

УДК 547.913:581.13:582.71

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ И НАДЗЕМНЫХ ПОБЕГОВ НОНЕИ РУССКОЙ

© Д.С. Круглов*, В.В. Величко, М.Е. Карташова

Новосибирский государственный медицинский университет, Красный пр., 52, Новосибирск, 630091 (Россия), e-mail: kruglov_DS@mail.ru

Для получения фитопрепаратов для лечения дисэлементозов с воспроизводимыми фармакологическими эффектами необходимо знать, в каких пределах может варьировать содержание микроэлементов по промысловой заросли. В этой связи представляет интерес определение индивидуальной изменчивости содержания микроэлементов в подземных и надземных органах широко распространенного в России растения этого семейства – *Nonea rossica* Stev. В качестве объектов исследования служили надземные и подземные побеги н. русской заготовленные на территории Новосибирской области. Содержание микроэлементов определялось методом масс-спектропии с индуктивно-связанной плазмой. Было определено содержание биогенных для растения элементов В, К, Р, V, Са, Сu, Fe, Mg, Mn, Мо, Na, Si, Zn, Ni, Со и элементов-токсикантов. Для выборки из 12 элементов были определены основные статистические параметры – среднее значение, коэффициент вариации и доверительные интервалы и проведен их анализ на однородность по критерию Вилкоксона. В результате проведенных исследований было установлено, что нонея русская закономерно поглощает биогенные для растительного организма микроэлементы, которые накапливаются в надземных органах растения и имеют малую вариативность по количественному содержанию. В накоплении элементов-токсикантов и условно токсичных элементов существенный вклад вносят экзогенные загрязнения, что приводит к большой вариативности их количественного содержания.

Ключевые слова: *Nonea rossica*, микроэлементы, коэффициент вариации, изменчивость содержания элементов, биогенные элементы, элементы токсиканты.

Введение

Минеральные элементы играют важную роль в качестве кофактора для некоторых ферментов, участвующих в метаболизме и росте клеток, большинство из которых играет существенную роль в метаболизме белков, углеводов, липидов и энергии [1]. Элементы входят в состав клеточных структур, участвуют в разнообразных биохимических процессах, определяют конформацию органических молекул и проницаемость мембран, влияют на функционирование сигнальной системы живых организмов. Регуляция процессов метаболизма неорганическими ионами, в особенности ионами металлов, во многом основана на высокоспецифичных взаимодействиях ионов со специальными группами белков [2].

Высокоспецифично и действие металлов как составной части простетических групп. Цитохромы, ферредоксин, липоксигеназы содержат железо; пластоцианин, аскорбат-оксилаза и фенолоксидазы – медь; нитратредуктаза, нитрогеназа, альдегидоксидазы – молибден. Ионы металлов облегчают связывание и активацию субстратов ферментами и играют важную роль при транспорте электронов и переносе атомов и молекулярных групп.

По данным ВОЗ [3], только 3% людей не имеют нарушений минерального обмена – дисэлементозов, которые являются первопричиной или индикатором патологических процессов, вызванных дисбалансом макро- и микроэлементов. К настоящему времени в растениях обнаружено свыше 80 элементов, что позволяет рассматривать

Круглов Дмитрий Семенович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры фармакогнозии и ботаники, e-mail: kruglov_DS@mail.ru

Величко Виктория Владимировна – кандидат фармацевтических наук, доцент, заведующая кафедрой фармакогнозии и ботаники, e-mail: velichkvik@rambler.ru

Карташова Марина Елвардовна – преподаватель кафедры фармакогнозии и ботаники, аспирант, e-mail: kartmarel@gmail.com

* Автор, с которым следует вести переписку.

их как перспективный источник получения фитопрепаратов для устранения или профилактики дисэлементозов [4]. Важно для фитотерапии дисэлементозов и то обстоятельство, что доступность микроэлементов из растений для организма человека намного выше, чем искусственно синтезируемых соединений.

Растения семейства *Boraginaceae* широко используются в народной и научной медицине многих стран для лечения различных заболеваний [5], и в том числе как источники микроэлементов. Одними из наиболее распространенных растений данного семейства являются нонея русская (*Nonea Rossica* Steven) и виды рода медуница (*Pulmonaria* spp.).

Медуницы используются в качестве отхаркивающего и смягчающего кашель средства [6]. Нами ранее было установлено антианемическое действие препаратов медуницы мягкой [7] за счет наличия в ней микроэлементов кроветворного комплекса – Fe и Mn [8].

Отвары и настои нонеи русской издавна применяли для лечения простудных заболеваний, использовали примочки из травы как болеутоляющее, ранозаживляющее и бактерицидное средство [9]. Вместе с тем надземные и подземные органы близкого вида нонеи промежуточной *Nonea pulmonarioides* Boiss. et Val. используются в качестве источника таких эссенциальных микроэлементов как K, Ca, Mg и Fe [10].

