время прекращены в связи с многочисленными санкциями против Российской Федерации [5].



Источник изображения: rixabay.com

Второй актуальной проблемой, затрагивающей в большей степени агропромышленный комплекс РФ, является проблема эффективности использования имеющихся сырьевых источников для производства продуктов питания, технологических добавок и ингредиентов для нужд пищевой и фармацевтической промышленности. Например, на консервных предприятиях, а также предприятиях по производству напитков, на различных этапах производственного цикла образуется до 70 % вторичного сырья, которое не подвергают обработке, а направляют на утилизацию. Наличие потерь и отходов в агропродовольственной цепи не может не сказываться на устойчивости производства, поскольку ограниченные ресурсы используются неэффективно [6].

В связи с вышеизложенным, актуальным представляется проведение прикладных исследований по разработке новых и оптимизации существующих протоколов извлечения биологически активных веществ из различных природных источников, в том числе из вторичных сырьевых ресурсов консервных производств, что позволит обеспечить максимизацию выхода целевых веществ, избегая при этом их деградации за счет применения щадящих технологий, прежде всего сверхкритической углекислотной экстракции [7].

К перспективным видам плодового сырья относится облепиха (лат. *Hippophaë rhamnoides*) – колючий листопадный кустарник или небольшое дерево из семейства лоховых, произрастающее в Европе и Азии. На территории Российской Федерации произрастает Облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L., *Elaeagnaceae*) от Западной и Восточной Сибири и до южных районов европейской части России [8].

Плоды облепихи богаты гидрофильными и липофильными биологически активными соединениями и благодаря своим свойствам получили широкое применение в фармацевтической и пищевой промышленности [9]. Растет количество исследований, подтверждающих уже известные [10, 19] и обнаруживающих новые фармакологические эффекты [11–13]. В частности, было доказано, что масло Облепихи крушиновидной может быть эффективным в профилактике и лечении заболеваний печени у крыс, что подтвердило регенерирующий терапевтический эффект Облепихи крушиновидной [11–16].

Терапевтические свойства липидов облепихи обуславливаются особенностями жирнокислотного состава, высоким содержанием каротиноидов, токоферолов и растительных стероидов [14]. При этом наблюдаются существенные различия в составе масла гипантия и семян, являющихся не менее ценным источником липофильных биологически активных веществ. Липиды, извлеченные из гипантия и семян, имеют разные профили жирных кислот. Кроме того, содержание токоферолов и фитостероидов в масле семян выше, чем в масле гипантия [17].

При промышленной переработке плодов облепихи семена часто отделяются и уходят на утилизацию. Доля семян составляет порядка 8–10 % от массы плодов облепихи (при понижении влажности – до 12 %) [8, 9].

В исследовании, опубликованном Л. В. Терещук и др., указывалось, что масло семян Облепихи крушиновидной обладает эффектом антигиперлипидемии и борется с атеросклерозом [14], кроме того, биологически активные вещества Облепихи крушиновидной могут ингибировать агрегацию тромбоцитов *in vitro* и тромбоз в бедренной артерии мыши [15]. Исследования подтверждают роль облепихи в улучшении кровообращения.

Кроме того, некоторые эксперименты также показали, что Облепиха крушиновидная обладает радиационной защитой, нейропротективным и противоопухолевым действием: установлено, что фракция масла семян облепихи, обогащенная пальмитиновой кислотой, обладает свойствами пролиферации клеток на обоих типах клеток кожи [16–18].

Ценность липидов семян облепихи связывают с высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот и жирорастворимых компонентов. Количественный состав ценных соединений плодов облепихи зависит от генетических характеристик растения, регионального климата, географического положения, погодных условий и т. д. [3].

Несмотря на проводимые исследования, все еще не хватает информации о влиянии способов и технологических параметров извлечения липофильных биологически активных веществ из семян облепихи на их выход, состав и качество.

