

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-914

УДК 577.19:542.8



Научная статья

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КОНСЕРВИРОВАНИЯ НА АНТИОКСИДАНТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСТРАКТОВ НА ОСНОВЕ ПЛОДОВ АРОНИИ ЧЕРНОПЛОДНОЙ (*ARONIA MELANOCARPA*)

*К.Ш. Казимова, Е.К. Растегаев, Ф.Ю. Ахмадуллина,
Ю.В. Щербакова, Г.Г. Шуматбаев, Р.К. Закиров*

Обоснование. Для изучения антиоксидантных свойств растительных экстрактов чаще всего на практике используют фотометрические и люминесцентные методы анализа, несмотря на присутствие им недостатки. Представлял интерес исследовать перспективность использования электрохимического метода оценки антиокислительной активности фитоэкстрактов – кулонометрического титрования электрогенерированным бром, а также редко используемый на практике биологический метод – метод биотестирования. Это позволит не только оценить согласованность результатов по антиоксидантному потенциалу исследуемых фитоэкстрактов, полученных различными методами анализа, но и ответить на вопрос о соотношении водорастворимых и не растворимых в воде биологически активных веществ, обладающих антиоксидантной активностью, в данном растительном сырье.

Цель. Целью работы являлась оценка антиоксидантного потенциала водных и спиртовых экстрактов на основе натуральных, замороженных и сушеных плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*).

Материалы и методы. Объект исследования – водные и этанольные экстракты на основе свежесобранных, высушенных и замороженных плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) сорта «Черноокая», относящегося к наиболее распространенным крупноплодным сортами отличающегося высокой урожайностью и морозоустойчивостью. Плоды изучаемого сорта аронии черноплодной собраны в период созревания (конец августа-сентябрь) на территории Республики Татарстан Зеленодольского района (приусадебный участок). Фитоэкстракты были получены методом однократной мацерации с перемешиванием, используя в качестве экстрагентов дистиллированную воду и 96% этанол.

Интегральную антиоксидантную активность водных и этанольных извлечений измеряли методом кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, используя в качестве стандарта рутин.

Антирадикальную активность определяли колориметрическим методом с использованием реактива 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила.

При проведении биотестирования стимулирующее или ингибирующее действие исследуемых фитоэкстрактов на биологическую модель (*Paramecium caudatum*) оценивали, определяя ее стрессоустойчивость к пероксиду водорода.

Результаты. Плоды аронии черноплодной, произрастающей на территории Республики Татарстан, характеризуются высокими антиоксидантными свойствами. При этом, антиоксидантный потенциал спиртовых извлечений существенно выше водных, в среднем на 15,5%, что, вероятно, обусловлено более высоким содержанием антиоксидантов различной природы, растворимых в этаноле. Изучение антирадикальных свойств исследуемых извлечений выявило незначительное превышение антирадикальных характеристик водных фитоэкстрактов по сравнению со спиртовыми. Тенденцию роста стрессоустойчивости парамеций с повышением концентрации экстрактов, в интервале последних от 0,036 до 0,07 мг/мл, более выраженное для водных экстрактов, характеризующихся более высокой антирадикальной активностью.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показали хорошее согласование экспериментальных результатов, полученных методами биотестирования и кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, подтвердившее перспективность и целесообразность использования последнего для оценки антиоксидантной активности фитоэкстрактов. Установлен высокий антиоксидантный потенциал плодов аронии черноплодной сорта «Черноокая», произрастающей на территории Республики Татарстан, а также предпочтительность замораживания исследованного фитосырья в качестве перспективного метода консервирования при целевом получении водных биологически активных препаратов.

Ключевые слова: *Aronia melanocarpa*; экстракция; мацерация; методы определения антиоксидантной активности; кулометрия; биотестирование

Для цитирования. Казимова К.Ш., Растегаев Е.К., Ахмадуллина Ф.Ю., Щербаклова Ю.В., Шуматбаев Г.Г., Закиров Р.К. Влияние способа консервирования на антиоксидантный потенциал экстрактов на основе плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 38-59. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-914

Original article

INFLUENCE OF PRESERVATION METHOD ON ANTIOXIDANT POTENTIAL OF EXTRACTS BASED ON *ARONIA MELANOCARPA* FRUITS

**C.Sh. Kazimova, E.K. Rastegaev, F.Yu. Akhmadullina,
Yu.V. Shcherbakova, G.G. Shumatbaev, R.K. Zakirov**

Background. To study the antioxidant properties of plant extracts, photometric and luminescent methods of analysis are most often used in practice, despite their inherent shortcomings. It was of interest to investigate the prospects of using an electrochemical method for assessing the antioxidant activity of phytoextracts - coulometric titration with electrogenerated bromine, as well as a biological method rarely used in practice - the biotesting method. This will make it possible not only to assess the consistency of the results on the antioxidant potential of the studied phytoextracts obtained by various methods of analysis, but also to answer the question about the ratio of water-soluble and water-insoluble biologically active substances with antioxidant activity in a given plant material.

Purpose. The purpose of the work was to assess the antioxidant potential of aqueous and alcoholic extracts based on natural, frozen and dried chokeberry fruits (*Aronia melanocarpa*).

Materials and methods. The object of the study is aqueous and ethanol extracts based on freshly picked, dried and frozen fruits of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) variety "Chernookaya", which is one of the most common large-fruited varieties characterized by high yield and frost resistance. The fruits of the studied chokeberry variety were collected during the ripening period (end of August-September) on the territory of the Republic of Tatarstan Zelenodolsk region (garden plot). Phytoextracts were obtained by single maceration with stirring using distilled water and 96% ethanol as extractants.

