

УДК 615.32; 543.2; 581.5

МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ НАДЗЕМНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ЧАСТЕЙ *HAPLOPHYLLUM DAURICUM* (RUTACEAE)

© А.В. Полонова^{1*}, С.В. Жигжитжапова¹, Б.Ю. Сарыг-оол², М.А. Густайтис², Ж.А. Тыхеев¹,
Д.Г. Чимитов³, В.В. Тараскин¹

¹ Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, 6,
Улан-Удэ, 670047, Россия, nv.poloнова@gmail.com

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия

³ Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670047, Россия

Цельнолистник даурский (*Haplophyllum dauricum* (L.) G. Don) является источником лигнанов, обладающих противоопухолевой активностью, и активно используется в практике народной медицины. Помимо лигнанов, химический состав вида представлен кумаринами, флавоноидами, алкалоидами и эфирными маслами. Однако отсутствуют данные о макро- и микроэлементном составе вида, который необходим для оценки качества лекарственных препаратов при их практическом применении. В связи с этим целью настоящей работы явилось исследование содержания макро- и микроэлементов цельнолистника даурского.

С применением методов атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и атомно-абсорбционной спектроскопии («метод холодного пара») определены содержания элементов: Li, Be, Na, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Zr, Mo, Cd, Sb, Te, Ba, Pb и Hg в надземной и подземной частях цельнолистника даурского флоры Бурятии и Забайкальского края.

Показано, что *Haplophyllum dauricum* является богатым источником Ca, K, Mg и P. Выявлены различия в содержании макро- и микроэлементов в надземных и подземных частях цельнолистника даурского. Надземная часть характеризуется большим накоплением K, Ca, Mg, P, Sr, Zn и Cu по сравнению с подземной. Для образцов подземной части установлено высокое содержание Fe, Na, Al, Ti, Mn, Ba, V, Cr и Zr. Концентрации потенциально токсичных элементов не превышали предельно допустимых значений, установленных ГФ РФ.

Ключевые слова: *Haplophyllum dauricum*, цельнолистник даурский, макроэлементы, микроэлементы, лекарственное растительное сырье, потенциально токсичные элементы.

Для цитирования: Полонова А.В., Жигжитжапова С.В., Сарыг-оол Б.Ю., Густайтис М.А., Тыхеев Ж.А., Чимитов Д.Г., Тараскин В.В. Макро- и микроэлементный состав надземных и подземных частей *Haplophyllum dauricum* (Rutaceae) // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. 176–184. DOI: 10.14258/jcprm.20240212958.

Введение

Растения остаются одними из основных источников биологически активных веществ, используемых во всем мире в целях профилактики и лечения различных заболеваний. По прогнозам специалистов, мировой спрос на лекарственные растения, используемые для производства лекарственных препаратов, фармацевтических субстанций, нутрицевтиков и космецевтиков, будет только расти. С учетом процессов консолидации традиционной и академической медицины в Бурятии, Забайкальском крае и Монголии, особое внимание уделяется фармакогностическому изучению растений, используемых в восточной медицине. Результаты этих исследований важны при создании сборов, экстрактов сухих, галеновых препаратов.

Растения рода *Haplophyllum* A. Juss. семейства Rutaceae широко распространены в Центральной Азии, Восточной Сибири, Монголии, северо-восточной части Китая [1] и активно используются в народной медицине местным населением в качестве противоопухолевых и противовирусных средств [2, 3]. В Бурятии, Забайкальском крае и Монголии наиболее распространен вид цельнолистник даурский *Haplophyllum*

* Автор, с которым следует вести переписку.

dauricum (L.) G. Don (также известный как рута даурская), представляющий собой корнеотпрысковое растение с относительно тонким корнем и многоглавым каудексом, высотой 8–30 см с многочисленными, тонкими, прутьевидными стеблями. Обитает в равнинных ковыльных и пижмовых степях, реже на каменистых степных склонах и на вершинах сопок [1].

Химический состав этого вида очень интересен и включает лигнаны, кумарины, флавоноиды и алкалоиды [4–11]. Например, арилнафталиновый лигнан – дауринол, выделенный из *H. dauricum*, является потенциальным кандидатом для лечения рака яичников человека, за счет его способности каталитически ингибировать топоизомеразу II α , подавлять пролиферацию клеток рака яичников SNU-840 путем остановки клеточного цикла в S-фазе [12]. Доминирующими жирными кислотами являются олеиновая и линолевая [13]. Показано, что эфирное масло, богатое α -пиненом, β -пиненом, β -фелландреном, 3-кареном и лимоненом, проявляет инсектицидную активность в отношении взрослых особей *Tribolium castaneum* и *Lasioderma serricornis* [14].

Биологическая активность растений зависит не только от содержания в них веществ вторичного метаболизма, но обусловлена также их способностью накапливать отдельные биологически важные элементы и их комплексы [15]. Макро- и микроэлементы являются важной составляющей минерального питания растений, животных и человека, а их накопление во многом зависит от условий местообитания [16]. Сведения о количественном содержании макро- и микроэлементов важны не только разработки критериев качества лекарственных растений при их практическом применении, но и в фокусе некоторых аспектов экологии. Так, потенциально токсичные элементы могут накапливаться вследствие загрязнения окружающей среды и способны оказать токсическое воздействие как на растение, так и на организм человека [17].

В настоящей работе впервые представлены данные о содержаниях макро- и микроэлементов в надземной и подземной частях цельнолистника даурского флоры Бурятии и Забайкальского края.