Для получения масла из семян облепихи используют методы прессования и экстракции [24, 25]. В промышленных масштабах чаще используется метод экстракции органическими растворителями. Временные и энергетические затраты, трудоемкость, токсичный характер большинства органических растворителей (гексана, хлороформа, ацетона, метанола), который может вызвать деградацию молекул-мишеней, потерю летучих соединений, и наличие остатков растворителя заставляют искать более экологически чистые и бережные к целевым веществам методы экстракции. К таким методам может относиться сверхкритическая CO₂-экстракция, позволяющая достичь высокой селективности и не требующая повышенных температур, часто разрушительно влияющих на сохранность термолабильных соединений [7]. В связи с вышеизложенным, **цель данного исследования** заключалась в изучении особенностей жирнокислотного состава флюидных экстрактов семян облепихи, полученных при варьировании технологических режимов процесса экстракции.

Объекты и методы исследования

Растительное сырье. Плоды Облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.), собранные в период полного ботанического созревания, были предоставлены ТПК «Сава». Подготовка

семян к извлечению масла осуществлена следующим образом: плоды протирали через дезинтегратор, в результате чего получили облепиховое пюре и семена с оболочкой. Далее семена с оболочкой сушили при температуре 35 °С, после чего семена отделили от оболочки путем просеивания. Высушенные семена измельчали на лабораторной мельнице до среднего размера частиц – $0,56 \pm 0,20$ мм.

Классическая экстракция. Измельченные на лабораторной мельнице семена Облепихи крушиновидной (1 кг) были обработаны гексаном при помощи аппарата Сокслета до достижения полного истощения сырья в течение 24 ч.

Сверхкритическая CO₂-экстракция. Процесс экстрагирования проводили на полупромышленной установке для CO₂-экстракции (ООО «CO2EXT», г. Пушкино, Россия). Установка представляет собой экстрактор закрытого типа, с двумя рабочими колонками объемом 10 л каждая и одной колонкой объемом 1 л. В установку также входят три сепаратора, позволяющих максимально увеличить расход CO₂ и фракционировать получаемые экстракты. Оборудование полностью автоматизировано. Параметры обработки сырья: температура в рабочей колонке – 35 °С, давление (МПа) / температура (°С) в сепараторах 6,08 / 35; 5,07 / 35; 4,10 / 20, продолжительность ведения процесса – 60 мин при каждом значении давления. Проведены две серии опытов:

- с варьированием скорости подачи CO₂ (2 и 4 л/мин) при давлении 10,13 МПа;
- с последовательным повышением давления в рабочей колонке от 10,13 до 20,27 МПа при скорости подачи CO₂ 4 л/мин.

Образцы экстрактов, полученных при разных технологических параметрах, были зашифрованы (табл. 1).

Таблица 1. Кодировка полученных образцов экстрактов

Номер сепаратора / давление (МПа) / температура (°С) в сепараторах	Давление экстракции, МПа		
	10,13	15,2	20,27
C1 / 6,08 / 35	Образец 1.1	Образец 2.1	Образец 3.1
C2 / 5,07 / 35	Образец 1.2	Образец 2.2	Образец 3.2
C3 / 4,10 / 20	Нет выхода	Нет выхода	Нет выхода

Йодное число экстрактов определяли методом Вийса, который основан на применении хлористого йода в ледяной уксусной кислоте в качестве галогенреагента по ГОСТ ISO 3961–2020 [4]. Показатель преломления определяли по ГОСТ 18995.2–2022 на рефрактометре ИРФ-22.

Газовая хромато-масс-спектрометрия (ГХ-МС).

Жирнокислотный состав экстрактов определяли на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra с использованием МС-детектора 5977. Параметры ГХ-МС: образец вводили в объеме 1 мкл в режиме разделения 1:50 с помощью автодозатора в газовый хроматограф, оснащенный капиллярной колонкой внутренним диаметром 30 м × 0,18 мм из плавленого кварца с химически связанной 0,15 мкм фазой HP-5 MS. Скорость потока газа через колонку составляла 1 мл/мин, а температуру колонки поддерживали на уровне 80 °С в течение 3 мин и повышали до 280 °С при 20 °С/мин. Выходящий из колонки поток вводили в источник ионов Agilent 5977A. Температура линии передачи и источника ионов составляла 250 и 230 °С соответственно. Ионы генерировались электрон-

ным пучком с энергией 70 эВ при токе эмиссии 35 мкА. Ускоряющее напряжение включали после задержки растворителя на 120 с, а напряжение детектора составляло 1500–2000 В. Все данные ГХ-МС анализировали с помощью программного обеспечения GCMSsolution. Для идентификации обнаруженных жирных кислот использовали базу данных NIST MS. Стандартный образец смеси метиловых эфиров жирных кислот (TM TraceCERT) приобретен в ООО «Компания Хеликон».

