

УДК 615.322:582.929

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ АРОНИИ МИЧУРИНА (*ARONIA MITCHURINII* SKVORTSOV & MAITULINA)

© *О.В. Пугачева**, *Т.А. Брежнева*, *А.И. Сливкин*

*Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1,
Воронеж, 394018 (Россия), e-mail: pugachevaov1@yandex.ru*

Цель работы – исследование состава и способности накопления различных элементов в листьях аронии Мичурина для научного обоснования возможности их использования в медицине и фармации.

Проведено изучение состава и способности к накоплению различных элементов в листьях аронии Мичурина, заготовленных в Тамбовской области. Методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой определен элементный состав листьев аронии Мичурина и почвы с места произрастания растения. В сырье обнаружен 61 химический элемент, в числе которых практически все эссенциальные: макроэлементы, с преобладанием кальция, калия, фосфора и магния; микроэлементы, с преобладанием железа, цинка, натрия, марганца.

Установлено, что соотношение элементов в почве с места произрастания и в сырье различаются. Рассчитаны коэффициенты биологического поглощения для каждого элемента, на основании которого все компоненты разделены на пять групп. К элементам энергичного накопления относится фосфор, а к элементам сильного накопления – кальций, калий и цинк. Способность листьев аронии накапливать цинк в большем количестве (64.32 мкг/г), чем другие виды ЛРС, позволяет рассматривать их как возможный природный источник этого элемента при гипозементозах, связанных с дефицитом цинка в организме.

В ходе анализа определено содержание токсичных элементов, нормируемых в растительном сырье: свинца, кадмия, ртути, мышьяка. Их концентрация не превышает допустимых пределов, приведенных в нормативной документации.

Ключевые слова: листья аронии Мичурина, элементный состав, хромато-масс спектрометрия, коэффициент биологического накопления, *Aronia Mitchurinii* Skvortsov & Maitulina.

Введение

Лечебное и профилактическое действие растений на организм человека является комплексным и определяется не только содержащейся в них суммой БАВ, но и составом макро- и микроэлементов. Сведения о химическом составе растений необходимы для разработки суммарных препаратов для лечения и профилактики различных патологических состояний, в том числе и связанных с нехваткой тех или иных элементов, элементозами. Существенное значение имеют и сведения и о минеральном составе почвы, оказывающем влияние на рост и развитие растений, а также на накапливание в них микроэлементов и БАВ. Растительное сырье способно накапливать и токсические вещества. Особенности накопления минеральных веществ определяются не только внешними экологическими факторами, но и взаимодействием этих факторов с физиологическими и метаболическими системами растения. Изучение этих особенностей позволяет не

Пугачева Ольга Валериевна – преподаватель кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, e-mail: pugachevaov1@yandex.ru

Брежнева Татьяна Александровна – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, e-mail: t_brezhneva@mail.ru

Сливкин Алексей Иванович – доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой фармацевтической химии и фармацевтической технологии, e-mail: slivkin@pharm.vsu.ru

только сделать вывод о возможности применения данного вида сырья в качестве источника макро- и микроэлементов, но и в долгосрочной перспективе создать теоретическую базу для управления качеством исследуемого растительного сырья [1–4].

Все элементы, содержащиеся в растительном сырье, можно подразделить на группы в зависимости от их накапливаемого количества (табл. 1).

* Автор, с которым следует вести переписку.

Таблица 1. Классификация элементов растений

Группа	Концентрация, %	Концентрация, мкг/г
Макроэлементы	>0.01	>1000
Микроэлементы	10^{-6} – 10^{-2}	0.01–100
Ультрамикроэлементы	$<10^{-6}$	<0.01

Влияние минеральных компонентов на организм человека различно. Двадцать четыре элемента, дефицит которых приводит к патологическим отклонениям, относятся к жизненно важным или эссенциальным: калий, натрий, кальций, магний, хлор, железо, медь, цинк, марганец, селен, молибден, йод, фосфор, сера, кобальт, бор, литий, мышьяк, никель, фтор, хром, кремний, свинец. Ряд элементов можно отнести к токсичным (Al, Cd, Pb, Hg, Be, Ba, Bi, Tl) или потенциально-токсичным (Ag, Au, In, Ge, Rb, Ti, Te, U, W, Sn, Zr и др.) [4, 5].

Ценным источником БАВ может служить арония Мичурина (*Aronia Mitchurinii* Skvortsov & Maitulina). Данное растение известно в России и на территории СНГ под названием «рябина черноплодная».

Анализ литературных источников показывает, что плоды рябины черноплодной активно изучаются и фигурируют под видовым названием «арония черноплодная». В Государственную фармакопею (ГФ) 14 издания включены фармакопейные статьи на свежие и высушенные плоды аронии черноплодной [6].

Так как родительский вид аронии на территории нашей страны не произрастает и не культивируется, а является дикорастущим видом Северной Америки, можно предположить, что большинство исследований, которые касались рябины черноплодной, на самом деле проводились на аронии Мичурина, являющейся гибридным видом рода *Aronia* [7–9].

Наиболее изученная часть растения – это плоды, которые являются источником веществ полифенольной и флавоноидной природы, а стандартизация которых проводится по содержанию антоцианов. Исследовался, в том числе, и элементный состав плодов, в которых обнаружено достаточно высокое содержание эссенциальных элементов: железо, медь, цинк, марганец, кобальт, никель, хром и т.д. [10].

