

УДК 581.192:577.13+634.74

Содержание биологически активных фенольных соединений в плодах облепихи (*Hippophaë rhamnoides* L.) в условиях юга Западной Сибири

И.В. Ершова¹ 

¹ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», 656910, п. Научный городок, д. 35, г. Барнаул, Россия, aniish@mail.ru

Аннотация

Облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.) является уникальным растением европейской и азиатской флоры, содержащим в своих плодах целый комплекс биологически активных соединений с ценными биологико-фармакологическими свойствами. В настоящее время культура имеет статус одного из самых востребованных растений в качестве сырья в пищевой, фармацевтической, косметической промышленности. Она занимает важное место в системе сохранения и улучшения здоровья населения. К числу важнейших биологически активных веществ, которые вносят существенный вклад в реализацию лечебно-профилактического потенциала культуры, относятся фенольные соединения, в частности, биофлавоноиды – наиболее значимые природные антиоксиданты. Несмотря на многочисленные экспериментальные данные о фитохимическом составе плодов облепихи, сведения о содержании флавоноидов в ягодах культуры в условиях юга Западной Сибири весьма ограничены. Целью настоящей работы явилось выявление специфики накопления биологически активных фенольных соединений в ягодах облепихи (*Hippophaë rhamnoides* L.), выращенной в условиях лесостепной зоны Алтайского края, выделение перспективных форм с высокими соответствующими показателями, отличающимися стабильностью в меняющихся условиях среды. Исследования осуществлялись в период с 2021 по 2023 гг. Объекты исследований – свежие зрелые плоды сортов и гибридных форм облепихи. Суммарное содержание биофлавоноидов и отдельных фракций (антоцианов, флаванов, флавонолов) определяли спектрофотометрическими и колориметрическими методами в этанольных экстрактах плодов. Установлены сортовые различия и диапазоны изменчивости соответствующих показателей. Выделены перспективные генотипы, представляющие интерес по данному признаку. Количество фенольных соединений в ягодах облепихи в условиях юга Западной Сибири составляет в среднем 387,7 мг/100 г с диапазоном варьирования показателя 298,6...508,2 мг/100 г. Перспективными источниками их высокого содержания признаны сорта Этна, Афина, гибридные формы 79-01-1, 170-03-1, 360-05-1. Доминирующей фракцией комплекса биофлавоноидов плодов культуры являются процианидины (66,0%), значительная доля приходится на флавонолы (22,8%), 10,8% – на катехины. В наименьшей степени представлены антоцианы (0,4%). Установлено, что уровень аккумуляции биофлавоноидов в сильной степени зависит от суммы активных температур периода вегетации культуры. Гомеостатичностью признака характеризуются сорт Этна, гибридные формы 360-05-1, 125-02-1, 79-01-1.

Ключевые слова: облепиха крушиновидная, сорта, гибриды, плоды, химический состав, биофлавоноиды, антоцианы, флаваны, флавонолы

Contents of biologically active phenolic compounds in sea buckthorn fruits (*Hippophaë rhamnoides* L.) under the conditions of the south of Western Siberia

I.V. Ershova¹ 

¹Federal Altai Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, 656910, Nauchnii gorodok, 35, Barnaul, Russia, aniish@mail.ru

Abstract

Sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) is a unique plant species of the European and Asian flora, which fruits contain a complex of biologically active compounds with valuable biological and pharmacological properties. Currently, the species is recognized as one of the most in-demand plant sources of raw materials for the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. It occupies an important place in the system of public health preservation and improvement. Among the most important biologically active substances that make a significant contribution to the therapeutic and preventive potential of the species are phenolic compounds, particularly bioflavonoids, the most significant natural antioxidants. Despite numerous experimental data on the phytochemical composition of sea buckthorn fruits, the information on the flavonoid content of berries grown in the southern regions of Western Siberia remains limited. The objective of this study was to identify the specific patterns of accumulation of biologically active phenolic compounds in the berries of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) cultivated in the forest-steppe zone of the Altai Territory, as well as to identify promising forms with high and stable corresponding values under variable environmental conditions. The studies were conducted from 2021 to 2023. The objects of investigation were fresh ripe fruits of sea buckthorn cultivars and hybrid forms. The total content of bioflavonoids and individual fractions (anthocyanins, flavans, flavonols) was determined in ethanol extracts of the fruits using spectrophotometric and colorimetric methods. Cultivar-specific differences and ranges of variation for the respective parameters were identified. Promising genotypes of interest for this trait were identified. The content of phenolic compounds in sea buckthorn berries grown in the southern regions of Western Siberia averaged 387.7 mg/100 g, with a variation range of 298.6 to 508.2 mg/100 g. The cultivars Etna and Afina, along with the hybrid forms 79-01-1, 170-03-1, and 360-05-1, were identified as promising sources of high phenolic content. The dominant fraction of the fruit bioflavonoid complex consisted of procyanidins (66.0%), followed by a substantial proportion of flavonols (22.8%), catechins (10.8%), and a minimal proportion of anthocyanins (0.4%). It was found that the level of bioflavonoid accumulation strongly depended on the sum of active temperatures during the vegetation period. The cultivars and hybrid forms characterized by high trait homeostasis included Etna, 360-05-1, 125-02-1, and 79-01-1.

