

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЦВЕТКАХ ЛИПЫ СЕРДЦЕВИДНОЙ ФЛОРЫ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. А. Дьякова, А. И. Сливкин

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 31.03.2022 г.

Аннотация. Имеющиеся сведения о содержании элементов о лекарственном растительном сырье Воронежской области показали, что исследования проводятся в основном по нескольким элементам, что не позволяет определить полный химический состав растений и описать специфику накопления в них всего комплекса минеральных веществ. Целью исследования явилось изучение особенностей накопления макро- и микроэлементов в цветках липы сердцевидной. Заготовку лекарственного растительного сырья осуществляли в период цветения растения в Воронежском государственном природном биосферном заповеднике. Микроэлементный состав лекарственного растительного сырья определяли методом масс-спектрографии с индуктивно связанной плазмой на приборе «ELAN-DRC». Выявлено, что содержание микроэlementного комплекса составляет 3.85% в пересчете на абсолютно сухое сырье, определено 59 элементов. Макроэлементы составляют 96.23% всего элементного состава цветков липы сердцевидной. Основу макроэлементов составляет калий (более 16 мг/г), а также кальций (более 14 мг/г). Эссенциальные микроэлементы составляют 3.33% общего минерального комплекса цветков липы сердцевидной. Среди них наибольшее содержание отмечено для кремния (более 1.0 мг/г), железа (более 0.1 мг/г). Содержание нормируемых тяжелых металлов и мышьяка в цветках липы сердцевидной соответствует требованиям нормативной документации. Доля токсичных и малоизученных элементов в общем минеральном комплексе цветков липы сердцевидной составляет 0.44%. Наибольшее содержание отмечено для алюминия (78.8 мкг/г), стронция (59.9 мкг/г), бария (15.3 мкг/г), титана (11.6 мкг/г), рубидия (3.2 мкг/г). Показана высокая способность цветков липы сердцевидной к накоплению из почвы фосфора, калия, молибдена и цинка, а также значительная возможность к аккумуляции стронция, кальция, магния, меди и никеля. Полученные данные представляют интерес и могут служить основой для проведения дальнейших исследований с целью использования результатов в медицинской и фармацевтической практике для создания лекарственных препаратов и биологически активных добавок для коррекции физиологических норм содержания элементов в организме человека.

Ключевые слова: Воронежская область, липа сердцевидная, микроэлементы, макроэлементы, коэффициенты накопления.

Воронежская область традиционно является важнейшим районом растениеводства и земледелия. Однако, освоение минеральных ресурсов, активная химизация в сельском хозяйстве, последствия Чернобыльской аварии актуализировали вопрос снабжения пищевой промышленности безопасным и эффективным растительным сырьем. Некачественное растительное сырье и получаемые из него продукты являются важными источниками поступления различных элементов, в частности, токсичных, в организм человека.

Содержащиеся в растениях микроэлементы, образуют с биологически активными веществами комплексы органической природы, которые значительно эффективнее усваиваются в организме человека, чем препараты на основе неорганических соединений. Поэтому при изучении элементного состава лекарственного растительного сырья (ЛРС) особый интерес представляют те виды, которые используются в виде комплексных фитопрепаратов, в которых фармакологический эффект высокомолекулярных веществ потенцируется действием элементов.

Ежегодно возрастающий интерес к препаратам на основе растительного сырья объясняется высокой терапевтической эффективностью таких лекарственных средств, а также, что наиболее важно, безвредностью и отсутствием побочных эффектов. При этом значительная доля заготовок лекарственных растений осуществляется в Центральной полосе России, отличающейся высокой плотностью населения, активной хозяйственной деятельностью, развитой сетью транспортных магистралей, большим количеством промышленных производств, интенсивными технологиями ведения сельского хозяйства [1-4]. В данных условиях нарастает угроза заготовки растительного сырья в экологически неблагоприятных районах, а потому актуальным становится выявление влияния антропогенного загрязнения на химический состав растений. Известно, что лекарственные растения содержат не только эссенциальные элементы, но и различные соединения антропогенного происхождения, среди которых наиболее распространенными являются тяжелые металлы [5-8].