Ранее проведенными исследованиями было установлено, что листья аронии Мичурина являются ценным возобновляемым источником БАВ-антиоксидантов, не уступающим по их содержанию разрешенным к использованию в медицине плодам. В настоящий момент доказано наличие в них флавоноидов, дубильных веществ, лейкоантоцианов, сапонинов, аскорбиновой кислоты [11–14]. Ранее нами установлено, что содержание суммы дубильных веществ в пересчете на катехин в листьях составляет около 10%, что позволяет рассматривать этот вид сырья в качестве потенциального источника для получения лекарственных растительных препаратов, вяжущего и ранозаживляющего действия [15]. Однако элементный состав до сих пор оставался неизученным. Исследование элементного состава листьев аронии представлялось интересным в силу возможности основных групп БАВ данного сырья образовывать соединения с поливалентными ионами металлов, что могло привести к повышенному их накапливанию в сырье. В зависимости от состава, количества и свойств накапливаемых веществ данный процесс мог играть как положительную роль концентрирования эссенциальных элементов, так и приводить к повышенному накапливанию соединений токсичных металлов.

На основании высказанных предположений целью работы являлось исследование состава и способности накопления различных элементов в листьях аронии Мичурина для научного обоснования возможности их использования в медицине и фармации.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись листья аронии Мичурина (*Aronia Mitchurinii* Skvortsov & Maitulina, сем. *Rosaceae*), которые заготавливали от культивируемого растения сорта «Мулатка» на территории Тамбовской области в августе 2021 года в фазу полого созревания плодов на основании ОФС 1.5.1.0007.15 «Плоды» (плоды голые, черные, блестящие) [6]. Возраст растения 5 лет, удобрения в почву не вносились. Сушку сырья производили воздушно-теневым способом до остаточной влажности не более 10%. Сырье измельчали до размеров частиц не более 2 мм.

Отбор почвы проводили одновременно с места произрастания сырья. Профильные образцы отбирались из четырех вертикальных колонок шириной 10 см, расположенных попарно на противоположных боковых стенках разреза таким образом, чтобы расстояние между ними составляло 1 м.

Изучение элементного состава в образцах проводили методом хромато-масс-спектрометрии (ХМС) с индуктивно связанной плазмой («ELAN-DRC», США), для чего предварительно проводилась пробоподготовка – кислотное разложение образца с использованием микроволнового излучения.

Рабочие стандартные растворы (контроль правильности измерений осуществлялся методом добавок) готовили путем смешивания нескольких опорных многоэлементных стандартных растворов для масс-спектрометрии («Perkin-Elmer») или аналогичные, содержащие разные группы элементов.

Для анализа почв использовали следующие референс-стандарты: почва дерновоподзолистая ГСО 5360-90, ООКО-153, почва дерновоподзолистая супесчаная ГСО 2498-83-2500-83, СДПС-1, СДПС-2, СДПС-3 [16].

Для анализа измельченных высушенных листьев: ГСО состава травосмеси (Тр-1), ГСО 8922-2007, ГСО состава элодеи канадской (ЗК-1), ГСО 8921-2007, ГСО состава листа березы (ЛБ-1), ГСО 8923-2007 [17].

Результаты и их обсуждение

В листьях аронии Мичурина обнаружен 61 элемент (табл. 2). Следует отметить высокое содержание в образцах кальция, калия, фосфора, магния, кремния, железа.

В исследуемом образце в соответствии с вышеприведенной классификацией определены 4 макроэлемента; 21 микроэлемент; 32 ультрамикроэлемента.

Таблица 2. Элементный состав листьев аронии Мичурина и почвы с места произрастания, мкг/г

№ п/п	Элемент	Содержание в листьях /ПДК	Содержание в почве / ПДК и ОДК	КБП
1	2	3	4	5
<i>Макроэлементы</i>				
1	Кальций (Ca)	21338.06	20180.00	1.06
2	Калий (K)	11187.57	10790.00	1.04
3	Фосфор (P)	9715.30	630.00	15.4
4	Магний (Mg)	1472.59	4600.00	0.32
<i>Микроэлементы</i>				
1	Кремний (Si)	439.04	371000.00	$1.18 \cdot 10^{-3}$
2	Железо (Fe)	119.64	18200.00	$6.57 \cdot 10^{-3}$
3	Алюминий (Al)	72.47	30400.00	$2.38 \cdot 10^{-3}$
4	Цинк (Zn)	64.32	60.10 / 110.00*	1.07
5	Стронций (Sr)	60.03	70.50	0.85
6	Натрий (Na)	38.26	3300.00	$1.16 \cdot 10^{-2}$
7	Марганец (Mn)	26.12	440.00 / 1500.00**	$5.94 \cdot 10^{-2}$
8	Барий (Ba)	11.58	240.00	$4.83 \cdot 10^{-2}$
9	Медь (Cu)	4.78	19.00 / 66.00*	0.25
10	Рубидий (Rb)	3.55	52.00	$6.83 \cdot 10^{-2}$
11	Хром (Cr)	2.71	35.00	$7.75 \cdot 10^{-2}$
12	Титан (Ti)	1.50	2300.00	$6.54 \cdot 10^{-4}$
13	Литий (Li)	1.35	17.00	$7.95 \cdot 10^{-2}$
14	Молибден (Mo)	0.83	1.20	0.70
15	Селен (Se)	0.64	4.10	0.16
16	Никель (Ni)	0.40	22.00/40.00*	$1.81 \cdot 10^{-2}$
17	Ванадий (V)	0.25	31.00 / 150.00**	$8.03 \cdot 10^{-3}$
18	Кобальт (Co)	0.18	8.50	$2.14 \cdot 10^{-2}$
19	Галлий (Ga)	0.019	9.10	$2.12 \cdot 10^{-3}$
20	Сурьма (Sb)	0.015	0.47 / 4.50**	$3.17 \cdot 10^{-2}$
21	Неодим (Nd)	0.01	18.00	$5.66 \cdot 10^{-4}$
<i>Ультрамикроэлементы</i>				
1	Диспрозий (Dy)	<0.009	2.50	$3.60 \cdot 10^{-3}$
2	Иттрий (Y)	0.009	13.00	$6.60 \cdot 10^{-4}$
3	Уран (U)	0.008	1.05	$8.08 \cdot 10^{-3}$
4	Теллур (Te)	<0.007	<0.10	$7.00 \cdot 10^{-2}$
5	Гадолиний (Gd)	<0.007	3.40	$2.06 \cdot 10^{-3}$
6	Цезий (Cs)	0.006	2.30	$2.55 \cdot 10^{-3}$
7	Гольмий (Ho)	<0.005	0.47	$1.06 \cdot 10^{-2}$

