

УДК 615.326: 582.374.22

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВИДОВ РОДА EQUISETUM L.**¹Коломиец Н.Э., ²Агеева Л.Д., ¹Абрамец Н.Ю.**¹ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск, e-mail: borkol47@mail.ru:²СТИ НИЯУ «МИФИ», Северск

Проведено исследование элементного состава 10 видов рода хвощ флоры Сибири с использованием нейтронно-активационного и рентгено-флуоресцентного методов анализа. Установлено присутствие 38 химических элементов. У видов, систематически близких внутри одного подрода, отмечен сходный элементный состав. Выявлены элементы, которые наряду с фенольными соединениями можно рассматривать в качестве дополнительного хемотаксономического маркера для рода, подродов и отдельных видов. Определены виды, богатые кремнием, марганцем, железом, медью, цинком, которые в дальнейшем можно использовать для создания на основе их биологически активных комплексов препаратов для коррекции минерального баланса. Содержание тяжелых металлов, таких как свинец, мышьяк, кадмий, в хвощах не превышает предельно допустимые концентрации и соответствует требованиям Сан Пин 2.3.2.1078-01.

Ключевые слова: хвощи, элементы, таксономические маркеры, препараты растительного происхождения**ELEMENTAL COMPOSITION OF SPECIES EQUISETUM L.****¹Kolomiets N.E., ²Ageeva L.D., ¹Abramets N.Y.**¹Medical University «Siberian State Medical University», Tomsk, e-mail: borkol47@mail.ru;²STI NRNU «MEPI», Seversk

A study of the elemental composition of 10 species of flora horsetail Siberia using neutron activation and X-ray fluorescence analysis methods. Established the presence of 38 chemical elements. In the systematically closely related species within a single subgenus, installed a similar elemental composition. Identified items that as phenolic compounds, can be considered an additional chemotaxonomic marker for the genus, subgenera and species. A horsetail species which contain a lot of silicon, manganese, iron, copper and zinc were identified. These species can then be used to create on the basis of their biologically active complexes preparations for the correction of mineral balance. The content of heavy metals such as lead, arsenic, cadmium assembly does not exceed the maximum allowable concentrations and meets the sanitary requirements 2.3.2.1078-01.

Keywords: horsetails, elements, taxonomic markers, herbal drugs

Комплексное изучение химического состава растений является наиболее полным, если оно проводится с учетом всех содержащихся в растениях групп биологически активных веществ, в том числе и элементного состава, исследование которого представляет интерес с различных точек зрения. С одной стороны, макро- и микроэлементы являются биологически активными веществами растений, играющими большую роль в жизнедеятельности организмов, проявляя, как самостоятельный фармакологический эффект, так и потенцируя свойства биологически активных комплексов (БАК) растений. С другой стороны, растения – чувкие индикаторы геохимической среды, способные аккумулировать элементы из разных частей биосферы в зависимости от характера загрязнения. Вследствие этого уровни накопления химических элементов являются показателями степени экологической чистоты лекарственного сырья, на основании которых можно говорить о возможности использования его в качестве источника для получения препаратов [6, 7]. Немаловажным фактором является и то, что состав элементов в растениях рассматривается

в систематике как общепризнанный дополнительный хемотаксономический признак. Это подтверждается накопленными данными, доказывающими связь между систематическим положением и способностью концентрировать определенные элементы отдельными видами, родами и семействами (например, хлор для рясок, молибден для бобовых, йод для красных водорослей, кремний для хвощей и т.д.) [1, 6, 7].

Объектом нашего исследования являются виды рода *Equisetum* L. – представителя ископаемых растений, насчитывающего по оценкам разных систематиков от 12 до 38 видов. В настоящее время, из всего рода хвощ только хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.) является официальным лекарственным растением. В то же время большинство других хвощей, которые на протяжении длительного времени успешно используются в народной медицине, гомеопатии, ветеринарии, косметологии и сельском хозяйстве, до сих пор не используются в медицинской практике. В связи с этим особое значение приобретает комплексное изучение химического состава хвощей для определения возможности равноценной замены официально-

го вида; расширения областей применения официального вида; определения возможных направлений использования хвощей в медицине; установления взаимосвязи биологическая активность / компонентный состав; уточнения систематического положения; диагностики видов на основании данных о химическом составе [3].