Key words: *Hippophaë rhamnoides*, cultivars, hybrids, fruits, chemical composition, bioflavonoids, anthocyanins, flavans, flavonols

Введение

Актуальным направлением научных исследований последних десятилетий в области плодовых и ягодных культур являются поиск и изучение перспективных источников ценных биологически активных веществ (БАВ). Комплекс БАВ растений участвует в регуляции многих физиологических и биохимических процессов, тем самым поддерживая нормальную жизнедеятельность организма. Химический состав растительного сырья отличается многокомпонентностью и широким диапазоном биологической активности, благодаря чему оно представляет исключительный интерес для здорового питания, разработки и внедрения новых лекарственных препаратов и БАД направленного биологического действия с выраженным антиоксидантными и адаптогенными свойствами, косметических средств и

т.п. Спектр его применения определяется специфичностью биохимического состава растительной продукции. Последнее, в свою очередь, обуславливается многими факторами (видовые и сортовые особенности, условия репродукции растений, факторы окружающей среды), поэтому исследование химического состава образцов плодовых и ягодных культур, выращенных в различных регионах мира, продолжает быть актуальным.

Облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.) является уникальным растением европейской и азиатской флоры, содержащим в своих плодах целый комплекс БАВ с ценными биолого-фармакологическими свойствами. Их высокое содержание, а также эффективное воздействие на организм человека подтверждено мировой медицинской и народной практикой (Mihal et al., 2023). Плоды облепихи, как и другие части растения, используют в профилактических и лечебных целях для поддержания сердечно-сосудистой и иммунной систем, липидного обмена, как противовоспалительные, заживляющие и антирадиационные средства (Suryakumar, Gupta, 2011; Brno, 2015; Guo et al., 2017; Olas et al., 2018). На сегодняшний день пищевая и лечебно-профилактическая ценность облепихи неоспоримы. Она занимает важное место в системе сохранения и улучшения здоровья населения. Значительный терапевтический потенциал облепихи напрямую связан с химическим составом ее различных органов. По данным российских и зарубежных исследователей, плоды облепихи богаты углеводами, пектиновыми, дубильными и азотистыми веществами, органическими кислотами, в том числе жирными кислотами, водородными и жирорастворимыми витаминами, фосфолипидами, фенольными соединениями, ферментами, минеральными веществами и т.п. (Ершова, 2009; Скуридин и др., 2013; Тринеева и др., 2019; Мезенова и др., 2020; Нилова, Малютенкова, 2021; Olas et al., 2018; Dabrowskia et al., 2022; Mihal et al., 2023). Основным продуктом переработки ее плодов является ценнейшее облепиховое масло, используемое в качестве исходного компонента или основы для создания разных видов фармацевтической продукции. Оно отличается высоким содержанием каротиноидов, токоферолов (витамин Е), ненасыщенных жирных кислот. Значимым показателем биологической ценности плодов является и содержание витамина С, по количеству которого облепиха лидирует среди плодовых и ягодных пород. К числу важнейших БАВ, которые вносят существенный вклад в реализацию лечебно-профилактического потенциала культуры, относятся и фенольные соединения (ФС), в частности, биофлавоноиды. На сегодняшний день, наряду с витамином С, они признаны одной из самых значимых групп биоантиоксидантов. Биофлавоноиды являются продуктами вторичного метаболизма растений, проявление биологической активности которых весьма многообразно. Установлены их противовоспалительные, antimикробные, антиканцерогенные, капилляроукрепляющие, гепато- и нейропротекторные, адаптогенные свойства (Тараховский и др., 2013). Эти метаболиты принимают участие в росте, развитии самих растений, дыхании, фотосинтезе, а также защите от действия стрессовых факторов (Упадышев, 2008). В настоящее время большинство исследователей связывают содержание полифенольных соединений с антиоксидантным потенциалом растений, в связи с чем соответствующие научные исследования приобретают все большее значение в селекционных программах по культурам. В этом контексте становится понятной необходимость оценки сортов и форм облепихи по содержанию данной группы БАВ. Известно, что биосинтез и накопление ФС в онтогенезе растений является как результатом реализации генетической программы, так и в значительной степени зависит от воздействия факторов внешней среды. Немаловажным является факт территориальной вариабельности количественного и качественного состава БАВ для различных целей применения плодов облепихи. Поэтому выявление соответствующего потенциала культуры в различных природно-климатических регионах произрастания остается актуальным направлением для

изучения. Химический состав плодов облепихи достаточно широко освещен в научной литературе, однако, закономерности накопления биологически активных ФС сортообразцами культуры, произрастающими в условиях юга Западной Сибири, изучены мало, что не позволяет в полной мере оценить вклад данной группы БАВ в общую биологическую активность ее плодов.

Цель настоящей работы – выявление специфики накопления биологически активных ФС в ягодах облепихи (*Hippophaë rhamnoides* L.), выращенной в условиях лесостепной зоны Алтайского края, выделение перспективных форм с высокими соответствующими показателями, отличающимися стабильностью в меняющихся условиях среды.