Экспериментальная часть

Сырье было собрано в местах естественного произрастания в 2020–2021 гг. в фазы цветения и плодоношения (табл. 1). Гербарные образцы были подтверждены д.б.н. Аненхоновым О.А. (Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН) и хранятся в коллекции лаборатории физиологически активных веществ и фитоинжиниринга Байкальского института природопользования СО РАН и гербарии Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (УУН). Для определения макро- и микроэлементного состава образцы высушивались до воздушно-сухого состояния и измельчались в ножевой мельнице Grindomix GM 200 («Retsch», Германия).

Содержание 27 элементов (Li, Be, Na, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Zr, Mo, Cd, Sb, Te, Ba, Pb) в образцах определялись методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) с использованием спектрометра iCAP Pro XP Duo («Thermo Scientific», США). Минерализация проб проводилась в автоклавах закрытого типа смесью HNO₃-H₂O₂-HF при температуре 180 °С в течение 1 ч с использованием нагревательного блока HOT BOX 300 («Сибирские аналитические системы», Россия). Контроль правильности результатов определения осуществлялся с применением государственных стандартных образцов состава ЛБ-1 (ГСО 8923-2007), Тр-1 (ГСО 8922-2007), ЭК-1 (ГСО 8921-2007).

Содержание Hg определяли методом «холодного пара» с использованием атомно-абсорбционного анализатора «РА-915М» с приставкой «РП-91» («Люмэкс», Россия), не требующего химической пробоподготовки, по методике М-03-09-2013 [18]. Предел обнаружения – 0.01 мкг/г, ошибка метода – не более 20%. Контроль правильности результатов определения осуществлялся с применением государственного стандартного образца состава ЛБ-1 (ГСО 8923-2007). В обсуждении представлены средние значения из трех параллелей.

Статистический анализ данных проводили методом главных компонент с помощью программного пакета Sirius version 6.0 (Pattern Recognition Systems, Берген, Норвегия) [19].

Обсуждение результатов

Исследование макроэлементов (Ca, K, Mg, P, Al, Na) и микроэлементов по биологической активности можно разделить на подгруппы: жизненно необходимые (Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Co, Se, Mo), условно необходимые (Ti, V, Ni, Li), прочие (Sr, Ba, Be, Sb, Te, Zr) и токсичные микроэлементы (Pb, As, Cd, Hg) в соответствии с [16]. Результаты исследования указаны в пересчете на воздушно-сухое сырье (в.с.с.) и представлены в таблице 2.

Таблица 1. Характеристика объектов исследования, место и год сбора

№ п/п	Место и год сбора
1	Республика Бурятия, Хоринский район, местность Тэнгэри-Болдог, 2020 г.
2	Республика Бурятия, Хоринский район, долина реки Хахир, 2020 г.
3	Республика Бурятия, Джидинский район, окр. с. Дырестуй 2021 г.
4	Республика Бурятия, Джидинский район, окр. с. Дырестуй 2020 г.
5	Республика Бурятия, Селенгинский район, степной участок близ о. Гусиное, 2021 г.
6	Забайкальский край, Приаргунский район, окр. с. Бырка, 2021
7	Забайкальский край, Агинский район, окр. с. Цогто-Хангил, 2020 г.

Таблица 2. Содержание макро- и микроэлементов в надземной и подземной частях *Haplophyllum dauricum*, мг/кг в.с.с.

Место сбора	1*		2		3		4		5		6		7	
	н**	п***	н	п	н	п	н	п	н	п	н	п	н	п
Макроэлементы														
К	12300	5600	6800	5400	11200	5800	11900	5600	18700	5700	17500	6800	13600	7000
Ca	6400	6400	15600	8700	20000	7300	15800	14300	14300	4500	7700	6500	15600	5400
Mg	3200	1700	2400	1300	3000	1600	2100	1900	2300	980	2000	1100	2700	1100
P	1850	830	1400	1200	1900	1100	1700	1100	3200	1200	2800	740	1700	1300
Al	520	1450	440	1500	1200	1700	880	1600	630	1500	970	1700	540	1600
Na	490	1700	450	1300	1150	2200	690	1900	660	1000	730	1400	600	1300
Микроэлементы														
Жизненно необходимые микроэлементы														
Fe	500	5000	350	2100	1500	4700	850	5300	460	1700	800	2600	280	1300
Mn	18	110	21	71	49	110	38	145	42	68	53	160	69	76
Zn	17	33	20	22	31	18	10,5	17	25	19	40	26	32	19
Cu	2.9	5.5	4.1	8.0	8.8	8.7	3.5	13	4.0	8.0	7.5	14	3.6	6.2
Cr	2.5	21	3.1	16	8.5	20	4.7	16	3.9	14	4.2	17	2.6	7.7
Co	0.18	1.8	0.16	1.1	0.61	2.1	0.48	3.3	0.18	0.9	0.47	1.7	0.17	0.98
Se	<2.0****	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Mo	0.2	0.4	0.5	0.4	0.9	0.8	0.8	0.3	0.4	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1
Условно необходимые микроэлементы														
Ti	50	460	33	250	110	370	90	510	56	210	77	290	42	240
V	1.1	13	0.8	5.4	3.3	12	2.4	17	0.9	3.9	1.7	6.7	0.6	3.6
Ni	0.5	2.2	0.4	2.0	0.9	2.6	0.7	4.0	0.9	2.4	3.1	5.6	1.0	3.2
Li	0.3	2.0	0.3	0.9	1.0	2.4	0.7	3.5	0.5	1.1	0.9	2.7	0.3	1.1
Прочие микроэлементы														
Sr	30	68	48	45	360	155	220	130	140	64	33	59	120	67
Ba	11	82	9,5	41	37	95	12	68	33	55	13	59	41	59
Be	<0.05	0.22	<0.05	0.15	0.08	0.24	<0.05	0.18	<0.05	0.13	<0.05	0.24	<0.05	0.13
Sb	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Te	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Zr	0.7	6.9	0.8	5.9	3.9	5.2	2.1	4.3	1.3	5.3	2	9	0.8	4.1
Токсичные микроэлементы														
Pb	<0.4	2.1	<0.4	1.2	0.7	1.7	<0.4	1.3	<0.4	1.3	<0.4	1.8	<0.4	1
As	<0.3	<0.3	<0.3	0.6	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.8	<0.3	<0.3
Cd	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.3	0.3	<0.2	0.2	<0.2	<0.2
Hg	0.016	0.011	0.028	<0.010	0.018	0.014	0.012	<0.010	0.012	<0.010	<0.010	0.013	0.014	<0.010