Как было показано нами ранее, с точки зрения химического состава род хвощ представляет интерес, так как с одной стороны, обнаруженные в хвощах 5-гидроксифлавоны и дигалогенсодержащие флавоноиды редко встречаются в природе и характерны в основном для микроорганизмов и примитивных растений, стоящих в филогенетическом отношении на низшей ступени развития. С другой – некоторые хвощи имеют разнообразный состав флавоноидов, характерный для молодых, продвинутых в систематическом отношении видов. Таким образом, оба этих обстоятельства свидетельствуют о связи между высшими и низшими растениями, а индивидуальные отличия в комбинациях содержащихся соединений указывают на видовую самостоятельность хвощей в рамках единого таксона и предоставляют дополнительную возможность решения спорных вопросов систематики рода. Кроме того, некоторые обнаруженные вещества можно использовать в качестве хемотаксономических маркеров отдельных видов и подродов [3, 9]. Наиболее изученным элементом в хвощах является кремний [1, 3, 4]. При этом ранее нами было установлено, что виды подрода *Hippochatae* Milde превосходят виды подрода *Equisetum* Sad. по содержанию кремния в 2–3 раза, что соответствует их морфологической характеристике, согласно которой стебли большинства видов этого подрода очень жесткие [3, 4].

Роль фенольных соединений и соединений кремния, содержащихся в хвощах, в обеспечении разных видов активности была показана нами экспериментально, что позволило определить направления поиска перспективных видов в рамках рода и подродов [3]. Кроме того, учитывая опыт народной медицины, экспериментальные данные, мы предполагаем возможность разработки на основе БАК хвощей экстракционных препаратов для дополнения и усиления действия противотуберкулезных средств, препаратов для профилактики и лечения заболеваний опорно-двигательной системы, в возникновении которых немаловажную роль играют дефицит макро- и микроэлементов [5, 8, 10–12]. В связи с этим целью данного исследования состояла в определении элементного состава видов рода хвощ.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись 10 дикорастущих видов рода хвощ, собранных на территории Красноярского края, Томской, Новосибирской, Кемеровской, Иркутской и Омской областей. Сырье сушили воздушно-теньевым способом. Определение количества и состава элементов проводили на 6 образцах в 5 биологических повторностях нейтронно-активационным и рентгено-флуоресцентным методами. Сырье сушили воздушно-теньевым способом, измельчали до частиц размером менее 1 мм и подвергали озолению в фарфоровых тиглях по общепринятой методике ГФ XI [2]. В качестве сравнения использовали стандартный образец травосмеси Tr-1 (ГСО 8922-2007) СО КООМЕТ 0066-2008-RU. Контроль проводили методом добавок. Уровень значимости результатов соответствует доверительной вероятности событий $P > 0,95$. Для статистической обработки данных использовали программу Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Как следует из результатов исследования, приведенных в таблице в видах рода хвощ присутствуют более 35 макро- и микроэлементов, среди которых токсичные (ртуть, сурьма, барий, стронций, бром, свинец), биогенные и очень редкие элементы (золото, серебро, уран, талий). Сравнение состава выявленных в хвощах элементов показывает, что оно сходно. Однако по уровням содержания элементов некоторые виды существенно отличаются друг от друга, подтверждая данные литературы о том, что содержание химических элементов у растений возрастает от самых примитивных видов к систематически более молодым. В частности, наименьшие уровни содержания элементов отмечены у примитивных видов подрода *Hippochatae* Milde, наибольшие – у филогенетически молодых видов подрода *Equisetum* Sad. Величина разности средних арифметических содержания элементов у систематически близких видов незначительна (например, в парах: х. полевой и х. болотный; х. зимующий и х. камышковый), тогда как между систематически отдаленными видами большая (х. полевой и х. камышковый).