Следует отметить, что бытующее мнение о растениях как концентраторах элементов не совсем корректно. Поглощение элементов из почвы происходит по симпласту активным образом через белки-переносчики в плазмалемме клеток корневых волосков и только 5% элементов (находящихся в почве в растворимой форме) способно проникнуть внутрь растения в результате простой диффузии по апопласту [11]. В этом смысле можно говорить о гомеостазе элементного состава растений, определяемого геномом каждого вида растений [12]. Вместе с тем гомеостатическое постоянство элементного состава не исключает и изменчивость содержания элементов в определенных пределах. Для получения фитопрепаратов для лечения дисэлементозов с воспроизводимыми фармакологическими эффектами необходимо знать, в каких пределах может варьировать содержание микроэлементов по промысловой заросли.

В этой связи цель настоящей работы – определение индивидуальной изменчивости содержания микроэлементов в подземных и надземных органах нонеи русской и оценка их вариативности с позиций воспроизводимости параметров фитопрепаратов получаемых из данного сырья.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования служили надземные и подземные побеги н. русской заготовленные от растений, собранных в окрестностях с. Воробьево Колыванского района Новосибирской области (с.ш. 55°31', в.д. 82°57') на остепненном луге в период цветения в июле 2022 года. Для определения вариации элементного состава растения в пределах промысловой заросли были собраны 12 экземпляров растения, произрастающих в различных местах массива. Отбор образцов осуществлялся случайным образом. После сбора и первичной обработки (отбрасывались поврежденные элементы; подземные органы отряхивались от частиц почвы, в течение 10 секунд ополаскивались холодной проточной водой и подсушивались на воздухе 2 ч), сырье доводилось до воздушно-сухого состояния (влажность ~8%) в естественных условиях и измельчалось до частиц, проходящих сквозь сито с размером ячейки 2 мм. Точную навеску измельченного сырья (0.1–0.2 г) помещали во фторопластовый вкладыш в автоклаве и добавляли 5 мл концентрированной азотной кислоты [13]. Автоклав герметично закрывали и помещали в микроволновую печь. Разложение пробы проводили в следующем режиме нагрева: подъем температуры до 200 °С в течение 5 мин, выдерживание в течение 5 мин при 200 °С, охлаждение до 45 °С. Растворенную пробу из охлажденного автоклава количественно переносили в пробирку объемом 15 мл, трехкратно встряхивая вкладыш с крышкой с 1 мл деионизованной воды и перенося каждый смыв в пробирку, доводили объем до 10 мл деионизованной водой. Автоматическим дозатором со сменным наконечником отбирали аликвотную часть 1 мл и доводили до 10 мл 0.5%-ной азотной кислотой и проводили анализ на масс-спектрометре ELAN 9000. Содержание микроэлементов определялось методом масс-спектропии с индуктивно-связанной плазмой. Для контроля правильности определения использовался метод добавок. Все измерения проводились на пяти пробах и полученные значения усреднялись [14]. В дальнейшем была проведена статистическая обработка результатов и определены основные параметры выборки – среднее значение, стандартное отклонение среднего по выборке, коэффициент вариации и доверительный интервал по формулам [15]:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}; C_v = \frac{s}{\bar{X}} \times 100; D_x = t_g \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

где \bar{X} – среднее значение; x_i – единичное измерение; σ – среднее квадратичное отклонение; C_v – коэффициент вариации; Δx – доверительный интервал; t_g – аргумент распределения Стьюдента, соответствующей доверительной вероятности $\gamma=95\%$ и $(n-1)$ степени свободы.

Результаты и обсуждение

В таблицах 1–2 приведены результаты определения содержания каждого элемента в исследуемых образцах.

Анализируемые элементы были разделены с учетом их роли в физиологии растительного организма [16] на три группы:

1. группа 1 – известные биогенные для растения элементы: В, К, Р, V, Са, Сu, Fe, Mg, Mn, Мо, Na, Si, Zn. К указанным элементам были добавлены Ni, Со, чья эссенциальность была установлена в последнее десятилетие. В частности, никель способствует устойчивости растений к болезням и помогает вместе с кобальтом в усвоении азота [17]. Кроме того, кобальт способствует росту и развитию [18].

