

УДК 581.192:582.71

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ *ROSA ACICULARIS*, *ROSA DAVURICA* И *ROSA RUGOSA*

© Л.В. Афанасьева*, Т.А. Аюшина

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670047 (Россия), e-mail: afanl@mail.ru

Цель данной работы – изучить особенности накопления и распределения микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Cd) в растениях *Rosa acicularis*, *R. davurica*, *R. rugosa*, произрастающих на территории Байкальского региона, как в перспективных источниках жизненно важных микроэлементов. Установлено, что растения *R. rugosa* отличаются более высоким содержанием Cu и низким уровнем Mn, кроме того, плоды этого вида аккумулируют Fe, Zn и Co. В чашелистиках, листьях, стеблях и корнях *R. davurica* отмечены наиболее высокие концентрации Fe, а в вегетативных и генеративных органах *R. acicularis* – Cr. Показано, что распределение Zn, Cu, Ni в растениях носит акропетальный характер, остальные элементы накапливаются преимущественно по базипетальному типу. К элементам сильного накопления в растениях всех трех видов относится Cd, кроме того, выявлены видоспецифичные особенности в интенсивности накопления ряда элементов в надземных и подземных органах. Показано, что плоды шиповников, а также листья и стебли *Rosa acicularis* и *Rosa rugosa* могут служить потенциальным источником Mn, Cr и Co для организма человека.

Ключевые слова: *Rosa acicularis*, *Rosa davurica*, *Rosa rugosa*, микроэлементы.

Введение

В современный период, как в нашей стране, так и за рубежом, одним из актуальных направлений фармакогнозии является поиск новых источников биологически активных веществ растительного происхождения, а также комплексное изучение видов, традиционно применяемых в медицине [1]. Особый интерес в этом плане представляют растения рода *Rosa L.* (или шиповник, сем. Rosaceae), широко используемые в фармацевтической, пищевой и парфюмерно-косметической промышленности [2, 3].

В Байкальском регионе преимущественное распространение в естественной среде имеют два вида шиповника – *Rosa acicularis* Lindl. и *Rosa davurica* Pall., а при озеленении городов и крупных поселков используют также интродуцированный вид *Rosa rugosa* Thunb., отличающийся высокой декоративностью (длительное цветение, крупные плоды, позднее пожелтение листьев). Плоды всех трех видов являются фармакопейным сырьем, которое применяется в качестве поливитаминного, антиоксидантного, а также желчегонного, мочегонного, общеукрепляющего средства [2–4]. Широкий спектр их лечебного действия обусловлен содержанием комплекса биологически активных соединений, таких как витамины (С, Р, К, В₂, Е), флавоноиды, каротиноиды, жирные кислоты, полисахариды и др. [3–6]. В народной медицине используют также вегетативную часть растений и корни. Например, отвар и настойка корней *R. acicularis* обладает противовоспалительными и сосудосуживающими свойствами, спиртовой экстракт корней *R. rugosa* – гепатопротекторными и противовирусными. Водный экстракт листьев *R. davurica* замедляет свертываемость крови и фибринообразование [7].

Анализ научной литературы свидетельствует о том, что значительная часть исследований, связанных

Афанасьева Лариса Владимировна – кандидат биологических наук, e-mail: afanl@mail.ru
Аюшина Туяна Аюшиевна – кандидат биологических наук, e-mail: tuyana2602@mail.ru

с этими видами, направлена на изучение биохимического состава плодов, выделение новых фармакологически активных соединений, определение их

* Автор, с которым следует вести переписку.

состава [8–12]. Гораздо меньше публикуется данных о содержании в растениях макро- и микроэлементов [13–15] и особенностях их распределения между органами растений [16]. Учитывая то, что лекарственные растения часто являются концентраторами как отдельных элементов, так и их групп [17], исследование их минерального состава важно для решения вопросов о возможности использования их в качестве потенциальных источников биологически важных элементов для лечения и профилактики элементозов – заболеваний, связанных с нарушением баланса элементов в организме человека. Поиск природных ресурсов для коррекции недостатка жизненно важных элементов является весьма актуальным в регионах с распространением эндемичных заболеваний человека, обусловленных их дефицитом. К одному из таких регионов относится территория, где проводились исследования.

Цель данной работы – изучить особенности накопления и распределения микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Cd) в растениях *Rosa acicularis*, *R. davurica* и *R. rugosa*, произрастающих на территории Байкальского региона, как в перспективных источниках жизненно важных микроэлементов.

Экспериментальная часть

Исследования были проведены в 2018 г. на территории Байкальского региона. Для каждого вида выбраны три ценопопуляции, размером не менее 0.04 га (в посадках 0.02 га), в которых случайным способом закладывали три ключевых участка (1×1 м) и проводили сбор растений в период массового созревания плодов (последняя декада августа). Краткая характеристика ценопопуляций приведена в таблице 1.

На каждом ключевом участке методом квадрата выкапывали пять точечных образцов. Растения разделяли на отдельные органы: корни, стебли, листья, ягоды и объединяли в один смешанный образец. Корни очищали от видимых примесей, промывали в проточной, а затем в дистиллированной воде. Одновременно отбирали почвенные образцы на глубине 0–20 см.

