

УДК 615.074

ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТНОГО ПРОФИЛЯ ЛИСТЬЕВ, КОРНЕЙ, СЕМЯН И СУХИХ ЭКСТРАКТОВ *ARCTIUM LAPPА* И *ARCTIUM TOMENTOSUM*

© Н.Э. Коломиец^{1,2*}, Р.С. Боев³, Л.В. Жалнина¹, Али Абдуджалил Каид Хасан¹, А.А. Марьин²

¹ Сибирский государственный медицинский университет, Московский тракт, 2/7, Томск, 634050, Россия, borkol47@mail.ru

² Кемеровский государственный медицинский университет, ул. Ворошилова, 22, Кемерово, 650056, Россия

³ ООО «Вистерра», ул. Заозёрная, 2, Алтайское, 659650, Россия

Изучение элементного состава растений имеет важное значение с точки зрения дополнения имеющихся в литературе данных, определении перспектив их использования в качестве сырьевых источников для получения лекарственных средств, БАДов, продуктов функционального питания и т.д. С другой стороны, использование перспективного растительного сырья может быть затруднено из-за проблем с его качеством и безопасностью, которая является следствием превышения допустимых пределов содержания радионуклидов, тяжелых металлов и других ксенобиотиков.

Определен состав и содержание макро- и микроэлементов, в том числе тяжелых металлов в семенах, корнях и листьях *A. lappa* и *A. tomentosum*, культивируемых и дикорастущих в Томской области и Алтайском крае, а также сухих экстрактах из культивируемых и дикорастущих корней и листьев *A. tomentosum*, произведенные ООО «Вистерра». Элементный состав определен методами нейтронно-активационного анализа и пламенной фотометрии.

В дикорастущих и культивируемых видах, экстрактах установлено содержание 31 элемента. По содержанию калия *A. lappa* и *A. tomentosum* можно отнести к растениям-концентраторам калия. Листья, корни и семена различаются по содержанию отдельных элементов в разрезе места произрастания, морфологической группы растения и видовой принадлежности. Все образцы корней, семян, листьев, сухих экстрактов из культивируемого сырья по содержанию Cd, As соответствуют требованиям ОФС, СанПиН.

Ключевые слова: *Arctium lappa*, *Arctium tomentosum*, корни, листья, семена, сухие экстракты, элементный состав, калий.

Для цитирования: Коломиец Н.Э., Боев Р.С., Жалнина Л.В., Али Абдуджалил Каид Хасан, Марьин А.А. Оценка элементного профиля листьев, корней, семян и сухих экстрактов *Arctium lappa* и *Arctium tomentosum* // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. xxx–xxx. DOI: 10.14258/jcprm.20240212998.

Введение

Лопух большой и лопух войлочный – виды, наиболее широко распространенные на территории Российской Федерации в дикорастущем виде. Наряду с этим вследствие большой потребности в сырье, возможности создания контролируемых условий выращивания и последующего сбора производителями БАДов, продуктов функционального питания, косметики, кормов, премиксов эти виды лопуха введены в промышленную культуру.

Оценку перспективности тех или иных растений в качестве пищевых, лекарственных, кормовых проводят на основании данных о составе первичных и вторичных метаболитов, фармакологической активности, определяемых как традиционными классическими методами *in vitro* и *in vivo*, так и современными методами *in silico*. Однако использование растительного сырья может быть затруднено из-за проблем с его безопасностью для организма человека и животных. В данном контексте подразумевается превышение допустимых пределов содержания в сырье радионуклидов, элементов из группы тяжелых металлов и других ксенобиотиков. Нормирование их содержания отражено в соответствующих стандартах (ОФС Государственной фармакопеи РФ, ГОСТ, ОСТ, СанПиН и др.).

* Автор, с которым следует вести переписку.

Задачами производителей является гарантия безопасности сырья, готовой продукции и обеспечение стандартизованного содержания биологически активных веществ. Поэтому вопросы изучения состава элементов, включая тяжелые металлы (ТМ), с практической точки зрения являются важной научно-практической задачей.

Обзор публикаций по элементному составу, содержанию тяжелых металлов в различных морфологических группах сырья видов рода *Arctium L.*, в отечественной и зарубежной литературе показал незначительное число подобных работ, а аналогичная оценка для семян и сухих экстрактов промышленного производства вообще отсутствует [1–6].

Так, в обзорной статье, посвященной роду *Arctium L.* [1], представлена обобщенная информация по содержанию элементов в лопухе войлочном отечественных и зарубежных авторов без оценки уровней их содержания и мест заготовки.

В публикации [2] авторы приводят результаты исследования дикорастущих листьев и корней первого года, экстрактов из лопуха войлочного, произрастающего в Новосибирской области, без уточнения количества образцов и района заготовки. Экстракты авторы получали в лабораторных условиях на кипящей водяной бане, трехкратной экстракцией в течение 30 мин, с использованием в качестве экстрагента 40% этанола. Авторами методами масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой на «ELAN-DRC» установлено присутствие 64 элементов. Было сделано заключение о перспективности лопуха войлочного как «...перспективного источника макро- и микроэлементов». При этом сравнение проведено с «...требованиями стандарта для чая».

