

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЦВЕТКАХ ПИЖМЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ФЛОРЫ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. А. Дьякова, А. И. Сливкин

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 17.02.2022 г.

Аннотация. Исследования элементного состава дикорастущего сырья являются актуальными и значимыми в силу высокой эффективности и биологической доступности металлоорганических их форм, содержащихся в растениях. Имеющиеся сведения о содержании элементов в 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. Цель исследования - изучение особенностей накопления макро- и микроэлементов в цветках пижмы обыкновенной естественного фитоценоза Воронежской области. Заготовку сырья осуществляли в период цветения растения в Воронежском биосферном заповеднике. Микроэлементный состав образцов изучали масс-спектрометрически на приборе «ELAN-DRC». Выявлено, что содержание микроэлементного комплекса составляет 4.2%, определено 59 элементов. Макроэлементы составляют 98% всего элементного состава цветков пижмы обыкновенной. Основу макроэлементов составляет калий (более 29 мг/г), а также кальций (более 5 мг/г). Эссенциальные микроэлементы составляют 1.8% общего минерального комплекса цветков пижмы обыкновенной. Среди них наибольшее содержание отмечено для кремния (более 0.6 мг/г), железа (более 0.06 мг/г). Содержание нормируемых тяжелых металлов и мышьяка в цветках пижмы обыкновенной соответствует требованиям нормативной документации. Доля токсичных и малоизученных элементов в общем минеральном комплексе цветков пижмы обыкновенной составляет 0.19%, наибольшее содержание отмечено для стронция (27.6 мкг/г), рубидия (24.1 мкг/г), алюминия (14.6 мкг/г), титана (9.0 мкг/г), бария (4.2 мкг/г). Показана высокая способность цветков пижмы обыкновенной к накоплению из почвы фосфора, калия, а также значительная возможность к аккумуляции меди, магния, молибдена, никеля, стронция, рубидия. 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, пижма обыкновенная, микроэлементы, макроэлементы, коэффициенты накопления.

В настоящее время широко известна о биологической активности различных химических элементов, для которых установлено наличие тесной связи в физиологической активности с высокомолекулярными веществами. Описано участие макро- и микроэлементов в потенцировании фармакологического действия лекарственных растительных препаратов и стимуляции биосинтеза вторичных метаболитов в растительном организме [1,2]. Содержащиеся в растениях микроэлементы, образуют с биологически активными веществами комплексы органической природы,

которые эффективнее усваиваются в организме человека, чем препараты на основе неорганических соединений. 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 [3-5].

Известно, что лекарственные растения содержат не только эссенциальные элементы, но и различные соединения антропогенного происхождения, среди которых наиболее распространенными являются тяжелые металлы [6-8]. Анализ имею-

щихся данных литературы показал, что элементный комплекс лекарственных растений Центрального Черноземья изучен мало [9-12]. 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 различных элементов, как отдельно существующей геосфере [13-15].

Пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.) – многолетнее, повсеместно встречающееся, травянистое, издревле используемое в медицине растение с выраженным желчегонным и противовоспалительным эффектом. Широкое применение обусловлено богатым химическим составом цветков пижмы обыкновенной, основу которого составляют флавоноиды, органические кислоты, эфирные масла, горькие гликозиды, алкалоиды, а также комплекс макро- и микроэлементов [13,16], в значительной степени определяющийся эколого-геологическими условиями произрастания вида [10,11].

Цель исследования – изучение особенностей накопления макро- и микроэлементов в цветках пижмы обыкновенной естественного фитоценоза Воронежской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Заготовку ЛРС осуществляли по фармацевтическим правилам [16,17] в экологически чистом месте в естественной заросли в период цветения растения (в июле 2020 года) в Воронежском го-

сударственном заповеднике имени В. М. Пескова в Рамонском районе Воронежской области. Цветки пижмы обыкновенной 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, довели объем до 10 мл деионизованной водой, закрывали и перемешивали. Автоматическим дозатором со сменным наконечником отбирали аликвотную часть 1 мл и довели 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.

Таблица 1

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
<i>Макроэлементы</i>				
Калий	29489.1	69.79	10500	2.81
Кальций	5430.9	12.85	19660	0.28
Натрий	38.9	0.09	3300	0.01
Магний	2627.1	6.22	4400	0.60
Фосфор	3822.8	9.05	730	5.24
Всего	41408.8	98.00	38590	-
<i>Эссенциальные микроэлементы</i>				
Ванадий	0.54	0.00128	78	0.01
Железо	62.8	0.14863	19100	<0.01
Кобальт	0.23	0.00054	3.3	0.07
Кремний	641	1.51709	347000	<0.01
Литий	0.599	0.00142	8.5	0.07
Никель	0.98	0.00232	2.3	0.43
Марганец	41.5	0.09822	370	0.11
Медь	2.25	0.00533	3.1	0.73