Таблица 1. Содержание микроэлементов (мкг/г) в надземной части *N. rossica*

Группа	Элемент	Образец											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Бор (В)	29.6	39.2	26.1	30.8	31.9	39.6	26.3	29.3	38.8	32.8	23.0	31.9
	Ванадий (V)	2.43	2.37	2.75	2.37	2.70	4.15	1.66	2.56	2.67	3.01	1.77	2.71
	Железо (Fe)	683.0	1266.0	827.0	758.6	890.4	1365.8	768.8	633.1	1174.1	898.5	766.5	924.3
	Калий (К)	46078	45966	48925	30387.2	39977.1	35776.8	44361.1	42239.5	38962.3	51950.7	45225.7	29915.2
	Кальций (Са)	16307.0	27723.0	18734.0	12790.6	18755.2	27971.9	15875.8	12197.9	27475.9	19177.9	9552.4	18136.3
	Кобальт (Со)	0.65	0.87	0.38	0.63	0.60	0.83	0.37	0.68	0.91	0.67	0.47	0.61
	Кремний (Si)	2199.0	1292.0	915.0	2438.4	1042.5	313.8	946.2	2043.0	1270.8	1092.5	1821.1	1274.0
	Магний (Mg)	923.0	2154.0	1369.0	1021.8	1592.2	2314.4	1470.3	859.5	2005.1	1543.9	763.1	1553.8
	Марганец (Mn)	52.9	80.9	56.5	56.2	65.5	83.6	58.3	51.2	78.3	65.5	42.0	64.6
	Медь (Cu)	10.00	23.2	10.8	10.72	15.2	24.0	11.16	9.70	22.35	15.52	8.01	15.11
	Молибден (Mo)	1.86	2.55	1.24	2.03	2.0	2.7	1.31	1.75	2.4	2.03	1.51	2.08
	Натрий (Na)	242.0	501.0	237.0	267.4	350.3	537.3	254.0	225.9	467.7	350.4	199.7	355.4
	Никель (Ni)	2.10	3.57	2.44	1.17	2.40	4.68	2.48	3.08	3.45	2.55	2.87	2.39
	Фосфор (P)	2813	3394	3292	2339.0	2739.1	2259.3	2658.2	3380.9	2399.9	2796.1	1600.0	2646.1
Цинк (Zn)	11.8	19.8	19.0	11.4	15.8	18.6	17.8	12.6	21.1	16.2	8.5	14.3	
2	Алюминий (Al)	1137.0	2027.0	903.0	1355.6	1158.8	772.1	2371.2	1287.8	971.7	772.1	1241.3	1061.1
	Барий (Ba)	73.2	127.0	53.7	84.7	97.1	61.5	111.0	109.4	83.9	61.5	87.0	99.8
	Бром (Br)	59.8	16.1	230.0	101.9	105.9	238.9	15.4	37.5	62.1	238.9	114.4	118.9
	Йод (I)	0.048	0.102	0.058	0.069	0.070	0.059	0.1	0.072	0.048	0.059	0.07	0.069
	Олово (Sn)	12.5	34.4	12.7	19.86	17.15	11.0	39.81	19.26	10.76	11.00	18.4	15.89
	Селен (Se)	3.35	5.62	0.9	3.29	2.86	0.78	6.47	3.71	2.91	0.78	2.97	2.58
	Серебро (Ag)	0.005	0.02	0.03	0.019	0.019	0.031	0.019	0.013	0.006	0.031	0.02	0.021
	Стронций (Sr)	55.9	112.0	73.8	80.48	83.94	77.03	107.11	83.23	58.26	37.03	21.01	84.5
	Титан (Ti)	55.4	88.6	49.1	124.8	62.21	47.45	91.7	66.28	53.53	47.45	61.85	59.78
	Хром (Cr)	3.81	19.2	5.85	9.63	8.83	5.37	20.95	10.06	3.50	5.37	9.1	8.34
3	Висмут (Bi)	0.003	0.011	0.012	0.009	0.003	0.012	0.012	0.014	0.002	0.011	0.011	0.009
	Кадмий (Cd)	0.079	0.17	0.16	0.138	0.159	0.184	0.151	0.139	0.091	0.184	0.150	0.172
	Мышьяк (As)	0.27	0.27	0.21	0.259	0.225	0.281	0.171	0.306	0.135	0.068	0.255	0.35
	Ртуть (Hg)	0.017	0.002	0.005	0.005	0.012	0.002	0.004	0.014	0.023	0.003	0.0001	0.007
	Свинец (Pb)	0.49	0.72	0.69	0.82	0.635	0.93	0.894	1.565	0.383	0.56	0.539	0.791
	Сурьма (Sb)	0.022	0.11	0.025	0.058	0.025	0.12	0.028	0.145	0.019	0.094	0.022	0.064
	Таллий (Tl)	0.024	0.025	0.019	0.023	0.024	0.025	0.019	0.049	0.024	0.025	0.019	0.026
	Теллур (Te)	1.44	0.8	1.26	0.376	1.111	1.2	0.9	1.119	1.854	0.013	0.7	0.563
	Торий (Th)	0.15	0.26	0.095	0.207	0.183	0.319	0.119	0.503	0.118	0.206	0.077	0.217
	Уран (U)	0.042	0.089	0.033	0.063	0.049	0.103	0.038	0.152	0.037	0.077	0.028	0.068