Материалы и методы

Исследования осуществлялись на базе лаборатории индустриальных технологий и экспериментально-производственных подразделений отдела НИИ садоводства Сибири (НИИСС) ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» в период с 2021 по 2023 гг. Объекты исследований – сорта и гибридные формы облепихи, которые были отобраны по максимальному проявлению и сочетанию ряда хозяйствственно-ценных признаков (высокие зимостойкость, урожайность и скроплодность, крупноплодность, качественный биохимический состав плодов, в случае отдельных образцов – плотная мякоть ягод, их раннее созревание и т.п.): Чуйская, Афина, Иня, Этна, 79-01-1, 125-02-1, 125-02-2, 170-03-1, 177-00-1, 258-03-1, 360-05-1. Суммарное содержание биофлавоноидов и отдельных фракций (антоцианов, флаванов, флавонолов) определяли спектрофотометрическими и колориметрическими методами после их экстракции из ягод 96%-ным этианолом из расчета его 80%-ной конечной концентрации (в случае определения общего содержания ФС и флавонолов) и 96%-ным этианолом, подкисленным 1% HCl (в случае определения катехинов, процианидинов и антоцианов) (Ермаков и др., 1987; Самородова-Бианки, Стрельцина, 1989). Для определения суммы ФС использовали метод с использованием реактива Фолина-Дениса (Самородова-Бианки, Стрельцина, 1989), флавонолов – метод, основанный на образовании окрашенных комплексов с $AlCl_3$ в среде 5% CH_3COONa . Содержание катехинов определяли по оптической плотности продуктов реакции этианольного экстракта с ванилиновым реагентом. Определение процианидинов базировалось на методе Свайна и Хиллиса с использованием н-бутанола и концентрированной HCl (Ермаков и др., 1987). Расчеты осуществляли по калибровочным кривым, построенным, соответственно, по хлорогеновой кислоте, рутину, d-катехину, цианидин-3-глюкозиду. Полученные результаты обрабатывали посредством методов математической статистики (дисперсионный и корреляционный анализы) в программе MS Excel 2016.

Результаты и их обсуждение

Согласно литературным данным, фенольный комплекс плодов облепихи представлен, главным образом, флавонолами, процианидинами, катехинами и дубильными веществами – производными галловой кислоты. Антоцианы в ягодах практически отсутствуют (Школьникова и др., 2020; Нилова, Малютенкова, 2021; Тринеева, 2023; Bittova et al., 2014; Mendelova et al., 2016; Guo et al., 2017; Ma et al., 2017; Mihal et al., 2023).

Полученные нами данные свидетельствуют о сортовой вариации накопления биологически активных ФС в плодах исследованных образцов облепихи. Дисперсионный анализ позволил установить достоверность различий между сортообразцами по уровню аккумуляции ФС (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание биофлавоноидов в ягодах облепихи (среднее за 2021...2023 гг.), мг/100 г

Сорт/образец	Сумма	Катехины	Антоцианы	Процианидины	Флавонолы
Чуйская	326,6	32,3	0,9	173,5	92,4
Афина	438,8	51,3	1,0	284,1	97,4
Иня	361,7	35,7	3,0	240,5	73,1
Этна	458,2	63,2	2,0	291,7	93,4
79-01-1	404,1	60,0	0,7	257,9	81,6
125-02-1	379,8	35,4	2,4	206,5	126,5
125-02-2	352,8	29,1	2,1	203,0	94,6
170-03-1	436,1	26,5	1,0	250,2	106,3
177-00-1	340,8	38,4	1,3	216,9	69,1
258-03-1	371,8	43,0	1,0	234,8	80,5
360-05-1	394,0	48,8	1,4	247,8	76,3
Среднее	387,7	42,2	1,5	237,0	90,1
HCP ₀₅	60,7	10,3	0,6	29,8	14,0

Их суммарное содержание за годы исследований варьировало от 298,6 до 508,2 мг/100 г сырого веса, составив в среднем 387,7 мг/100 г. Межсортовая изменчивость признака была выражена в средней степени ($V = 14,7\%$). Сведения по общему содержанию ФС в плодах облепихи значительно разнятся. Так, для северо-запада России соответствующий уровень был установлен в довольно высоких пределах – 680...795 мг/100 г (Нилова, Малютенкова, 2021), что может объясняться наличием большего количества стрессовых факторов для культуры. В условиях Центрального Черноземья аккумуляция биофлавоноидов в ягодах достигает 225 мг/100 г (Тринеева, 2023), Забайкалья – 330 мг/100 г (Ширипнимбуева и др., 2014). В плодах различных сортов культуры, произрастающих в европейском регионе, в частности – Чехии, общее содержание ФС варьирует от 70 до 360 мг/100 г (Sytařová et al., 2020), Румынии – от 100 до 186 мг/100 г (Criste et al., 2020). Такой разброс данных может зависеть от многих факторов, как уже упоминалось выше. В связи с этим, можно констатировать, что исследованные нами сорт/образцы облепихи в условиях юга Западной Сибири отличаются повышенным содержанием биофлавоноидов, что, в свою очередь, свидетельствует об их особой биологической ценности.