В публикации [3] авторы приводят результаты определения 9 эссенциальных и токсичных элементов в нескольких промышленных образцах сырья, в том числе корнях лопуха (без уточнения производителя, серии, вида) методами спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре «Varian 720-ES» и атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией на «Varian AA 240». При этом анализ промышленных образцов корней лопуха показал, что в образцах, соответствующих требованиям Государственной фармакопеи по содержанию суммы полисахаридов, обнаруживается превышение допустимых пределов по содержанию Fe и Al. Сравнение полученных данных проведено с экстраполяцией на нормы ОФС ГФ XIII, а также на «рекомендованный ежедневный уровень потребления».

В статье [4] исследован минеральный комплекс корней лопуха обыкновенного, заготовленного в октябре в Воронежском биосферном заповеднике. Установлено присутствие 49 элементов. Авторы делают заключение о «богатом макро- и микроэлементном составе корней лопуха обыкновенного, что может быть использовано в медицинской и фармацевтической практике создания лекарственных препаратов и биологически активных добавок для коррекции физиологических норм содержания элементов в организме человека». Сравнение норм тяжелых металлов и мышьяка авторы проводили с ОФС ГФ XIV.

В статье этих же авторов исследован 51 образец корней лопуха обыкновенного, заготовленного в конце апреля – начале мая в зонах с техногенной нагрузкой на предмет содержания тяжелых металлов и мышьяка. Авторы делают заключение о формировании экотипа и проявлении адаптации к условиям загрязнения. Сравнение с нормативной документацией авторы приводят по содержанию Pb, Hg, Cd, As [5].

В недавно опубликованном зарубежном обзоре Wang D. с соавт. по роду *Artium L.* на фоне большого числа данных о первичных и вторичных метаболитах информации по содержанию элементов в этих видах рода *Artium L.* не содержится [6].

Методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии в листьях лопуха большого, произрастающего на территории Алтайского края (в г. Барнауле, Хабарском, Первомайском, Смоленском районах в период с 2001 по 2005 год с июня по сентябрь), установлено содержание железа (128.40 мг/кг), кобальта (2.59 мг/кг), никеля (1.48 мг/кг), цинка (7.4 мг/кг), меди (7.4 мг/кг). Автором проведено определение свинца, кадмия, мышьяка и ртути в соке, экстракте, полученных в лабораторных условиях. В результате оценки установлено, что содержание кадмия, ртути, мышьяка и свинца не превышает допустимых НД уровней [7].

В работах [8, 9] проводилась оценка содержания тяжелых металлов, хлорорганических пестицидов и полихлорбифенилов в сырье и отварах корней лопуха, заготовленных в Рубцовском районе Алтайского края, при этом в работах не уточнена видовая принадлежность и месяц(ы) заготовки сырья. Настои и отвары авторы готовили в лабораторных условиях по ГФ XI.

Фрагментарность сведений о составе макро- и микроэлементов корней, семян, листьев *Arctium lappa*, *Arctium tomentosum*, сухих экстрактов промышленного производства, оценки безопасности экстрактов, реализуемых на потребительском рынке России и стран СНГ по содержанию некоторых тяжелых металлов, послужили основанием и целью настоящего исследования.

Экспериментальная часть

Изучены дикорастущие и культивируемые корни, семена и листья *Arctium lappa*, *Arctium tomentosum*, собранные в разные годы и периоды вегетации на территории Алтайского края – с. Алтайское и Томской области – с. Тимирязевское. Характеристика образцов представлена в таблице 1. Листья и семена были высушены воздушно-теньевым способом. Корни после заготовки очищали от земли, подвяливали на солнце, нарезали на куски длиной 10–15 см. Сухие водные экстракты листьев и корней получены из свежего дикорастущего и культивируемого сырья методом мацерации на батарее из 3 перколяторов по оригинальной технологии на производственной площадке ООО «Вистерра» (Алтайский край, с. Алтайское). Полученные экстракты высушивали с помощью вакуумных лиофильных сушилок при температуре 40–45 °С, стерилизовали при 100–120 °С.

Определение элементного состава в растительных образцах проводили в зольном остатке, полученном из растительных образцов по методике Государственной фармакопеи РФ XIV издания [10]. Полученная зола исследована методами нейтронно-активационного анализа (НАА) – высокочувствительный метод, широко используемый в РФ и за рубежом в разных областях исследований, в том числе экологических, медицинских, биологических и методом пламенной фотометрии (ПФ) – один из видов атомно-эмиссионной спектрометрии, для которого также характерны высокая чувствительность, быстрота, точность [11, 12].