Анализ имеющихся данных литературы показал, что лекарственные растения Центрального Черноземья практически не исследованы на содержание элементов. Имеющиеся сведения о содержании элементов в ЛРС региона показали, что эти исследования проводятся в основном по нескольким элементам, что не позволяет определить полный химический состав ЛРС и описать специфику накопления в них всего комплекса минеральных веществ [9-14]. Эти данные литературы диктуют необходимость исследования содержания всего комплекса элементов в лекарственных растениях [15].

Липа сердцевидная (*Tilia cordata* Miller, 1768) – широко распространенное в России листопадное дерево, цветки которого издревле используются в медицине в качестве противовоспалительного, потогонного, успокаивающего, жаропонижающего, мочегонного средства. Широкое фармацевтическое и медицинское применение данного сырья обусловлено не только высоким содержанием органических биологически активных веществ, основу которых составляют полисахариды, сапонины, дубильные вещества, эфирные масла, витамины, но богатым макро- и микроэлементным комплексом, в значительной степени определяющимся условиями произрастания вида [10,11,16].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – изучение особенностей накопления макро- и микроэлементов в цветках липы сердцевидной естественного фитоценоза Воронежской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Заготовку ЛРС осуществляли по фармакопейным правилам [16,17] в экологически чистом месте в естественной заросли в период цветения растения (в июне 2020 года) в Воронежском государственном заповеднике имени В. М. Пескова в Рамонском районе Воронежской области. Цветки липы сердцевидной срезали ножницами, сушили теневым способом. Также отбирали пробы почв с места произрастания объекта исследования. Образцы для анализа подвергались разложению смесью азотной и плавиковой кислот с использованием систем микроволновой пробоподготовки. Растворенную пробу 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, закрывали и перемешивали. Автоматическим дозатором со сменным наконечником отбирали аликвотную часть 1 мл и доводили до 10 мл 0.5%-ной азотной кислотой, закрывали защитной лабораторной пленкой. Элементный состав ЛРС определяли методом масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой на приборе «ELAN-DRC» («PerkinElmer Life And Analytical Sciences», США) в соответствии с МУК 4.1.1483-03 «Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргоновой плазмой». Для оценки особенностей накопления элементов из почв рассчитывали коэффициенты накопления [11,12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, полученные при изучении элементного состава исследуемых образцов приведены в таблице 1.

Из табл. 1 видно, что содержание микроэлементного комплекса составляет 3.85% в пересчете на абсолютно сухое сырье. Масс-спектрометрически определено 59 элементов, условно разделенных на макроэлементы, содержащиеся в значительных количествах (более 0.1% массы тела); микроэлементы, содержание которых варьирует в пределах от 0.001-0.00001% [18]. Среди микроэлементов особую группу составляют эссенциальные микроэлементы, для которых установлена роль в обеспечении жизнедеятельности. Токсичные и малоизученные микроэлементы включают элементы, для которых биологическая