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
8	Эрбий (Er)	<0.005	1.40	3.57·10 ⁻³
9	Иттербий (Yb)	<0.005	1.20	4.17·10 ⁻³
10	Самарий (Sm)	<0.004	3.30	1.21·10 ⁻³
11	Европий (Eu)	<0.004	0.71	5.63·10 ⁻³
12	Тербий (Tb)	<0.004	0.47	8.51·10 ⁻³
13	Тулий (Tm)	<0.004	0.19	2.11·10 ⁻²
14	Серебро (Ag)	0.004	0.17	2.20·10 ⁻²
15	Таллий (Tl)	0.003	0.25	1.34·10 ⁻²
16	Торий (Th)	<0.003	5.90	5.08·10 ⁻⁴
17	Празеодим (Pr)	0.002	4.70	4.86·10 ⁻⁴
18	Ниобий (Nb)	0.002	5.97	3.61·10 ⁻⁴
19	Скандий (Sc)	<0.002	<3.00	6.67·10 ⁻⁴
20	Лютеций (Lu)	<0.002	0.19	1.05·10 ⁻²
21	Гафний (Hf)	<0.002	2.30	8.70·10 ⁻⁴
22	Висмут (Bi)	0.0015	0.07	2.13·10 ⁻²
23	Бериллий (Be)	<0.001	1.70	5.88·10 ⁻⁴
24	Тангал (Ta)	<0.001	0.48	2.08·10 ⁻³
25	Вольфрам (W)	<0.001	0.45	2.22·10 ⁻³
26	Цирконий (Zr)	<0.0003	87.00	3.45·10 ⁻⁶
27	Германий (Ge)	<0.0001	1.40	7.14·10 ⁻⁵
28	Олово (Sn)	<0.0001	1.40	7.14·10 ⁻⁵
29	Платина (Pt)	<0.0001	<0.10	1.00·10 ⁻³
30	Золото (Au)	<0.0001	0.29	3.45·10 ⁻⁴
31	Лантан (La)	<0.00001	19.70	5.08·10 ⁻⁷
32	Церий (Ce)	<0.00001	41.00	2.44·10 ⁻⁷
33	Рений (Re)	–	<0.01	–
34	Рутений (Ru)	–	<0.01	–
35	Индий (In)	–	0.024	–
Токсичные элементы				
1	Кадмий (Cd)	<0.0001 / 1.00	0.45 / 1.00*	2.22·10 ⁻⁴
2	Ртуть (Hg)	0.008 / 0.10	<0.01 / 2.10**	0.80
3	Мышьяк (As)	0.33 / 0.50	<1.00 / 5.00*	0.33
4	Свинец (Pb)	2.47 / 6.00	14.00 / 32.00*	0.18

* – ОДК – ориентировочно-допустимая концентрация; ** – ПДК (валовое содержание) – предельно-допустимая концентрация [18]; «–» – не обнаружен; < – ниже предела обнаружения.

Обнаружены эссенциальные элементы, которые можно расположить в следующем ряду по убыванию содержания в сырье Ca>K>P>Mg>Fe>Zn>Na>Mn>Cu>Mo>Se>Co. Среди условно эссенциальных элементов в количестве свыше 0.01 мкг/г выявлены: кремний, никель, ванадий, стронций, хром.

Преобладающее содержание в листьях аронии Мичурина кальция объясняется наличием кристаллоносной обкладки по жилкам листа, а также присутствием друз оксалата кальция в мезофилле, которые имели характерную форму кристаллов, свойственную данной соли кальция, что доказано с помощью микроскопии [19]. Известно, что реутилизация кальция затруднена, так как он откладывается в виде нерастворимых солей, например, щавелевой кислоты. Данные соли накапливаются в органах и тканях на более поздних стадиях их развития, поэтому в представленном сырье они содержатся в большом количестве [20].