Минимальный за годы исследований уровень аккумуляции ФС в ягодах был установлен для контрольного сорта Чуйская – 298,6 мг/100 г. В соответствии с этим, большая часть изученных сорт/образцов в этом отношении характеризовалась хорошим потенциалом. Однако статистически достоверное отличие от контроля в лучшую сторону было установлено для сортов Этна, Афина, гибридных форм 79-01-1, 170-03-1, 360-05-1. Максимальным в исследуемый период уровнем накопления ФС отличился гибрид 170-03-1 (508,2 мг/100 г), высоким – сорта Афина (482,7 мг/100 г), Этна (469,7 мг/100 г), формы 79-01-1 (442,6 мг/100 г), 258-03-1 (424,0 мг/100 г), 125-02-2 (420,6 мг/100 г) (рисунок 1).

Как демонстрирует рисунок 1, наибольшей итоговой степенью проявления признака характеризовалась гибридная форма 170-03-1 со средней степенью его гомеостатичности ($V = 14,3\%$). Уровень накопления ФС в ее плодах был довольно зависим от метеоусловий вегетационного периода, однако он всегда оставался высоким. Форма отличается выраженной красной окраской ягод, что обусловлено высоким содержанием каротиноидов. Количество их достигает 50 мг/100 г. Такая высокая продуктивность гибрида в отношении синтеза этих групп БАВ относит его в разряд особо ценных.

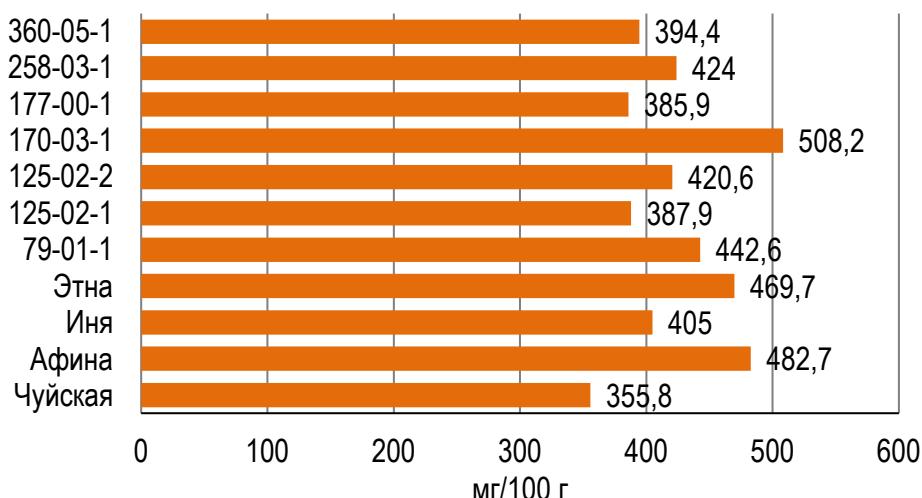


Рисунок 1 – Суммарное содержание биофлавоноидов в ягодах облепихи, наибольшие показатели по сортам

Сорт Этна выделился максимальным средним показателем содержания ФС. При этом он отличился высокой степенью гомеостаза признака ($V = 3,7\%$), что указывает на большую обусловленность его генотипом. Сформулированный выше вывод относительно гибрида 170-03-1 в полной мере относится к данному сорту. Судя по результатам данной работы, его однозначно можно отнести к ценным источникам природных БАВ. В этом отношении заслуживает внимания и сорт Афина. Несмотря на некоторую зависимость соответствующих показателей его плодов от средовых факторов ($V = 16,8\%$), он всегда выделялся высоким уровнем аккумуляции ФС в ягодах. Очевидна и перспективность остальных вышеуказанных гибридных форм. Стоит отметить, что формы 79-01-1 и 360-05-1, помимо хорошего потенциала, отличились и высокой степенью стабильности проявления признака ($V = 9,0$ и $3,4\%$ соответственно).

Анализ фракционного состава комплекса биофлавоноидов ягод культуры позволил установить преобладание в нем процианидинов (66,0%), значительная доля приходится на флавонолы (22,8%), лишь 10,8% – на катехины. В наименьшей степени представлены антоцианы (0,4%) (рисунок 2).

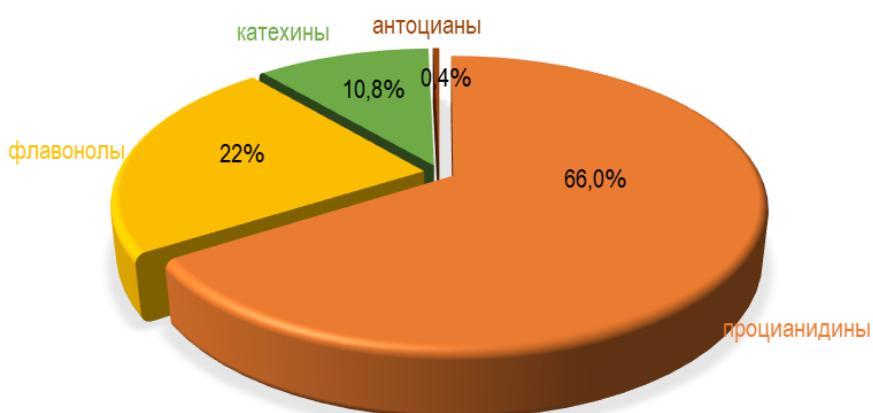


Рисунок 2 – Фракционный состав комплекса биофлавоноидов облепихи

Полученные данные согласуются с литературными в части доминирования процианидинов в профиле биофлавоноидов плодов облепихи, отличаясь лишь в