Примечания. *номера столбцов соответствует номерам образцов согласно таблице 1; **н – надземная часть; ***п – подземная часть; ****< – ниже предела обнаружения.

Максимальное содержание Са отмечено в образцах, собранных на территории Джидинского района. В надземной части растений содержание составило 20000 мг/кг (2021 г.), а в подземной – 14300 мг/кг (2020 г.). В некоторых образцах преобладает К (Селенгинский и Приаргунский р-н), например, в надземной части сырья собранном в Селенгинском р-не (2021 г.) его содержание составило 18700 мг/кг.

Элементы Mg, Na, P и Al накапливаются в надземной и подземной части растения примерно в равной степени и их содержание колеблется от 440 до 3200 мг/кг.

Среди жизненно необходимых микроэлементов как для надземной, так и для подземной частей цельнолиственного даурского доминирующим оказалось Fe. Его содержание варьировалось в надземной части от 280 (образец 7) до 1500 (образец 3) мг/кг, а в подземной – от 1300 (образец 7) до 5300 (образец 4). Mn накапливается больше в подземной части растения от 68 до 160 мг/кг (образец 5 и 6 соответственно), в надземной части – меньше, от 18 до 69 мг/кг (образец 1 и 7). Содержание металлов Zn, Cu, Cr, Co и Mo как в подземной, так и в надземной части растения примерно одинаково и колеблется от 0.1 до 40 мг/кг.

Среди условно необходимых микроэлементов больше накапливается Ti, в подземной части его содержание достигает до 510 мг/кг (образец 4), в надземной – 110 мг/кг (образец 3). V больше накапливается в подземной части растения, так, его максимальное содержание среди представленных образцов составило 17 мг/кг сырья в образце №4, а минимальное – 3.6 мг/кг в образце №7. В надземной части он накапливается в пределах от 0.6 до 3.3 мг/кг сырья в образцах 7 и 3 соответственно. Ni и Li также больше накапливаются в подземной части растения, и их содержание колеблется от 2 до 3.1 мг/кг (образец 2 и 6) и 0.9 до 3.5 мг/кг (образец 2 и 4) соответственно.

Содержание Sr в подземной части растения варьируется от 45 до 130 мг/кг, в надземной части – от 30 до 360 мг/кг. Известно, что Sr по химическим свойствам близок к Ca, поэтому его повышенное содержание вредно для организма, поскольку он замещает кальций в структурных элементах костной ткани, вызывая дистрофические изменения [20], тем не менее норм по его содержанию в растениях на данный момент не разработано [21]. Считается, что этот элемент может предотвращать развитие кариеса и остеопороза [22].

Va накапливается преимущественно в подземной части растения и его содержание достигает 95 мг/кг (образец №3), а в надземной 41 мг/кг (образец 7). Содержание Be для надземных частей ниже предела обнаружения (ПО) (<0.05 мг/кг), кроме образца из №3, где содержание составило 0.08 мг/кг. Во всех образцах подземной части содержание Be находилось в диапазоне от 0.13 до 0.24 мг/кг (образец №5 и 6). Содержания Se, Sb, Te оказались ниже ПО (<2, <0.5 и <0.2 мг/кг соответственно).

Были составлены ряды накопления элементов в порядке убывания их содержания, представленные в таблице 3. В образцах 2–4 доминирующим элементом является Ca, а в образцах 5 и 6 – K. В образце №1 доминирующим элементом для надземной части является K (12300 мг/кг), для подземной – Ca (6400 мг/кг), а в образце №7, наоборот, в надземной части преобладает Ca (15600 мг/кг), в подземной – K (7000 мг/кг). Далее в ряду накопления подземной части растения располагается Fe, кроме образца 7, там следом за K и Ca накапливается Al, а содержание Fe, P и Na находится в равном количестве. В надземной же части почти во всех образцах преобладает Mg, а вслед за ним P, кроме образцов 5 и 6.

Содержание макро- и микроэлементов растений из различных мест произрастания менее заметно, чем их содержание в надземной и подземной частях. Для оценки изменчивости среди образцов цельнолиственного даурского использовали статистическую обработку методом главных компонент (рис. 1). Распределение образцов на биплоте (ГК-1-ГК-2) соответствует морфологической части растения: в левой части биплота расположены образцы надземной части; в правой – подземной. Надземная часть характеризуется большим накоплением K, Ca, Mg, P и Sr по сравнению с подземной. Наибольшая разница установлена в содержании P (до 3.8 раз) – образец №6. Для образцов подземной части установлено высокое содержание Fe, Na, Al, Ti, Mn и Ba. Наибольшая разница в содержании Fe (до 10 раз). Проекция микроэлементов (Li, Mo, Cr, Zn, Cu, V, Ni, Zr) расположены почти в самом центре биплота, что говорит об их минимальном влиянии на расположении образцов. Поэтому, чтобы изучить их долю влияния, мы рассмотрели их отдельно (рис. 2).