В соответствии с литературными данными фосфор, входящий в состав аденозинтрифосфорной кислоты, играет важную роль в энергетическом обмене в клетках. Данный элемент в наибольшем соотношении накапливается в листьях аронии из почвы (фосфатные удобрения в месте произрастания растения в почву не вносились). Цинк играет роль кофактора многих ферментов, входит в состав инсулина, участвует в белковом обмене, укрепляет иммунную систему, участвует в кроветворении. При сравнении полученных данных с литературными для других растений [1–3, 21–23] было выявлено, что в листьях аронии Мичурина цинк накапливается в большем количестве (64.32 мкг/г), чем у других видов ЛРС. Роль таких макро- и микроэлементов, как марганец, железо, медь, кремний, хром, никель, селен и другие неоднократно обсуждалась в литературе [4, 21, 24–26]. Все перечисленные элементы обнаружены в листьях аронии Мичурина в значительном количестве, что открывает перспективы использования изучаемого сырья в качестве источника данных макро- и микроэлементов.

Можно предположить, что листья аронии Мичурина, в которых в большом количестве синтезируются фенольные соединения, в частности флавоноиды, способны аккумулировать комплекс элементов, основными компонентами которого являются железо, цинк, хром, медь, кобальт, марганец, и никель. В свою очередь, эти элементы могут влиять и на накопление БАВ в сырье, например, являясь кофакторами и активаторами ферментов при биосинтезе флавоноидов [27].

В ходе исследования проанализирован элементный состав почвы в месте произрастания растения, с которого заготавливались листья аронии Мичурина. Методом масс-спектропии с индуктивно-связанной плазмой в образцах почвы было обнаружено 64 элемента. Результаты представлены в таблице 2.

Около 98% элементного состава листьев приходится на макроэлементы (рис. 1), в то же время их содержание в почве составляет всего 7.82% (рис. 2). Содержание микро- и ультрамикроэлементов также выше в почве. В то же время содержание токсичных тяжелых металлов и мышьяка не превышает допустимых для лекарственного растительного сырья пределов согласно ОФС.1.5.3.0009.15 «Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах» [6].

Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) валового содержания элементов в почве в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» для почв с кислым рН (рН=5.4) не превышены [18, 28].

Важной характеристикой избирательной аккумуляции элементов из почвы является коэффициент биологического поглощения (Кбп), введенный А.И. Перельманом. В зависимости от величины этого коэффициента элементы можно подразделить на пять групп: энергичного накопления ($K_{bp} = n \cdot 10^1 - n \cdot 10^2$), сильного накопления ($K_{bp} = n \cdot 10^0 - n \cdot 10^1$), слабого накопления и среднего захвата ($K_{bp} = n \cdot 10^{-1} - n \cdot 10^0$), слабого захвата ($K_{bp} = n \cdot 10^{-1}$), слабого накопления и очень слабого захвата ($K_{bp} = n \cdot 10^{-1} - n \cdot 10^{-2}$) [29].

В сырье обнаружены минеральные вещества всех пяти групп. Большая часть элементов, представленных в листьях аронии Мичурина, относятся к элементам слабого накопления и очень слабого захвата (рис. 3).

Наибольшей способностью к аккумуляции в листьях аронии Мичурина обладают фосфор, кальций, калий, цинк. Распределение минеральных компонентов по группам представлено в таблице 3. Исходя из представленных данных видно, что накопление токсичных тяжелых металлов и мышьяка ограничено и при заготовке листьев аронии Мичурина на экологически благоприятных территориях они будут обнаруживаться в количествах, не превышающих ПДК.