Результаты и их обсуждение

Проанализированы литературные данные, касающиеся исследований состава масла плодов и семян Облепихи крушиновидной, позволяющие верифицировать результаты собственных исследований. Кроме того, для определения максимального выхода и сравнения жирнокислотного состава липофильного экстракта семян при флюидной экстракции в качестве контрольного был использован образец экстракта, полученного классической экстракцией гексаном при помощи аппарата Сокслета (табл. 2).

Таблица 2. Жирнокислотный состав масел, полученных разными способами

Наименование жирной кислоты	Массовая доля жирной кислоты, % к сумме жирных кислот				
	Экстракция петroleumным эфиром (Долженко [21])	Экстракция гексаном (Wirkowska- Wojdyła [22])	Прессование (De Filette [25])	Флюидная экстракция (Cenkowsk [26])	Экстракция гексаном (собственные результаты)
C _{10:0} Декановая (каприновая)	–	–	–	–	1,05 ± 0,05
C _{12:0} Додекановая (лауриновая)	–	–	–	–	0,5 ± 0,05
C _{14:0} Тетрадекановая (миристиновая)	–	0,14 ± 0,07	–	–	1,10 ± 0,05
C _{15:0} Пентадециловая (пентадекановая)	–	–	–	–	1,03 ± 0,05
C _{16:0} Гексадекановая (пальмитиновая)	6,47–7,66	8,17 ± 1,32	7,1	7,2 ± 0,3	8,65 ± 0,45
C _{16:1} Гексадеценовая (пальмитолеиновая)	0,12–0,72	0,29 ± 0,02	0,5	–	4,65 ± 0,80
C _{18:0} Октадекановая (стеариновая)	1,48–2,58	3,78 ± 0,63	2,8	2,4 ± 0,1	2,80 ± 0,57
C _{18:1} Октадеценовая (олеиновая)	12,85–20,05	28,83 ± 1,92	22,9	13,0 ± 0,3	16,30 ± 0,72
C _{18:1} Цис-11-октадеценовая кислота (вакценовая)	0,77–2,49	–	–	1,9 ± 0,01	1,80 ± 0,35
C _{18:2} Октадекадиеновая (линолевая)	38,26–43,10	57,78 ± 2,38	35,4	35,9 ± 0,1	38,32 ± 1,20
C _{18:3} Октадекатриеновая (линоленовая)	28,91–34,34	0,11 ± 0,03	–	37,9 ± 0,1	22,20 ± 0,70
C _{18:3} 6,9,12-октадекатриеновая (гамма-линоленовая)	–	–	Менее 0,1	–	–
C _{20:0} Эйкозановая (арахиновая)	–	0,23 ± 0,09	0,5	–	1,10 ± 0,05
C _{20:1} Эйкозеновая (гондоиновая)	–	0,13 ± 0,05	0,2	–	0,50 ± 0,05
C _{20:2} Эйкозадиеновая	–	–	–	–	–
C _{22:0} Докозановая (бегеновая)	–	0,54 ± 0,11	–	–	–

Данные, полученные группой ученых Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий, свидетельствуют, что в жирнокислотном составе масла семян, извлеченном петролейным эфиром, преобладали линолевая и линоленовая жирные кислоты (более 70 % от суммы жирных кислот). Особенностью семян являлось наличие цис-вакценовой кислоты ($C_{18:1} n-7$), содержание которой в среднем по сортам составляло 1,56 % [20].