На биплоте также видно разделение, соответствующее морфологической части растения: в левой части расположены образцы надземной части; в правой – подземной. Согласно биплоту (ГК1-ГК3), V больше накапливается в подземной части растения, так его содержание в 5 раз больше, чем в надземной части. Cr, как и V, больше накапливается в подземной части сырья и его содержание в 2 раза больше, чем в надземной части. Содержание Zn и Cu в надземной части растения в 1.5 раза больше, чем в подземной. Содержание Mo, Li и Ni в исследованных надземных и подземных частях образцов примерно равно. Содержание Zr в подземной части в 1.7 раза больше, чем в надземной (рис. 2). Наиболее разнообразной по элементному составу является подземная часть растения, так как наибольшая доля накопления элементов происходит через поглощение необходимых веществ и воды подземными органами.

Для лекарственного растительного сырья ГФ РФ регламентируется предельно допустимое содержание (ПДС) потенциально токсичных элементов: Pb – 6.0; Cd – 1.0; Hg – 0.1; As – 0.5 мг/кг (ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах) [23]. В большинстве исследованных образцов содержания данных элементов на уровне или ниже предела обнаружения (Pb – <0.4; As – <0.3; Cd – <0.2 и Hg – <0.01 мг/кг). Максимальное

содержание Cd составило 0.3 мг/кг (№5); Hg – 0.028 мг/кг (надземная часть №2); Pb – 2.1 мг/кг (подземная часть №1), что не превышает ПДС [23]. Содержание As в подземной части образцов №2 и №6 было выше ПДС и составило 0.6 и 0.8 мг/кг соответственно, однако в надземных частях этих образцов его содержание было ниже предела обнаружения. Повышенное содержание As может быть обусловлено его содержанием в почвах природных и антропогенных ландшафтов горнопромышленных районов Забайкальского края, что приводит к его накоплению и в растениях [24, 25]. Таким образом, в районах с повышенным содержанием As в почве его накопление происходит в подземных органах цельнолиственного даурского, тогда как в надземной части его содержание ниже пределов обнаружения, то есть меньше <0.3 мг/кг, что меньше и ПДС.

Полученные данные позволяют отметить, что разнообразие элементов в надземных и подземных частях цельнолиственного даурского подчеркивает ценность данного сырья как дополнительного источника макро- и микроэлементов.

Таблица 3. Ряды накопления макро- и микроэлементов в надземных и подземных частях *Haplophyllum dauricum*

№ образца	Часть растения	Ряд накопления
1	н* п**	K>Ca>Mg>P>Al>Fe>Na>Ti>Sr>Mn>Zn>Ba>Cu>Cr>V>Zr>Ni>Li>Mo>Co>Hg Ca>K>Fe>Mg=Na>Al>P>Ti>Mn>Ba>Sr>Zn>Cr>V>Zr>Cu>Ni>Pb>Li>Co>Mo>Hg
2	н п	Ca>K>Mg>P>Na>Al>Fe>Sr>Ti>Mn>Zn>Ba>Cu>Cr>V=Zr>Mo>Ni>Li>Co>Hg Ca>K>Fe>Al>Mg=Na>P>Ti>Mn>Sr>Ba>Zn>Cr>Cu>Zr>V>Ni>Pb>Co>Li>As>Mo>Be
3	н п	Ca>K>Mg>P>Fe>Al>Na>Sr>Ti>Mn>Ba>Zn>Cu>Cr>Zr>V>Li>Ni=Mo>Pb>Co>Be>Hg Ca>K>Fe>Na>Al>Mg>P>Ti>Sr>Mn>Ba>Cr>Zn>V>Cu>Zr>Ni>Li>Co>Pb>Mo>Be>Hg
4	н п	Ca>K>Mg>P>Al>Fe>Na>Sr>Ti>Mn>Ba>Zn>Cr>Cu>V>Zr>Mo>Li=Ni>Co>Hg Ca>K>Fe>Na=Mg>Al>P>Ti>Mn>Sr>Ba>Zn=V>Cr>Cu>Zr>Ni>Li>Co>Pb>Mo>Be
5	н п	K>Ca>P>Mg>Na>Al>Fe>Sr>Ti>Mn>Ba>Zn>Cu>Cr>Zr>V=Ni>Li>Mo>Cd>Co>Hg K>Ca>Fe>Al>P>Na>Mg>Ti>Mn>Sr>Ba>Zn>Cr>Cu>Zr>V>Ni>Pb>Li>Co>Cd>Mo>Be
6	н п	K>Ca>P>Mg>Al>Fe>Na>Ti>Mn>Zn>Sr>Ba>Cu>Cr>Ni>Zr>V>Li>Co>Mo K>Ca>Fe>Al>Na>Mg>P>Ti>Mn>Sr>Ba>Zn>Cr>Cu>Zr>V>Ni>Li>Pb>Co>Be>As>Mo=Cd>Hg
7	н п	Ca>K>Mg>P>Na>Al>Fe>Sr>Mn>Ti>Ba>Zn>Cu>Cr>Ni>Zr>V>Mo>Li>Co>Hg K>Ca>Al>P=Fe=Na>Mg>Ti>Mn>Sr>Ba>Zn>Cr>Cu>Zr>V>Ni>Li>Pb>Co>Be>Mo

Примечание. *н – надземная часть; **п – подземная часть.