В лабораторных условиях растительные и почвенные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, после чего измельчали и просеивали. При анализе плодов шиповника от гипантия отделяли чашелистики и извлекали семена, которые промывали в дистиллированной воде.

Таблица 1. Краткая характеристика ценопопуляций

Вид растения	Ценопопуляции (ЦП)	Краткая характеристика
<i>Rosa acicularis</i>	ЦП-1	Окрестности с. Усть-Баргузин (Баргузинский район, Республика Бурятия), высота над уровнем моря (н.у.м.) 680 м. Лесная просека вдоль линии электропередач. Кустарниковая заросль из <i>Rosa acicularis</i> . Общее проективное покрытие сообщества 50–60%, <i>R. acicularis</i> 45%. Почва – дерново-подбур
	ЦП-2	Окрестности с. Баргузин (Баргузинский район, Республика Бурятия), высота н.у.м. 720 м. Сосняк рододендроновый, 10С. Общее проективное покрытие травяно-кустарникового яруса 30–40%, <i>R. acicularis</i> 5–10%. Почва – дерново-подбур
	ЦП-3	Пойма р. Чилир (Баргузинский район, Республика Бурятия), высота н.у.м. 650 м. Ивняк редкотравный. Общее проективное покрытие сообщества 50–60%, <i>R. acicularis</i> 35%. Почва – аллювиальная слаборазвитая
<i>Rosa davurica</i>	ЦП-4	Окрестности с. Колесово (Кабанский район, Республика Бурятия), высота н.у.м. 504 м. Ивняк разнотравный. Общее проективное покрытие сообщества 50–60%, <i>R. davurica</i> 15–20%. Почва – аллювиальная слаборазвитая
	ЦП-5	Окрестности с. Усть-Брянь (Заиграевский район, Республика Бурятия), высота н.у.м. 546 м. Ивняк разнотравный. Общее проективное покрытие сообщества 50–60%, <i>R. davurica</i> 20–25%. Почва – аллювиальная слаборазвитая
	ЦП-6	Окрестности с. Сотниково (Иволгинский район, Республика Бурятия), высота н.у.м. 580 м. Ивняк редкотравный. Общее проективное покрытие сообщества 55–60%, <i>R. davurica</i> 20%. Почва – аллювиальная слаборазвитая
<i>Rosa rugosa</i>	ЦП-7	Посадки <i>R. rugosa</i> в селитебной зоне г. Байкальск, пос. Гагарина (Слюдянский район, Иркутская область), высота н.у.м. 495 м. Почва – бурозем антропогенно-преобразованный
	ЦП-8	Посадки <i>R. rugosa</i> в селитебной зоне г. Байкальск, пос. Южный (Слюдянский район, Иркутская область), высота н.у.м. 504 м. Почва – бурозем антропогенно-преобразованный
	ЦП-9	Посадки <i>R. rugosa</i> в селитебной зоне пос. Танхой (Кабанский район, Республика Бурятия), высота н.у.м. 474 м. Почва – бурозем антропогенно-преобразованный

Концентрации микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Co, Cr, Ni, Pb, Cd) определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «AAAnalyst 400 PerkinElmer». Растительные образцы (по 3 образца с каждого ключевого участка) разлагали с помощью системы микроволнового разложения Mars 6. Около 0.5 г сухого образца (точная навеска) помещали в тефлоновые сосуды, добавляли 4 мл концентрированной HNO_3 и 4 мл 30% H_2O_2 [18]. Из почвы извлекались кислоторастворимые (потенциально подвижные) формы металлов раствором 1N HCl, при соотношении почвы к кислоте 1 : 10, время экстракции 1 ч [19].

Для оценки интенсивности накопления химических элементов растениями из почвы вычисляли коэффициенты накопления (K_n) – отношение содержания элемента в органах растений к содержанию его подвижных форм в почве и корневого барьера ($K_{кб}$) – отношение величин содержания элементов в корне растения и надземных органах. По K_n элементы были разделены на группы: 1) энергичного накопления ($100 > K_n \geq 10$); 2) сильного накопления ($10 > K_n \geq 1$); 3) слабого накопления и среднего захвата ($1 > K_n \geq 0.1$); 4) слабого захвата ($0.1 > K_n \geq 0.01$), 5) очень слабого захвата $0.01 > K_n \geq 0.001$ [20]. Значения $K_{кб} > 1$ указывают на наличие барьера при поступлении элементов в надземную часть растений.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием стандартных методов [21] и пакета PAST v3.17. Полученные для каждой ценопопуляции данные были проверены на нормальность (Shapiro-Wilk's test, $p < 0.05$) и равенство дисперсий (Levene's test); после чего для каждого вида были рассчитаны средние значения элементов (M) и стандартное отклонение (δ). Различия между видами оценивали с помощью пакета several-sample tests (ANOVA, Kruskal-Wallis), при значимом результате использовали критерий множественного сравнения (Tukey's test, $p < 0.05$).