The integrated antioxidant activity of aqueous and ethanol extracts was measured by coulometric titration with electrogenerated bromine, using rutin as a standard.

Antiradical activity was determined by a colorimetric method using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl reagent.

*During biotesting, the stimulating or inhibitory effect of the studied phytoextracts on a biological model (*Paramecium caudatum*) was assessed by determining its stress resistance to hydrogen peroxide.*

Results. *The conducted studies showed good agreement between the experimental results obtained by the methods of biotesting and coulometric titration with electrogenerated bromine, which confirmed the promise and feasibility of using the latter to evaluate the antioxidant activity of phytoextracts. The fruits of chokeberry, growing on the territory of the Republic of Tatarstan, are characterized by high antioxidant properties. At the same time, the antioxidant potential of alcoholic extracts is significantly higher than aqueous extracts, on average by 15.5%, which is probably due to the higher content of antioxidants of various natures soluble in ethanol. The study of the antiradical properties of the extracts under study revealed a slight excess of the antiradical characteristics of aqueous phytoextracts compared to alcoholic ones. The tendency of increasing stress resistance of paramecium with increasing concentration of extracts, in the range of the latter from 0.036 to 0.07 mg/ml, is more pronounced for aqueous extracts characterized by higher anti-radical activity.*

Conclusion. *Thus, the results obtained confirm the high antioxidant potential of chokeberry fruits growing on the territory of the Republic of Tatarstan, as well as the preference for freezing the studied phytora materials as a promising method of preservation for the targeted production of aqueous biologically active preparations.*

Keywords: *Aronia melanocarpa; extraction; maceration; methods for determining antioxidant activity; coulometry; biotesting*

For citation. *Kazimova C.Sh., Rastegaev E.K., Akhmadullina F.Yu., Shcherbakova Yu.V., Shumatbaev G.G., Zakirov R.K. Influence of Preservation Method on Antioxidant Potential of Extracts based on Aronia melanocarpa Fruits. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 38-59. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-914*

Введение

К настоящему времени накоплен достаточно большой объём многообещающей информации, касающейся биохимической ценности плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) [2; 13; 14; 15; 18] (рис. 1), которая не только не снижает, а, напротив, способствует росту исследовательской активности как за рубежом, так и в нашей стране.



Рис. 1. Антиоксидантные свойства плодов аронии черноплодной

Это связано с возможностью разработки новых форм и более эффективных средств лечебного и лечебно-профилактического назначения, способствующих повышению сопротивляемости организма человека к воздействию негативных экофакторов окружающей среды.

Для изучения антиоксидантных и антирадикальных свойств фитоэкстрактов как в отечественной, так и в зарубежной практике наибольшее распространение получили фотометрические и люминесцентные методы анализа, несмотря на присутствие им недостатки [1; 16]. В первом случае не все определяемые этим методом восстановители активны по отношению к свободным радикалам в условиях *in vivo*, что связано с большой кислотностью модельной системы. Кроме того, данным методом трудно определять липофильные антиоксиданты. Что касается хемилюминесцентного метода, он характеризуется высокой продолжительностью и зависимостью интенсивности хемилюминесценции от pH среды. Поэтому представлял интерес исследовать перспективность использования электрохимического метода для оценки антиоксидантной активности фитоэкстрактов и, в первую очередь, метода кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, позволяющего охватить больший спектр антиокислителей включая, органические кислоты, флавоноиды, каротиноиды, антоцианы [12], а также пока редко используемый в практике биологический метод оценки качества фитоэкстрактов – метод биотестирования, отличающийся высокой чувствительностью, позволяющий достоверно оценить как биостимулирующее, так и токсикологическое действие исследуемых препаратов, учитывая, что известные вышеуказанные методы оценки антиоксидантной активности (люминесцентные, фотометрические, электро-химические и др.) являются косвенными, результаты которых не всегда сопоставимы из-за различия используемых индикаторных систем [7].

Цель исследования. Целью работы являлась оценка антиоксидантного потенциала водных и спиртовых экстрактов на основе натуральных, замороженных и сушеных плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*).

Материалы и методы исследования

Объект исследования – водные и этанольные экстракты на основе свежесобранных, высушенных и замороженных плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) сорта «Черноокая», относящегося к наиболее распространенным крупноплодным сортами отличающегося высокой урожайностью и морозоустойчивостью. Плоды изучаемого сорта аронии черноплодной собраны в период созревания (конец августа-сентябрь) на территории Республики Татарстан Зеленодольского района (приусадебный участок).

Для получения сушеного фитосырья плоды подвергались конвективной сушке при 40-50 °С в течение 2-2,5 суток.

Заморозку фитосырья осуществляли при температуре -18°С.

В качестве экстрагентов использовали дистиллированную воду и 96% - этанол. Фитоэкстракты были получены методом однократной мацерации с перемешиванием [5]. Параметры процесса экстрагирования: соотношение сырья: растворитель 1:6, интенсивность перемешивания 500 об/мин, продолжительность процесса экстракции 90 мин, температурный режим экстрагирования составил 65 °С при получении водных извлечений (экстрагент – дистиллированная вода) и 45 °С при получении спиртовых экстрактов (экстрагент – 96% этанол). Размер частиц растительного сырья лежал в пределах 5 мм. Полученные экстракты после охлаждения фильтровали через бумажный фильтр.