Таблица 2. Содержание микроэлементов (мкг/г) в подземной части *N.rossica*

Группа	Элемент	Образец											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Бор (В)	18.4	21.3	16.7	21.5	39.6	24.4	19.1	16.1	18.6	33.7	25.3	31.7
	Ванадий (V)	0.2	0.42	1.39	0.64	0.19	0.4	1.32	0.21	0.44	0.57	0.56	0.52
	Железо (Fe)	119.0	206.0	565.0	285.3	114.9	197.7	543.3	124.2	213.7	259.4	260.8	257.0
	Калий (К)	20981.0	27323.0	15223.0	20036.0	19851.8	25852.7	14403.4	12174.2	28877.2	21598.4	41758.1	33608.6
	Кальций (Ca)	13528.0	12931.0	21602.0	17833.6	55059.0	14394.5	24047.2	12152.0	31615.9	17312.9	29409.1	18712.9
	Кобальт (Co)	0.1	0.11	0.24	0.17	0.11	0.12	0.26	0.09	0.1	0.16	0.17	0.16
	Кремний (Si)	100.0	362.0	100.0	167.9	89.7	324.4	89.7	111.5	403.6	208.3	195.1	421.8
	Магний (Mg)	1171.0	1692.0	1968.0	1277.5	2928.8	1342.6	2561.1	1475.9	2133.4	1291.7	1268.1	1745.4
	Марганец (Mn)	19.2	24.3	49.1	37.7	23.4	29.6	60.0	15.7	19.9	38.2	41.7	38.5
	Медь (Cu)	9.5	22.3	18.1	16.4	9.4	22.0	17.9	29.6	22.5	17.8	17.8	28.6
	Молибден (Mo)	1.85	0.73	0.93	2.11	1.49	0.81	1.03	1.2	0.66	1.03	1.28	1.05
	Натрий (Na)	32.0	77.1	63.0	60.8	33.9	81.8	66.8	30.2	72.8	66.7	67.3	106.3
	Никель (Ni)	0.34	0.63	0.98	0.51	0.26	0.49	0.77	0.43	0.8	0.49	0.47	0.64
	Фосфор (P)	1340.0	2329.0	1709.0	2967.9	1471.0	956.5	1876.3	2220.4	2120.8	2133.8	2257.0	823.5
	Цинк (Zn)	19.7	32.6	43.5	26.7	12.5	27.3	36.4	23.5	38.9	16.9	26.0	35.5
2	Алюминий (Al)	125.0	239.0	837.0	462.0	144.3	276.0	665.8	108.4	207.4	449.2	457.7	358.9
	Барий (Ba)	50.1	17.7	21.4	27.8	46.7	16.5	20.0	53.7	19.0	25.5	31.4	21.5
	Бром (Br)	240.0	404.0	378.0	281.7	198.3	334.1	312.6	290.0	488.6	294.7	288.9	569.3
	Йод (I)	0.039	0.091	0.056	0.055	0.048	0.05	0.068	0.032	0.034	0.056	0.094	0.065
	Олово (Sn)	9.1	28.3	8.0	12.9	9.3	26.8	16.3	6.5	7.6	13.9	11.5	15.4
	Селен (Se)	3.70	3.62	1.0000	2.82	4.28	4.19	1.11	3.20	3.13	3.04	3.73	5.44
	Серебро (Ag)	0.005	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	0.01	0.004	0.005	0.006	0.006	0.017
	Стронций (Sr)	48.6	35.1	64.1	99.6	58.9	42.4	77.6	40.2	29.0	57.3	68.3	55.2
	Титан (Ti)	15.0	13.9	46.5	23.2	15.3	14.7	49.5	14.7	13.0	21.8	21.5	19.2
	Хром (Cr)	2.23	2.52	4.48	2.53	1.83	2.07	3.69	2.71	3.06	5.37	1.4	2.69
3	Висмут (Bi)	0.001	0.005	0.002	0.008	0.003	0.004	0.002	0.012	0.006	0.006	0.006	0.005
	Кадмий (Cd)	0.02	0.016	0.025	0.013	0.008	0.025	0.029	0.013	0.005	0.001	0.017	0.033
	Мышьяк (As)	0.039	0.01	0.02	0.023	0.022	0.018	0.018	0.028	0.024	0.022	0.025	0.043
	Ртуть (Hg)	0.014	0.013	0.008	0.102	0.066	0.081	0.159	0.109	0.133	0.094	0.093	0.105
	Свинец (Pb)	0.005	0.02	0.007	0.01	0.012	0.011	0.007	0.017	0.016	0.011	0.011	0.014
	Сурьма (Sb)	0.01	0.009	0.025	0.04	0.021	0.024	0.040	0.042	0.016	0.041	0.04	0.031
	Таллий (Tl)	0.031	0.018	0.021	0.012	0.008	0.007	0.021	0.012	0.011	0.011	0.011	0.01
	Теллур (Te)	0.01	0.01	0.01	0.046	0.036	0.032	0.07	0.028	0.024	0.044	0.049	0.041
	Торий (Th)	0.024	0.035	0.014	0.011	0.011	0.011	0.011	0.009	0.009	0.011	0.013	0.015
	Уран (U)	0.034	0.015	0.006	0.059	0.021	0.03	0.125	0.028	0.040	0.048	0.048	0.089

2. группа 2 – элементы с преобладающим токсическим действием на растительный организм: Ag, Al, Ba, Br, Cr, I, Se, Sn, Sr, Ti. Элементы Br, I, Se, Sr, Ba, Ti, Cr и Sr, являясь условно-токсичными для растений, обладают биогенностью в животном организме [19].