Результаты исследования образцов ЛРС и почв

Элемент	Концентрация в ЛРС, мкг/г	Доля в общем элемент- ном комплексе, %	Концентрация в почве, мкг/г	Коэффициент накопления в ЛРС
Макроэлементы				
Калий	16505.0	42.84	10500	1.57
Кальций	14203.9	36.86	19660	0.72
Натрий	37.6	0.10	3300	0.01
Магний	2810.6	7.29	4400	0.64
Фосфор	3521.5	9.14	730	4.82
Всего	37078.6	96.23	38590	-
Эссенциальные микроэлементы				
Ванадий	0.28	0.00073	78	<0.01
Железо	117.2	0.30417	19100	0.01
Кобальт	0.19	0.00049	3.3	0.06
Кремний	1119.3	2.90494	347000	0.01
Литий	0.049	0.00013	8.5	<0.01
Никель	0.95	0.00247	2.3	0.41
Марганец	28.4	0.07371	370	0.08
Медь	1.98	0.00514	3.1	0.64
Молибден	1.36	0.00353	0.87	1.56
Селен	0.006	0.00002	8.5	<0.01
Хром	0.19	0.00049	4.2	0.05
Цинк	13	0.03374	12	1.08
Всего	1282.91	3.33	366590.77	-
Нормируемые токсичные микроэлементы				
Кадмий	0.002	0.00001	0.023	0.09
Мышьяк	0.012	0.00003	0.9	0.01
Ртуть	0.0001	0.0000003	0.05	<0.01
Свинец	0.13	0.000337	4.0	0.03
Всего	0.14	0.00037	4.97	
Другие токсичные и малоизученные элементы				
Алюминий	78.8	0.204511	31100	<0.01
Барий	15.3	0.039708	290	0.05
Бериллий	0.005	0.000013	2.0	<0.01
Вольфрам	0.0068	0.000018	0.78	0.01
Висмут	0.012	0.000031	0.11	0.11
Гадолиний	0.0082	0.000021	3.0	<0.01
Галлий	0.049	0.000127	8.8	0.01
Гафний	0.0022	0.000006	1.6	<0.01
Германий	0.017	0.000044	1.1	0.02
Гольмий	0.005	0.000013	0.36	0.01
Диспрозий	0.009	0.000023	2.0	<0.01
Европий	0.002	0.000005	0.65	<0.01
Золото	0.0039	0.000010	0.06	0.07
Иттербий	0.001	0.000003	1.1	<0.01
Иттрий	0.022	0.000057	9.9	<0.01
Лантан	0.04	0.000104	18	<0.01
Лютеций	0.001	0.000003	0.16	0.01
Неодим	0.047	0.000122	15.0	<0.01
Ниобий	0.012	0.000031	6.7	<0.01
Олово	0.03	0.000078	1.2	0.03
Празеодим	0.0086	0.000022	4.1	<0.01
Рубидий	3.18	0.008253	63	0.05
Самарий	0.012	0.000031	3.2	<0.01
Серебро	0.026	0.000067	0.19	0.14
Скандий	0.002	0.000005	50.0	<0.01
Стронций	59.9	0.155459	73.0	0.82
Сурьма	0.011	0.000029	0.41	0.03
Таллий	0.0024	0.000006	0.23	0.01

Таблица 1. Продолжение

Результаты исследования образцов ЛРС и почв

Элемент	Концентрация в ЛРС, мкг/г	Доля в общем элементном комплексе, %	Концентрация в почве, мкг/г	Коэффициент накопления в ЛРС
Тантал	0.0004	0.000001	0.5	<0.01
Теллур	0.001	0.000003	0.1	0.01
Тербий	0.004	0.000010	0.44	0.01
Титан	11.6	0.030106	2400.0	<0.01
Торий	0.0045	0.000012	5.4	<0.01
Тулий	0.001	0.000003	0.16	0.01
Уран	0.0034	0.000009	1.2	<0.01
Цезий	0.0082	0.000021	2.3	<0.01
Церий	0.081	0.000210	38	<0.01
Цирконий	0.103	0.000267	78	<0.01
Эрбий	0.004	0.000010	1.2	<0.01
Всего	169.33	0.44	34183.95	-

роль изучена ещё недостаточно, многие из них обладают значительной токсичностью [19, 20].