Интегральную антиоксидантную активность (ИАА) водных и этанольных извлечений измеряли методом кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, используя в качестве стандарта рутин [8]. Сопоставление результатов, полученных в серии опытов, осуществляли на основании приведенных характеристик антиоксидантной активности фитоэкстрактов, согласно [6], для чего в каждом опыте определяли концентрацию экстрактивных веществ (АСВ) весовым методом по стандартной методике [4]. Аналитические измерения проводили, используя непосредственно полученные экстракты без дополнительного концентрирования.

Антирадикальную активность определяли колориметрическим методом с использованием реактива 2,2-дифенил-1-пикрилгидразида при длине волны 517 нм в кювете толщиной 0,5 см. Использовали извлечения с концентрацией экстрактивных веществ 0,5%. В качестве раствора сравнения использовали 80% этанол. Антирадикальную активность образцов фитоэкстрактов выражали в процентах ингибирования DPPH [17].

При проведении биотестирования стимулирующее или ингибирующее действие исследуемых фитоэкстрактов на биологическую модель оценивали, определяя ее стрессоустойчивость к пероксиду водорода, который является клеточным ядом, инициирующим перекисное окисление липидов мембраны клетки. Пероксид водорода в экспериментальных исследованиях использовали в концентрации 1,5%. В качестве тест-объекта выступала хорошо изученная и широко используемая в области оценки качества агропромышленной продукции, а также в фармакологии для скрининга лекарственных средств антиоксидантного действия равноресничная инфузория *Paramecium caudatum* [11]. Оценку стрессоустойчивости инфузорий осуществляли после их культивирования в течение 3 дней в среде Лозин-Лозинского с добавлением экстрактов аронии черноплодной. Оценку уровня влияния исследуемых фитоэкстрактов осуществляли по интенсивности обездвиженности (смертности) парameций при воздействии стрессора [11, 20].

Все вышеперечисленные эксперименты проводили не менее чем в 3-х кратной повторности.

Результаты и обсуждение

Результаты кулонометрического титрования электрогенерированным бромом изучаемых водных и спиртовых экстрактов на основе нативного фитосырья представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Показатели антиоксидантного потенциала экстрактов натуральных плодов аронии черноплодной

Экстрагент: дистиллированная вода				Экстрагент: этанол 96%			
АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г	АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г
5,77	264,91 262,78 269,95	265,88 ± 3,68	46,08	10,55	590,13 587,22 591,81	589,72 ± 2,32	55,90
5,82	243,72 248,54 242,93	245,06 ± 3,03	42,11	15,95	819,28 839,01 824,88	827,72 ± 10,17	51,90
5,62	252,69 257,84 258,54	256,35 ± 3,19	45,61	8,05	438,66 447,21 441,73	442,53 ± 4,33	54,97
5,58	249,48 245,65 247,32	247,45 ± 1,92	44,35	18,36	869,94 885,52 894,78	883,41 ± 12,55	48,12

На их основании были получены приведенные (соотнесенные к единице массы экстрактивных веществ в каждом опыте) характеристики антиоксидантной активности исследуемых фитоэкстрактов (рис. 2).

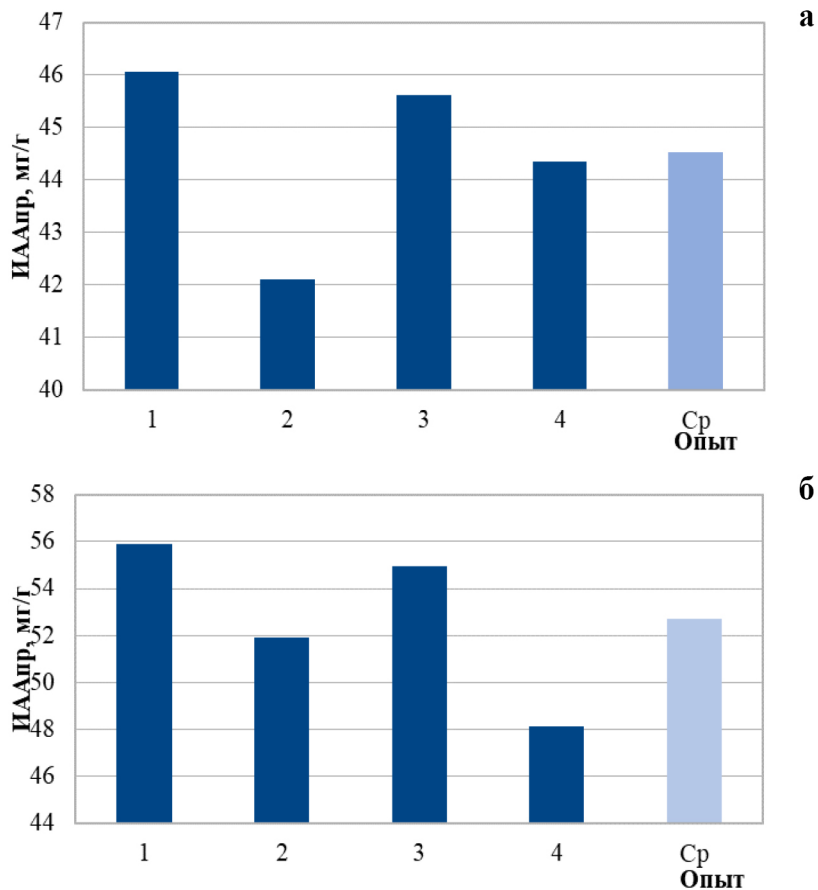


Рис. 2. Приведенные антиоксидантные характеристики экстрактов: а – водные; б – этанольные.

Согласно полученным данным, плоды аронии черноплодной, произрастающей на территории Республики Татарстан, характеризуются высокими антиоксидантными свойствами. При этом антиоксидантный потенциал спиртовых извлечений существенно выше водных, в среднем на 15,5%,

что, вероятно, обусловлено более высоким содержанием антиоксидантов различной природы, растворимых в этаноле.