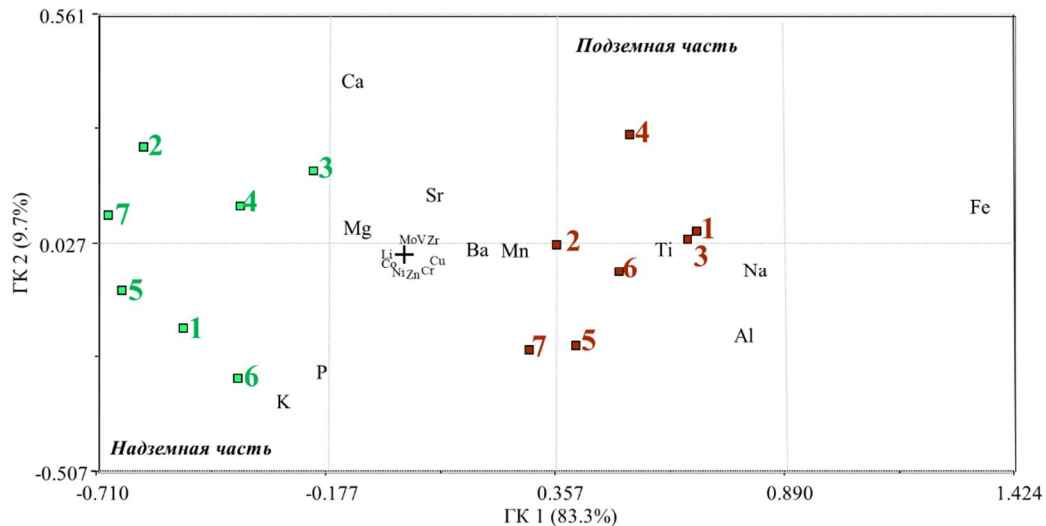


Рис. 1. Метод главных компонент: биplot данных результатов анализа макро- и микроэлементов в надземной и подземной частях *H. dauricum*, собранных в Бурятии и Забайкальском крае. Цифрами обозначены номера образцов согласно таблице 1. Зелеными квадратами обозначены надземные части, красными – подземные

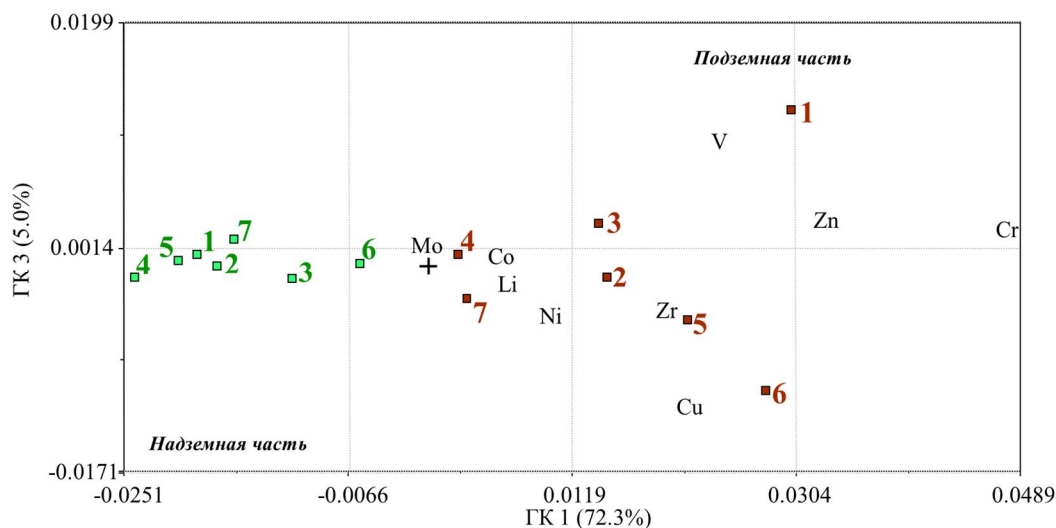


Рис. 2. Метод главных компонент: биplot данных результатов анализа микроэлементов (Li, Mo, Cr, Zn, Cu, V, Ni, Zr) в надземной и подземной частях *H. dauricum*, собранных в Бурятии и Забайкальском крае. Цифрами обозначены номера образцов согласно таблице 1. Зелеными квадратами обозначены надземные части, красными – подземные части

Выводы

1. Впервые методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой после предварительной минерализации и методом «холодного пара» с использованием атомно-абсорбционного анализатора впервые исследовано содержание 28 макро- и микроэлементов в надземных и подземных частях цельнолиственного даурского флоры Бурятии и Забайкальского края.
2. Надземная и подземная части растения характеризуются относительно равным накоплением макроэлементов, среди которых доминирующими являются Ca, K, Mg и P. Среди микроэлементов доминирующими оказались Fe и Ti, накапливающиеся преимущественно в подземных частях растения.
3. Содержание тяжелых металлов Pb, Cd, Hg и As в не превышает ПДС.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Байкальского института природопользования СО РАН, Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН и Института общей и экспериментальной биологии СО РАН. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Пименов М.Г., Власова Н.В., Зуев В.В. и др. Флора Сибири. В 14 т. Т. 10: Geraniaceae – Cornaceae. Новосибирск, 1996. 254 с.
2. Jansen O., Akhmedjanova V., Angenot L., Balansard G., Chariot A., Ollivier E., Tits M., Frederich M. Screening of 14 alkaloids isolated from *Haplophyllum* A. Juss. for their cytotoxic properties // Journal of Ethnopharmacology. 2006. Vol. 105, no. 1–2. Pp. 241–245. DOI: 10.1016/j.jep.2005.11.001.
3. Graham J.G., Quinn M.L., Fabricant D.S., Farnsworth N.R. Plant used against cancer – an extension of the work of Jonathan Hartwell // Journal of Ethnopharmacology. 2000. Vol. 73, no. 3. Pp. 347–377. DOI: 10.1016/S0378-8741(00)00341-X.