Макроэлементы составляют 96.23% всего элементного состава цветков липы сердцевидной. Основу макроэлементов составляет калий (более 16 мг/г, или 42.84% всего минерального состава ЛРС), а также кальций (более 14 мг/г, 36.86% от определяемого элементного состава). В целом, по содержанию макроэлементов можно выстроить следующий ряд убывания: калий > кальций > фосфор > магний > натрий. Рассчитанные коэффициенты накопления элементов из почв показали высокую способность цветков липы сердцевидной к аккумуляции фосфора, а также калия, содержание которых в ЛРС значительно превышает их концентрацию в почвах. При этом натрий практически не накапливается в данном виде ЛРС (около 1% от содержания в почве переходит в цветки липы сердцевидной).

Эссенциальные микроэлементы составляют 3.33% общего минерального комплекса цветков липы сердцевидной. Среди них наибольшее содержание отмечено для кремния (более 1.0 мг/г, т.е. более 2% элементного комплекса), железа (более 0.1 мг/г, 0.3% минерального состава). Ряд убывания содержания эссенциальных микроэлементов в ЛРС выглядит следующим образом: кремний > железо > марганец > цинк > медь > молибден > никель > ванадий > кобальт = хром > литий > селен. При этом показана высокая способность к аккумуляции из почв в цветках липы сердцевидной марганца и цинка (коэффициенты накопления больше 1.0). Эффективно переходит в состав ЛРС также медь и никель. Кремний, отличающийся высокой концентрацией в составе ЛРС, накапливается в количестве, не превышающем 1% от содержания в почве произрастания вида. Остальные эссенциаль-

ные элементы имели также низкие коэффициенты накопления (не более 0.08).

Содержание нормируемых тяжелых металлов и мышьяка в цветках липы сердцевидной соответствует требованиям нормативной документации [17]. На долю свинца, ртути, кадмия и мышьяка приходится 0.00037% общего минерального комплекса сырья. Из почв данные элементы накапливаются неактивно - коэффициенты накопления не превышают 0.09.

Доля токсичных и малоизученных элементов в общем минеральном комплексе цветков липы сердцевидной составляет 0.44%. Наибольшее содержание отмечено для алюминия (78.8 мкг/г), стронция (59.9 мкг/г), бария (15.3 мкг/г), титана (11.6 мкг/г), рубидия (3.2 мкг/г). Выявлена высокая способность к аккумуляции из почв в цветках липы сердцевидной стронция. Также можно выделить накопление в ЛРС серебра и висмута (рассчитанные коэффициенты более 0.1). Остальные элементы накапливались из почвы неактивно (коэффициенты накопления не более 0.07).

ВЫВОДЫ

Результаты исследования показали богатый макро- и микроэлементный состав цветков липы сердцевидной, заготовленных в Воронежской области. Выявлено, что содержание нормируемых токсичных тяжелых металлов и мышьяка не превышает предельно допустимых концентраций, установленных для оценки качества ЛРС. Отмечено относительно высокое содержание, наряду с макроэлементами, кремния, железа, алюминия. Показана высокая способность цветков липы сердцевидной к накоплению из почвы фосфора, калия, молибдена и цинка, а также значительная возможность к аккумуляции стронция, кальция, магния, меди и никеля. Полученные данные пред-