Общей тенденцией для рода является накопление, наряду с кремнием, таких элементов как кальций, натрий, железо, цинк. Отличия заключаются в преобладании у видов подрода *Hippochatae* Milde (х. зимующий, х. камышковый, х. раскидистый, х. ветвистый) в 2 раза таких элементов как кремний, никель, кобальт и в 2–4 раза цинка и меди. Для видов подрода *Equisetum* Sad. (х. полевой, х. луговой, х. лесной, х. приречный, х. болотный, х. береговой) характерно при относительно незначительном содержании кремния более значительное накопление хрома, марганца, превосходящее в два раза виды другого

подрода. Мы сравнили полученные уровни содержания некоторых элементов в хвощах с нормами адекватного суточного потребления, принятыми в Российской Федерации. При этом было установлено, что все виды рода содержат 10–13% дневной нормы селена, а концентрация железа в хвощах превосходит дневную норму в 3–10 раз. Представители подрода *Hippochatae* Milde способны удовлетворить суточную потребность в кремнии на 200%; в марганце

на 90–120%; меди на 28–300%, в кальции на 2%; в магнии на 1,5%. Цинк в разных видах этого подрода содержится в концентрациях, превосходящих дневную норму в 5–7 раз. Виды подрода *Equisetum* Sad. содержат 2,3–3,5% от дневной нормы кальция; 49,0–63% кремния; магния 1–1,5%; цинка 30–292%. Уровни «индикаторных» для этого подрода элементов составляют: хром 660% от суточной потребности, марганец от 150 до 375%.

Элементный состав растений рода хвощ

Элементы	Подрод <i>Equisetum</i> Sad.						Подрод <i>Hippochatae</i> Milde			
	<i>Equisetum arvense</i>	<i>Equisetum pratense</i>	<i>Equisetum sylvaticum</i>	<i>Equisetum fluviatile</i>	<i>Equisetum palustre</i>	<i>Equisetum x litorale</i>	<i>Equisetum hyemale</i>	<i>Equisetum scirpoides</i>	<i>Equisetum variegatum</i>	<i>Equisetum ramosissimum</i>
K, %	0,44	0,18	0,60	5,00	0,24	5,07	0,35	0,23	0,34	0,30
Na, %	0,15	0,19	0,17	0,19	0,19	0,15	0,20	0,18	0,20	0,20
Ca, %	0,41	0,73	0,66	0,75	0,80	0,81	1,02	0,86	0,91	1,00
Si, %	1,31	1,05	1,07	1,19	1,23	1,36	4,04	3,31	3,53	3,44
Mg, %	0,89	0,72	0,87	0,83	0,86	0,91	0,78	0,64	0,59	0,67
B, %	0,45	0,39	0,56	0,47	0,42	0,55	0,089	0,093	0,11	0,095
Fe, %	1,65	1,88	1,37	1,46	5,69	2,61	5,28	0,44	0,92	0,47
Br, мг/т	2,90	1,86	1,73	2,36	2,24	1,56	2,49	1,70	1,93	1,87
Co, мг/т	0,50	1,43	1,72	2,15	1,52	1,05	1,07	1,05	0,89	0,69
La, мг/т	0,69	0,36	0,64	0,49	0,51	0,40	0,28	0,38	0,29	0,31
Mn, мг/т	1,80	4,33	30,1	5,36	3,21	3,77	2,51	2,40	2,02	1,80
Rb, мг/т	1,04	2,46	1,63	2,17	2,11	1,11	0,21	0,55	0,73	0,43
Pb, мг/т	0,50	1,15	1,72	2,15	1,52	0,25	1,54	0,42	0,66	0,01
Se, мг/т	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Sr, мг/т	4,57	4,84	3,91	3,25	3,44	3,01	2,97	1,90	1,00	1,40
Sb, мг/т	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Ta, мг/т	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,052	0,072	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cr, мг/т	0,33	< 1,43	0,52	< 1,72	< 1,52	< 1,42	0,83	0,31	0,50	0,45
Cu, мг/т	0,28	0,67	1,33	1,52	0,59	1,35	2,45	3,42	1,15	5,00
Sc, мг/т	0,53	0,26	0,25	0,24	0,30	0,33	0,11	0,17	0,18	0,12
Sb, мг/т	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Nd, мг/т	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Ni, мг/т	0,33	2,42	2,80	3,33	1,99	3,33	4,67	4,66	4,26	4,89
Cs, мг/т	1,2	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	0,69	0,82	0,71	0,74
Ag, мг/т	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Ba, мг/т	51,40	76,60	61,91	75,62	85,04	55,67	66,83	55,11	53,10	57,02
Au, мг/т	0,024	0,014	0,018	0,014	0,015	0,014	0,009	0,010	0,009	0,004
Sm, мг/т	0,14	0,062	0,067	0,074	0,072	0,070	0,077	0,072	0,078	0,078
Eu, мг/т	0,045	0,040	0,025	0,032	0,035	0,028	0,029	0,010	0,011	0,022
Hg, мг/т	< 1,0	< 1,0	< 1,0	5,20	5,10	< 1,0	2,90	< 1,0	< 1,0	< 1,0
U, мг/т	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Ce, мг/т	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,78	0,94	< 0,2	0,46	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Zn, мг/т	6,32	6,21	7,55	0,72	3,61	0,91	13,35	12,30	12,21	13,40
Tb, мг/т	0,023	0,017	0,023	0,021	0,023	0,021	0,020	0,009	0,0017	0,0056
Yb, мг/т	< 0,009	0,043	0,062	0,057	0,069	< 0,009	0,046	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Lu, мг/т	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,013	0,016	< 0,002	0,011	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Hf, мг/т	0,21	0,10	0,15	0,18	0,14	0,10	0,11	0,09	0,08	0,088
Th, мг/т	0,15	0,12	0,14	0,09	0,11	0,09	0,085	0,06	0,08	0,09