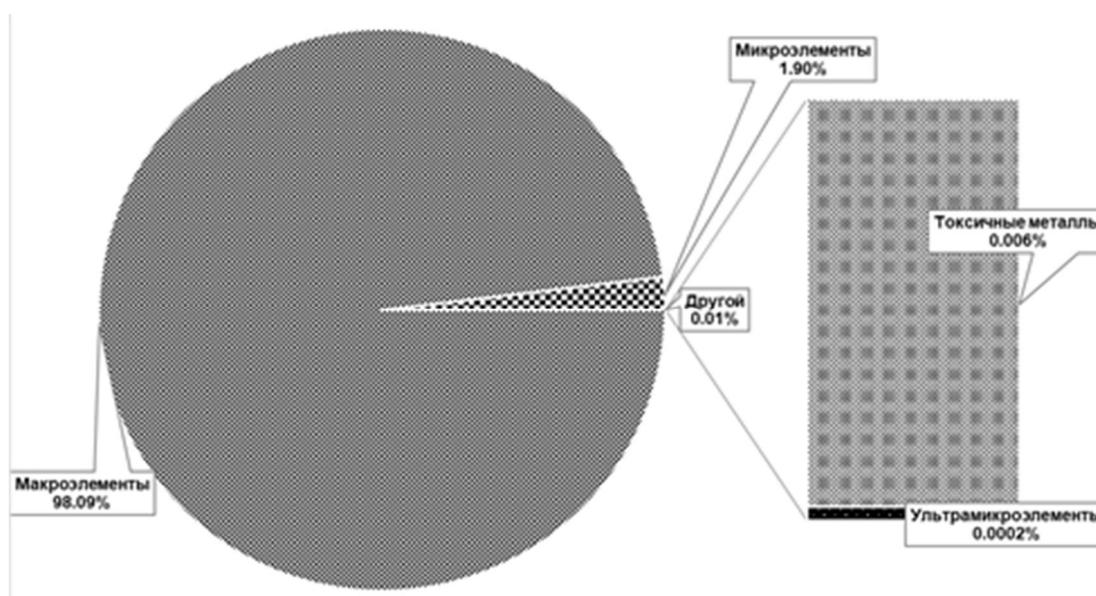


Рис. 1. Содержание элементов в листьях аронии Мичурина

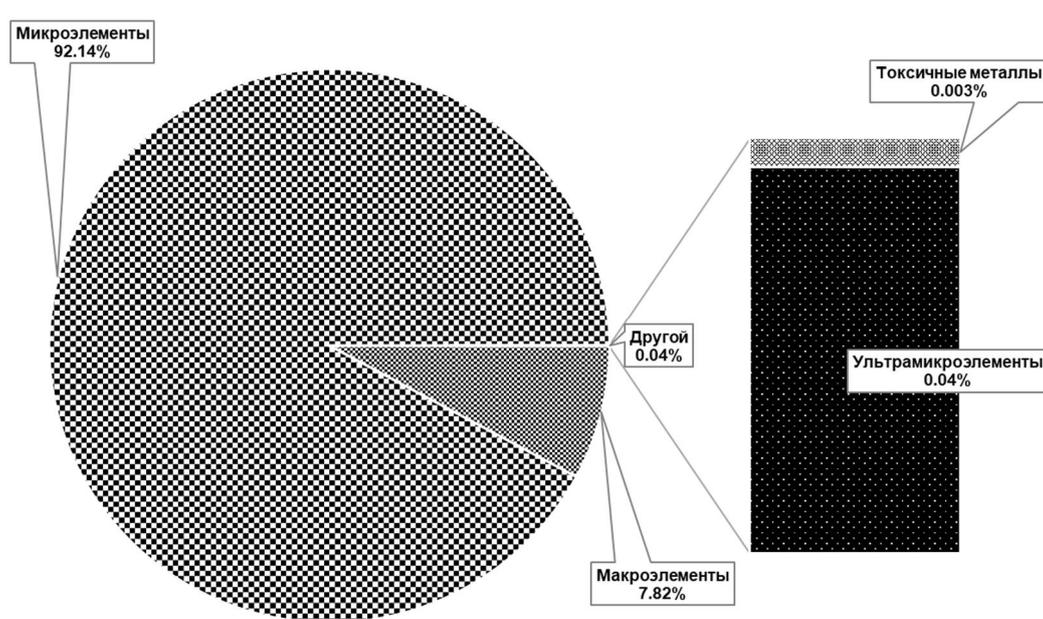


Рис. 2. Содержание элементов в почве с места произрастания аронии Мичурина

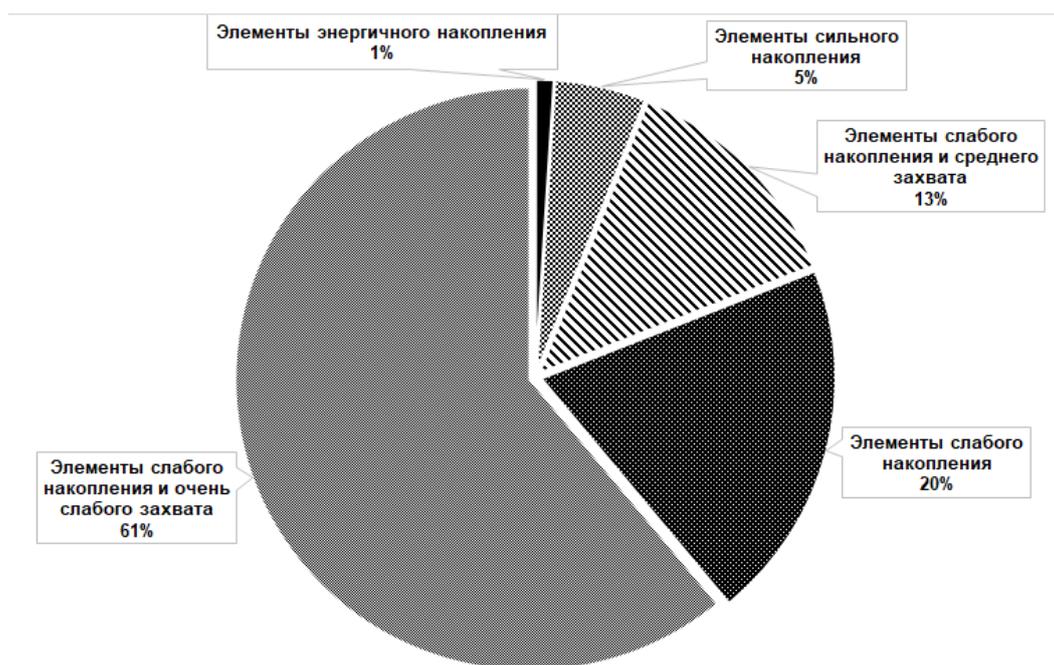


Рис. 3. Доля элементов по способности к накоплению из почвы (по А.И. Перельману)

Таблица 3. Распределение элементов по группам в листьях аронии Мичурина (по А.И. Перельману)

Группа	Элементы
Энергичного накопления	Р
Сильного накопления	Ca, K, Zn
Слабого накопления и среднего захвата	Mg, Sr, Cu, Mo, Se, Hg, As, Pb
Слабого захвата	Bi, Ag, Co, Ni, Li, Cr, Ba, Mn, Na, Sb, Rb, Tl
Слабого накопления и очень слабого захвата	Cd , Si, Fe, Al, Ti, V, Ga, Nd, Dy, Y, U, Te, Gd, Cs, Ho, Er, Yb, Sm, Eu, Tb, Tm, Th, Pr, Nb, Se, Lu, Hf, Be, Ta, W, Zr, Ge, Sn, Pt, Au, La, Ce

Заключение

Методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой определен элементный состав листьев аронии Мичурина и почвы с места произрастания растения. В сырье обнаружен 61 химический элемент, в числе которых практически все эссенциальные: макроэлементы, с преобладанием кальция, калия, фосфора и магния и микроэлементы, с преобладанием железа, цинка, натрия, марганца.