ставляют интерес и могут служить основой для проведения дальнейших исследований с целью использования их результатов в медицинской и фармацевтической практике для создания лекарственных препаратов и биологически активных добавок для коррекции физиологических норм содержания элементов в организме человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Agati G., Tattini M. // *New Phytol.* 2010. Vol. 186, pp. 786-793.
2. Peer W.A., Murphy A.S. // *Trends Plant Science.* 2007. Vol. 12, pp.556-563.
3. Гудкова А.А., Чистякова А.С., Сливкин А.И., Сорокина А.А. // *Микроэлементы в медицине.* 2019. №1. С. 35-42. 4. Рудая М.А., Тринеева О.В., Сливкин А.И. // *Микроэлементы в медицине.* 2018. №3. С. 49-59.
5. Попов А.И. // *Химико-фармацевтический журнал.* 1993. №11. С. 50-52.
6. Гравель И.В., Иващенко Н.В., Самылина И.А. *Фармация.* 2011. №1. С. 9-11.
7. Гравель И.В., Лёвшин Д.В., Михеев И.В., Скибина А.А. // *Традиционная медицина.* 2021. №3. С. 19-26. DOI: 10.54296/18186173_2021_3_19.
8. Гравель И. В., Нгуен Т. Н. К., Алексеева Н. А., Тарасенко О. А. // *Фармация.* 2013. №3. С. 24-27.
9. Великанова Н.А., Гапонов С.П., Сливкин А.И. *Экооценка лекарственного растительного сырья в урбоусловиях г. Воронежа.* LAMBERT Academic Publishing, 2013, 211 с.
10. Дьякова Н.А. // *Труды Карельского научного центра Российской академии наук.* 2020. №5. С. 70-79.
11. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. // *Вестник Воронежского государственного университета.* Серия: Химия. Биология. Фармация. 2017. № 1. С. 148-154.
12. Дьякова Н.А. // *Вестник Нижневартковского государственного университета.* 2020. № 1. С. 19–26.
13. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Бобина Е.А., Шишорина Л.А., Селиванова Ю.А. // *Традиционная медицина.* 2021. №.3 (66). С. 33-37.
14. Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Чупандина Е. Е., Гапонов С. П. // *Химия растительного сырья.* 2020. №4. С. 5-13.
15. Баяндина И.И., Загурская Ю.В. // *Сибирский медицинский журнал.* 2014. № 8. с. 107-111.
16. Куркин, В.А. *Фармакогнозия.* Самара, Офорт, 2004, 176 с.
17. *Государственная фармакопея Российской Федерации.* Изд. XIV. Т. 4. Москва, ФЭМБ, 2018. с. 6508-6514.
18. Скальный А.В., Рудаков И.А. // *Вестник Оренбургского государственного университета.* 2005. №2. С. 4-8.
19. Скальный А.В. *Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие.* Москва, Перо, 2019, 294 с.
20. Скальный А.В., Скальная М.Г., Киричук А.А., Тиньков А.А. *Медицинская элементология.* Москва, Наука, 2021, 199 с.

*Воронежский государственный университет
Дьякова Н. А., к.б.н., доц. каф. фармацевтической химии и фармацевтической технологии
E-mail: ninochka_v89@mail.ru*

*Сливкин А. И., д.фарм.н., проф., зав. каф. фармацевтической химии и фармацевтической технологии
E-mail: slivkin@pharm.vsu.ru*

*Voronezh State University
Dyakova N. A., PhD., Associate Prof., pharmaceutical chemistry and pharmaceutical technology dept.
E-mail: Ninochka_V89@mail.ru*

*Slivkin A. Y., PhD., DSci, Full Prof., Head of the pharmaceutical chemistry and pharmaceutical technology dept.
E-mail: slivkin@pharm.vsu.ru*

FEATURES OF ACCUMULATION OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN FLOWER OF COMMON FLORA OF VORONEZH REGION

N. A. Dyakova, A. I. Slivkin

Voronezh State University

Abstract. The available information on the content of elements about medicinal plant raw materials of the Voronezh region showed that studies are carried out mainly on several elements, which does not allow determining the complete chemical composition of plants and describing the specifics of the accumulation