3. группа 3 – элементы-токсиканты: As, Bi, Cd, Hg, Pb, Sb, Te, Th, Tl, U.

Расчетные статистические параметры приведены в таблицах 3 и 4.

Анализ полученных данных показал, что среднее значение коэффициента вариации по биогенным элементам (группа 1) в надземной части растения составляет 27.8%, что значимо (с доверительной вероятностью $P=0.95$) ниже, чем для элементов других групп (44.8 и 50.2% для групп 2 и 3 соответственно). В то же время в подземных органах растения коэффициент вариации для элементов всех групп значимо не различается и составляет 41.7, 44.7 и 52.3% для групп 1, 2 и 3 соответственно.

Выявленные закономерности позволили предположить, что зависимость содержания элементов в растении от исследуемых факторов различна для элементов разных групп. В этом случае закон распределения содержания измеряемого признака (в данном случае содержания элемента) должен быть различен для каждой совокупности (в данном случае выбранные группы элементов). Для подтверждения выдвинутой гипотезы был использован ранговый двухвыборочный критерий Вилкоксона [20]. Последовательное попарное сравнение выборок позволило сделать вывод о том, что с доверительной вероятностью $P=0.99$ элементы в надземной части растения, входящие во 2 и 3 группы, подчиняются одному закону распределения, а элементы 1-й группы имеют значимо отличный от них закон распределения. В то же время элементы всех групп в подземных частях растения подчиняются одному и тому же закону распределения.

Рассматривая полученные результаты в концепции элементного гомеостаза растений, вполне естественно, что биогенные элементы должны в меньшей степени зависеть от случайных факторов потому, что их поглощение генетически запрограммировано. В этом случае увеличенный коэффициент вариации для «небиогенных элементов» свидетельствует о значительном вкладе экзогенных загрязнений, которые по-росли существенно разнятся. Большой коэффициент вариации у элементов подземных органов связан также с экзогенным характером загрязнений частицами почвы. Вместе с тем у подземных органов коэффициент вариации биогенных элементов выше, чем у надземных, что обусловлено физиологией растительного организма. Основной потребитель микроэлементов – безусловно фотосинтезирующие надземные органы и именно там в процессе биосинтеза необходимых метаболитов востребованы микроэлементы, а с учетом того, что для растения вреден не только недостаток, но и избыток микроэлементов, поступление микроэлементов в надземные органы должно быть контролируемо. Корневая система поглощает и накапливает микроэлементы в мертвых клетках ксилемы, не чувствительных к колебаниям их количества.

Таким образом, именно надземную часть *n. russica* следует рассматривать как источник микроэлементов (B, K, P, V, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Si, Zn, Ni, Co) с небольшой степенью вариации их состава. Важно отметить, что содержание токсикантов – свинца, кадмия, мышьяка ртути во всех образцах не превышает допустимых пределов не более 6.0, 1.0, 0.5 и 0.1 мкг/г соответственно [21].

Таблица 3. Статистические параметры выборки значений содержания микроэлементов в надземной части *N. rossica*

Группа	Элемент	X, мкг/г	σ, мкг/г	Cv, %	Δx мкг/г
1	Бор (B)	31.6	5.4	17.1	3.4
	Ванадий (V)	2.6	0.63	24.2	0.40
	Железо (Fe)	913	234.2	25.7	147.6
	Калий (K)	41647.1	6920.5	16.6	4360.3
	Кальций (Ca)	18724.8	6175.6	33.0	3891.0
	Кобальт (Co)	0.6	0.18	30.0	0.11
	Кремний (Si)	1387.4	617.4	44.5	389.0
	Магний (Mg)	1464.2	511.4	34.9	322.2
	Марганец (Mn)	63	12.7	20.2	8.0
	Медь (Cu)	14.6	5.67	38.8	3.57
	Молибден (Mo)	2	0.46	23.0	0.29
	Натрий (Na)	332.3	115.4	34.7	72.7
	Никель (Ni)	2.8	0.87	31.1	0.55
	Фосфор (P)	2693.1	517.7	19.2	326.2
Цинк (Zn)	15.6	3.9	25.0	2.5	
2	Алюминий (Al)	1254.9	484.7	38.6	305.4
	Барий (Ba)	87.5	22.5	25.7	14.2
	Бром (Br)	111.7	82.9	74.3	52.2
	Йод (I)	0.069	0.017	25.2	0.011
	Олово (Sn)	18.56	9.34	50.3	5.89
	Селен (Se)	3.02	1.76	58.3	1.11
	Серебро (Ag)	0.02	0.009	44.4	0.005
	Стронций (Sr)	72.86	26.32	36.1	16.58
	Титан (Ti)	67.35	23.20	34.4	14.62
	Хром (Cr)	9.17	5.58	60.8	3.51
3	Висмут (Bi)	0.009	0.004	46.2	0.003
	Кадмий (Cd)	0.148	0.033	22.4	0.021
	Мышьяк (As)	0.233	0.078	0.333	0.05
	Ртуть (Hg)	0.008	0.007	88.7	0.004
	Свинец (Pb)	0.751	0.305	40.6	0.192
	Сурьма (Sb)	0.061	0.045	74.0	0.028
	Таллий (Tl)	0.025	0.008	31.2	0.005
	Теллур (Te)	0.945	0.497	52.6	0.313
	Торий (Th)	0.204	0.117	57.5	0.074
	Уран (U)	0.065	0.036	55.7	0.023