Содержание в хвощах токсичных элементов, таких как свинец, мышьяк, кадмий, не превышает предельно допустимые концентрации ПДК БАД на основе чистых субстанций (витамины, минеральные вещества, органические кислоты и др.) по «Гигиеническим требованиям безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01».

Выводы

Проведенное исследование позволило идентифицировать в хвощах 38 химических элементов. Содержание свинца, мышьяка, кадмия не превышает предельно допустимые концентрации и соответствует требованиям Сан ПиН 2.3.2.1078-01. Установлено, что систематически близкие виды имеют сходный элементный состав. Выявлены элементы, которые наряду с фенольными соединениями, можно рассматривать в качестве дополнительного хемотаксономического маркера для рода, подродов и отдельных видов. Определены виды богатые кремнием, марганцем, железом, медью, цинком, которые в дальнейшем можно использовать для создания на основе их БАК препаратов для коррекции минерального баланса.

Список литературы

1. Воронков М.Г., Кузнецов И.Г. Кремний в живой природе. – Новосибирск: Наука, 1984. – 157 с.
2. Государственная фармакопея СССР. Вып.1. Общие методы анализа / МЗ СССР. – 11-е изд., доп. – М.: Медицина, 1987. – 335 с.
3. Коломиец Н.Э., Калинин Г.И. Растения рода Хвощ (EQUISETUM L.). Систематика, химический состав, перспективы использования в медицине. – Томск: Печатная мануфактура, 2009. – 88 с.
4. Коломиец Н.Э., Калинин Г.И. Количественное определение кремния в хвощах // Фармация. – 2009. – № 3 – С. 13–15.
5. Bone Health and Osteoporosis A Report of the Surgeon General Office of the Surgeon General (US). Rockville (MD): Office of the Surgeon General (US), 2004. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK45513>.
6. Cronquist A. Chemistry in plant taxonomy: An assessment of where we stand // Chemosyst.: Princ. and Pract. / Eds. F.A.Bisby, J.G.Vaughan, C.A.Wright. – London, 1980. – P. 1–27.
7. Erdtman H.G.H. Chemical principles in chemosystematics // Recent advances in phytochemistry / Eds. T.J. Mabry, R.E. Alston, V.C. Runeckles. – N-Y., 1968. – Vol. 1. – P. 263–268.
8. Ghulam H., Kadri S. M., Manzoor A., Waseem Q., Aatif M.S., Khan G.Q., Manish K. Status of zinc in pulmonary tuberculosis // J. Infect. Dev. Ctries. – 2009. – № 3(5). – P. 365–368.