of the entire complex of mineral substances in them. The purpose of the study was to study the features of the accumulation of macro- and microelements in the flowers of the heart-shaped linden. Preparation of medicinal plant raw materials was carried out during the flowering of the plant in the Voronezh State Natural Biosphere Reserve. The microelement of medicinal plant raw materials was determined by mass spectroscopy with inductively coupled plasma on the ELAN-DRC device. It was revealed that the content of the microelement complex is 3.85% in terms of absolutely dry raw materials, 59 elements were determined. Macroelements make up 96.23% of the total elemental composition of the heart-shaped linden flowers. The macroelements are based on potassium (more than 16 mg/g), as well as calcium (more than 14 mg/g). Essential trace elements make up 3.33% of the total mineral complex of heart-shaped linden flowers. Among them, the highest content was noted for silicon (more than 1.0 mg/g), iron (more than 0.1 mg/g). The content of regulated heavy metals and arsenic in the heart linden flowers meets the requirements of regulatory documentation. The proportion of toxic and little-studied elements in the total mineral complex of the heart-linden flowers is 0.44%. The highest content was observed for aluminum (78.8 µg/g), strontium (59.9 µg/g), barium (15.3 µg/g), titanium (11.6 µg/g), rubidium (3.2 µg/g). The high capacity of lipid flowers of the core to accumulate phosphorus, potassium, molybdenum and zinc from the soil, as well as a significant possibility to accumulate strontium, calcium, magnesium, copper and nickel, is shown. The data obtained are of interest and can serve as a basis for further research with the aim of using their results in medical and pharmaceutical practice to create drugs and biologically active additives for correcting physiological norms of element content in the human body.

Keywords: Voronezh region, heart-shaped lipa, trace elements, macro elements, accumulation factors.

REFERENCES

1. Agati G., Tattini M. *New Phytol*, 2010, Vol. 186, pp.786-793.
2. Peer W.A., *Trends Plant Science*, 2007, Vol. 12, pp.556-563.
3. Gudkova A.A., CHistyakova A.S., Slivkin A.I., Sorokina A.A. *Mikroelementy v medicine*, 2019, No. 1, pp. 35-42.
4. Rudaya M.A., Trineeva O.V., Slivkin A.I. *Mikroelementy v medicine*, 2018, No. 3, pp. 49-59.
5. Popov A.I. *Himiko-farmaceuticheskij zhurnal*, 1993, No. 11, pp. 50-52.
6. Gravel' I.V., Ivashchenko N.V., Samylina I.A. *Farmaciya*, 2011, No. 1, pp. 9-11.
7. Gravel' I.V., Lyovushkin D.V., Miheev I.V., Skibina A.A. *Tradicionnaya medicina*, 2021, No. 3, pp. 19-26.
8. Gravel' I. V., Nguen T. N. K., Alekseeva N. A., Tarasenko O. A. *Farmaciya*, 2013, No. 3, pp. 24-27.
9. Velikanova, N.A., Gaponov S.P., Slivkin A.I. *EHkoocenka lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya v urbousloviyah g. Voronezha*. LAMBERT Academic Publishing, 2013, 211 p.
10. D'yakova N.A. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2020, No. 5, pp. 70-79.
11. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: Himiya. Biologiya. Farmaciya, 2017, No. 1, pp. 148-154.
12. D'yakova N.A. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No. 1, pp. 19–26.
13. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Bobina E.A., SHishorina L.A., Selivanova Yu.A. *Tradicionnaya medicina*, 2021, No. 3 (66), pp. 33-37.
14. D'yakova N. A., Slivkin A. I., CHupandina E. E., Gaponov S. P. *Himiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, No. 4, pp. 5-13.
15. Bayandina I.I., Zagurskaya Yu.V. *Sibirskij medicinskij zhurnal*, 2014, No. 8, pp. 107-111.
16. Kurkin V.A. *Farmakognoziya*. Samara, Ofort, 2004, pp. 388-393.
17. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossijskoj Federacii*. Izdanie XIV, 2018, Vol. 2, Moscow, FEMB, pp. 6508-6514.
18. Skal'nyj A.V., Rudakov I.A. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2005, No. 2, pp. 4-8.
19. Skal'nyj A.V. *Mikroelementy: bodrost', zdorov'e, dolgoletie*. Moskva, Pero, 2019, 294 p.
20. Skal'nyj A.V., Skal'naya M.G., Kirichuk A.A., Tin'kov A.A. *Medicinskaya elementologiya*. Moskva, Nauka, 2021, 199 p.