Таблица 4. Статистические параметры выборки значений содержания микроэлементов в подземной части *N. rossica*

Группа	Элемент	X, мкг/г	σ, мкг/г	Cv, %	Δx мкг/г
1	Бор (B)	23.9	7.5	31.4	4.7
	Ванадий (V)	0.6	0.4	66.7	0.25
	Железо (Fe)	262.2	148.4	56.6	93.5
	Калий (K)	23473.9	8524.8	36.3	5371.1
	Кальций (Ca)	22383.2	12067.3	53.9	7603.1
	Кобальт (Co)	0.2	0.06	30.0	0.04
	Кремний (Si)	214.5	129	60.1	81.3
	Магний (Mg)	1738	562.9	32.4	354.7
	Марганец (Mn)	33.1	13.4	40.5	8.4
	Медь (Cu)	19.3	6.3	32.6	4.0
	Молибден (Mo)	1.2	0.44	36.7	0.28
	Натрий (Na)	63.2	22.3	35.3	14.1
	Никель (Ni)	0.6	0.21	35.0	0.13
	Фосфор (P)	1850.4	618.8	33.4	389.9
Цинк (Zn)	28.3	9.4	33.2	5.9	
2	Алюминий (Al)	360.9	225.4	62.5	142.0
	Барий (Ba)	29.3	13.4	45.6	8.4
	Бром (Br)	340.0	105.2	30.9	66.3
	Йод (I)	0.1	0.0	34.6	0.01
	Олово (Sn)	13.8	7.2	51.8	4.5
	Селен (Se)	3.3	1.3	38.2	0.8
	Серебро (Ag)	0.007	0.004	53.8	0.002
	Стронций (Sr)	56.4	19.7	34.9	12.4
	Титан (Ti)	22.4	12.5	55.8	7.9
	Хром (Cr)	2.88	1.13	39.3	0.71
3	Висмут (Bi)	0.005	0.003	60.2	0.002
	Кадмий (Cd)	0.017	0.01	57.2	0.006
	Мышьяк (As)	0.024	0.009	36.8	0.006
	Ртуть (Hg)	0.081	0.048	59.3	0.030
	Свинец (Pb)	0.012	0.004	37.6	0.003
	Сурьма (Sb)	0.028	0.012	43.6	0.008
	Таллий (Tl)	0.014	0.007	47.9	0.004
	Теллур (Te)	0.033	0.018	54.7	0.011
	Торий (Th)	0.015	0.008	51.8	0.005
Уран (U)	0.045	0.033	73.6	0.021	

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что ноней русская закономерно поглощает биогенные для растительного организма микроэлементы, которые накапливаются в надземных органах растения и имеют малую вариативность по количественному содержанию.

В накоплении элементов-токсикантов и условно токсичных элементов существенный вклад вносят экзогенные загрязнения, что приводит к большой вариативности их количественного содержания.

Выявленные закономерности позволяют рассматривать лекарственное растительное сырье «Ноней трава» в качестве перспективного источника создания фитопрепаратов для профилактики дисэлементозов достаточной воспроизводимости по содержанию B, K, P, V, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Si, Zn, Ni, Co.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А., Велданова М.В., Скальный А.В. Экологический портрет человека и роль микроэлементов. М., 2001. 236 с.
2. Вьон Т.И., Пасиешвили Л.М. Диагностическая роль биохимических маркеров костного метаболизма и гена FDPS в оценке вторичного остеопороза у пациентов с хроническим панкреатитом и гипертонической болезнью // Наука и Здравоохранение. 2018. Т. 20. №4. С. 5–21.
3. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М., 2004. 272 с.