Изучение антирадикальных свойств исследуемых извлечений выявило незначительное превышение антирадикальных характеристик водных фитоэкстрактов по сравнению со спиртовыми (рис. 3).

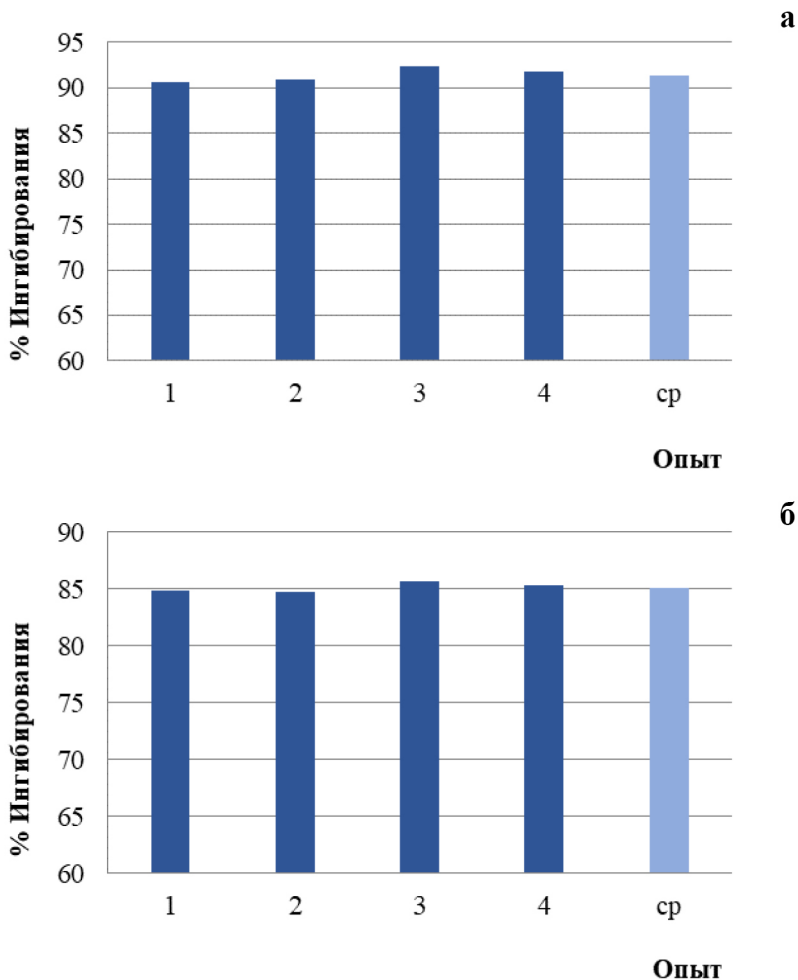


Рис. 3. Антирадикальная активность экстрактов:
а – водные; б – этанольные

Экспериментально установленное расхождение в данных, полученных двумя методами, можно объяснить следующим. Величина интегральной антиоксидантной активности фитоэкстрактов, определяемая методом кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, охватывает суммарно биологически активные вещества различной природы, обладающие антиоксидантной активностью, растворимые как в дистиллированной воде, так и 96%-этаноле, и согласно полученным данным, последний является более эффективным экстрагентом, позволяющим извлечь большее количество экстрактивных веществ, проявляющих восстановительные свойства. Что касается экстрактивных веществ, обладающих антирадикальными свойствами, они преобладают в водных извлечениях, согласно DPPH-методу. И их хорошая согласованность с результатами по антиоксидантной активности водных извлечений, которую оценивали по стрессоустойчивости инфузорий *Paramecium caudatum* по отношению к стрессору пероксиду водорода, подтверждает это (табл. 2).

Являясь эукариотическими организмами, они проявляют свойства как отдельного организма, так и клетки, вследствие чего они могут выступать и как интегральные датчики для оценки влияния совокупности экофакторов, и как одноклеточные тест-организмы при оценке цитотоксичности. Кроме того, с помощью инфузорий возможно оценить влияние не только водорастворимых соединений, но и соединений, растворимых в ряде органических растворителей.

Не последнюю роль при выборе биотеста играли его достаточно большие размеры, обеспечивающие возможность их визуального наблюдения при микроскопировании (кратность увеличения в экспериментах составляла 40), а также сравнительно низкая затратность их содержания в лабораторных условиях [2].

Для корректной оценки результатов биотестирования сопоставление полученных данных осуществляли на основании относительных временных характеристик обездвиживания биотестов по отношению к контролю, приняв за 100% временной период гибели инфузорий *Paramecium caudatum* в опытах без добавления исследуемых экстрактов с последующим усреднением (рис. 4).

Следует отметить тенденцию роста стрессоустойчивости парамеций с повышением концентрации экстрактов, в интервале последних от 0,036 до 0,07 мг/мл, более выраженное для водных экстрактов, характеризующихся более высокой антирадикальной активностью.

Таблица 2.