Результаты и их обсуждение

Сравнительный анализ содержания микроэлементов в растениях трех видов шиповника выявил определенные различия в их концентрации (табл. 2). Так, в растениях *R. rugosa* содержание меди было в 1.3–2.3 раза больше, а марганца – в 1.4–4.8 раза меньше по сравнению с другими видами. Кроме того, обнаружено, что в плодах *R. rugosa* в большей степени аккумулируются железо, цинк и кобальт. В чашелистиках, листьях, стеблях и корнях *R. davurica* содержание железа в 1.3–3.4 раза выше, чем в других видах, а вегетативные и генеративные органы *R. acicularis* отличаются более высокими концентрациями хрома.

Несмотря на количественные различия в содержании микроэлементов в их распределении по растениям прослеживаются некоторые общие тенденции. Например, обнаружено, что наиболее высокими концентрациями цинка, меди и никеля отличаются корни этих растений. При этом для никеля характерно постепенное снижение концентрации в ряду корни > стебли > листья > чашелистики > ягоды > семена, а для цинка и меди эта последовательность нарушается в результате большего накопления элементов в семенах и ягодах (корни > стебли > семена > ягоды > листья > чашелистики). В листьях в большей степени аккумулируются свинец и кадмий, а в чашелистиках – железо, содержание которого в 3.8–20.3 раза превышает его уровень в плодах. Концентрация свинца и кадмия уменьшается в ряду листья > чашелистики > корни > стебли > ягоды > семена, для железа характерна такая же последовательность, за исключением большего накопления в чашелистиках. По характеру распределения марганца, хрома и кобальта наиболее близки *R. davurica* и *R. rugosa*. Следует отметить, что растения *R. acicularis* отличаются преимущественным аккумулярованием хрома в листьях, тогда как растения *R. davurica* и *R. rugosa* накапливают этот элемент в корнях. Противоположная тенденция отмечена для кобальта.

Известно, что распределение химических элементов по органам растений, как и их поглощение из питательной среды, контролируется биологическими и физико-химическими механизмами, способствующими в одних случаях концентрированию элементов (безбарьерный тип), а в других – ограничению их поступления (барьерный тип). Поскольку основным барьером на пути транспорта металлов в надземные органы растений является корневая система, нами был рассчитан коэффициент корневого барьера. Использование этого параметра позволило выявить определенные различия в накоплении микроэлементов в генеративных и вегетативных органах растений по отношению к корневым системам (табл. 3). Обнаружено, что все изученные микроэлементы накапливаются в плодах по барьерному типу, т.е. их содержание в гипантии и в семенах было ниже, чем в корнях. В чашелистики и листья всех трех видов безбарьерно из корней поступает железо, марганец, свинец, кадмий; а также кобальт (в растениях *R. rugosa* и *R. davurica*) и хром (в растениях *R. acicularis*). В стеблях большая часть металлов аккумулируется по барьерному типу, исключение составил марганец, концентрация которого в стеблях *R. rugosa* и *R. davurica* была выше, чем в корнях.

Таблица 2. Содержание микроэлементов ($M \pm \delta$, мг/кг сухого вещества) в надземных и подземных органах растений трех видов рода *Rosa* и в почве