4. Бакун А.С., Гурина Н.С., Царенков В.М. Изучение элементного состава травы галеги лекарственной (*Galega officinalis* L.) // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2020. Т. 23. №6. С. 16–22. DOI: 10.29296/25877313-2020-06-03.
5. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 4. Семейства *Caprifoliaceae-Lobeliaceae*. СПб.; М., 2011. 630 с.
6. Herbal Drugs and Phytopharmaceuticals, Third Edition / ed. M. Wichtl. Stuttgart, 2004. 708 p.
7. Kruglov D.S. Arzneipflanzen zur Prävention von Eisenmangel // Die Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Phytotherapie. 2018. Vol. 3. P. 15.
8. Круглов Д.С. К вопросу о специфической активности суммарного извлечения из медуницы мягчайшей // Сборник трудов 3-й межд. конф. «Basic Science for Medicine». Новосибирск, 2007. 39 с.
9. Николаев Н.А., Ливазан М.А., Скирденко Ю.П., Мартынов А.И. Биологически активные растения и грибы Сибири в клинической медицине: научная монография. М., 2019. Т. 2. 382 с.
10. Hussain F.H.S., Abdullah F.O., Braiem R. Essential and Trace Element Contents from *Nonea Pulmonarioides* by Using Micro-Wave Assisted Digestion, Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry // Eurasian Journal of Science and Engineering. 2019. Vol. 4(4). Pp. 76–83. DOI: 10.23918/eajse.v4i4p76.
11. Медведев С.С. Физиология растений. СПб., 2015. 496 с.
12. Круглов Д.С. Прогностическая применимость микро элементного профиля растений для задач систематики // Ботаника в современном мире. Труды Русского ботанического общества. Т. 1: Систематика высших растений. Флористика и география растений. Охрана растительного мира. Палеоботаника. Ботаническое образование. Махачкала, 2018. С. 58–60.
13. МУК 4.1.1483-03. Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой: методические указания. М., 2003. 36 с.
14. Kruglov D.S., Kruglova M.Yu., Olennikov D.N. Interrelation of the microelement status and component composition of essential oil taken from plants of *Filipendula* genus // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2020. Vol. 46. N7. Pp. 1378–1384. DOI: 10.14258/jcprm.2019014335.
15. Никитин В.И. Первичная статистическая обработка экспериментальных данных. Самара, 2017. 80 с.
16. Mengel K., Kirkby E.A. et al. Principles of Plant Nutrition. Springer Dordrecht, 2001. 849 p.
17. Ahmad M.S.A., Ashraf M. Essential roles and hazardous effects of nickel in plants // Rev Environ Contam Toxicol. 2011. Vol. 214. Pp. 125–67. DOI: 10.1007/978-1-4614-0668-6_6.
18. Aliasgharpour M., Farzami M. Trace Elements in Human Nutrition: A Review // International journal of medical investigation. 2013. Vol. 2(3). Pp. 115–128.
19. Витамины и микроэлементы в клинической фармакологии / под ред. В.А. Тутельяна. М., 2001. 560 с.
20. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных. М., 1980. 610 с.
21. Государственная фармакопея Российской Федерации, XIV издание. М., 2018. Т. 2. URL: <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol2/>.

Поступила в редакцию 20 февраля 2023 г.

После переработки 10 мая 2023 г.

Принята к публикации 13 мая 2023 г.

Для цитирования: Круглов Д.С., Величко В.В., Каргашова М.Е. Изменчивость микроэлементного состава подземных и надземных побегов нонеи русской // Химия растительного сырья. 2023. №4. С. 269–276. DOI: 10.14258/jcprm.20230412575.

Kruglov D.S.*, Velichko V.V., Kartashova M.Ye. VARIABILITY OF THE TRACE ELEMENT COMPOSITION OF UNDERGROUND AND ABOVEGROUND SHOOTS OF *NONEA ROSSICA* STEV.

Novosibirsk State Medical University, Krasny av., 52, Novosibirsk, 630091 (Russia), e-mail: kruglov_DS@mail.ru

To create phytomedicines for the treatment of dyselementoses with reproducible pharmacological effects, it is necessary to know within what limits the content of microelements can vary in commercial thickets of herbs. The aim of this work was to determine the variability of the content of microelements in the underground and aboveground organs of *Nonea rossica* Stev. The above-ground and underground shoots of the plant were collected on the territory of the Novosibirsk region. The content of plant biogenic elements B, K, P, V, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Si, Zn, Ni, Co and toxic elements was determined by mass spectroscopy with inductively coupled plasma. The main statistical parameters – the mean value, the coefficient of variation and confidence intervals were defined and they were analyzed for homogeneity using the Wilcoxon test. As a result of the research, it was found that *N.rossica* naturally absorbs microelements that are biogenic for the plant organism, which accumulate in the aboveground organs of the plant and their quantitative content has little variability. Exogenous pollution makes a significant contribution to the accumulation of toxic elements and conditionally toxic elements, which leads to a large variability of their quantitative content.

Keywords: *Nonea rossica*, trace elements, coefficient of variation, variability in the content of elements, biogenic elements, toxic elements.