**Результаты биотестирования экстрактов на основе
натурального фитосырья**

Концентрация экстракта, мг/мл	Время гибели инфузорий под действием стрессора, сек	
	Водные экстракты	Этанольные экстракты
Эксперимент 1		
Контроль (0)	47,6±6	92,5±12
0,0075	104±12	150±8
0,015	97,5±15	146,5±11
0,022	105±11	155±12
0,030	115±9	139±12
0,036	173±12	190,5±12
0,043	177,5±12	181±12
0,050	177±12	238,5±6
0,057	155±15	207±12
0,063	187±13	195±7
0,070	-	181,5±4
Эксперимент 2		
Контроль (0)	82,5±17	73±13
0,0075	130±11	115±8
0,015	139±12	125±8
0,022	135±12	136,5±11
0,030	158,5±8	136,5±15
0,036	203±11	185,5±11
0,043	217,5±17	185±4
0,050	187,5±7	176±12
0,057	204±12	192±12
0,063	179±12	181±17
0,070	191±12	187±18
Эксперимент 3		
Контроль (0)	70±4	75±6
0,0075	132±5	131±5
0,015	131±12	144±8
0,022	139±12	148±12
0,030	150±18	148,5±11
0,036	195±17	193±15
0,043	217±11	187±11
0,050	187,5±14	193±11
0,057	194±22	194±17
0,063	239±14	180±12
0,070	205±14	198±12

Пероксид водорода, клеточный яд, инициирует свободно-радикальное окисление липидов, основного компонента биомембраны. Учитывая радикальный механизм перекисного окисления липидов, экстракты с более высоким содержанием биологически активных веществ, обладающих антирадикальной активностью, должны в большей степени повышать стрессоустойчивость тест-объекта, что характерно для водных экстрактов плодов аронии черноплодной. Очевидно, водорастворимые флавонолы и флавононы, а также антоцианы, которые практически не растворимы в спирте, в условиях стресса защищают липиды от перекисаации [19].

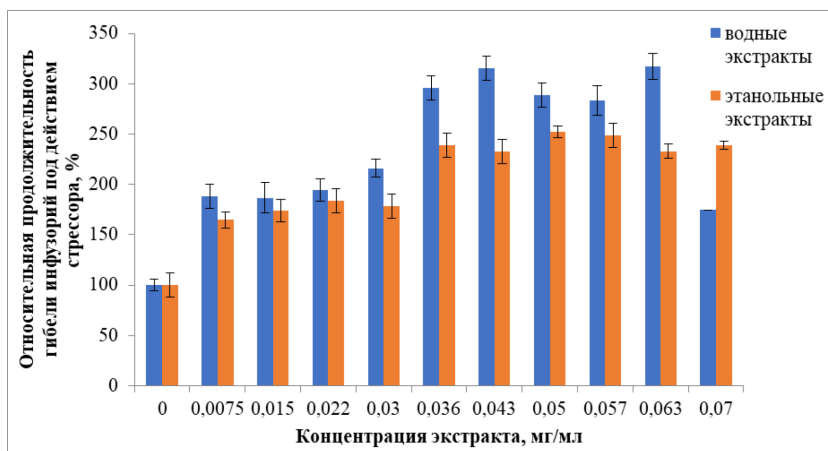


Рис. 4. Влияние концентрации водных и спиртовых экстрактов на основе натуральных плодов аронии черноплодной на гибель парамеций под действием стрессора

Что касается определения ИАА фитопрепаратов, проведенные экспериментальные исследования подтвердили перспективность и правомерность использования метода кулонометрического титрования электрогенерированным бромом для сравнительной оценки суммарного содержания в них антиоксидантов, различающихся не только природой, но и механизмом ингибирования окислительных процессов. В связи с этим, данный аналитический метод был использован в работе для изучения влияния способа консервирования плодов аронии черноплодной на антиоксидантные свойства водных и спиртовых извлечений, учитывая термолабильность некоторых биологически активных веществ, входящих в состав объекта исследования.

Была проведена серия экспериментов по определению ИАА водных и этанольных экстрактов сушеных и замороженных плодов черноплодной рябины с последующей обработкой полученных результатов аналогично вышеописанному (табл. 3).

Таблица 3.

ИАА водных и этанольных экстрактов на основе сушеных и замороженных плодов аронии черноплодной

Экстракт: дистиллированная вода							
Замороженное сырье				Высушенное сырье			
АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г	АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г
6,64	359,3	360,32 ± 2,54	54,26	14,43	573,99	580,42 ± 7,89	40,21
	363,22				589,23		
	358,44				578,03		
5,80	339,35	336,80 ± 2,33	58,06	6,56	288,68	290,02 ± 8,15	44,21
	336,32				298,77		
	334,75				282,62		
6,06	339,35	357,57 ± 2,00	58,96	17,50	701,80	703,24 ± 8,65	40,18
	336,32				702,18		
	338,61				705,75		
6,56	362,7	362,45 ± 2,34	55,17	7,73	348,58	343,05 ± 5,16	44,36
	364,66				342,22		
	360,00				338,36		
Экстракт: 96% этанол							
Замороженное сырье				Высушенное сырье			
АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г	АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г
9,66	470,85	466,17 ± 8,12	48,25	8,03	261,32	260,76 ± 4,78	32,47
	470,85				265,25		
	456,80				255,72		
11,83	616,14	613,11 ± 2,62	51,82	14,62	440,02	436,77 ± 9,86	29,87
	611,54				438,02		
	611,65				432,28		
7,03	337,51	333,88 ± 3,87	47,49	12,53	416,10	413,71 ± 4,71	33,01
	329,8				416,74		
	334,34				408,28		
14,32	719,25	726,79 ± 8,43	50,75	8,50	285,24	290,47 ± 4,64	34,09
	735,90				394,12		
	725,23				292,05		

Табличные данные свидетельствуют о хорошей воспроизводимости результатов, характеризующих антиоксидантный потенциал (ИААпр) фитоэкстрактов на основе как натуральных плодов аронии (табл. 1), так и после различных способов их консервирования и подтверждают предположение о влиянии обработки фитосырья на антиоксидантные свойства его извлечений, что более наглядно демонстрирует ниже представленный графический материал.