Исследования жирнокислотного состава образца, полученного нами при помощи классической экстракции гексаном, также показали преобладание линолевой и линоленовой жирных кислот (60,52 % от суммы жирных кислот) и присутствие цис-вакценовой кислоты в количестве около 1,8 %, что соотносится с результатами алтайских ученых [20] и S. Cenkowski [26], которым были проведены исследования жирнокислотного состава масел семян облепихи, полученных разными методами – флюидной CO_2 -экстракцией, прессованием, экстракцией растворителями. Примечательно, что у S. Cenkowski количественный состав жирных кислот масел, полученных различными способами, не имел отличий в качественном составе жирных кислот [26].

Отличие исследования S. M. Cирага с соавторами от аналогичных заключалось в получении масла из мякоти и семян, полученных из высушенных плодов. Было установлено, что выход масла из околоплодника и семян составил 18,8 и 7,4 соответственно (выражено в г масла на 100 г сухого растительного материала). Основными жирными кислотами в масле перикарпия были пальмитиновая, пальмитолеиновая и олеиновая кислоты (35,2, 28,5 и 29,9 % соответственно). Масло семян было богато олеиновой, линолевой и α -линоленовой кислотами (23,7, 37,6 и 20,5 % соответственно) [23].

L. F. Gutierrez с группой ученых также исследовали жирнокислотный состав масел семян облепихи, полученных экстракцией гексаном в аппарате Сокслета. Установлено, что содержание масла в семенах 20 диких популяций облепихи варьировалось от 3,88 до 9,66 % [24]. Максимальное содержание олеиновой кислоты составило 21,19 %, в то время как наши эксперименты продемонстрировали максимальное содержание в $16,3 \pm 0,72$ %; самое высокое значение транс-олеиновой кислоты – 6,34 %, линолевой – 42,03 %, линоленовой – 30,73 %.

M. de Filette и др. исследовали жирнокислотный состав масла семян облепихи, полученного прессованием на шнековом экструдере при температуре ниже 50 °C. Отличие жирнокислотного состава исследуемого масла заключалось в отсутствии линоленовой кислоты, а также преобладающем содержании линолевой (35,4 %) и олеиновой (22,9 %) жирных кислот [25].

Анализ литературных данных и собственных исследований показал достаточно широкий диапазон варьирования содержания отдельных жирных кислот в зависимости от способа получения экстракта и места произрастания Облепихи крушиновидной [25–27].

Нами в лабораторных условиях была проведена серия экспериментов по получению CO_2 -экстрактов семян облепихи на полупромышленной установке, описанной выше. Для определения масличности исследуемых семян провели классическую исчерпывающую экстракцию гексаном: содержание липидов в сырье составило $9,70 \pm 0,20$ % (контрольный образец).

Результаты влияния скорости подачи CO_2 на выход экстракта при фиксированном давлении 10,13 МПа представлены в таблице 3. С целью минимизации потерь целевых веществ температуру в рабочей колонке не поднимали выше 35 °C, продолжительность ведения процесса составляла 60 мин.

Исследование продемонстрировало увеличение выхода экстракта более чем на 15 % при повышении скорости подачи углекислого газа. Поскольку максимальный суммарный выход экстракта был достигнут при скорости 4 л/мин, дальнейшие опыты по варьированию рабочего давления проводили при данной скорости (табл. 4).

Таблица 3. Зависимость суммарного выхода экстракта от скорости подачи углекислого газа

Скорость подачи CO_2 , л/мин	Выход экстракта, %
2 л/мин	$7,10 \pm 0,30$
4 л/мин	$8,21 \pm 0,20$

Таблица 4. Зависимость суммарного выхода экстракта от рабочего давления

Рабочее давление, МПа	Выход экстракта, %
10,13	$8,21 \pm 0,20$
15,20	$9,03 \pm 0,20$
20,27	$9,29 \pm 0,20$

Результаты исследования влияния рабочего давления на суммарный выход экстракта при фиксированной скорости 4 л/мин и температуре 35 °С показали увеличение суммарного выхода на 10 % при повышении рабочего давления с 10,13 до 15,20 МПа. Однако дальнейшее повышение давления не дало значимого увеличения выхода (максимально – на 3 %).

Несмотря на то что флюидная экстракция продемонстрировала меньший выход, чем гексановая, отсутствие необходимости отгонки токсичного растворителя и гораздо меньшая про-

должительность процесса (60 мин против 24 ч) делают этот способ наиболее предпочтительным для извлечения целевых липофильных веществ из растительного сырья.