4. Batsuren D., Batirov E.Kh., Malikov V.M., Zemlyanskii V.N., Yagudaev M.R. Arylnaphthalene lignans of *Haplophyllum dauricum*. The structure of daurinol // Chemistry of Natural Compounds. 1981. Vol. 17, no. 3. Pp. 223–225. DOI: 10.1007/BF00568506.
5. Batsuren D., Yagudaev M.R., Batirov E.Kh., Malikov V.M. Use of double proton resonance to establish the structure of lignans of the aryl-naphthalene series. The structure of daurinol // Chemistry of Natural Compounds. 1983. Vol. 19, no. 1. Pp. 17–20. DOI: 10.1007/BF00579954.
6. Batsuren D., Batirov E.Kh., Malikov V.M. Coumarins of *Haplophyllum dauricum*. 5,7-Dihydroxycoumarin and its C-glucoside // Chemistry of Natural Compounds. 1982. Vol. 18, no. 5. Pp. 616–617. DOI: 10.1007/BF00575057.
7. Batsuren D., Batirov E.Kh., Malikov V.M., Yagudaev M.R. Structures of daurosides A and B – New acylated coumarin glycosides from *Haplophyllum dauricum* // Chemistry of Natural Compounds. 1983. Vol. 19, no. 2. Pp. 134–138. DOI: 10.1007/BF00580545.
8. Bessonova I.A., Batsuren D., Abdullaev N.D., Yunusov S.Yu. Daurine – A new alkaloid from *Haplophyllum dauricum* // Chemistry of Natural Compounds. 1983. Vol. 19, no. 1. Pp. 117–118. DOI: 10.1007/BF00579995.
9. Vdovin A.D., Batsuren D., Batirov E.Kh., Yagudaev M.R., Malikov V.M. ¹H and ¹³C NMR spectra and the structure of new coumarin, C-glycoside daurosides D, from *Haplophyllum dauricum* // Chemistry of Natural Compounds. 1983. Vol. 19, no. 4, Pp. 413–416. DOI: 10.1007/BF00575694.
10. Batirov E.Kh., Batsuren D., Malikov V.M. Components of *Haplophyllum dauricum* // Chemistry of Natural Compounds. 1984. Vol. 20, no. 2. Pp. 226–227. DOI: 10.1007/BF00579491.
11. Bessonova I.A., Batsuren D., Yunusov S.Yu. Alkaloids of *Haplophyllum dauricum* // Chemistry of Natural Compounds. 1984. Vol. 20, no. 1. Pp. 68–70. DOI: 10.1007/BF00574794.
12. Kang K., Nho C.W., Kim N.D., Song D.-G., Park Y.G., Kim M., Pan C.-H., Shin D., Oh S.H., Oh H.-S. Daurinol, a catalytic inhibitor of topoisomerase II α , suppresses SNU-840 ovarian cancer cell proliferation through cell cycle arrest in S phase // International Journal of Oncology. 2014. Vol. 45, no. 2. Pp. 558–566. DOI: 10.3892/ijo.2014.2442
13. Polonova A.V., Tykheev Zh.A., Taraskin V.V., Chimitov D.G., Anenkhonov O.A., Radnaeva L.D. Fatty-acid composition of herb and roots of *Haplophyllum dauricum* // Chemistry of Natural Compounds. 2020. Vol. 56, no. 3. Pp. 523–524. DOI: 10.1007/s10600-020-03077-0.
14. Cao J.-Q., Pang X., Guo S.-S., Wang Y., Geng Z.-F., Sang Y.-L., Guo P.-J., Du S.-S. Pinene-rich essential oils from *Haplophyllum dauricum* (L.). G. Don display anti-insect activity on two stored-product insects // International Biodeterioration & Biodegradation. 2019. Vol. 140. Pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.ibiod.2019.03.007.
15. Ловкова М.Я., Бузук Г.Н., Сколова С.М., Деревяго Л.Н. О возможности использования лекарственных растений для лечения и профилактики микроэлементозов и патологических состояний // Микроэлементы в медицине. 2005. Т. 6, №4. С. 3–10.
16. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 439 с.
17. Мудрый И.В. Тяжелые металлы в системе почва-растение-человек (обзор) // Гигиена и санитария. 1997. №1. С. 14–15.
18. ПНД Ф 16.1:2.2.80-2013 (М 03-09-2013) Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли общей ртути в пробах почв, грунтов, в том числе тепличных, глинистых и донных отложений атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915М. М., 2013. 22 с.
19. Kvalheim O.M., Karstang T.V. A general-Purpose Program for Multivariate Data Analysis // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 1987. Vol. 2, no. 1–3. Pp. 235–237.
20. Yamanuro T. Kashin-Beck disease: a historical overview // International Orthopaedics (SICOT). 2001. Vol. 25. Pp. 134–137. DOI: 10.1007/s002640000178.
21. Кашин В.К. Стронций в растениях Забайкалья // Агробиохимия. 2009. №8. С. 65–71.
22. Degteva M.O., Kozheurov V.P. Age-Dependent Model for Strontium Retention in Human Bone // Radiation Protection Dosimetry. 1994. Vol. 53, no. 1–4. Pp. 229–233. DOI: 10.1093/rpd/53.1-4.229.
23. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. М., 2018. URL: <https://femb.ru/record/pharmasoreal4>.
24. Михайлова Л.А., Солодухина М.А., Алексеева О.Г., Бурлака Н.М., Лапа С.Э. Гигиеническая оценка содержания химических веществ в почве горнопромышленных районов Забайкальского края // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, №4. С. 400–410. DOI: 10.47470/0016-9900-2019-98-4-400-410.
25. Солодухина М.А., Помазкова Н.В. Мышьяк в системе «Почва-растение» в природных и антропогенных ландшафтах Забайкальского края (на примере горца узколистного (*polygonum angustifolium Pallas*)) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. №10. С. 96–101.