Навески золы вместе со стандартными веществами облучали в вертикальном канале потоком тепловых нейтронов в течение 12 ч на анализаторной системе производства фирмы «CANBERRA» с детектором из чистого германия типа GX-3518. Контрольный замер короткоживущих изотопов (Sm, Ca, Lu, U, Yb, Au, As, Sb, Br, Na, La) проводили через 7–9 сут., долгоживущих (Ce, Th, Cr, Hf, Ba, Sr, Ag, Cs, Sc, Rb, Fe, Zn, Ta, Co, Eu) – через 25 сут. При определении элементов использовали стандартные образцы: TP-1; ЛБ-1; ХСС-1. Результаты определения химических элементов в стандартах укладывались в аттестованные значения.

Содержание натрия и калия определяли в режиме эмиссии методом пламенной фотометрии на двухлучевом атомно-абсорбционном спектрометре «ThermoSolaar M5 Mkl» фирмы «ThermoElectron», США.

Обсуждение результатов

Определение спектра элементов, зависящее, прежде всего, от возможностей прибора, носит больше фундаментальный характер. Полученные данные позволяют восполнить недостаток информации и/или дополнить имеющуюся в литературе, например, по новым видам, известным видам из разных регионов, фазам вегетации, способам выращивания, агротехники, воздействию факторов окружающей среды и т.д. [13–17]. С прикладной точки зрения исследователей и практиков интересует содержание тяжелых металлов, так как их содержание влияет на безопасность готовой продукции для потребителей, разработки научно обоснованных норм их предельного содержания в исходном сырье [18–21].

Таблица 1. Характеристика образцов

№	Вид лопуха	Часть растения	Дата и место заготовки / производства
1	Л. войлочный дикорастущий	семена	октябрь, 2020 г. / с. Алтайское
2	Л. большой культивируемый	семена	сентябрь, 2019 г. / с. Алтайское
3	Л. большой дикорастущий	семена	сентябрь, 2019 г. / с. Алтайское
4	Л. войлочный дикорастущий	корни	август, 2020 г. / с. Тимирязевское
5	Л. большой дикорастущий	корни	сентябрь, 2020 г. / с. Алтайское
6	Л. большой культивируемый	корни	сентябрь, 2020 г. / с. Алтайское
7	Л. войлочный дикорастущий	корни	сентябрь, 2020 г. / с. Алтайское
8	Л. войлочный дикорастущий	листья	август, 2020 г. / с. Алтайское
9	Л. войлочный дикорастущий	листья	август 2020 г. / с. Тимирязевское
10	Л. большой культивируемый	листья	сентябрь, 2020 г. / с. Алтайское
11	Л. большой дикорастущий	листья	сентябрь, 2020 г. / с. Алтайское
12	Сухой экстракт корней лопуха войлочного культивируемого	корни	сентябрь, 2020 г.
13	Сухой экстракт корней лопуха войлочного дикорастущего	корни	сентябрь, 2020 г.
14	Сухой экстракт листьев лопуха войлочного дикорастущего	листья	август, 2020 г.

Следует отметить, что зарубежными фармакопеями (European Pharmacopoeia, US Pharmacopoeia) регламентируется содержание 8–15 металлов (свинец, медь, серебро, ртуть, кадмий, висмут, рутений, золото, платина, палладий, ванадий, мышьяк, сурьма, олово, молибден) [22, 23]. В отличие от них в РФ ОФС 1.5.3.0009.15 «Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах» ГФ РФ XIV нормирует содержание только четырех – Pb, Cd, Hg и As [10]. Эти же элементы нормируются СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» [24]. При оценке уровней содержания некоторых тяжелых металлов в сырье и сухих экстрактах с учетом возможных перспективных областей использования сырья и готовой продукции на их основе нами использованы нормы, приведенные в ОФС ГФ 14, соответствующих разделах СанПиН.

Во всех образцах дикорастущего и культивируемого сырья, сухих экстрактах установлено наличие 31 элемента (табл. 2–4). Сравнение набора элементов в корнях, листьях, семенах показывает их идентичность на фоне разного содержания отдельных элементов. В отдельных случаях разница в содержании может составлять 1.6–518 раз.

Например, листья *Arctium lappa*, *Arctium tomentosum* из разных регионов отличаются по содержанию Ca, K, Na, Fe Co, Cr, Br, Ba, Hf, Eu, Ta, La, Lu, Rb, Sm, Ag, Sc, Sr, Sb, Th, U, Cs, Ce.

Также для всех образцов сырья (семена, листья, корни), экстрактов отмечены высокие концентрации такого элемента как калий. В корнях этот элемент содержится на уровне 21.7–35.8%, в листьях – 22–46.6%, в семенах – 11.5–18.7%, что в отдельных случаях не уступает, а иногда и превосходит такие известные калийконцентрирующие растения как папоротники (35.4%) [25].