Далее были проведены исследования жирнокислотного состава и некоторых физико-химических показателей полученных экстрактов (табл. 5).

Данные, представленные в таблице 5, свидетельствуют о том, что состав CO₂-экстракта семян Облепихи крушиновидной близок к составу экстракта, полученного экстракцией гексаном,

Таблица 5. Жирнокислотный состав и физико-химические показатели флюидных экстрактов, полученных при различных технологических параметрах

Наименование жирной кислоты	Содержание относительно других компонентов, %					
	Образец 1.1	Образец 1.2	Образец 2.1	Образец 2.2	Образец 3.1	Образец 3.2
Насыщенные жирные кислоты						
C _{10:0} Декановая (каприновая)	0,15	0,16	–	–	–	–
C _{11:0} Ундекановая (ундециловая)	0,06	0,04	0,02	0,03	0,02	0,16
C _{12:0} Дodeкановая (лауриновая)	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,12
C _{13:0} Тридекановая (тридециловая)	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,14
C _{15:0} Пентадекановая (пентадециловая)	0,16	0,13	0,12	0,12	0,09	0,10
C _{16:0} Гексадекановая (пальмитиновая)	8,74	8,96	8,05	8,42	7,02	7,81
C _{17:0} Гептадекановая (маргариновая)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
C _{18:0} Октадекановая (стеариновая)	2,87	2,89	2,84	2,76	3,19	3,27
C _{20:0} Эйкозановая (арахиновая)	0,32	0,34	0,35	0,36	0,51	0,49
C _{21:0} Генэйкозановая (генэйкоциловая)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	–
C _{22:0} Докозановая (бегеновая)	0,05	0,06	0,06	0,07	0,10	0,07
C _{23:0} Трикозановая (трикоциловая)	0,05	0,02	0,01	0,02	0,02	–
C _{24:0} Тетракозановая (лигноцериновая)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01
Мононенасыщенные жирные кислоты						
C _{16:1} 9-гексадеценная (пальмитолеиновая)	1,26	1,28	1,17	2,03	0,61	0,68
C _{18:1} 6-октадеценная (петроселиновая)	0,04	0,09	0,03	0,03	0,01	0,02
C _{18:1} 9-октадеценная (олеиновая)	9,40	9,58	9,72	10,86	11,68	13,73
C _{20:1} цис-11-эйкозеновая (гондоиновая)	0,18	0,27	–	0,23	0,44	0,98
Полиненасыщенные жирные кислоты						
C _{18:2} 9,12-октадекадиеновая (линолевая)	54,49	64,38	51,56	66,83	63,33	59,82
C _{18:3} 6,9,12-октадекатриеновая (гамма-линоленовая)	0,03	0,06	0,10	0,02	0,11	0,21
C _{18:3} 9,12,15-октадекатриеновая (альфа-линоленовая)	17,39	10,89	12,76	11,92	12,33	11,13
Физико-химические показатели						
Показатель преломления	1,4767	1,4771	1,4764	1,4782	1,4781	1,4766
Йодное число, г I ₂ /100 г	147,99	148,32	131,20	156,29	152,16	144,88

и в целом соотносится с данными, полученными другими исследователями. Однако примечательным является обнаружение в некоторых образцах редко встречающейся каприновой кислоты (Образец 1.1 и Образец 1.2, полученные при самом низком рабочем давлении 10,13 МПа). В экстрактах, полученных при более высоком давлении, данная кислота не обнаружена.

Кроме того, помимо набора жирных кислот, встречающегося практически во всех работах по данной теме, в экстрактах детектирована ундекановая (ундециловая $C_{11:0}$) жирная кислота, обладающая признанной антимикотической активностью. Причем в экстракте (Образец 3.2), полученном при самом высоком давлении (20,27 МПа) и скорости подачи углекислого газа (4 л/мин), отмечено самое высокое содержание данной кислоты – 0,16 %. То же касается среднепочечной лауриновой кислоты $C_{12:0}$ (0,12 % в Образце 3.2). Также в экстрактах обнаружена тридекановая (тридециловая) $C_{13:0}$ жирная кислота и наблюдалась та же тенденция, что и в содержании ундециловой и лауриновой кислот: во всех экстрактах обнаружено незначительное количество данной кислоты (0,02–0,03 %) и только в Образце 3.2, полученном при самых интенсивных режимах экстракции, содержится 0,14 % тридекановой кислоты.