Вид растения	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Co	Cd
Чашелистики									
<i>R. acicularis</i>	163±24 ^{1, 2}	85.8±14.1	6.9±1.6	3.9±0.2	7.9±1.8	4.5±0.4	2.4±0.1	1.0±0.1	0.6±0.1
<i>R. davurica</i>	518±32	60.4±8.3	7.3±1.5	2.1±0.2	4.0±1.2	5.7±0.6	1.9±0.1	1.5±0.1	0.8±0.1
<i>R. rugosa</i>	295±12	26.2±3.6	8.7±1.8	4.8±0.4	3.3±0.2	2.9±0.1	2.9±0.1	1.7±0.1	0.7±0.1
Гипантий									
<i>R. acicularis</i>	29.2±1.8	41.4±2.8	10.6±2.2	5.3±0.8	4.7±0.4	2.6±0.2	1.9±0.1	0.9±0.1	0.3±0.1
<i>R. davurica</i>	25.5±1.2	24.3±1.4	9.1±1.8	4.0±0.7	2.3±0.2	3.4±0.4	1.2±0.1	0.8±0.1	0.4±0.1
<i>R. rugosa</i>	76.9±5.6	13.6±1.2	14.8±2.4	6.4±0.8	2.1±0.4	1.5±0.1	1.8±0.1	1.4±0.1	0.4±0.1
Семена									
<i>R. acicularis</i>	35.9±3.7	18.8±1.6	12.4±2.8	5.6±1.4	5.3±1.6	1.6±0.1	1.1±0.3	0.2±0.1	0.2±0.1
<i>R. davurica</i>	25.7±2.9	21.5±2.5	10.1±1.6	4.3±1.6	1.9±0.4	2.1±0.1	1.0±0.4	0.1±0.1	0.3±0.1
<i>R. rugosa</i>	41.9±3.2	8.6±1.9	19.7±1.4	9.8±1.6	2.8±2.3	0.7±0.1	1.1±0.2	1.1±0.1	0.3±0.1
Листья									
<i>R. acicularis</i>	104±28	112±8.3	7.7±2.0	4.2±1.6	11.8±0.8	5.2±0.3	2.7±0.6	1.0±0.1	0.7±0.1
<i>R. davurica</i>	450±41	74.7±4.6	8.2±2.8	3.9±1.2	6.5±0.4	6.6±0.4	2.0±0.4	2.2±0.1	0.9±0.1
<i>R. rugosa</i>	228±20	37.4±3.9	11.1±3.1	5.8±1.5	4.9±0.4	4.0±0.2	3.9±0.6	2.2±0.1	0.8±0.1
Стебли									
<i>R. acicularis</i>	46.2±3.8	47.7±2.2	23.7±1.8	8.2±1.2	6.7±1.6	3.6±0.2	3.1±0.2	1.4±0.1	0.4±0.1
<i>R. davurica</i>	79.4±8.2	78.1±8.2	24.7±1.4	7.1±1.2	4.9±1.0	3.9±0.4	3.4±0.2	1.1±0.1	0.5±0.1
<i>R. rugosa</i>	61.6±5.4	38.7±1.4	20.2±1.2	15.4±2.6	4.4±0.9	1.9±0.2	4.5±0.2	1.5±0.1	0.5±0.1
Корни									
<i>R. acicularis</i>	78.7±15	64.2±8.5	34.6±3.2	10.4±0.6	7.4±0.1	3.9±0.3	4.6±0.6	1.6±0.1	0.5±0.1
<i>R. davurica</i>	266±86	31.1±2.9	25.2±2.1	9.1±1.1	16.7±0.4	4.2±0.4	6.8±1.0	1.4±0.1	0.7±0.1
<i>R. rugosa</i>	146±24	22.8±2.9	24.8±1.2	18.3±0.6	14.1±0.2	2.3±0.3	6.2±0.8	1.6±0.1	0.6±0.1
Почва									
<i>R. acicularis</i>	230±42	144±22	5.4±1.2	3.2±0.8	4.5±0.4	5.9±1.9	2.6±0.2	1.4±0.1	0.2±0.1
<i>R. davurica</i>	282±38	149±18	9.9±2.7	4.7±1.2	4.3±0.4	5.2±1.4	5.0±0.3	3.6±0.6	0.2±0.1
<i>R. rugosa</i>	289±52	101±14	12.7±1.6	3.1±0.6	15.1±3.1	6.2±1.6	6.1±0.8	3.6±0.8	0.3±0.1
Среднее содержание в растениях [22]	150	200	50	10	1.5	1.0	1.5	0.2	0.05
Суточная потребность, мг/сут [24]	10	2.5	12	1.5	0.05	–	–	0.01	–

Примечание. 1 – в таблице приведены средние арифметические значения для трех ценопопуляций; 2 – жирным шрифтом выделены концентрации элементов, для которых различия между видами достоверны при $P < 0.05$.

Информативным показателем способности растений к избирательному накоплению микроэлементов является коэффициент накопления (K_n). Установлено, что к элементам сильного накопления в растениях всех трех видов относится кадмий (табл. 4). Считается, что этот элемент по своим свойствам близок к цинку и может конкурировать с ним за сайты поглощения на эпиблеме корня [25]. К элементам сильного накопления в растениях *R. acicularis* относятся медь, цинк, хром (в стеблях и корнях также никель и кобальт), *R. davurica* – цинк, медь в стеблях и корнях; железо, свинец в чашелистиках и листьях; хром в листьях, стеблях и корнях, *R. rugosa* – медь (цинк в плодах, стеблях и корнях, железо в чашелистиках, никель в корнях). Остальные элементы слабо накапливаются и средне захватываются ($K_n = 0.1-0.9$).

При сопоставлении полученных нами данных со средними (кларковыми) значениями концентрации микроэлементов в растениях суши [22] обнаружено, что изученные виды шиповника являются концентраторами только хрома и кобальта (табл. 2), элементов, играющих важную роль в углеводном обмене и процессах кроветворения. Кроме того, концентраторами по отношению к железу можно считать листья и чашелистики *R. davurica*. Содержание остальных микроэлементов в растениях шиповника не превышало кларковых значений, несмотря на то, что некоторые из них относились к элементам сильного накопления. Интересно то, что в исследуемых нами видах содержание кадмия превышало среднее значение для растений на порядок,

но, тем не менее, оно было ниже предельно допустимых концентраций (1 мг/кг), установленных для пищевых и лекарственных растений [23]. Содержание свинца также превышало среднее значение для растений, но только в листьях *R. davurica* оно было немного выше, чем ПДК (6 мг/кг). Учитывая выявленные особенности *R. davurica* к повышенному аккумулярованию токсичных элементов, на наш взгляд, не следует использовать листья этого вида в фитотерапии, а при сборе плодов необходимо удалять чашелистики.