Таблица 2. Элементный состав семян, листьев *Arctium lappa*, *Arctium tomentosum*

Элементы	Листья				Семена			ПДК, мг/кг / литература
	Л. войлочный		Л. большой		Л. большой		Л. войлочный	
	9	8	11	10	2	3	1	
Ca	12.11±1.1	6.65±0.6	11.62±0.1	12.02±1.0	11.18±1.0	15.38±1.4	18.77±1.7	–
K	29.49±2.6	46.60±0.4	22.08±0.2	26.66±2.2	11.49±1.1	18.69±1.7	13.58±1.3	–
Na	0.16±0.014	2.47±0.2	0.31±0.03	0.38±0.02	0.55±0.05	0.51±0.04	0.39±0.03	–
Fe	0.31±0.03	0.04±0.003	0.20±0.02	0.27±0.02	1.07±0.1	0.17±0.02	0.21±0.02	–
Co	0.08±0.007	2.39±0.2	1.38±0.1	1.46±0.1	4.53±0.3	0.63±0.05	1.18±0.1	–
Cr	7.30±0.6	4.44±0.4	5.89±0.5	5.55±0.4	46.37±4	8.54±0.7	11.88±1.1	–
Zn	154.05±14	90.05±0.9	0.20±0.02	0.27±0.02	151.05±14	142.60±13	145.15±13	–
Br	19.42±1.8	593.3±0.5	777.41±71	893.85±82	110.58±10	122.05±12	55.92±5	–
As	0.32±0.03	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5 [10, 15]
Cd	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1.0 [10, 15]
Cu	0.81±0.07	0.42	0.57±0.04	0.64±0.05	0.31	0.25±0.02	0.18±0.02	–
Ba	88.45±8.5	117.10	76.96±6	97.88±8	203.0	147.60±13	151.10±14	–
Hf	0.60±0.05	<0.02	0.03±0.002	0.27±0.02	1.01	0.027±0.002	0.12±0.01	–
Eu	0.12±0.01	0.058	0.06±0.005	0.08±0.006	0.24	<0.005	0.24±0.02	–
Au	0.0008±0.000007	<0.0003	0.006±0.0005	0.20±0.02	0.003	0.0009±0.00008	0.01±0.001	–
Yb	0.22±0.02	0.21±0.01	<0.01	0.13±0.1	0.74±0.07	<0.01	<0.01	–
Ta	0.08±0.07	<0.03	0.05±0.005	0.01±0.001	0.15±0.01	0.02±0.001	<0.02	–
La	2.29±0.2	<0.03	1.08±0.1	1.58±0.1	6.47±0.6	0.25±0.02	0.64±0.06	–
Lu	0.04±0.03	<0.01	0.009±0.0008	0.01±0.001	0.08±0.007	<0.001	<0.001	–
Nd	0.57±0.05	<0.5	<1	2.53±0.2	16.21±1.5	<1	<1	–
Rb	301±30	114.20±11	130.8±13	151.5±1.5	111.90±11	79.26±7	62.54±6	–
Sm	0.56±0.05	<0.1	1.62±0.1	0.61±0.06	0.64±0.06	3.52±0.3	1.28±0.1	–
Ag	<0.5	<0.02	<0.1	0.49±0.04	<0.1	0.21±0.02	<0.1	–
Sc	0.81±0.07	0.016±0.001	0.52±0.05	0.67±0.06	3.33±0.3	0.12±0.01	0.21±0.02	–
Sr	172.50±17	<20	239.3±23	307.7±30	370.30±37	500.00±49	499.8±49	–
Sb	0.13±0.01	0.10±0.01	0.06±0.006	0.16±0.01	0.17±0.01	0.04±0.003	0.03±0.003	–
Th	0.64±0.06	<0.01	0.17±0.02	0.32±0.03	1.96±0.2	0.02±0.001	<0.02	–
Tb	0.04±0.004	<0.03	<0.01	<0.01	0.04±0.003	0.02±0.002	<0.01	–
U	0.44±0.04	0.22±0.02	<0.1	<0.1	2.21±0.2	0.68±0.06	<0.1	–
Cs	0.25±0.02	<0.1	0.45±0.04	0.35±0.03	1.46±0.1	<0.1	0.11±0.01	–
Ce	2.83±0.2	4.71±0.4	0.46±0.04	2.74±0.2	11.64±1	<0.5	6.45±0.6	–

Примечание: содержание железа, кальция, калия, натрия – в %, остальные – мг/кг.