Все полученные экстракты отличались повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот, являющихся незаменимыми в питании человека. Этот факт объясняет достаточно высокие йодные числа образцов (от 131 до 156 г I_2 /100 г), характеризующие степень ненасыщенности липидов. Кроме того, образцы с более высоким йодным числом имели более высокие коэффициенты преломления, что соотносится с литературными данными о том, что преломляющая способность липидов возрастает с увеличением молекулярной массы и неопределенности жирных кислот [20].

Выводы

Анализ литературных данных по изучению состава экстрактов, полученных из семян Облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.), позволил выбрать данное сырье в качестве источника липофильных веществ для включения в состав функциональных и технологических добавок для пищевой продукции, в том числе и молочной.



Источник изображения: pixabay.com

Изучено влияние таких технологических параметров, как рабочее давление (от 10,13 до 20,27 МПа) и скорости подачи CO_2 от 2 до 4 л/мин на выход экстракта и его жирнокислотный состав. Наибольший выход экстракта ($9,29 \pm 0,20$ %) достигнут при давлении 20,27 МПа и скорости подачи CO_2 4 л/мин. Несмотря на то что флюидная экстракция продемонстрировала меньший выход, чем гексановая ($9,70 \pm 0,20$ %), отсутствие необходимости отгонки токсичного растворителя и гораздо меньшая продолжительность процесса (60 мин против 24 ч) делают этот способ наиболее предпочтительным для извлечения целевых липофильных веществ из растительного сырья.

Исследован жирнокислотный состав экстрактов, полученных при варьировании технологических параметров экстракции. Установлено, что в целом состав жирных кислот исследуемых образцов соответствует литературным данным, однако в отдельных образцах обнаружены редко встречающиеся насыщенные жирные кислоты со средней длиной углеводородной цепи: ундециловая $C_{11:0}$ (в количестве 0,16 %), лауриновая $C_{12:0}$ (0,12 %) и тридециловая $C_{13:0}$ (0,14 %). Высокое содержание линолевой (до 66 %) и α -линоленовой (до 17,39 %) жирных кислот

делает экстракт косточки облепихи ценным источником эссенциальных ПНЖК, что позволит использовать его в качестве функционального ингредиента для обогащения молочной продукции.

Представленное в данной статье исследование требует продолжения: полученные экстракты планируется изучить при помощи высокоэффективной жидкостной хроматографии на предмет содержания в них каротиноидов, токоферолов и стерина. Полученные данные

позволят разработать адаптированные к промышленным условиям методы извлечения фитохимических веществ из растительного сырья (в т. ч. отходов консервного производства, фармакопейных растений Западной Сибири) с целью применения в составе функциональных ингредиентов, в т. ч. антиоксидантной природы, предназначенных для внесения в состав молочной продукции как для обогащения незаменимыми нутриентами, так и для сохранения качества и увеличения сроков годности. ■

Поступила в редакцию: 17.03.2025

Принята в печать: 28.04.2025

Fatty Acid Composition of Sea Buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) Fluid Extracts

Irina Yu. Sergeeva, Ksenia V. Starovoitova, Irina V. Dolgolyuk, Larisa A. Ryabokoneva, Ekaterina V. Nazimova, Veronika Yu. Boger
Kemerovo State University, Kemerovo

Domestic raw materials offer numerous solutions for import substitution of biologically active substances and functional ingredients. New or improved protocols make it possible to extract biologically active substances from various natural sources, including secondary raw materials obtained as wastes of canning and other food industries. Sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) is rich in hydrophilic and lipophilic biologically active compounds. Its seeds contain a lot of unsaturated fatty acids and fat-soluble components. The article describes the effect of different extraction modes on the yield and fatty acid composition of fluid sea buckthorn extracts. The working pressure was 10.13–20.27 MPa; the CO₂ feed rate was 2–4 L/min. The biggest extract yield (9.29 ± 0.20 %) was achieved at 20.27 MPa and 4 L CO₂/min. In general, the results correlated with other scientific reports. However, some samples appeared to contain some rare saturated fatty acids with medium chain hydrocarbons, i.e., 0.16 % undecylic C_{11:0}, 0.12 % lauric C_{12:0}, and 0.14 % tridecyl C_{13:0}. The high content of linoleic (≤66%) and α-linolenic (≤17.39%) fatty acids makes fluid sea buckthorn seed extracts a valuable source of essential polyunsaturated fatty acids to be used as a functional ingredient in fortified dairy products.