Поступила в редакцию 12 мая 2023 г.

После переработки 24 июля 2023 г.

Принята к публикации 5 сентября 2023 г.

Polonova A.V.^{1*}, Zhigzhitzhapova S.V.¹, Saryg-ool B.Yu.², Gustaytis M.A.², Tykheev Z.A.¹, Chimitov D.G.³, Taraskin V.V.¹ MACRO- AND MICROELEMENT COMPOSITION OF THE HERB AND ROOTS OF *HAPLOPHYLLUM DAURICUM* (L.) G. DON.

¹ Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Sakhyanova st., 6, Ulan-Ude, 670047, Russia, nv.polonova@gmail.com

² Institute of Geology and Mineralogy named after. V.S. Sobolev SB RAS, Akademika Koptyuga av., 3, Novosibirsk, 630090, Russia

³ Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Sakhyanova st., 6, Ulan-Ude, 670047, Russia

Haplophyllum dauricum is a rich source of lignans with antitumor activity. It has been actively used in the practice of Traditional medicine. In addition to lignans, the chemical composition of the species is represented by coumarins, flavonoids, alkaloids and essential oils. However, the composition of the elements of the species, which are necessary for the development of quality criteria of medicinal plants, has not been studied before. In this regard, the purpose of the work was to study the content of macro- and microelements in the aboveground and underground parts of *Haplophyllum dauricum* of the flora of Buryatia and Transbaikal territory.

The content of the following elements was determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry: Li, Be, Na, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Zr, Mo, Cd, Sb, Te, Ba and Pb. The content of Hg was determined by the "cold steam" method using an atomic absorption analyzer. According to the obtained data, *Haplophyllum dauricum* is a rich source of calcium, potassium, magnesium and phosphorus, which were dominant. Among the microelements, iron and titanium were in highest concentration, which were accumulated mainly in the underground part of the plant. The content of heavy metals did not exceed the maximum permissible concentration established by the State Pharmacopoeia of the Russian Federation.

Keywords: *Haplophyllum dauricum*, macroelements, microelements, medicinal plant raw materials, potentially toxic elements.

For citing: Polonova A.V., Zhigzhitzhapova S.V., Saryg-ool B.Yu., Gustaytis M.A., Tykheev Z.A., Chimitov D.G., Taraskin V.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 2, pp. 176–184. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240212958.

References

1. Pimenov M.G., Vlasova N.V., Zuyev V.V. i dr. *Flora Sibiri. V 14 t. T. 10: Geraniaceae – Cornaceae* [Flora of Siberia. In 14 volumes. Vol. 10: Geraniaceae – Cornaceae]. Novosibirsk, 1996, 254 p. (in Russ.).
2. Jansen O., Akhmedjanova V., Angenot L., Balansard G., Chariot A., Ollivier E., Tits M., Frederich M. *Journal of Ethnopharmacology*, 2006, vol. 105, no. 1–2, pp. 241–245. DOI: 10.1016/j.jep.2005.11.001.
3. Graham J.G., Quinn M.L., Fabricant D.S., Farnsworth N.R. *Journal of Ethnopharmacology*, 2000, vol. 73, no. 3, pp. 347–377. DOI: 10.1016/S0378-8741(00)00341-X.
4. Batsuren D., Batirov E.Kh., Malikov V.M., Zemlyanskii V.N., Yagudaev M.R. *Chemistry of Natural Compounds*, 1981, vol. 17, no. 3, pp. 223–225. DOI: 10.1007/BF00568506.
5. Batsuren D., Yagudaev M.R., Batirov E.Kh., Malikov V.M. *Chemistry of Natural Compounds*, 1983, vol. 19, no. 1, pp. 17–20. DOI: 10.1007/BF00579954.
6. Batsuren D., Batirov E.Kh., Malikov V.M. *Chemistry of Natural Compounds*, 1982, vol. 18, no. 5, pp. 616–617. DOI: 10.1007/BF00575057.
7. Batsuren D., Batirov E.Kh., Malikov V.M., Yagudaev M.R. *Chemistry of Natural Compounds*, 1983, vol. 19, no. 2, pp. 134–138. DOI: 10.1007/BF00580545.
8. Bessonova I.A., Batsuren D., Abdullaev N.D., Yunusov S.Yu. *Chemistry of Natural Compounds*, 1983, vol. 19, no. 1, pp. 117–118. DOI: 10.1007/BF00579995.
9. Vdovin A.D., Batsuren D., Batirov E.Kh., Yagudaev M.R., Malikov V.M. *Chemistry of Natural Compounds*, 1983, vol. 19, no. 4, Pp. 413–416. DOI: 10.1007/BF00575694.
10. Batirov E.Kh., Batsuren D., Malikov V.M. *Chemistry of Natural Compounds*, 1984, vol. 20, no. 2, pp. 226–227. DOI: 10.1007/BF00579491.
11. Bessonova I.A., Batsuren D., Yunusov S.Yu. *Chemistry of Natural Compounds*, 1984, vol. 20, no. 1, pp. 68–70. DOI: 10.1007/BF00574794.
12. Kang K., Nho C.W., Kim N.D., Song D.-G., Park Y.G., Kim M., Pan C.-H., Shin D., Oh S.H., Oh H.-S. *International Journal of Oncology*, 2014, vol. 45, no. 2, pp. 558–566. DOI: 10.3892/ijo.2014.2442
13. Polonova A.V., Tykheev Zh.A., Taraskin V.V., Chimitov D.G., Anenkhonov O.A., Radnaeva L.D. *Chemistry of Natural Compounds*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 523–524. DOI: 10.1007/s10600-020-03077-0.
14. Cao J.-Q., Pang X., Guo S.-S., Wang Y., Geng Z.-F., Sang Y.-L., Guo P.-J., Du S.-S. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2019, vol. 140, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.ibiod.2019.03.007
15. Lovkova M.Ya., Buzuk G.N., Skolova S.M., Derevyago L.N. *Mikroelementy v meditsine*, 2005, vol. 6, no. 4, pp. 3–10. (in Russ.).
16. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. [Microelements in soils and plants]. Moscow, 1989, 439 p. (in Russ.).
17. Mudryy I.V. *Gigiyena i sanitariya*, 1997, no. 1, pp. 14–15. (in Russ.).