количественном отношении. Ряд авторов указывают на практически равное процентное соотношение фракций процианидинов и катехинов – 38...40% и 42% соответственно (Школьникова и др., 2020; Guo et al., 2017). Количество флавонолов составляет 16...20% всего комплекса, что практически согласуется с полученными нами данными. Именно с флавонолами, представленными у облепихи рутином, кверцетином, изорамнетином, кемпферолом, мирицетином, по большей части, связывают общий антиоксидантный эффект ее плодов. Флаваны – катехины и процианидины – проявляют наиболее выраженное капилляроукрепляющее и противовоспалительное действия, процианидины также обладают антиоксидантной активностью (Suryakumar, Gupta, 2011; Bittova et al., 2014; Guo et al., 2017; Criste et al., 2020; Тринеева, 2023; Mihal et al., 2023). Все исследователи указывают на тот факт, что антоцианы в плодах облепихи отсутствуют или находятся в следовых количествах.

Содержание процианидинов в ягодах исследованных нами сортообразцов облепихи изменяется в диапазоне 121,5...343,2 мг/100 г (в среднем 237,0 мг/100 г – здесь и далее), катехинов – 20,1...82,8 мг/100 г (42,2 мг/100 г), флавонолов – 53,0...152,9 мг/100 г (90,1 мг/100 г), антоцианов – 0,3...4,0 мг/100 г (1,5 мг/100 г). Сведения по количественному содержанию отдельных фракций биофлавоноидов в плодах культуры существенно разнятся. Ряд исследователей отмечает количество катехинов в пределах 50 мг/100 г, процианидинов – 250 мг/100 г, но приводятся данные и о более значительных их количествах, что оказалось характерным для сортообразцов облепихи из коллекции НИИ садоводства Сибири.

Межсортовая вариабельность признаков была наибольшей в отношении содержания антоцианов, разница могла быть тринадцатикратной. Максимальное значение показателя было отмечено у сорта Иня – 4,0 мг/100 г. Повышенным их содержанием отличились сорт Этна, гибридные формы 125-02-1, 125-02-2 – от 2 до 3 мг/100 г. Довольно существенно исследованные сортообразцы различались по уровню накопления катехинов, наибольший превышал минимальный в 4 раза. Источниками повышенного содержания катехинов в плодах были признаны сорта Этна (82,8 мг/100 г – наибольшее значение показателя за годы изучения, здесь и далее), Афина (64,4 мг/100 г), форма 79-01-1 (80,4 мг/100 г).

По содержанию процианидинов, количественно ведущей фракции биофлавоноидов плодов облепихи, лидировали гибридная форма 170-03-1 (343,2 мг/100 г), сорта Афина (319,3 мг/100 г), Этна (308,0 мг/100 г), Иня (277,0 мг/100 г), отборные формы 360-05-1 (296,3 мг/100 г), 79-01-1 (270,2 мг/100 г). Исходя из литературных данных, это содержание можно признать довольно высоким для культуры, что в полной мере относится и к фракции флавонолов исследованных нами объектов. Богаты флавонолами ягоды сортов Афина (106,0 мг/100 г), Этна (97,8 мг/100 г), гибридов 125-02-1 (152,9 мг/100 г), 170-03-1 (132,7 мг/100 г), 258-03-1 (102,3 мг/100 г), что обуславливает их высокий антиоксидантный статус.

Как известно, синтез и накопление биофлавоноидов в растительных объектах является динамическим процессом, в значительной степени зависящим от метеоусловий вегетационного периода. В связи с этим, в ходе настоящих исследований, была предпринята попытка оценки вариабельности содержания биофлавоноидов в плодах облепихи, обусловленной экзогенными факторами. В качестве основных факторов погодных условий были взяты сумма активных температур (САТ), сумма осадков (СО) и гидротермический коэффициент (ГТК). Вегетационный период 2021 г., согласно величине ГТК – 0,6, в целом характеризовался как засушливый. Особенностью периода явился дефицит осадков при повышенном температурном фоне (САТ – 1920°C, СО – 170,1 мм). 2022 г. можно отнести к слабозасушливому, приближенному к нормально увлажненному (ГТК – 0,99, САТ – 2070,3°C, СО – 214,3 мм). Вегетационный период культуры в 2023 г. отличился небольшой

увлажненностью при значительном количестве дней солнечной активности (ГТК – 0,8, САТ – 2252,3°C, СО – 179,4 мм).