Таблица 3. Коэффициенты корневого барьера в растениях трех видов рода *Rosa*

Вид растения	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Co	Cd
Чашелистики									
<i>R. acicularis</i>	0.5±0.2	0.7±0.1	5.4±0.1	2.8±0.1	0.9±0.1	0.8±0.1	2.0±0.1	1.6±0.1	0.8±0.1
<i>R. davurica</i>	0.5±0.3	0.5±0.1	3.4±0.1	4.3±0.1	3.8±0.1	0.7±0.1	3.6±0.1	0.9±0.1	0.9±0.1
<i>R. rugosa</i>	0.5±0.2	0.8±0.1	2.8±0.1	3.8±0.1	4.2±0.1	0.8±0.1	2.1±0.1	0.9±0.1	0.8±0.1
Гипантий									
<i>R. acicularis</i>	2.8±0.1	1.6±0.1	3.2±0.1	2.0±0.1	1.6±0.1	1.5±0.1	2.5±0.1	1.8±0.1	2.1±0.1
<i>R. davurica</i>	10.4±0.1	1.4±0.1	2.5±0.1	2.2±0.1	7.1±0.1	2.0±0.1	5.5±0.1	1.7±0.1	1.5±0.1
<i>R. rugosa</i>	1.9±0.1	1.7±0.1	1.3±0.1	2.9±0.1	4.9±0.1	1.5±0.1	3.4±0.1	1.5±0.1	1.4±0.1
Семена									
<i>R. acicularis</i>	2.2±0.2	3.4±0.1	2.7±0.1	1.8±0.1	1.4±0.1	2.4±0.1	4.1±0.1	8.4±0.1	2.4±0.1
<i>R. davurica</i>	10.4±0.3	1.3±0.1	2.8±0.1	2.1±0.1	8.7±0.1	1.2±0.1	7.0±0.1	13.5±0.1	2.5±0.1
<i>R. rugosa</i>	3.5±0.2	2.7±0.1	1.7±0.1	1.9±0.1	6.7±0.1	3.5±0.1	5.6±0.1	1.1±0.1	1.7±0.1
Листья									
<i>R. acicularis</i>	0.7±0.2	0.6±0.1	4.4±0.3	2.5±0.2	0.6±0.1	0.7±0.1	1.7±0.1	1.6±0.1	0.8±0.1
<i>R. davurica</i>	0.6±0.3	0.4±0.1	3.1±0.2	2.3±0.1	2.6±0.1	0.6±0.1	3.3±0.1	0.6±0.1	0.8±0.1
<i>R. rugosa</i>	0.6±0.2	0.6±0.1	2.2±0.1	3.1±0.1	2.9±0.1	0.6±0.1	1.6±0.1	0.7±0.1	0.8±0.1
Стебли									
<i>R. acicularis</i>	1.7±0.1	1.3±0.1	1.5±0.1	1.3±0.1	1.1±0.1	1.1±0.1	1.5±0.1	1.2±0.1	1.2±0.1
<i>R. davurica</i>	3.4±0.3	0.4±0.1	1.0±0.1	1.3±0.1	3.4±0.1	1.1±0.1	2.0±0.1	1.2±0.1	1.3±0.1
<i>R. rugosa</i>	2.4±0.2	0.6±0.1	1.2±0.1	1.2±0.1	3.2±0.1	1.2±0.1	1.4±0.1	1.1±0.1	1.3±0.1

Примечание: – жирным шрифтом выделены Ккб <1 (безбарьерное накопление).

Таблица 4. Коэффициенты накопления в растениях трех видов рода *Rosa*

Вид растения	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Co	Cd
Чашелистики									
<i>R. acicularis</i>	0.7±0.2	0.6±0.1	1.3±0.1	1.2±0.1	1.7±0.1	0.8±0.1	0.9±0.1	0.7±0.1	3.5±0.1
<i>R. davurica</i>	1.8±0.3	0.4±0.1	0.7±0.1	0.4±0.1	0.9±0.1	1.1±0.1	0.4±0.1	0.4±0.1	2.9±0.1
<i>R. rugosa</i>	1.0±0.2	0.3±0.1	0.7±0.1	1.6±0.1	0.2±0.1	0.5±0.1	0.4±0.1	0.5±0.1	4.1±0.1
Гипантий									
<i>R. acicularis</i>	0.1±0.1	0.3±0.1	1.9±0.1	1.7±0.1	1.0±0.1	0.4±0.1	0.7±0.1	0.6±0.1	1.5±0.1
<i>R. davurica</i>	0.1±0.1	0.2±0.1	0.9±0.1	0.9±0.1	0.6±0.1	0.6±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1	1.7±0.1
<i>R. rugosa</i>	0.1±0.1	0.1±0.1	1.2±0.1	2.1±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1	0.3±0.1	0.4±0.1	2.4±0.1
Семена									
<i>R. acicularis</i>	0.2±0.2	0.1±0.1	2.3±0.1	1.8±0.1	1.2±0.1	0.3±0.1	0.4±0.1	0.2±0.1	1.3±0.1
<i>R. davurica</i>	0.1±0.3	0.1±0.1	1.0±0.1	0.9±0.1	0.4±0.1	0.4±0.1	0.2±0.1	0.1±0.1	1.0±0.1
<i>R. rugosa</i>	0.3±0.2	0.1±0.1	1.6±0.1	3.2±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1	0.2±0.1	0.3±0.1	2.0±0.1
Листья									
<i>R. acicularis</i>	0.5±0.2	0.8±0.1	1.4±0.3	1.3±0.2	2.6±0.1	0.9±0.1	1.0±0.1	0.7±0.1	3.8±0.1
<i>R. davurica</i>	1.6±0.3	0.5±0.1	0.8±0.2	0.8±0.1	1.5±0.1	1.3±0.1	0.4±0.1	0.6±0.1	3.5±0.1
<i>R. rugosa</i>	0.8±0.2	0.4±0.1	0.9±0.1	1.9±0.1	0.3±0.1	0.7±0.1	0.6±0.1	0.6±0.1	4.2±0.1
Стебли									
<i>R. acicularis</i>	0.2±0.1	0.3±0.1	4.3±0.1	2.6±0.1	1.5±0.1	0.6±0.1	1.2±0.1	1.0±0.1	2.4±0.1
<i>R. davurica</i>	0.2±0.3	0.5±0.1	2.5±0.1	1.5±0.1	1.2±0.1	0.8±0.1	0.7±0.1	0.3±0.1	2.0±0.1
<i>R. rugosa</i>	0.2±0.2	0.4±0.1	1.6±0.1	5.0±0.1	0.3±0.1	0.3±0.1	0.7±0.1	0.4±0.1	2.6±0.1
Корни									
<i>R. acicularis</i>	0.3±0.1	0.4±0.1	6.4±0.1	3.3±0.1	1.6±0.1	0.7±0.1	1.8±0.1	1.1±0.1	2.9±0.1
<i>R. davurica</i>	0.9±0.3	0.2±0.1	2.5±0.1	1.9±0.1	3.9±0.1	0.8±0.1	1.4±0.1	0.4±0.1	2.6±0.1
<i>R. rugosa</i>	0.5±0.2	0.2±0.1	1.9±0.1	5.9±0.1	0.9±0.1	0.4±0.1	1.0±0.1	0.4±0.1	3.7±0.1