9. Kolomiets N.E., Yusubov M.S., Kalinkina G.I. Flavonoid composition of Equisetum arvense and E. x litorale studied by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry // Chemistry of natural compounds. – 2012. – Vol. 48. – № 1. – P. 135–136.

10. He H., Bleby T.M., Veneklaas E.J., Lambers H., Kuo J. Precipitation of calcium, magnesium, strontium and barium in tissues of four Acacia species (Leguminosae: Mimosoideae) // PLoS One. – 2012. – № 7(7). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3405136/pdf/pone.0041563.pdf>.

11. Madhu R. et al. Plants based drugs against Tuberculosis infection Novel Science // International Journal of Medical Science. – 2012. – № 1(5). – P. 148–154.

12. Newham R.E. Essentiality of Boron for Healthy Bones and Joints // Environmental Health Perspectives. – 1994. – Vol. 102. – № 7. – P. 83–85.

References

1. Voronkov M.G., Kuznetsov I.G. *Kremniy v zhivoy prirode* [The silicon in wildlife]. – Novosibirsk: Nauka, 1984. – 157 p.
2. *Gosudarstvennaya farmakopeya SSSR* [Pharmacopoeia USSR]. – M.: Medicine, 1987. – 335 p.
3. Kolomiets N.E., Kalinkina G.I. *Rasteniya roda Khvoshch (EQUISETUM L.). Sistematika, khimichesky sostav, perspektivy ispolzovaniya v meditsine* [Systematics, chemical composition, prospects for application in medicine]. – Tomsk: Print Manufactory, 2009. – 88 p.
4. Kolomiets N.E., Kalinkina G.I. *Pharmacy*, 2009, no. 3, pp. 13.
5. *Bone Health and Osteoporosis* (2004), available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK45513>.
6. Cronquist A. *Chemistry in plant taxonomy: An assessment of where we stand*, In: F.A. Bisby et al. *Chemosystematics: Principles and Practices*, Academic Press, London, 1980. pp. 1–27.
7. Erdtman H.G.H. *Chemical principles in chemosystematics*, In: T.J. Mabry, R.E. Alston, V.C. Runeckles, eds., *Recent advances in phytochemistry*, N-Y., 1968, Vol. 1, pp. 263–268.
8. Ghulam H., Kadri S.M., Manzoor A., Waseem Q., Aatif M.S., Khan G.Q. and Manish K.J. *Infect. Dev. Ctries*, 2009, no. 3(5), pp. 365–368.
9. Kolomiets N.E., Yusubov M.S., Kalinkina G.I. *Chemistry of natural compounds*, 2012, Vol. 48, no. 1, pp. 135.
10. He H., Bleby T.M., Veneklaas E.J., Lambers H., Kuo J. *PLoS One*, 2012, no. 7 (7), available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3405136/pdf/pone.0041563.pdf>.
11. Madhu R. et al. *International Journal of Medical Science*, 2012, no. 1 (5), pp. 148–154.
12. Newham R.E. *Environmental Health Perspectives*, 1994, vol. 102, no. 7, pp. 83–85.

Рецензенты:

Ермилова Е.В., д.фарм.н., заведующая кафедрой фармацевтической химии, ГБОУ ВПО СибГМУ, г. Томск;

Новожеева Т.П., д.б.н., профессор кафедры фармакогнозии с курсами ботаники и экологии, ГБОУ ВПО СибГМУ, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 28.07.2014.