В отношении исследованных сортообразцов облепихи была выявлена прямая положительная корреляция суммарного содержания ФС с показателем САТ периода вегетации, выраженная в сильной степени ($r = 0,73$), умеренная отрицательная – с показателем СО ($r = -0,35$). С ГТК связь была незначительной. В соответствии с этим, наиболее продуктивным для культуры в отношении синтеза биофлавоноидов стал 2023 г., когда для более половины всех образцов уровень аккумуляции ФС достигал 400 мг/100 г и более. Наименьшим накоплением ФС в плодах отличился 2022 г. Данный факт вполне объясним, если принимать во внимание ту важную роль, которую играют ФС в жизнедеятельности растений, в частности, в адаптации к климатическим условиям, защите от стрессовых факторов.

Естественно, что при контрастных условиях вегетации наиболее ценными представляются сортообразцы со стабильно высокой степенью проявления признака. Такие сорта и формы относительно устойчиво сохраняют признак при изменении погодных условий, следовательно, они обладают большей экологической стабильностью и высокой хозяйственной эффективностью. Очевидно, что они заслуживают внимания и с точки зрения селекции как источники или предполагаемые доноры признака. В ряду стабильных в проявлении признака лидировали гибриды 360-05-1, 125-02-1, 79-01-1, а также сорт Этна, что в очередной раз подтверждает их ценность и перспективность.

Заключение

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что в плодах облепихи, выращенной в условиях юга Западной Сибири, аккумуляция биофлавоноидов может достигать довольно значительного уровня для культуры в целом, обусловливая тем самым эффективное фармакотерапевтическое действие изученного вида сырья, позитивный антиоксидантный эффект. Это может способствовать более широкому использованию плодов культуры для получения функциональных продуктов питания, препаратов фармацевтики и т.п. Кроме того, результаты данной работы имеют значение для систематизации информации о вариабельности фитохимического состава плодов облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) в зависимости от климатических факторов регионов ее произрастания.

Суммарное содержание биофлавоноидов в ягодах облепихи в условиях юга Западной Сибири составляет в среднем 387,7 мг/100 г с диапазоном варьирования признака от 298,6 до 508,2 мг/100 г. К перспективным источникам высокого содержания ФС отнесены сорта Этна, Афина, гибридные формы 79-01-1, 170-03-1, 360-05-1.

Доминирующей фракцией в комплексе биофлавоноидов плодов являются процианидины (66,0%), значительная доля приходится на флавонолы (22,8%), 10,8% – на катехины. В наименьшей степени представлены антоцианы (0,4%). Содержание процианидинов варьирует в диапазоне от 121,5 до 343,2 мг/100 г (в среднем 237,0 мг/100 г – здесь и далее), катехинов – от 20,1 до 82,8 мг/100 г (42,2 мг/100 г), флавонолов – от 53,0 до 152,9 мг/100 г (90,1 мг/100 г), антоцианов – от 0,3 до 4,0 мг/100 г (1,5 мг/100 г). Источниками повышенного содержания процианидинов в плодах признаны сорта Афина, Этна, Иня, гибридные формы – 170-03-1, 360-05-1, 79-01-1. Катехинами богаты ягоды сортов Этна, Афина, формы 79-01-1, флавонолами – плоды этих же сортов, а также гибридов 125-02-1, 170-03-1, 258-03-1. В плодах сортов Иня, Этна и форм 125-02-1, 125-02-2 установлено содержание антоцианов от 2 до 4 мг/100 г.

Уровень аккумуляции биофлавоноидов в сильной степени зависит от суммы активных температур периода вегетации культуры, выявлена прямая положительная корреляция их суммарного содержания с соответствующим показателем. Наибольшей стабильностью проявления обсуждаемого признака характеризовались сорт Этна, гибридные формы 360-05-1, 125-02-1, 79-01-1.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Ершова И.В. Оценка алтайских сортов и гибридов облепихи по биохимическому составу плодов // Достижения науки и техники АПК. 2009. 7. 11-12. <https://elibrary.ru/kyodkn>
2. Мезенова О.Я., Мёрзель Й.-Т., Воронцов С.А., Воронцов П.А. Оценка биопотенциала дикорастущей облепихи и перспектив ее комплексного использования // Вестник Международной академии холода. 2020. 3. 44-51. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2020-19-3-44-51>
3. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Смирнова-Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430.
4. Нилова Л.П., Малютенкова С.М. Антиоксидантные комплексы облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) северо-запада России // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. 83, 1. 108-114. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-108-114>
5. Самородова–Бианки Г.Б., Стрельцина С.А. Исследования биологически активных веществ плодов: методические указания. Л.: ВИР, 1989. 47.
6. Скуридин Г.М., Чанкина О.В., Легкодымов А.А., Креймер В.К., Багинская Н.В., Куценогий К.П. Микроэлементный состав тканей облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) // Известия Российской академии наук. Серия Физическая. 2013. 77, 2. 229-232. <https://elibrary.ru/puautf>
7. Тринеева О.В., Рудая М.А., Сливкин А.И., Сафонова Е.Ф. Исследование фитохимического состава плодов облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) различных сортов // Химия растительного сырья. 2019. 1. 139-146. <https://doi.org/10.14258/jcprtm.2019014213>
8. Тринеева О.В. Изучение химического состава плодов облепихи крушиновидной, произрастающей на территории Центрального Черноземья // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2023. 12, 1. 84-94. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-1-84-94>
9. Упадышев М.Т. Роль фенольных соединений в процессах жизнедеятельности садовых растений. М.: ВСТИСП, 2008. 320. <https://www.elibrary.ru/qkzjwr>
10. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пущино: Synchrobook, 2013. 310.
11. Ширипнимбуева Б.Ц., Мяханова Н.Т., Будаева Н.А. Интенсивные сорта облепихи бурятской селекции // Современное садоводство. 2014. 3. 60-64. <https://elibrary.ru/svmtut>
12. Школьникова М.Н., Аверьянова Е.В., Рожнов Е.Д., Баташов Е.С. Исследование антибактериальной активности флавоноидов облепихового шрота // Индустрия питания. 2020. 5, 3. 61-69. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-3-7>
13. Bittová M., Krejzová E., Roblová V. Monitoring of HPLC profiles of selected polyphenolic compounds in sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) plant parts during annual growth cycle and estimation of their antioxidant potential // Central European Journal of Chemistry. 2014. 12. 1152-1161. <https://doi.org/10.2478/s11532-014-0562-y>