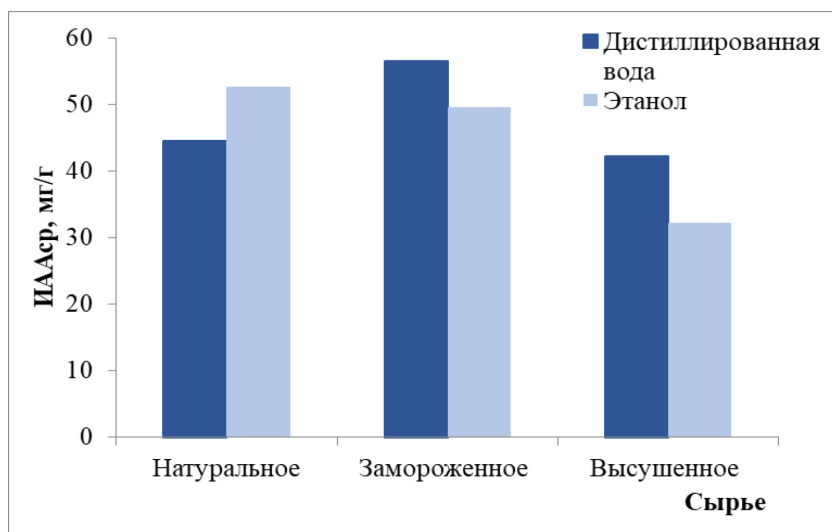


Рис. 5. Усредненные приведенные характеристики ИАА фитоэкстрактов

Анализ результатов по антиоксидантной активности извлечений из сушеных плодов аронии черноплодной показал, что данный способ при ранее указанном режиме консервации практически не влияет на антиоксидантный потенциал водных экстрактов изучаемого фитосырья. Однако антиоксидантная активность спиртовых экстрактов в этом случае в среднем снижается на 34-38% по сравнению с этанольными извлечениями из натуральных и замороженных плодов аронии, что, вероятно, связано с превалированием термолabileльных компонентов антиоксидантной системы *Aronia melanocarpa*, растворимых в этаноле.

При заморозке плодов аронии в стационарных морозильных камерах при температуре -18°C наблюдается значительное повышение антиоксидантной активности водных извлечений, что согласуется с литера-

турными данными [10], указывающими на рост содержания фенолов, флавоноидов в замороженных плодах, что обусловлено деструктивными процессами, происходящими в клетке в результате перехода свободной воды фитосырья в кристаллический лед. Более того, заморозка плодов индуцирует синтез ненасыщенных жирных кислот, обладающих антиоксидантной активностью [10]. Повреждение клеточной стенки способствует высвобождению клеточного содержимого, ускоряя процесс экстрагирования. Что касается спиртовых извлечений из замороженных плодов аронии, их антиоксидантная активность сопоставима с данными, относящимися к аналогичным экстрактам на основе натурального фитосырья.

Заключение

По результатам кулонометрического титрования электрогенерированным бромом водных и спиртовых экстрактов на основе нативного, замороженного и высушенного фитосырья были получены приведенные (соотнесенные к единице массы экстрактивных веществ в каждом опыте) характеристики антиоксидантной активности исследуемых фитоэкстрактов, согласно которым антиоксидантный потенциал спиртовых извлечений существенно выше водных.

Изучение антирадикальных свойств исследуемых извлечений выявило незначительное превышение антирадикальных характеристик водных фитоэкстрактов по сравнению со спиртовыми.

Экспериментально установленное расхождение в данных объясняется различным принципом методов: чувствительность различных методов к различным группам веществ.

Также получена хорошая согласованность по антиоксидантной активности водных извлечений, которую оценивали по стрессоустойчивости инфузорий *Paramecium caudatum* к стрессору - перексиду водорода.

Таким образом, полученные результаты подтверждают высокий антиоксидантный потенциал плодов аронии черноплодной, произрастающей на территории Республики Татарстан, а также предпочтительность замораживания исследованного фитосырья в качестве перспективного метода консервирования при целевом получении водных биологически активных препаратов.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Андреева В. Ю. и др. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной // Фармация. 2013. №. 3. С. 19-21.
2. Виноходов Д.О. Научные основы биотестирования с использованием инфузорий: автореф. дисс. д.б.н. СПб., 2007. С. 3-4.
3. Гареева Г. М., Хасанова Л. А., Хасанова З. М. Целебные свойства аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2018. №. 2. С. 36-38.
4. ГОСТ Р 54607.4-2015. Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 4. Методы определения влаги и сухих веществ. М., 2019. 8 с.
5. Казимова К. Ш., Растегаев Е. К., Щербакова Ю. В., Никитин Е. Н., Ахмадуллина Ф. Ю. Оценка влияния метода экстрагирования на антиоксидантную активность этанольных экстрактов плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) // Бутлеровские сообщения. 2022. Т. 72. № 12. С.170-175. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/22-72-12-170>
6. Казимова К.Ш., Сметанин Д.А., Ахмадуллина Ф.Ю., Щербакова Ю.В. Биологическая ценность плодов *Sorbus aucuparia* и *Aronia melanocarpa* // Химия и технология растительных веществ. Киров, 2022. С. 83.
7. Мелехова О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / О.П. Мелехова, Е.И. Сарapultьцева. М.: Академия, 2010. 288 с.
8. Рутин – стандартный образец. ТУ 9369-141-04868244-07. Технические условия.
9. Самыгин Г.А. Причины вымерзания растений. Москва: Наука, 1974. 192 с.
10. Стрюкова А. Д., Макарова Н. В. Замороженные ягоды–эффективный антиоксидант в течение всего года // Пищевая промышленность. 2013. №. 3. С. 28-31.
11. Щербакова Ю. В. и др. Метод биотестирования для контроля качества молочного сырья при промышленных режимах термообработки // Химическая безопасность. 2020. Т. 4. №. 2. С. 282-292. <https://doi.org/10.25514/CHS.2020.2.18020>
12. Щербакова Ю.В., Ахмадуллина Ф.Ю., Егорова Е.А. Перспективы использования метода гальваностатической кулонометрии для оценки интегральной антиоксидантной активности молока и кисломолочной продукции. Монография. Казань: КНИТУ, 2019. 128 с.
13. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Nikitin E., Zobov V. *Aronia melanocarpa* Flavonol Extract—Antiradical and Immunomodulating