Таблица 3. Элементный состав корней *Arctium lappa*, *Arctium tomentosum*

Элементы	Л. большой		Л. войлочный		ПДК, мг/кг / источник литературы
	5	6	7	4	
Ca	4.68±0.4	6.83±0.6	6.58±0.6	5.53±0.5	–
K	21.76±2	23.80±2	35.00±3	35.81±3	–
Na	0.69±0.06	0.91±0.09	0.58±0.05	0.71±0.07	–
Fe	0.02±0.001	0.01±0.001	0.02±0.002	0.012±0.001	–
Co	19.75±2	8.50±0.8	3.71±0.3	1.97±0.2	–
Cr	0.90±0.09	0.41±0.04	0.23±0.02	0.37±0.03	–
Zn	201.85±20	257.52±25	296.40±29	242.7±25	–
Br	474.23±47	753.93±75	181.72±18	494.29±49	–
As	0.23±0.02	0.42±0.04	0.35±0.03	0.46±0.005	0.5 [10, 24]
Cd	0.63±0.06	0.78±0.07	0.48±0.05	0.69±0.07	1.0 [10, 24]
Cu	0.81±0.08	0.92±0.09	0.72±0.07	0.75±0.06	–
Ba	190.65±19	260.55±25	269.95±27	148.7±14	–
Hf	280.18±27	1.99±0.2	0.54±0.05	0.27±0.03	–
Eu	0.58±0.06	0.54±0.05	0.13±0.01	0.02±0.002	–
Au	0.013±0.001	0.004±0.0003	0.009±0.0009	0.01±0.001	–
Yb	1.60±0.1	1.04±0.1	0.65±0.06	0.16±0.02	–
Ta	0.45±0.04	0.37±0.03	0.12±0.01	<0.02	–
La	16.34±2	13.71±1	3.88±0.3	1.64±0.2	–
Lu	0.18±0.01	0.17±0.01	0.04±0.004	<0.001	–
Nd	10.50±1	10.30±1	4.07±0.4	<1	–
Rb	84.99±8	132.57±13	85.64±8	145.20±14	–
Sm	2.16±0.2	2.17±0.2	0.49±0.05	0.32±0.03	–
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	0.66±0.06	–
Sc	7.67±0.7	6.19±0.6	1.93±0.1	0.73±0.07	–
Sr	337.65±34	442.67±43	616.0±60	150.80±15	–
Sb	0.54±0.05	0.69±0.07	0.14±0.01	0.05±0.004	–
Th	5.41±0.5	4.22±0.4	1.24±0.01	<0.02	–
Tb	0.42±0.04	0.39±0.04	0.17±0.001	0.10±0.01	–
U	1.69±0.2	1.31±0.1	0.11±0.01	0.72±0.07	–
Cs	3.02±0.3	2.24±0.02	1.02±0.1	0.31±0.03	–
Ce	31.19±3	27.24±2.5	7.06±0.6	5.26±0.5	–

Примечание: содержание железа, кальция, калия, натрия – в %, остальные – мг/кг.

Листья *Arctium lappa*, культивируемого из Алтайского края, отличаются от дикорастущих образцов этого же региона большим накоплением Hf (в 1.3 раза); Au (в 33 раза); Yb (в 13 раз); La (в 1.46 раза); Lu (в 1.4 раза); Nd (в 2.5 раза); Ag (в 4.9 раза); Sb (в 4.9 раза); Th (больше в 1.9 раза); Ce (в 5.95 раза). Листья *Arctium lappa* дикорастущие накапливают в отличие от культивируемых видов больше Ta (в 3.2 раза); Sm (в 2.6 раза).

Семена *Arctium lappa* из Алтайского края также отличаются содержанием элементов. Например, в дикорастущих образцах накапливается больше Ca (в 1.4 раза); K (в 1.6 раза); Sm (в 5.5 раза); Sr (в 1.35 раза). Культивируемые образцы больше накапливают Fe (в 6.2 раза); Co (в 7 раз); Cr (в 5.7 раза); Zn (в 1.4 раза); Hf (в 37 раз); Eu (в 48 раз); Au (в 3 раза); Yb (в 74 раза); Ta (в 7.8 раза); La (в 25 раз); Lu (в 83 раза); Nd (в 16 раз); Rb (в 1.4 раза); Sc (в 27.7 раза); Sb (в 4.59 раза); Th (в 98 раз); Tb (в 2 раза); U (в 3 раза); Cs (в 4.6 раза); Ce (в 23 раза).

При сравнении семян *Arctium lappa* и *Arctium tomentosum* также отмечены различия. Так, семена *Arctium tomentosum* накапливают больше Co (в 1.87 раза); Cr (в 1.39 раз); Hf (в 4.4 раза); Eu (в 24 раза); Au (в 24 раза); La (в 2.5 раза); Sc (в 1.75 раза); Ce (в 12.9 раз). В семенах *Arctium lappa* отмечено более высокое содержание K (в 1.37 раз); Br (в 2.1 раза); Rb (в 1.27 раза); Sm (в 2.75 раза); Ag (в 2 раза); U (в 6.8 раза).

Корни *Arctium lappa*, *Arctium tomentosum*, дикорастущие и культивируемые из одного региона произрастания, также отличаются накоплением элементов. В дикорастущих содержится больше Hf (в 140 раз); Co (в 2.3 раза); Au (в 3 раза); Yb (в 1.5 раза); Cs (в 1.3 раза). В культивируемых корнях накапливается больше Ca (в 1.46 раза); Na (в 1.3 раза); Br (в 1.6 раза); As (в 7 раз); Ba (в 1.3 раза); Rb (в 1.55 раза); Sr (в 1.3 раза).