Таблица 1 (Продолжение)

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
Молибден	0.37	0.00088	0.87	0.43
Селен	0.004	0.00001	8.5	<0.01
Хром	0.17	0.00040	4.2	0.04
Цинк	12.8	0.03029	12	1.07
Всего	763.24	1.81	366590.77	-
Нормируемые токсичные микроэлементы				
Кадмий	0.003	0.00001	0.023	0.13
Мышьяк	0.03	0.00007	0.9	0.03
Ртуть	0.0002	0.0000005	0.05	<0.01
Свинец	0.12	0.000284	4.0	0.03
Всего	0.15	0.00036	4.97	
Другие токсичные и малоизученные элементы				
Алюминий	14.6	0.034555	31100	<0.01
Барий	4.18	0.009893	290	0.01
Бериллий	0.08	0.000189	2.0	0.04
Вольфрам	0.0052	0.000012	0.78	0.01
Висмут	0.002	0.000005	0.11	0.02
Гадолиний	0.007	0.000017	3.0	<0.01
Галлий	0.027	0.000064	8.8	<0.01
Гафний	0.002	0.000005	1.6	<0.01
Германий	0.001	0.000002	1.1	<0.01
Гольмий	0.005	0.000012	0.36	0.01
Диспрозий	0.009	0.000021	2.0	<0.01
Европий	0.004	0.000009	0.65	0.01
Золото	0.0059	0.000014	0.06	0.10
Иттербий	0.001	0.000002	1.1	<0.01
Иттрий	0.006	0.000014	9.9	<0.01
Лантан	0.012	0.000028	18	<0.01
Лютеций	0.001	0.000002	0.16	0.01
Неодим	0.012	0.000028	15.0	<0.01
Ниобий	0.0027	0.000006	6.7	<0.01
Олово	0.037	0.000088	1.2	0.03
Празеодим	0.0024	0.000006	4.1	<0.01
Рубидий	24.1	0.057039	63	0.38
Самарий	0.004	0.000009	3.2	<0.01
Серебро	0.02	0.000047	0.19	0.11
Скандий	0.009	0.000021	50.0	<0.01
Стронций	27.6	0.065322	73.0	0.38
Сурьма	0.014	0.000033	0.41	0.03
Таллий	0.0042	0.000010	0.23	0.02
Тантал	0.0005	0.000001	0.5	<0.01
Теллур	0.003	0.000007	0.1	0.03
Тербий	0.004	0.000009	0.44	0.01
Титан	8.97	0.021230	2400.0	<0.01
Торий	0.003	0.000007	5.4	<0.01
Тулий	0.001	0.000002	0.16	0.01
Уран	0.002	0.000005	1.2	<0.01
Цезий	0.0084	0.000020	2.3	<0.01
Церий	0.017	0.000040	38	<0.01
Цирконий	0.035	0.000083	78	<0.01
Эрбий	0.005	0.000012	1.2	<0.01
Всего	79.8	0.19	34183.95	-

Из табл. 1 видно, что содержание микро-элементного комплекса составляет 4.2%. Масс-спектроскопически определено 59 элементов,

условно разделенных на макроэлементы, содержащиеся в значительных количествах (более 0.1% массы тела); микроэлементы, содержание кото-

рых варьирует в пределах от 0.001 до 0.00001 %. Среди микроэлементов особую группу составляют эссенциальные микроэлементы, для которых установлена роль в обеспечении жизнедеятельности. Токсичные и малоизученные микроэлементы включают элементы, для которых биологическая роль недостаточно изучена, многие из них обладают значительной токсичностью [18-20].

Макроэлементы составляют 98% всего элементного состава цветков пижмы обыкновенной. Основу макроэлементов составляет калий (более 29 мг/г), а также кальций (более 5 мг/г). 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 пижмы обыкновенной к аккумуляции фосфора, а также калия, содержание которых в ЛРС значительно превышает их концентрацию в почвах. С заметной эффективностью, однако, менее 100% от содержания в почве, накапливаются в изучаемом сырье магний и кальций. При этом натрий практически не накапливается в данном виде ЛРС (около 1% от содержания в почве переходит в цветки пижмы обыкновенной).

Эссенциальные микроэлементы составляют 1.8% общего минерального комплекса цветков пижмы обыкновенной. Среди них наибольшее содержание отмечено для кремния (более 0.6 мг/г), железа (более 0.06 мг/г). Ряд убывания содержания эссенциальных микроэлементов в сырье выглядит следующим образом: кремний > железо > марганец > цинк > медь > никель > литий > ванадий > молибден > кобальт > хром > селен. При этом показана высокая способность к аккумуляции из почв в цветках пижмы обыкновенной цинка (коэффициенты накопления 1.07). Эффективно переходит в состав ЛРС также молибден, медь и никель. Кремний, отличающийся высокой концентрацией в составе ЛРС, накапливается в количестве, не превышающем 1% от содержания в почве произрастания вида. Остальные эссенциальные элементы имели также низкие коэффициенты накопления (не более 0.08).