References

1. Agadzhanian N.A., Veldanova M.V., Skal'nyy A.V. *Ekologicheskiiy portret cheloveka i rol' mikroelementov*. [Ecological portrait of a person and the role of microelements]. Moscow, 2001, 236 p. (in Russ.).
2. V'yun T.I., Pasiyeshvili L.M. *Nauka i Zdravookhraneniye*, 2018, vol. 20, no. 4, pp. 5–21. (in Russ.).
3. Skal'nyy A.V., Rudakov I.A. *Bioelementy v meditsine*. [Bioelements in medicine]. Moscow, 2004, 272 p. (in Russ.).
4. Bakun A.S., Gurina N.S., Tsarenkov V.M. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2020, vol. 23, no. 6, pp. 16–22. DOI: 10.29296/25877313-2020-06-03. (in Russ.).
5. *Rastitel'nyye resursy Rossii: Dikorastushchiye tsvetkovyye rasteniya, ikh komponentnyy sostav i biologicheskaya aktivnost'. T. 4. Semeystva Caprifoliaceae-Lobeliaceae*. [Plant resources of Russia: Wild flowering plants, their component composition and biological activity. Vol. 4. Families Caprifoliaceae-Lobeliaceae]. St. Petersburg; Moscow, 2011, 630 p. (in Russ.).
6. *Herbal Drugs and Phytopharmaceuticals, Third Edition*, ed. M. Wichtl. Stuttgart, 2004, 708 p.
7. Kruglov D.S. *Die Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Phytotherapie*, 2018, vol. 3, p. 15.
8. Kruglov D.S. *Sbornik trudov 3-y mezhdunarodnoy konferentsii «Basic Science for Medicine»*. [Collection of proceedings of the 3rd international conference “Basic Science for Medicine”]. Novosibirsk, 2007, 39 p. (in Russ.).
9. Nikolayev N.A., Livazan M.A., Skirdenko Yu.P., Martynov A.I. *Biologicheskiiy aktivnyye rasteniya i griby Sibiri v klinicheskoy meditsine: nauchnaya monografiya*. [Biologically active plants and fungi of Siberia in clinical medicine: scientific monograph]. Moscow, 2019, vol. 2, 382 p. (in Russ.).
10. Hussain F.H.S., Abdullah F.O., Braiem R. *Eurasian Journal of Science and Engineering*, 2019, vol. 4(4), pp. 76–83. DOI: 10.23918/eajse.v4i4p76.
11. Medvedev S.S. *Fiziologiya rasteniy*. [Plant Physiology]. St. Petersburg, 2015, 496 p. (in Russ.).
12. Kruglov D.S. *Botanika v sovremennom mire. Trudy Russkogo botanicheskogo obshchestva. T. 1: Sistematika vysshikh rasteniy. Floristika i geografiya rasteniy. Okhrana rastitel'nogo mira. Paleobotanika. Botanicheskoye obrazovaniye*. [Botany in the modern world. Proceedings of the Russian Botanical Society. Vol. 1: Systematics of higher plants. Floristry and geography of plants. Protection of flora. Paleobotany. Botanical education]. Makhachkala, 2018, pp. 58–60. (in Russ.).
13. *MUK 4.1.1483-03. Opredeleniye sodержaniya khimicheskikh elementov v diagnostiruyemykh biosubstratakh, preparatakh i biologicheskiiy aktivnykh dobavkakh metodom mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoy argonovoy plazmoy: metodicheskiiy ukazaniya*. [MUK 4.1.1483-03. Determination of the content of chemical elements in diagnosed biosubstrates, preparations and dietary supplements using mass spectrometry with inductively coupled argon plasma: guidelines]. Moscow, 2003, 36 p. (in Russ.).
14. Kruglov D.S., Kruglova M.Yu., Olennikov D.N. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2020, vol. 46, no. 7, pp. 1378–1384. DOI: 10.14258/jcprm.2019014335.
15. Nikitin V.I. *Pervichnaya statisticheskaya obrabotka eksperimental'nykh dannykh*. [Primary statistical processing of experimental data]. Samara, 2017, 80 p. (in Russ.).
16. Mengel K., Kirkby E.A. et al. *Principles of Plant Nutrition*. Springer Dordrecht, 2001, 849 p.
17. Ahmad M.S.A., Ashraf M. *Rev Environ Contam Toxicol.*, 2011, vol. 214, pp. 125–67. DOI: 10.1007/978-1-4614-0668-6_6.
18. Aliasgharpour M., Farzami M. *International journal of medical investigation*, 2013, vol. 2(3), pp. 115–128.
19. *Vitaminy i mikroelementy v klinicheskoy farmakologii*. [Vitamins and microelements in clinical pharmacology], ed. V.A. Tutelyan. Moscow, 2001, 560 p. (in Russ.).
20. Johnson N., Lyon F. *Statistika i planirovaniye eksperimenta v tekhnike i nauke: Metody obrabotki dannykh*. [Statistics and experimental planning in technology and science: Data processing methods]. Moscow, 1980, 610 p. (in Russ.).
21. *Gosudarstvennaya Farmakopeya Rossiyskoy Federatsii, XIV izdaniye*. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV edition]. Moscow, 2018, vol. 2. URL: <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol2/>. (in Russ.).

Received February 20, 2023

Revised May 10, 2023

Accepted May 13, 2023

For citing: Kruglov D.S., Velichko V.V., Kartashova M.Ye. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 4, pp. 269–276. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230412575.

* Corresponding author.