Корни дикорастущего *Arctium tomentosum* из разных регионов содержат разные уровни отдельных элементов. Образцы из Алтайского края накапливают больше Fe (в 2 раза); Cr (в 1.35 раза); Co (в 1.7 раза); Ba (в 1.8 раза); Hf (в 2 раза); Eu (в 6.5 раза); Yb (в 4 раза); Ta (в 6 раз); La (в 2.36 раза); Lu (в 40 раз); Nd (в 4

раза); Sm (в 1.5 раза); Sc (в 2.6 раза); Sr (в 4 раза); Sb (в 2.6 раза); Th (в 62 раза); Cs (в 3.2 раза); Ce (в 1.3 раза). Образцы из Томской области отличаются большим содержанием Br (в 2.7 раза); Cd (в 1.4 раза); Au (в 1.3 раза); Rb (в 1.7 раза); Ag (в 6.6 раза); U (в 6.5 раза).

Сравнение корней от дикорастущих *Arctium lappa*, *Arctium tomentosum* одного региона заготовки также показывает отличия. Корни *Arctium tomentosum* накапливают больше Ca (в 1.4 раза); K (в 1.6 раза); Zn (в 1.6 раза); As (в 3.7 раза); Ba (в 1.4 раза); Sr (в 1.8 раза). Корни *Arctium lappa* содержат больше Fe (в 3.7 раза); Co (в 5.3 раза); Cr (в 3.2 раза); Br (в 2.6 раза); Cd (в 1.3 раза); Hf (в 518 раз); Eu (в 4.4 раза); Au (в 1.4 раза); Yb (в 2.6 раза); Ta (в 375 раз); La (в 4.2 раза); Lu (в 4.5 раза); Nd (в 2.6 раза); Sm (в 4.4 раза); Sc (в 3.9 раза); Sb (в 3.8 раза); Th (в 4.3 раза); Tb (в 2.4 раза); U (в 15 раз); Cs (в 3 раза); Ce (в 4.4 раза).

Сравнение полученных данных по содержанию Cd и As с нормами ОФС ГФ и СанПиН показывает, что не превышают пределов, указанных в этих НД.

Далее определен спектр элементов сухих экстрактов (табл. 4), полученных из корней и листьев лопуха войлочного. Как и в исходном сырье и почве, исследованные экстракты содержат 31 элемент. В экстрактах из культивируемого сырья содержится больше Ca (в 1.3 раза); Hf (в 5.6 раза); Lu (в 6 раз); Sc (в 12 раз); Sr (в 1.37 раза); Th (в 3 раза); Tb (в 10 раз); Ce (в 8.5 раза). Экстракты из дикорастущего сырья накапливают больше Cs (в 1.9 раза); Sm (в 25 раз); Rb (в 1.4 раза); Ba (в 1.8 раза); Zn (в 1.3 раза); Na (в 1.2 раза). По содержанию мышьяка и кадмия экстракты соответствуют требованиям ГФ РФ XIV издания [10]. СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» [24].

Таблица 4. Элементный состав экстрактов

Элементы	Номер образца			ПДК, мг/кг / источник литературы
	12	13	14	
Ca	0.79±0.07	1.04±0.1	0.65±0.06	–
K	22.20±2	22.40±2	21.60±2	–
Na	1.07±0.1	0.87±0.09	0.41±0.04	–
Fe	0.01±0.001	0.01±0.001	0.01±0.001	–
Co	1.20±0.1	1.22±0.1	0.12±0.01	–
Cr	0.18±0.02	0.23±0.02	0.14±0.01	–
Zn	99.10±9	74.75±7	48.00±4	–
Br	678.30±65	631.20±63	831.20±80	–
As	<0.5	<0.5	<0.5	0.5 [10]; 3.0 [24]
Cd	<0.5	<0.5	<0.5	–
Cu	0.10±0.01	0.08±0.008	0.05±0.005	1.0 [10, 24]
Ba	18.38±2	10.0±1	101.00±10	–
Hf	0.02±0.002	0.14±0.001	0.02±0.002	–
Eu	0.04±0.003	0.06±0.006	0.06±0.006	–
Au	0.0005 ±0.00004	0.0004 ±0.00004	0.0002±0.00002	–
Yb	<0.05	<0.05	0.10±0.01	–
Ta	<0.03	0.049±0.005	<0.03	–
La	0.03±0.003	<0.03	<0.03	–
Lu	0.005±0.0005	0.03±0.003	<0.01	–
Nd	<0.5	0.99±0.01	<0.5	–
Rb	62.40±6	45.80±4	88.20±8	–
Sm	0.76±0.07	0.03±0.003	<0.1	–
Ag	<0.02	<0.02	<0.02	–
Sc	0.03±0.003	0.36±0.03	0.01±0.001	–
Sr	44.10±4	60.77±6	20.10±2	–
Sb	0.02±0.002	0.01±0.001	0.01±0.001	–
Th	0.02±0.002	0.06±0.005	<0.01	–
Tb	0.005±0.0005	0.05±0.005	<0.03	–
U	<0.05	<0.05	0.06±0.005	–
Cs	0.29±0.03	0.15±0.01	<0.1	–
Ce	0.51±0.05	4.35±0.4	4.71±0.4	–

Примечание: содержание железа, кальция, калия, натрия – в %, остальные – мг/кг.