Примечание: – жирным шрифтом выделены элементы сильного накопления ($K_n > 1$).

При оценке возможности использования растений шиповника в качестве потенциальных источников биологически важных микроэлементов установлено, что 100 г сухих плодов могут обеспечить суточную потребность организма человека в марганце, хrome и кобальте [24]. Учитывая возможность безбарьерного поступления кадмия и свинца в чашелистики, при сборе плодов необходимо проводить их удаление. В 50 г сухих листьев и стеблей *R. acicularis* и *R. rugosa* содержится от 70 до 200% суточной дозы марганца, тогда как содержание хрома и кобальта в 5–10 раз ее превосходит. Кроме того, 50 г листьев могут обеспечить от 50 до 110% суточной потребности в железе.

Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что растения *R. rugosa* отличаются более высоким содержанием меди и низким уровнем марганца, кроме того, плоды этого вида аккумулируют железо, цинк и кобальт. В чашелистиках, листьях, стеблях и корнях *R. davurica* отмечены наиболее высокие концентрации железа, а в вегетативных и генеративных органах *R. acicularis* – хрома.

В корнях всех трех видов накапливаются преимущественно цинк, медь, никель (акропетальный тип распределения). В листьях аккумулируются свинец и кадмий, в чашелистиках – железо, содержание которого в 3.8–20.3 раза превышает его уровень в плодах. В плодах и стеблях всех трех видов шиповника изученные микроэлементы накапливаются по барьерному типу. В чашелистики и листья безбарьерно поступает железо, марганец, свинец, кадмий.

К элементам сильного накопления в растениях всех трех видов относится Cd, кроме того, обнаружены видоспецифичные особенности интенсивности накопления ряда элементов в надземных и подземных органах.

Обнаружено, что плоды шиповников, а также листья и стебли *R. acicularis* и *R. rugosa* могут служить потенциальным источником Mn, Cr и Co для организма человека. Учитывая возможность безбарьерного поступления кадмия и свинца в чашелистики, при сборе плодов необходимо проводить их удаление.