14. Brno A.V. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) as a potential source of nutraceutics and its therapeutic possibilities – A review // *Acta Veterinaria Brno.* 2015. 84. 257-268. <https://doi.org/10.2754/avb201584030257>
15. Criste A., Urcan A.C., Bunea A., Furtuna F.R.P., Olah N.-K., Madden R.H., Corcionivoschi N. Phytochemical composition and biological activity of berries and leaves from four Romanian Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Varieties // *Molecules.* 2020. 25, 5. 1170-1192. <https://doi.org/10.3390/molecules25051170>
16. Guo R., Guo X., Li T., Fu X., Liu R.H. Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries // *Food Chemistry.* 2017. 221. 997-1003. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.063>
17. Dabrowska G., Czaplicka S., Szustak M., Cichońska E., Gendas E., Konopka I. Composition of flesh lipids and oleosome yield optimization of selected sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cultivars grown in Poland // *Food Chemistry.* 2022. 369. 130921. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130921>
18. Ma X., Yang W., Laaksonen O., Nylander M., Kallio H., Yang B. Role of flavonols and proanthocyanidins in the sensory quality of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries // *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2017. 65, 45. 9871-9879. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04156>
19. Mendelová A., Mendel L., Czako P., Mareček J. Evaluation of carotenoids, polyphenols content and antioxidant activity in the sea buckthorn fruit // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.* 2016. 10, 1. 59-64. <https://doi.org/10.5219/551>
20. Mihal M., Roychoudhury S., Sirotkin A.V. and Kolesarova A. Sea buckthorn, its bioactive constituents, and mechanism of action: potential application in female reproduction // *Frontiers in Endocrinology.* 2023. 14. 1244300. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1244300>
21. Olas B., Skalski B., Ulanowska K. The Anticancer activity of Sea buckthorn [*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson] // *Frontiers in Pharmacology.* 2018. 9. 232. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00232>
22. Suryakumar G., Gupta A. Medicinal and therapeutic potential of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) // *Journal of Ethnopharmacology.* 2011. 138, 2. 268-278. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.09.024>
23. Sytařová I., Orsavová J., Snopk L., Mlček J. et al. Impact of phenolic compounds and vitamins C and E on antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries and leaves of diverse ripening times // *Food Chemistry.* 2020. 310. 125784. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125784>

References

1. Ershova, I.V. (2009). Estimate of sea-buckthorn Altai varieties and hybrids in biochemical composition of fruits. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 7, 11-12. <https://elibrary.ru/kyodkn>. (In Russian, English abstract).
2. Mezenova, O.Ya., Mörsel, Y.-T., Vorontsov, S.A., & Vorontsov, P.A. (2020). Assessment of the biopotential of wild buckthorn and prospects of its integrated use. *Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii Kholoda*, 3, 44-51. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2020-19-3-44-51>. (In Russian, English abstract).
3. Ermakov, A.I., Arasimovich, V.V., Yarosh, N.P., Peryansky, Yu.V., Lukovnikova, G.A., & Smirnova-Ikonnikova, M.I. (1987). *Methods for the Biochemical Analysis of Plants*. Agropromizdat. (In Russian).
4. Nilova, L.P., & Malyutenkova, S.M. (2021). Antioxidant complexes of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) of northwest Russia. *Proceedings of the Voronezh State University of*