Выводы

1. Определено содержание 31 элемента в надземной и подземной частях дикорастущего и культивируемого *Arctium lappa* и *Arctium tomentosum*, собранного в Томской области и Алтайском крае, в сухих экстрактах листьев и корней лопуха войлочного, полученных в промышленных условиях. По содержанию калия *Arctium lappa* и *Arctium tomentosum* можно отнести к растениям-концентраторам калия.

2. Сравнение перечня элементов в корнях, листья, семенах показывает их идентичность на фоне разного содержания отдельных элементов. В отдельных случаях листья *Arctium lappa*, культивируемого в Алтайском крае, отличаются от дикорастущих образцов большим накоплением ряда элементов, разница при этом составляет до 33 раз. Аналогичная тенденция прослеживается и в семенах культивируемого *Arctium lappa*, с разницей в 98 раз.

При сравнении семян *Arctium lappa* и *Arctium tomentosum* также отмечены различия в накоплении элементов. Разница при этом по отдельным элементам составляет 24 раза.

Разница в накоплении элементов в дикорастущих и культивируемых корнях *Arctium lappa*, *Arctium tomentosum* из Алтайского края более значительная – до 140 раз.

Корни дикорастущего *Arctium tomentosum* из Алтайского края превосходят в 62 раза по содержанию некоторых элементов образцы корней из Томской области.

3. Содержание таких тяжелых металлов как Cd и As в сырье, сухих экстрактах не превышает регламентированных уровней, установленных нормативной документацией.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Сибирского государственного медицинского университета, Кемеровского государственного медицинского университета и Вистерра. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

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

Открытый доступ

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

Список литературы

1. Коломиец Н.Э., Боев Р.С., Жалнина Л.В., Тихомирова В.А., Кашапов Д.Р., Бондарчук Р.А., Новожеева Т.П., Абрамец Н.Ю., Сафронов С.М., Али А.К.Х. Химический состав и биологическая активность метаболитов видов рода *Arctium* L. // Химия растительного сырья. 2021. №2. С. 29–57.
2. Величко В.В., Ханина М.А. Элементный состав листьев, корней, и экстрактов лопуха войлочного // Медицина и образование в Сибири. 2011. №5. С. 17–21.
3. Никулин А.В., Платонов Е.А., Потанина О.Г. Микроэлементный состав лекарственного растительного сырья, содержащего полисахариды // Фармация. 2017. Т. 66, №2. С. 24–27.
4. Дьякова Н.А. Изучение минерального комплекса корней лопуха обыкновенного // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2022. Т. 21, №1. С. 175–180. DOI: 10.37903/vsgma.2022.1.23.
5. Дьякова Н.А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка лекарственным растительным сырьем лопуха обыкновенного, заготовленным в Воронежской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, №4. С. 478–487. DOI: 10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487.
6. Wang D., Bădăraș A.S., Swamy M.K., Shaw S., Maggi F., Da Silva L.E., López V., Yeung A.W.K., Mocan A., Atanasov A.G. *Arctium* Species Secondary Metabolites Chemodiversity and Bioactivities // Front. Plant Sci. 2019. Vol. 10. P. 834. DOI: 10.3389/fpls.2019.00834.
7. Кнауб Н.Н. Фитохимическое исследование и перспективы использования листьев лопуха большого, произрастающего в Алтайском крае, в качестве лекарственного сырья: автореф. дисс. ... канд. фарм. наук. Пермь, 2006. 22 с.
8. Гравель И.В., Самылина И.А. Изучение содержания токсичных металлов в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах // Здоровье и образование в XXI веке. 2006. Т. 8, №5. С. 201.
9. Гравель И.В. Региональные проблемы экологической оценки лекарственного растительного сырья и фитопрепаратов на примере Алтайского края: дисс. ... д-ра фарм. наук. М., 2005. 429 с.
10. Государственная фармакопея РФ, XIV изд. М., 2018. Т. 2. URL: <http://femb.ru/femb/>.
11. Судыко А.Ф. Определение урана, тория, скандия и некоторых редкоземельных элементов в двадцати четырех стандартных образцах сравнения инструментальным нейтронно-активационным методом // Материалы V Международной конференции. Томск, 2016. С. 620–624.