Keywords: fatty acid composition, sea buckthorn seeds, fluid extraction, extraction parameters, *Hippophaë rhamnoides* L.

Список литературы

1. Starovoitova, K. V. Evaluating industrial workers' flavonoid consumption / K. V. Starovoitova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science. IOP Publishing Ltd, 2021. 062026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/6/062026>
2. Ульрих, Е. В. Тенденции развития молочной промышленности России / Е. В. Ульрих // Молочная промышленность. 2024. № 6. С. 31–38. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/6/062026>; <https://elibrary.ru/xulniv>
3. Старовойтова, К. В. Окислительная и гидролитическая порча жирового сырья для молочносодержащих продуктов в процессе хранения / К. В. Старовойтова, Л. В. Терещук, М. Г. Курбанова, Т. В. Филимонова // Сыроделие и маслоделие. 2023. № 4. С. 98–102. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/6/062026>; <https://elibrary.ru/xulniv>
4. Tereshchuk, L. V. The use of sea buckthorn processing products in the creation of a functional biologically active food emulsion / L. V. Tereshchuk, K. V. Starovoitova, P. A. Vyushinsky, K. A. Zagorodnikov // Foods. 2022. Vol. 11(15). 2226. <https://doi.org/10.3390/foods1152226>; <https://elibrary.ru/szzhtj>
5. Новокшанова, А. Л. Состояние развития производства специализированных молочных продуктов в России / А. Л. Новокшанова // Молочная промышленность. 2024. № 4. С. 27–31. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/6/062026>; <https://elibrary.ru/vvfong>
6. Markov, A. S. Investigation of the potential of industrial carrot processing waste for the release of bioactive substances / A. S. Markov, I. V. Dolgolyuk, E. V. Nazimova, I. Yu. Sergeeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Voronezh. Voronezh, 2021. 062030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062030>
7. Петрова, А. А. Влияние параметров сверхкритической CO₂-экстракции семян растения рода *Amaranthus* на выход целевых компонентов / А. А. Петрова, О. В. Салищева, А. С. Марков // Молочная промышленность. 2025. № 1. С. 55–63. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-1-29>; <https://elibrary.ru/xrtclc>
8. Бородачева, А. А. Облепиха / А. А. Бородачева // Садоводство России. 2021. № 4(19). С. 5–10. <https://elibrary.ru/zsmtbg>
9. Teleszko, M. Analysis of lipophilic and hydrophilic bioactive compounds content in sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berries. / Teleszko M [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2015. Vol. 63(16) P. 4120–4129. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00564>
10. Ren, R. The bioactive components as well as the nutritional and health effects of sea buckthorn / Ren R [et al.] // RSC Advances. 2020. Vol. 10(73). P. 44654–44671. <https://doi.org/10.1039/d0ra06488b>
11. Żuchowski, J. Phytochemistry and pharmacology of sea buckthorn (*Elaeagnus rhamnoides*; syn. *Hippophaë rhamnoides*); progress from 2010 to 2021 / J. Żuchowski // Phytochemistry Reviews. 2023. Vol. 22(1). P. 3–33. <https://doi.org/10.1007/s11101-022-09832-1>
12. Zielińska, A. Abundance of active ingredients in sea-buckthorn oil / A. Zielińska, I. Nowak // Lipids in Health and Disease. 2017. Vol. 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0469-7>
13. Sheng, C. Metabolomic Profiling Reveals Protective Effects and Mechanisms of Sea Buckthorn Sterol against