- Engineering Technologies*, 83(1), 108-114. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-108-114>. (In Russian, English abstract).
5. Samorodova-Bianki, G.B., & Streltsina, S.A. (1989). *The Research of Biologically Active Substances in Fruits: Methodological Guidelines*. VIR. (In Russian).
 6. Skuridin, G.M., Chankina, O.V., Legkodymov, A.A., Kreimer, V.K., Baginskaya, N.V., & Kutsenogiy, K.P. (2013). Trace element composition of common sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) tissues. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Fizicheskaya*, 77(2), 229-232. <https://elibrary.ru/puatuf>. (In Russian, English abstract).
 7. Trineeva, O.V., Rudaya, M.A., Slivkin, A.I., & Safonova, E.F. (2019). A study of the phytochemical composition of buckthorn berries (*Hippophae rhamnoides* L.) of various varieties. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 1, 139-146. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019014213>. (In Russian, English abstract).
 8. Trineeva, O.V. (2023). Study of the Chemical Composition of the Fruits of Sea Buckthorn Rockthroom, Growing in the Territory of the Central Black Earth Region. *Drug development & registration*, 12(1), 84-94. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-1-84-94>. (In Russian, English abstract).
 9. Upadishev, M.T. (2008). *The Role of Phenolic Compounds in the Process of Life Activity of Garden Plants*. VSTISP. <https://www.elibrary.ru/qkzjwr>. (In Russian).
 10. Tarakhovskiy, Yu.S., Kim, Yu.A., Abdrasilov, B.S., & Muzafarov, E.N. (2013). *Flavonoids: Biochemistry, Biophysics, Medicine*. Synchrobook. (In Russian).
 11. Shiripnimbuева, B.Ts., Myakhanova, N.T., & Budaeva, N.A. (2014). Intensive sea buckthorn varieties of Buryat breeding. *Contemporary Horticulture*, 3, 60-64. <https://elibrary.ru/svmtut>. (In Russian, English abstract).
 12. Shkolnikova, M.N., Averyanova, E.V., Rozhnov, E.D., & Batashov, E.S. (2020). Antibacterial activity research of Sea Buckthorn meal flavonoids. *Food Industry*, 5(3), 61-69. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-3-7>. (In Russian, English abstract).
 13. Bittová, M., Krejzová, E., & Roblová, V. (2014). Monitoring of HPLC profiles of selected polyphenolic compounds in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) plant parts during annual growth cycle and estimation of their antioxidant potential. *Central European Journal of Chemistry*, 12, 1152-1161. <https://doi.org/10.2478/s11532-014-0562-y>
 14. Brno, A.V. (2015). Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) as a potential source of nutraceuticals and its therapeutic possibilities – A review. *Acta Veterinaria Brno*, 84, 257-268. <https://doi.org/10.2754/avb201584030257>
 15. Criste, A., Urcan, A.C., Bunea, A., Furtuna, F.R.P., Olah, N.-K., Madden, R.H., & Corcioneivoschi, N. (2020). Phytochemical composition and biological activity of berries and leaves from four romanian sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Varieties. *Molecules*, 25(5), 1170-1192. <https://doi.org/10.3390/molecules25051170>
 16. Guo, R., Guo, X., Li, T., Fu, X., & Liu, R.H. (2017). Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries. *Food Chemistry*, 221, 997-1003. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.063>
 17. Dabrowska, G., Czaplicka, S., Szustak, M., Cichońska, E., Gendas, E., & Konopka, I. (2022). Composition of flesh lipids and oleosome yield optimization of selected sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cultivars grown in Poland. *Food Chemistry*, 369, 130921. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130921>
 18. Ma, X., Yang W., Laaksonen, O., Nylander, M., Kallio, H., & Yang, B. (2017). Role of flavonols and proanthocyanidins in the sensory quality of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(45), 9871-9879. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04156>

19. Mendelová, A., Mendel, L., Czako, P., & Mareček, J. (2016). Evaluation of carotenoids, polyphenols content and antioxidant activity in the sea buckthorn fruit. *Potravinárstvo Slovenského Journal of Food Sciences*, 10(1), 59-64. <https://doi.org/10.5219/551>
 20. Mihal, M., Roychoudhury, S., Sirotnik, A.V., & Kolesarová, A. (2023). Sea buckthorn, its bioactive constituents, and mechanism of action: potential application in female reproduction. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1244300. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1244300>
 21. Olas, B., Skalski B., & Ulanowska, K. (2018). The anticancer activity of Sea buckthorn [*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson]. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 232. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00232>
 22. Suryakumar, G., & Gupta, A. (2011). Medicinal and therapeutic potential of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). *Journal of Ethnopharmacology*, 138(2), 268-278. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.09.024>
 23. Sytařová, I., Oršáková, J., Snopěk, L., Mlček, J., Byczynski, L., & Misurcová, L. (2020). Impact of phenolic compounds and vitamins C and E on antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berries and leaves of diverse ripening times. *Food Chemistry*, 310, 125784. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125784>

Автор:

Инесса Васильевна Ершова, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории индустриальных технологий отдела НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», inessers@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-3200-6020
SPIN: 7572-5386

Author:

Inessa V. Ershova, PhD in biological sciences, associate professor, lead researcher, head of the laboratory of industrial technologies in M.A. Lisavenko Research Institute branch of Federal Altai Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, inessers@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-3200-6020
SPIN 7572-5386

Отказ от ответственности: заявления, мнения и данные, содержащиеся в публикации, принадлежат исключительно авторам и соавторам. ФГБНУ ВНИИСПК и редакция журнала снимают с себя ответственность за любой ущерб людям и/или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.