Установлено, что соотношение элементов в почве с места произрастания и в сырье различаются. Рассчитаны коэффициенты биологического поглощения для каждого элемента, на основании которого все компоненты разделены на пять групп. К элементам энергичного накопления относится фосфор, а к элементам сильного накопления – кальций, калий и цинк. Способность листьев аронии накапливать цинк в большем количестве (64.32 мкг/г), чем другие виды ЛРС, позволяет рассматривать их как возможный природный источник этого элемента при гипозэлементозах, связанных с дефицитом цинка в организме.

В ходе анализа определено содержание токсичных элементов, нормируемых в растительном сырье. Их концентрация не превышает допустимых пределов, приведенных в нормативной документации. На основании рассчитанных значений Кбп можно сделать вывод, что все они относятся к веществам слабого накопления и среднего (Hg, As, Pb) или очень слабого (Cd) захвата, т.е. не будут накапливаться в сырье в превышающих значениях при сборе сырья на экологически благоприятных территориях. По этой причине листья аронии Мичурина могут рассматриваться как перспективное лекарственное сырье для дальнейшей разработки и получения лекарственных растительных препаратов.

Список литературы

1. Рудакова Ю.Г., Попова О.И. Элементный состав травы дубровника белого (*Teucrium polium* L.) // Современные проблемы науки и образования. 2014. №6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16108>.
2. Дроздова И.Л., Денисова Н.Н. Элементный состав травы короставника полевого *Knautia Arvensis* (L.) Coult. // Химия растительного сырья. 2013. №4. С. 135–139. DOI: 10.14258/jcprm.1304135.
3. Коренская И.М., Беляева А.А., Чистякова А.С., Колосова О.А., Карлов П.М. Экспериментальные исследования по изучению минерального состава листьев мяты длиннолистной и мяты водной // Вестник ВГУ, серия: Химия. Биология. Фармация. 2020. №1. С. 67–74.
4. Ребров В.Г. Витамины, макро- и микроэлементы. М., 2008. 960 с.
5. Скальный А.В. Биозлементы в медицине. М., 2004. 272 с.
6. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. М., 2018. 7019 с.
7. Скворцов А.К., Майтулина Ю.К., Горбунов Ю.Н. О месте, времени и возможном механизме возникновения культурной черноплодной аронии // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 1983. Т. 88. №3. С. 88–96.
8. Peter J.L., Mark H.V., Bryan A.C. Investigation of the Origin of *Aronia mitschurinii* using Amplified Fragment Length Polymorphism Analysis // HortScience. 2019. Vol. 48. Pp. 520–524. DOI: 10.21273/HORTSCI.48.5.520.
9. Persson-Hovmalm H.A., Jeppsson N., Bartish I.V. et al. RAPD analysis of diploid and tetraploid populations of *Aronia* points to different reproductive strategies within the genus // Hereditas. 2004. Vol. 141. Pp. 301–312.
10. Логвинова Е.Е. Химический состав плодов аронии различных сортов // Фармация. 2015. №6. С. 22–26.
11. Пугачева О.В. Валидация методики количественного определения дубильных веществ в листьях рябины черноплодной // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2022. №1. С. 98–104.
12. Cvetanović A., Zengin G., Zeković Z. Comparative in vitro studies of the biological potential and chemical composition of stems, leaves and berries *Aronia melanocarpa*'s extracts obtained by subcritical water extraction // Food and Chemical Toxicology. 2018. Vol. 121. Pp. 458–466. DOI: 10.1016/j.fct.2018.09.045.
13. Брежнева Т.А., Недолужко Е.И., Логвинова Е.Е., Гудкова А.А., Сливкин А.И. Изучение биологически активных веществ листьев рябины черноплодной // Вестник ВГУ, серия: Химия. Биология. Фармация. 2018. №2. С. 306–311.
14. Пугачева О.В., Брежнева Т.А., Сливкин А.И. Определение дубильных веществ в листьях рябины черноплодной различными аналитическими методами // Сборник трудов VII научной конференции «Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения». М., 2019. С. 292–298.
15. Szopa A., Kokotkiewicz A., Kubica P. Comparative analysis of different groups of phenolic compounds in fruit and leaf extracts of *Aronia* sp.: *A. melanocarpa*, *A. arbutifolia*, and *A. xprunifolia* and their antioxidant activities // Eur. Food Res. Technol. 2017. Vol. 243. Pp. 1645–1657. DOI: 10.1007/s00217-017-2872-8.
16. МУК 4.1.1483-03. Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргоновой плазмой: методические указания. М., 2003. 36 с.
17. МВИ № 002-ХМС-2009. Методика выполнения измерений массовых долей 62 элементов в почвах, донных отложениях, горных породах и сплавах цветных металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. 2015. 38 с.