- Activities Analysis // Plants. 2023. Vol. 12 (16), 2976. <https://doi.org/10.3390/plants12162976>
14. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Nikitin E., Zobov V. Antioxidative and Immunomodulating Properties of Aronia melanocarpa Extract Rich in Anthocyanins // Plants. 2022. Vol. 11 (23), 3333. <https://doi.org/10.3390/plants11233333>
 15. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Parfenov A., Sharonova N., Nikitin E., Zobov V. Radical Scavenging Actions and Immunomodulatory Activity of Aronia melanocarpa Propylene Glycol Extracts // Plants. 2021. Vol. 10 (11), 2458. <https://doi.org/10.3390/plants10112458>
 16. Jurikova T. et al. Fruits of black chokeberry Aronia melanocarpa in the prevention of chronic diseases // Molecules. 2017. Vol. 22, No. 6. P. 944. <https://doi.org/10.3390/molecules22060944>
 17. Kazimova K., Akhmadullina F, Shcherbakova Y, Nikitin E., Akulov A., Determination of Integral Antioxidant Activity of Phytoextracts on Rowan Fruits (Sorbus aucuparia) by Coulometric Titration // Asian Journal of Chemistry. 2022. Vol. 34, No. 11. P. 2989–2993. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2022.23601>
 18. Kulling S. E., Rawel H. M. Chokeberry (Aronia melanocarpa)—A review on the characteristic components and potential health effects // Planta medica. 2008. Vol. 74, No. 13. P. 1625-1634. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1088306>
 19. Mutha, R.E., Tatiya, A.U. & Surana, S.J. Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview // Futur. J. Pharm. Sci. 2021. Vol. 7, No. 25. <https://doi.org/10.1186/s43094-020-00161-8>
 20. Siroтина K., Kazimova K., Shcherbakova Y., Akhmadullina F., Nikitin E. Study of the antioxidant activity of rowan extracts (Sorbus aucuparia) by biotesting method // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2022, Vol. 949, 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012032>

References

1. Andreeva V.Yu. et al. Methodology for the determination of anthocyanins in the fruits of chokeberry. *Pharmacia*, 2013, no. 3, pp. 19-21.
2. Vinokhodov D.O. *Scientific bases of biotesting with the use of infusoria*. SPb., 2007, pp. 3-4.
3. Gareeva G. M., Khasanova L. A., Khasanova Z. M. Healing properties of chokeberry (Aronia melanocarpa). *Bulletin of M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University*, 2018, no. 2, pp. 36-38.
4. GOST R 54607.4-2015. Public catering services. Methods of laboratory control of public catering products. Part 4. Methods for the determination of moisture and dry matter. M., 2019, 8 p.

5. Kazimova K. Sh., Rastegaev E. K., Shcherbakova Y. V., Nikitin E. N., Akhmadullina F. Yu. Evaluation of the influence of the extraction method on the antioxidant activity of ethanol extracts of fruits of chokeberry (*Aronia melanocarpa*). *Butler Communications*, 2022, vol. 72, no. 12, pp.170-175. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/22-72-12-170>
6. Kazimova K.Sh., Smetanin D.A., Akhmadullina F.Yu., Shcherbakova Yu.V. Biological value of *Sorbus aucuparia* and *Aronia melanocarpa* fruits. *Chemistry and technology of plant substances*. Kirov, 2022, p. 83.
7. Melekhova O.P. *Biological control of the environment: bioindication and biotesting* / O.P. Melekhova, E.I. Sarapultseva. Moscow: Academy, 2010, 288 p.
8. Rutin - standard sample. TOU 9369-141-04868244-07. Technical conditions.
9. Samygin G.A. *Causes of plant extinction*. Moscow: Nauka, 1974, 192 p.
10. Stryukova A. D., Makarova N. V. Frozen berries-effective antioxidant throughout the year. *Food Industry*, 2013, no. 3, pp. 28-31.
11. Scherbakova Yu. V. et al. Biotesting method for quality control of dairy raw materials under industrial modes of heat treatment. *Chemical Safety*, 2020, vol. 4, no. 2, pp. 282-292. <https://doi.org/10.25514/CHS.2020.2.18020>
12. Scherbakova Y.V., Akhmadullina F.Y., Egorova E.A. *Prospects of using the method of galvanostatic coulometry to assess the integral antioxidant activity of milk and sour-milk products*. Monograph. Kazan: KNITU, 2019, 128 p.
21. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Nikitin E., Zobov V. *Aronia melanocarpa* Flavonol Extract—Antiradical and Immunomodulating Activities Analysis. *Plants*, 2023, vol. 12 (16), 2976. <https://doi.org/10.3390/plants12162976>
22. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Nikitin E., Zobov V. Antioxidative and Immunomodulating Properties of *Aronia melanocarpa* Extract Rich in Anthocyanins. *Plants*, 2022, vol. 11 (23), 3333. <https://doi.org/10.3390/plants11233333>
23. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Parfenov A., Sharonova N., Nikitin E., Zobov V. Radical Scavenging Actions and Immunomodulatory Activity of *Aronia melanocarpa* Propylene Glycol Extracts. *Plants*, 2021, vol. 10 (11), 2458. <https://doi.org/10.3390/plants10112458>
24. Jurikova T. et al. Fruits of black chokeberry *Aronia melanocarpa* in the prevention of chronic diseases. *Molecules*, 2017, vol. 22, no. 6, p. 944. <https://doi.org/10.3390/molecules22060944>
25. Kazimova K., Akhmadullina F, Shcherbakova Y, Nikitin E., Akulov A., Determination of Integral Antioxidant Activity of Phytoextracts on Rowan Fruits (*Sorbus aucuparia*) by Coulometric Titration. *Asian Journal of Chemistry*, 2022, vol. 34, no. 11, pp. 2989–2993. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2022.23601>