Carbon Tetrachloride-Induced Acute Liver Injury in Rats / Ch. Sheng [et al.] // *Molecules*. 2022. Vol. 27(7). 2224. <https://doi.org/10.3390/molecules27072224>

14. **Tereshchuk, L.** Sea buckthorn and rosehip oils with chokeberry extract to prevent hypercholesterolemia in mice caused by a high-fat diet *in vivo* / L. Tereshchuk [et al.] // *Nutrients*. 2020. Vol. 12(10). P. 1–16. <https://doi.org/10.3390/nu12102941>

15. **Sławińska, N.** Anti-Platelet Activity of Sea Buckthorn Seeds and Its Relationship with Thermal Processing / N. Sławińska, J. Żuchowski, A. Stochmal, B. Olas // *Foods*. 2024. Vol. 13(15). 2400. <https://doi.org/10.3390/foods13152400>; <https://elibrary.ru/jfzfze>

16. **Liu, F.** Involvement of NF- κ B in the reversal of CYP3A down-regulation induced by sea buckthorn in BCG-induced rats / Liu F [et al.] // *PLoS ONE*. 2020. Vol. 15(9). e0238810. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238810>

17. **Dudau, M. A.** Fatty Acid Fraction Purified From Sea Buckthorn Seed Oil Has Regenerative Properties on Normal Skin Cells / M. Dudau [et al.] // *Frontiers in Pharmacology*. 2021. Vol. 12(APR). 737571. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.737571>

18. **Pandey, P. K.** Radiomodifying action, Pharmacokinetic and Biodistribution of Ethyl 3, 4, 5-trihydroxybenzoate-Implication in development of radiomitigator / P. K. Pandey [et al.] // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9, № 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55316-2>; <https://elibrary.ru/evodib>

19. **Abdullahzadeh, M.** To compare the effect of sea buckthorn and silver sulfadiazine dressing on period of wound healing in patients with second-degree burns: A randomized triple-blind clinical trial / M. Abdullahzadeh, S. Shafiee // *Wound Repair and Regeneration*. 2021. <https://doi.org/10.1111/wrr.12916>

20. **Christie, W. W.** Lipid Analysis: Isolation, Separation, Identification, and Structural Analysis of Lipids / Christie, W.W. – Bridgewater: Oily Press: 2003. P. 205–224.

21. **Долженко, А. Я.** Жирнокислотный состав масла плодовой мякоти и семян облепихи алтайской селекции / А. Я. Долженко, Ю. А. Зубарев, А. В. Гунин // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2024. № 1(70). С. 51–58 <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-70-1-51-58>; <https://elibrary.ru/fvgueg>

22. **Wirkowska-Wojdyła, M.** Assessment of the Nutritional Potential and Resistance to Oxidation of Sea Buckthorn and Rosehip Oils / M. Wirkowska-Wojdyła [et al.] // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024. Vol. 14(5). 1867. <https://doi.org/10.3390/app14051867>

23. **Cupara, S. M.** Dry sea buckthorn berries (*Hippophaë rhamnoides* L.) - fatty acid and carotene content in pericarp and seed oil / S. M. Cupara [et al.] // *HealthMed*. 2010. Vol. 4(4). P. 788–791.

24. **Gutierrez, L. F.** Effects of drying method on the extraction yields and quality of oils from Quebec sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) seeds and pulp / L. F. Gutierrez [et al.] // *Food Chemistry*. 2008. Vol. 106. P. 896–904. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.058>

25. **De Filette, M.** Characterization of Six Cold-Pressed Berry Seed Oils and Their Seed Meals / M. De Filette [et al.] // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14(1). P. 439. <https://doi.org/10.3390/app14010439>

26. **Cenkowski, S.** Quality of extracted sea buckthorn seed and pulp oil / S. Cenkowski [et al.] // *Canadian Biosystems Engineering*. 2006. Vol. 48.

27. **Kuhkheil, A.** Seed Oil Quantity and Fatty Acid Composition of Different Sea Buckthorn (*Hippophaë Rhamnoides* L.) Wild Populations in Iran / A. Kuhkheil [et al.] // *Erwerbs-Obstbau*. 2018. Vol. 60. P. 165–172. <https://doi.org/10.1007/s10341-017-0351-9>