18. Постановление от 28 января 2021 г. №2. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
19. Пугачева О.В., Брежнева Т.А., Сливкин А.И. Морфолого-анатомическое изучение листа аронии Мичурина (*Aronia Mitchurinii* Skvortsov & Maitulina) // Сборник трудов международной научной конференции «От биохимии растений к биохимии человека». М., 2022. С. 296–300.
20. Климентова Е.Г., Рассадина Е.В., Антонова Ж.А. Физиология растений: учебное пособие для студентов. Ульяновск, 2014. 170 с.
21. Селиверстова К.А. Элементный состав травы василька восточного (*Centaurea orientalis*) // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2006. №2. С. 366–367.
22. Ханина М.А., Губин К.В., Родин А.П., Ханина М.Г. Элементный состав крапивы коноплевидной (*Urtica cannabina* L.) // Медицинский вестник Башкортостана. 2016. Т. 11. №5. С. 83–86.
23. Валов Р.И., Ханина М.А., Родин А.П. Элементный состав *Chamerion angustifolium* (L.) Holub // Сибирское медицинское обозрение. 2010. №5. С. 44–47.
24. Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М., 1960. 544 с.
25. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. Микро-элементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М., 1991. 496 с.
26. Varaboi V.A., Shestakova E.N. Selenium: the biological role and antioxidant activity // Ukr. biokhim. Zh. 2004. Vol. 76. Pp. 23–32.
27. Баяндина И.И., Загурская Ю.В. Взаимосвязь вторичного метаболизма и химических элементов в лекарственных растениях // Сибирский медицинский журнал. 2014. №8. С. 107–111.
28. Пугачева Г.М. Некоторые элементы технологии производства посадочного материала // Современное состояние питомниководства и инновационные основы его развития: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения доктора с/х наук С.Н. Степанова. Воронеж, 2015. С. 236–242.
29. Садовникова Л.К., Орлов Д.С., Лозановская И.Н. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении. М., 2006. 334 с.

Поступила в редакцию 18 сентября 2022 г.

После переработки 8 февраля 2023 г.

Принята к публикации 29 августа 2023 г.

Для цитирования: Пугачева О.В., Брежнева Т.А., Сливкин А.И. Исследование элементного состава листьев аронии Мичурина (*Aronia Mitchurinii* Skvortsov & Maitulina) // Химия растительного сырья. 2023. №4. С. 307–316. DOI: 10.14258/jcrpm.20230411883.

*Pugacheva O.V.**, *Brezhneva T.A.*, *Slivkin A.I.* RESEARCH OF ELEMENT COMPOSITION OF ARONIA MITCHURINA (*ARONIA MITCHURINII* SKVORTSOV & MAITULINA) LEAVES

Voronezh State University, Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394018 (Russia), e-mail: pugachevaov1@yandex.ru

The aim of the study was to study the composition and ability to accumulate various elements in the leaves of aronia Mitchurina for scientific rationale of the possibility of their use in medicine and pharmacy.

The composition and ability to accumulate various elements in the leaves of aronia Mitchurina harvested in the Tambov region were studied. The elemental composition of the leaves of aronia Mitchurina and the soil from the place of plant growth was studied by inductively coupled plasma chromatography-mass spectrometry. In the raw material was found 61 chemical elements, including almost all essential: macronutrients, with the predominance of calcium, potassium, phosphorus and magnesium; trace elements, with the predominance of iron, zinc, sodium, manganese.

It was found that the ratio of elements in the soil from the place of growth and in the raw material are different. Coefficient of biological accumulation for each element were estimated, on the basis of which all elements are classified into five groups. The elements of energetic accumulation include phosphorus, and the elements of highly accumulation include calcium, potassium, and zinc. The ability of chokeberry leaves to accumulate zinc in higher concentrations (64.32 µg/g) than other species of herbal raw materials allows us to view them as a possible natural source of this element in hypoelementosis associated with zinc deficiency in the body.

Determined in the analysis is the content of toxic elements standardized in plant raw materials: lead, cadmium, mercury, arsenic. Their contents do not exceed the maximum permissible concentration limits given in the normative documentation.

Keywords: leaves of aronia Mitchurina, elemental composition, chromatography-mass spectrometry, coefficient of biological accumulation, *Aronia Mitchurini* Skvortsov & Maitulina.