26. Kulling S. E., Rawel H. M. Chokeberry (*Aronia melanocarpa*)—A review on the characteristic components and potential health effects. *Planta medica*, 2008, vol. 74, no. 13, pp. 1625-1634. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1088306>
27. Mutha, R.E., Tatiya, A.U. & Surana, S.J. Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview. *Futur. J. Pharm. Sci.*, 2021, vol. 7, no. 25. <https://doi.org/10.1186/s43094-020-00161-8>
28. Siroтина K., Kazimova K., Shcherbakova Y., Akhmadullina F., Nikitin E. Study of the antioxidant activity of rowan extracts (*Sorbus aucuparia*) by biotesting method. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2022, vol. 949, 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012032>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Казимова Камила Шухратовна, младший научный сотрудник лаборатории переработки растительного сырья для экологически чистого агрохозяйства

*Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова
ФИЦ Казанский научный центр РАН*

*ул. Академика Арбузова, 8, г. Казань, 420088, Республика Татарстан,
Российская Федерация
camilakazimova@yandex.ru*

Растегаев Егор Константинович, инженер-исследователь кафедры «Тероретических основ теплотехники»

Казанский национальный исследовательский технологический университет

*ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420029, Республика Татарстан,
Российская Федерация
alecvolturil@yandex.ru*

Ахмадуллина Фарида Юнусовна, старший преподаватель кафедры «Промышленной биотехнологии»

Казанский национальный исследовательский технологический университет
ул. Карла Маркса, 72В, г. Казань, 420015, Республика Татарстан,
Российская Федерация
AkhmadullinaFYu@corp.knrtnu.ru

Щербакова Юлия Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Промышленной биотехнологии»
Казанский национальный исследовательский технологический университет
ул. Карла Маркса, 72В, г. Казань, 420015, Республика Татарстан,
Российская Федерация
balakirevajulia3@mail.ru

Шуматбаев Георгий Геннадьевич, инженер исследователь лаборатории переработки растительного сырья для экологически чистого агрохозяйства
*Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова
ФИЦ Казанский научный центр РАН*
ул. Академика Арбузова, 8, г. Казань, 420088, Республика Татарстан,
Российская Федерация
g-shumatbaev@mail.ru

Закиров Рустем Каюмович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленной биотехнологии»
Казанский национальный исследовательский технологический университет
ул. Карла Маркса, 72В, г. Казань, 420015, Республика Татарстан,
Российская Федерация
zakrus@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Kamila Sh. Kazimova, Junior Researcher, Laboratory of Processing of Plant Raw Materials for Ecological Agriculture
Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences
8, Akademika Arbuzova Str., Kazan, 420088, Republic of Tatarstan, Russian Federation

camilakazimova@yandex.ru

SPIN-code: 9769-3201

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5442-0620>

ResearcherID: HGU-5633-2022

Scopus Author ID: 57433671500

Egor K. Rastegaev, Research Engineer at the Department of Theoretical Fundamentals of Heat Engineering

Kazan National Research Technological University

68, Karla Marksa, Kazan, 420029, Republic of Tatarstan, Russian Federation

alecvolturi1@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0031-8468>

Farida Yu. Akhmadullina, Senior Lecturer at the Department of Industrial Biotechnology

Kazan National Research Technological University

72, Karla Marksa, Kazan, 420029, Republic of Tatarstan, Russian Federation

AkhmadullinaFYu@corp.knrtu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6538-5616>

Yulia V. Shcherbakova, PhD in Biological sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Biotechnology

Kazan National Research Technological University

72, Karla Marksa, Kazan, 420029, Republic of Tatarstan, Russian Federation

balakirevajulia3@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7534-7119>

Georgiy G. Shumatbaev, Research Engineer of Processing of Plant Raw Materials for Ecological Agriculture

Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences

8, Akademika Arbuzova Str., Kazan, 420088, Republic of Tatarstan, Russian Federation

g-shumatbaev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1199-3178>

ResearcherID: A-7886-2019

Scopus Author ID: 56471945300

Rustem K. Zakirov, PhD in Engineering Science, Associate Professor of the
Department of Industrial Biotechnology

Kazan National Research Technological University

*72, Karla Marksa, Kazan, 420029, Republic of Tatarstan, Russian Fe-
deration*

zakrus@mail.ru

SPIN-code: 6512-3102

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3771-4077>

Scopus Author ID: 8933764000

Поступила 18.01.2024

После рецензирования 13.03.2024

Принята 01.04.2024

Received 18.01.2024

Revised 13.03.2024

Accepted 01.04.2024