* Corresponding author.

18. PND F 16.1:2:2.80-2013 (M 03-09-2013) *Kolichestvennyy khimicheskiy analiz pochv. Metodika izmereniy massovoy doli obshchey rtuti v probakh pochv, gruntov, v tom chisle teplichnykh, glin i donnykh otlozheniy atom-no-absorbtsionnym metodom s ispol'zovaniyem analizatora rtuti RA-915M.* [PND F 16.1:2:2.80-2013 (M 03-09-2013) Quantitative chemical analysis of soils. Methodology for measuring the mass fraction of total mercury in soil samples, including greenhouse soils, clays and bottom sediments by the atomic absorption method using a RA-915M mercury analyzer]. Moscow, 2013, 22 p. (in Russ.).
19. Kvalheim O.M., Karstang T.V. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 1987, vol. 2, no. 1–3, pp. 235–237.
20. Yamanuro T. *International Orthopaedics (SICOT)*, 2001, vol. 25, pp. 134–137. DOI: 10.1007/s002640000178.
21. Kashin V.K. *Agrokimiya*, 2009, no. 8, pp. 65–71. (in Russ.).
22. Degteva M.O., Kozheurov V.P. *Radiation Protection Dosimetry*, 1994, vol. 53, no. 1-4, pp. 229–233. DOI: 10.1093/rpd/53.1-4.229.
23. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV ed.]. Moscow, 2018. URL: <https://femb.ru/record/pharmacopea14>. (in Russ.).
24. Mikhaylova L.A., Solodukhina M.A., Alekseyeva O.G., Burlaka N.M., Lapa S.E. *Gigiyena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 4, pp. 400–410. DOI: 10.47470/0016-9900-2019-98-4-400-410. (in Russ.).
25. Solodukhina M.A., Pomazkova N.V. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, no. 10, pp. 96–101. (in Russ.).

Received May 12, 2023

Revised July 24, 2023

Accepted September 5, 2023

Сведения об авторах

Полонова Анастасия Васильевна – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории физиологически активных веществ и фитотинжиниринга, nv.polonova@gmail.com

Жигжитжапова Светлана Васильевна – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории химии природных систем, zhig2@ya.ru

Сарыг-оол Багай-оол Юрьевич – научный сотрудник лаборатории геохимии редких и благородных элементов, sarygool@igm.nsc.ru

Густайтис Мария Алексеевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии редких и благородных элементов, gustaitis@igm.nsc.ru

Тыхеев Жаргал Алесандрович – кандидат фармацевтических наук, заведующий лабораторией физиологически активных веществ и фитотинжиниринга, gagarin199313@gmail.com

Чимитов Даба Гамбоцыренович – кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник лаборатории флористики и геоботаники, dabac@mail.ru

Тараскин Василий Владимирович – кандидат фармацевтических наук, заведующий лабораторией химии природных систем, vvtaraskin@binm.ru

Information about authors

Polonova Anastasia Vasilievna – graduate student, junior researcher at the Laboratory of Physiologically Active Substances and Phytoengineering, nv.polonova@gmail.com

Zhigzhitzhapova Svetlana Vasilievna – candidate of biological sciences, associate professor, senior researcher at the laboratory of chemistry of natural systems, zhig2@ya.ru

Saryg-ool Bagai-ool Yurievich – researcher at the Laboratory of Geochemistry of Rare and Noble Elements, sarygool@igm.nsc.ru

Gustaitis Maria Alekseevna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Geochemistry of Rare and Noble Elements, gustaitis@igm.nsc.ru

Tykheev Zhargal Alesandrovich – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Head of the Laboratory of Physiologically Active Substances and Phytoengineering, gagarin199313@gmail.com

Chimitov Daba Gambotsyrenovich – candidate of biological sciences, associate professor, researcher at the laboratory of floristry and geobotany, dabac@mail.ru

Taraskin Vasily Vladimirovich – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Head of the Laboratory of Chemistry of Natural Systems, vvtaraskin@binm.ru