References

1. Rudakova Yu.G., Popova O.I. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no. 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16108>. (in Russ.).
2. Drozdova I.L., Denisova N.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 4, pp. 135–139. DOI: 10.14258/jcprm.1304135. (in Russ.).
3. Korenskaya I.M., Belyayeva A.A., Chistyakova A.S., Kolosova O.A., Karlov P.M. *Vestnik VGU, seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2020, no. 1, pp. 67–74. (in Russ.).
4. Rebrov V.G. *Vitaminy, makro- i mikroelementy*. [Vitamins, macro- and microelements]. Moscow, 2008, 960 p. (in Russ.).
5. Skal'nyy A.V. *Bioelementy v meditsine*. [Bioelements in medicine]. Moscow, 2004, 272 p. (in Russ.).
6. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii, XIV izdaniye*. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV edition]. Moscow, 2018, 7019 p. (in Russ.).
7. Skvortsov A.K., Maytulina Yu.K., Gorbunov Yu.N. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy*, 1983, vol. 88, no. 3, pp. 88–96. (in Russ.).
8. Peter J.L., Mark H.B., Bryan A.C. *HortScience*, 2019, vol. 48, pp. 520–524. DOI: 10.21273/HORTSCI.48.5.520.
9. Persson-Hovmalm H.A., Jeppsson N., Bartish I.V. et al. *Hereditas*, 2004, vol. 141, pp. 301–312.
10. Logvinova Ye.Ye. *Farmatsiya*, 2015, no. 6, pp. 22–26. (in Russ.).
11. Pugacheva O.V. *Vestnik VGU, seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2022, no. 1, pp. 98–104. (in Russ.).
12. Cvetanović A., Zengin G., Zeković Z. *Food and Chemical Toxicology*, 2018, vol. 121, pp. 458–466. DOI: 10.1016/j.fct.2018.09.045.
13. Brezhneva T.A., Nedoluzhko Ye.I., Logvinova Ye.Ye., Gudkova A.A., Slivkin A.I. *Vestnik VGU, seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2018, no. 2, pp. 306–311. (in Russ.).
14. Pugacheva O.V., Brezhneva T.A., Slivkin A.I. *Sbornik trudov VII nauchnoy konferentsii «Sovremennyye tendentsii razvitiya tekhnologiy zdorov'yesberezheniya»*. [Collection of proceedings of the VII scientific conference “Modern trends in the development of health-saving technologies”]. Moscow, 2019, pp. 292–298. (in Russ.).
15. Szopa A., Kokotkiewicz A., Kubica P. *Eur. Food Res. Technol.*, 2017, vol. 243, pp. 1645–1657. DOI: 10.1007/s00217-017-2872-8.
16. *MUK 4.1.1483-03. Opredeleniye sodержaniya khimicheskikh elementov v diagnostiruyemykh biosubstratakh, preparatakh i biologicheskii aktivnykh dobavkakh metodom mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoy argonovoy plazmoy: metodicheskiye ukazaniya*. [MUK 4.1.1483-03. Determination of the content of chemical elements in diagnosed biosubstrates, preparations and biologically active additives using mass spectrometry with inductively coupled argon plasma: guidelines]. Moscow, 2003, 36 p. (in Russ.).
17. *MVI No. 002-KhMS-2009. Metodika vypolneniya izmereniy massovykh doley 62 elementov v pochvakh, donnykh otlozheniyakh, gornyykh porodakh i splavakh tsvetnykh metallov metodom mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoy plazmoy*. [MVI No. 002-HMS-2009. Methodology for measuring the mass fractions of 62 elements in soils, bottom sediments, rocks and alloys of non-ferrous metals using inductively coupled plasma mass spectrometry]. 2015, 38 p. (in Russ.).
18. *Postanovleniye ot 28 yanvarya 2021 g, no. 2. Ob utverzhdenii sanitarnykh pravil i norm SanPiN 1.2.3685-21 "Gigiyenicheskiye normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy"*

* Corresponding author.

- obitaniya*". [Resolution of January 28, 2021, no. 2. On approval of sanitary rules and norms SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans"]. (in Russ.).
19. Pugacheva O.V., Brezhneva T.A., Slivkin A.I. *Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Ot biokhimii rasteniy k biokhimii cheloveka»*. [Collection of proceedings of the international scientific conference "From plant biochemistry to human biochemistry"]. Moscow, 2022, pp. 296–300. (in Russ.).
 20. Klimentova Ye.G., Rassadina Ye.V., Antonova Zh.A. *Fiziologiya rasteniy: uchebnoye posobiye dlya studentov*. [Plant physiology: a textbook for students]. Ul'yanovsk, 2014, 170 p. (in Russ.).
 21. Seliverstova K.A. *Vestnik VGU, Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2006, no. 2, pp. 366–367. (in Russ.).
 22. Khanina M.A., Gubin K.V., Rodin A.P., Khanina M.G. *Medsitsinskiy vestnik Bashkortostana*, 2016, vol. 11, no. 5, pp. 83–86. (in Russ.).
 23. Valov R.I., Khanina M.A., Rodin A.P. *Sibirskoye meditsinskoye obozreniye*, 2010, no. 5, pp. 44–47. (in Russ.).
 24. Voynar A.I. *Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme zhivotnykh i cheloveka*. [Biological role of microelements in the body of animals and humans]. Moscow, 1960, 544 p. (in Russ.).
 25. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A. *Mikro-elementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya*. [Human microelementoses: etiology, classification, organopathology]. Moscow, 1991, 496 p. (in Russ.).
 26. Baraboi V.A., Shestakova E.N. *Ukr. biokhim. Zh.*, 2004, vol. 76, pp. 23–32.
 27. Bayandina I.I., Zagurskaya Yu.V. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2014, no. 8, pp. 107–111. (in Russ.).
 28. Pugacheva G.M. *Sovremennoye sostoyaniye pitomnikovodstva i innovatsionnyye osnovy yego razvitiya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchenoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya doktora s/kh nauk S.N. Stepanova*. [Current state of nursery farming and innovative foundations of its development: materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Doctor of Agricultural Sciences S.N. Stepanova]. Voronezh, 2015, pp. 236–242. (in Russ.).
 29. Sadovnikova L.K., Orlov D.S., Lozanovskaya I.N. *Ekologiya i okhrana okruzhayushchey sredy pri khimicheskoy zagryaznenii*. [Ecology and environmental protection during chemical pollution]. Moscow, 2006, 334 p. (in Russ.).

Received September 18, 2022

Revised February 8, 2023

Accepted August 29, 2023

For citing: Pugacheva O.V., Brezhneva T.A., Slivkin A.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 4, pp. 307–316. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230411883.