Список литературы

1. Митрофанова И.Ю., Яницкая А.В., Бутенко Д.В. Многокритериальная оптимизация поиска растительных объектов и создание новых лекарственных средств на основе современных информационных технологий // Научные ведомости. Серия Медицина. Фармация. 2012. №16(35). С. 132–135.
2. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. М., 2018. Т. IV. 1926 с.
3. Петрова С.Н., Ивкова А.В. Химический состав и антиоксидантные свойства видов рода *Rosa* L. (обзор) // Химия растительного сырья. 2014. №2. С. 13–19. DOI: 10.14258/jcprp.1402013.
4. Mihaylova D., Georgieva L., Pavlov A. Antioxidant activity and bioactive compounds of *Rosa canina* L. herbal preparations // Scientific bulletin. Series F. Biotechnologies. 2015. N11. Pp.160–165.
5. Алексашина С.А., Макарова Н.В., Деменина Л.Г. Антиоксидантный потенциал плодов шиповника // Вопросы питания. 2019. Т. 88. №3. С. 84–89. DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10033.
6. Cendrowski A., Scibisz I., Mitek M., Kieliszek M., Kolniak-Ostek J. Profile of the phenolic compounds of *Rosa rugosa* petals // Journal of food quality. 2017. Vol. 2017. Article ID 7941347. DOI: 10.1155/2017/7941347.
7. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. СПб.; М., 2009. Т. 2. 513 с.
8. Стародуб О.А., Меняйло Л.Н. Сравнительная характеристика накопления витаминов в плодах розы майской (*R. majalis* Негтм.) и розы иглистой (*R. acicularis* L.) разных мест произрастания // Вестник КрасГАУ. 2012. №5. С. 415–419.
9. Zhang X., Zhang R., Zhang L., Yu D., Jiang L. Extraction and the fatty acid profile of *Rosa acicularis* seed oil // Journal of oleo science. 2017. Vol. 66 (12). Pp. 1301–1310. DOI: 10.5650/jos.ess17006.
10. Al-Yafeai A., Bellstedt P., Böhm V. Bioactive compounds and antioxidant capacity of *Rosa rugosa* depending on degree of ripeness // Antioxidants. 2018. N7. P. 134. DOI: 10.3390/antiox7100134.
11. Huo Y., Gao Y., Mi J., Wang X., Jiang H., Zhang H. Isolation and simultaneous quantification of nine triterpenoids from *Rosa davurica* Pall. // Journal of chromatographic science. 2017. Vol. 55. N2. Pp. 130–136. DOI: 10.1093/chromsci/bmw155.
12. Koczka N., Stefanovits-Banyai E., Ombodi A. Total polyphenol content and antioxidant capacity of rosehips of some *Rosa* species // Medicines. 2018. N5(3). P. 84. DOI: 10.3390/medicines5030084.
13. Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л. Содержание микроэлементов в лекарственных растениях разных экосистем озера Котокельского (Западное Забайкалье) // Химия растительного сырья. 2016. №2. С. 53–59. DOI: 10.14258/jcprp.201602697.
14. Павлова Е.П. Влияние эколого-фитоценологических факторов на накопление биологически активных веществ в плодах *Rosa acicularis* Lindley и *Rosa davurica* Pallas (Западное Забайкалье): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2009. 20 с.

15. Шанина Е.В., Рубчевская Л.П. Минеральный состав биомассы *Rosa acicularis* Lindl. // Известия вузов. Пищевая технология. 2005. №2–3. С. 47–49.
16. Афанасьева Л.В., Аюшина Т.А. Особенности аккумуляции микроэлементов в растениях *Rosa acicularis* // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 197–204. DOI: 10.14258/jcrpm.2019035137.
17. Ловкова М.Я., Бузук Г.Н. Лекарственные растения – концентраторы и сверхконцентраторы меди и ее роль в метаболизме этих видов // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47. №2. С. 209–216.
18. Седых Э.М. и др. Микроволновое разложение биологических объектов для последующего атомно-абсорбционного и атомно-эмиссионного (с индуктивно связанной плазмой) анализа // Журнал аналитической химии. 1991. Т. 46, вып. 2. С. 292–298.
19. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
20. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М., 1999. 768 с.
21. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М., 1990. 296 с.
22. Markert B. Progress report on the element concentrations cadastre project (ECCP) of INTERCOL/IUBS // International Union of Biological Sciences, 25th General Assembly. Paris, 1994. 54 p.
23. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2001. 180 с.
24. Методические рекомендации № 2.3.1.1915–04. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. М., 2004.
25. Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция // Физиология растений. 2008. Т. 55. С. 3–26.

Поступила в редакцию 4 марта 2020 г.

После переработки 6 апреля 2020 г.

Принята к публикации 26 января 2021 г.

Для цитирования: Афанасьева Л.В., Аюшина Т.А. Особенности накопления и распределения микроэлементов в растениях *Rosa acicularis*, *Rosa davurica* и *Rosa rugosa* // Химия растительного сырья. 2021. №2. С. 209–216. DOI: 10.14258/jcrpm.2021027440.

*Afanasyeva L.V.**, *Ayushina T.A.* FEATURES OF MICROELEMENTS AND LOW-MOLECULAR WEIGHT ANTIOXIDANTS ACCUMULATION IN PLANTS OF THE GENUS *ROSA* L.

*Institute of General and Experimental Biology SB RAS, ul. Sakhyanovoy, 6, Ulan-Ude, 670047 (Russia),
e-mail: afanl@mail.ru*

Wild roses are an important group of plants used as raw material for pharmaceutical, cosmetic and food industries. The aim of this study was to determine the microelements (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Co, Cd) content and distribution in the aboveground and underground parts of the *Rosa acicularis*, *R. davurica*, *R. rugosa*, growing in Baikal region. It was found that *R. rugosa* plants are characterized by a higher Cu content and a low level of Mn; the hips of these plants also accumulate Fe, Zn, and Co. In the sepals, leaves, stems and roots of *R. davurica* the highest concentrations of Fe are noted, and in the vegetative and generative organs of *R. acicularis* – Cr. Transport of Zn, Cu, Ni in aboveground parts of plants is mainly acropetal, the remaining elements translocation in basipetal direction. Cd belongs to the elements of strong accumulation in plants of all three species, in addition, species-specific features of some elements accumulation in aboveground and underground organs are revealed. It was found that the fruits, leaves, and stems of *Rosa acicularis* and *Rosa rugosa* can serve as a potential source of Mn, Cr, and Co.