Содержание нормируемых тяжелых металлов и мышьяка в цветках пижмы обыкновенной соответствует требованиям нормативной документации [17]. На долю свинца, ртути, кадмия и мышьяка приходится 0.0003% общего минерального комплекса сырья. Из данной группы элементов в ЛРС в наибольшей степени аккумулируется кад-

мий (коэффициент накопления составил 0.13), остальные элементы накапливаются из почв неактивно – рассчитанные показатели не превышают 0.03.

Доля токсичных и малоизученных элементов в общем минеральном комплексе цветков пижмы обыкновенной составляет 0.19%. Наибольшее содержание отмечено для стронция (27.6 мкг/г), рубидия (24.1 мкг/г), алюминия (14.6 мкг/г), титана (9.0 мкг/г), бария (4.2 мкг/г). Выявлена способность к аккумуляции из почв в цветках пижмы обыкновенной стронция и рубидия (коэффициенты накопления составили 0.38). Остальные элементы аккумулировались в изучаемом ЛРС неактивно (коэффициенты накопления не более 0.1).

ВЫВОДЫ

Результаты исследования показали богатый макро- и микроэлементный состав цветков пижмы обыкновенной, 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, таких микроэлементов как кремний, железо, алюминий. Показана высокая способность цветков пижмы обыкновенной к накоплению из почвы калия и фосфора, а также значительная возможность к аккумуляции меди, магния, молибдена, никеля, стронция, рубидия. Полученные данные представляют 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. DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-1-35-42.
4. Рудая М.А., Тринеева О.В., Сливкин А.И. // *Микроэлементы в медицине.* 2018. №3. С. 49-59. DOI: 10.19112/2413-6174-2018-19-3-49-59.

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., Лёвушкин 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. DOI: 10.17076/eco1150.
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 Нижневартовского государственного университета. 2020. № 1. С. 19–26. DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/04
13. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Бобина Е.А., Шишорина Л.А., Селиванова Ю.А. // Традиционная медицина. 2021. №.3 (66). С. 33-37. DOI: 10.54296/18186173_2021_3_33
14. Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Чупандина Е. Е., Гапонов С. П. // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 5-13. DOI: 10.14258/jcrpm.2020047609.
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 фармацевтического факультета
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 professor.
department of pharmaceutical chemistry and pharmaceutical technology
Ninochka_V89@mail.ru*

*Slivkin A. Y., PhD, Dsci, Full Professor, Head of the pharmaceutical chemistry and pharmaceutical technology department
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. Studies of the elemental composition of wild raw materials are relevant and significant due to the high efficiency and biological availability of organometallic forms contained in plants. 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 is to study the macro- and microelement composition

of common pyjma flowers. 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. The additive method was used to control the correctness of the determination. It was revealed that the content of the microelement complex is 4.2% in terms of absolutely dry raw materials, 59 elements were determined. Macroelements make up 98% of the total elemental composition of common pyjma flowers. The base of the macroelements is potassium (more than 29 mg/g), as well as calcium (more than 5 mg/g). Essential trace elements make up 1.8% of the total mineral complex of common pyjma flowers. Among them, the highest content was noted for silicon (more than 0.6 mg/g), iron (more than 0.06 mg/g). The content of regulated heavy metals and arsenic in the flower of common pyjma meets the requirements of regulatory documentation. The proportion of toxic and poorly studied elements in the total mineral complex of common pyjma flowers is 0.19%, the highest content was noted for strontium (27.6 µg/g), rubidium (24.1 µg/g), aluminum (14.6 µg/g), titanium (9.0 µg/g), barium (4.2 µg/g). The high ability of common pyjma flowers to accumulate phosphorus, potassium from soil is shown, as well as a significant possibility to accumulate copper, magnesium, molybdenum, nickel, strontium, rubidium, calcium. 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, common pajma, 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. DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-1-35-42.
4. Rudaya M.A., Trineeva O.V., Slivkin A.I. *Mikroelementy v medicine*, 2018, No. 3, pp. 49-59. DOI: 10.19112/2413-6174-2018-19-3-49-59.
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. DOI: 10.54296/18186173_2021_3_19.
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. DOI: 10.17076/eco1150.
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. DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/04
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. DOI: 10.54296/18186173_2021_3_33
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. DOI: 10.14258/jcprm.2020047609.
15. Kurkin V.A. *Farmakognosiya*. Samara, Ofort, 2004, pp. 388-393.
16. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossijskoj Federacii. Izdanie XIV*, 2018, Vol. 2, Moscow, FEMB, pp. 6508-6514.
17. Bayandina I.I., Zagurskaya Yu.V. *Sibirskij medicinskij zhurnal*, 2014, No. 8, pp. 107-111.
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.