Keywords: *Rosa acicularis*, *Rosa davurica*, *Rosa rugosa*, microelements.

* Corresponding author.

References

1. Mitrofanova I.Yu., Yanitskaya A.V., Butenko D.V. *Nauchnyye vedomosti. Seriya Meditsina. Farmatsiya*, 2012, no. 16(35), pp. 132–135. (in Russ.).
2. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii XIV izdaniye*. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV edition]. Moscow, 2018, vol. IV, 1926 p. (in Russ.).
3. Petrova S.N., Ivkova A.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 2, pp. 13–19. DOI: 10.14258/jcprm.1402013. (in Russ.).
4. Mihaylova D., Georgieva L., Pavlov A. *Scientific bulletin. Series F. Biotechnologies*, 2015, no. 11, pp.160–165.
5. Aleksashina S.A., Makarova N.V., Demenina L.G. *Voprosy pitaniya*, 2019, vol. 88, no. 3, pp. 84–89. DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10033. (in Russ.).
6. Cendrowski A., Scibisz I., Mitek M., Kieliszek M., Kolniak-Ostek J. *Journal of food quality*, 2017, vol. 2017, article ID 7941347. DOI: 10.1155/2017/7941347.
7. *Rastitel'nyye resursy Rossii: Dikorastushchiye tsvetkovyye rasteniya, ikh komponentnyy sostav i biologicheskaya aktivnost'*. [Plant resources of Russia: Wild flowering plants, their component composition and biological activity]. St.-Petersburg; Moscow, 2009, vol. 2, 513 p. (in Russ.).
8. Starodub O.A., Menyaylo L.N. *Vestnik KrasGAU*, 2012, no. 5, pp. 415–419. (in Russ.).
9. Zhang X., Zhang R., Zhang L., Yu D., Jiang L. *Journal of oleo science*, 2017, vol. 66 (12), pp. 1301–1310. DOI: 10.5650/jos.ess17006.
10. Al-Yafeai A., Bellstedt P., Böhm V. *Antioxidants*, 2018, no. 7, p. 134. DOI: 10.3390/antiox7100134.
11. Huo Y., Gao Y., Mi J., Wang X., Jiang H., Zhang H. *Journal of chromatographic science*, 2017, vol. 55, no. 2, pp. 130–136. DOI: 10.1093/chromsci/bmw155.
12. Koczka N., Stefanovits-Banyai E., Ombodi A. *Medicines*, 2018, no. 5(3), p. 84. DOI: 10.3390/medicines5030084.
13. Sosorova S.B., Merkusheva M.G., Ubugunov L.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 2, pp. 53–59. DOI: 10.14258/jcprm.201602697. (in Russ.).
14. Pavlova Ye.P. *Vliyaniye ekologo-fitotsenoticheskikh faktorov na nakopleniye biologicheskii aktivnykh veshchestv v plodakh Rosa acicularis Lindley i Rosa davurica Pallas (Zapadnoye Zabaykal'ye): avtoref. diss. ... kand. biol. nauk*. [The influence of ecological and phytocenotic factors on the accumulation of biologically active substances in the fruits of *Rosa acicularis* Lindley and *Rosa davurica* Pallas (Western Transbaikalia): author. diss. ... Cand. biol. sciences]. Ulan-Ude, 2009, 20 p. (in Russ.).
15. Shanina Ye.V., Rubchevskaya L.P. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2005, no. 2–3, pp. 47–49. (in Russ.).
16. Afanas'yeva L.V., Ayushina T.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 197–204. DOI: 10.14258/jcprm.2019035137. (in Russ.).
17. Lovkova M.YA., Buzuk G.N. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2011, vol. 47, no. 2, pp. 209–216. (in Russ.).
18. Sedykh E.M. i dr. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 1991, vol. 46, no. 2, pp. 292–298. (in Russ.).
19. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soils], ed. L.A. Vorob'yeva. Moscow, 2006, 400 p. (in Russ.).
20. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta*. [Landscape geochemistry]. Moscow, 1999, 768 p. (in Russ.).
21. Zaytsev G.N. *Matematika v eksperimental'noy botanike*. [Mathematics in Experimental Botany]. Moscow, 1990, 296 p. (in Russ.).
22. Markert B. *International Union of Biological Sciences, 25th General Assembly*, Paris, 1994, 54 p.
23. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigiyenicheskiye trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov*. [SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for food safety and nutritional value]. Moscow, 2001, 180 p. (in Russ.).
24. *Metodicheskkiye rekomendatsii № 2.3.1.1915–04. Rekomenduyemyye urovni potrebleniya pishchevykh i biologicheskii aktivnykh veshchestv*. [Methodical recommendations No. 2.3.1.1915–04. Recommended levels of consumption of food and biologically active substances]. Moscow, 2004. (in Russ.).
25. Seregin I.V., Kozhevnikova A.D. *Fiziologiya rasteniy*, 2008, vol. 55, pp. 3–26. (in Russ.).

Received March 4, 2020

Revised April 6, 2020

Accepted January 26, 2021

For citing: Afanas'yeva L.V., Ayushina T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 2, pp. 209–216. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021027440.