12. Коломиец Н.Э. Фармакогностическое исследование рода *Equisetum* L. флоры Сибири как источника лекарственных средств: дисс. ... д-ра фарм. наук. М., 2010. 414 с.
13. Шплис О.Н., Коломиец Н.Э., Абрамец Н.Ю., Дайбова Е.Б., Бондарчук Р.А., Марьин А.А., Смолякова И.М., Авдеев С.Н. Элементный состав лядвенца рогатого дикорастущего и культивируемого в условиях в условиях подтаежной зоны Западной Сибири // Химия растительного сырья. 2020. №1. С. 237–244. DOI: 10.14258/jcrpm.2020016124.
14. Федько И.В., Коломиец Н.Э., Китапова Р.Р. Элементный состав надземной части *Pulmonaria mollissima* (*Boraginaceae*) в Томской области // Растительные ресурсы. 2014. Т. 50, №2. С. 250–253.
15. Коломиец Н.Э., Агеева Л.Д., Абрамец Н.Ю. Элементный состав видов рода *Equisetum* L. // Фундаментальные исследования. 2014. №8-6. С. 1418–1421.
16. Федько И.В., Исмагова Р.Р., Коломиец Н.Э., Камбалина М.Г., Хвощевская А.А. Поиск растений – источников кремния для лечения туберкулеза легких // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20, №2. С. 148–150.
17. Zidorn C. Plant chemophenetics – A new term for plant chemosystematics /plant chemotaxonomy in the macro-molecular // Phytochemistry. 2019. Vol. 163. Pp. 147–148. DOI: 10.1016/j.phytochem.2019.02.013.
18. Haigney S. Elements in Raw Materials May Impact Product Quality // BioPharm International. 2018. Vol. 31, no. 9. Pp. 18–20.
19. Salugeleiro L., Martins A.P., Correia H. Raw materials: The importance of quality and safety. A review // Flavour and Fragrance Journal. 2010. Vol. 25, no. 5. Pp. 253–271.
20. Shaban N.S., Abdou K.A., Hassan N.E.-H.Y. Impact of toxic heavy metals and pesticide residues in herbal products // Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2016. Vol. 5, no. 1. Pp. 102–106. DOI: 10.1016/j.bjbas.2015.10.001.
21. Luo L., Wang B., Jiang J. et al. Heavy Metal Contaminations in Herbal Medicines: Determination, Comprehensive Risk Assessments, and solutions // Front. Pharmacol. 2021. Vol. 11. 595335. DOI: 10.3389/fphar.2020.595335.
22. European Pharmacopoeia 6th Edition. Council of Europe European-European Directorate for the Quality of Medicines. 2007. Vol. 2. 4392 p.
23. United States Pharmacopeia (USP). USP Elemental Impurities-Limits, US Pharmacopeia - National Formulary, USP 46-NF41. Rockville, MD: United States Pharmacopeia Convention Inc., 2023.
24. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2001. 369 с.
25. Чертко Н.К., Чертко Э.Н. Геохимия и экология химических элементов: Справочное пособие. Мн., 2008. 140 с.

Поступила в редакцию 8 июня 2023 г.

После переработки 8 сентября 2023 г.

Принята к публикации 13 сентября 2023 г.

Kolomiets N.E.^{1,2*}, Boev R.S.³, Zhalnina L.V.¹, Ali Abdujalil Kaid Hasan¹, Maryin A.A.² ESTIMATION OF THE ELEMENTAL PROFILE OF LEAVES, ROOTS, SEEDS AND DRY EXTRACTS OF *ARCTIUM LAPPA* AND *ARCTIUM TOMENTOSUM*

¹ Siberian State Medical University, Moskovsky trakt, 2/7, Tomsk, 634050, Russia, borkol47@mail.ru

² Kemerovo State Medical University, Voroshilova st., 22, Kemerovo, 650056, Russia

³ Visterra LLC, Zaozernaya st., 2, Altaiskoye, 659650, Russia

The use of plant raw materials can be hindered due to concerns about their quality and safety for the human body, resulting from exceeding permissible limits of radionuclides, heavy metals, and other xenobiotics. Ensuring the quality and safety and guaranteeing the quality of raw materials and finished products is one of the tasks for researchers and practitioners. The composition and content of macro- and microelements in the seeds, roots, and leaves of *A. lappa* and *A. tomentosum*, cultivated and growing wild in the Tomsk region (Timiryazevskoye village) and Altai Territory (Altaiskoe village), have been determined, and samples a dry extracts of the roots and leaves of *A. tomentosum* produced by Visterra LLC, have been analyzed. The elemental composition was determined by using neutron activation analysis and flame photometry. The samples of wild and cultivated species, extracts revealed the presence of 31 chemical elements. According to the potassium content, *Arctium lappa* and *Arctium tomentosum* can be attributed to potassium concentrator plants. The leaves, roots, and seeds have the same elemental composition parts of the plant and species. In all samples of roots, seeds, leaves, and dry extracts, the levels of Cd, As complied with the requirements of the standards and sanitary norms.

Keywords: Greater burdock (*Arctium lappa*), woolly burdock (*Arctium tomentosum*), roots, leaves, seeds, dry extracts, elemental composition, potassium.

For citing: Kolomiets N.E., Boev R.S., Zhalnina L.V., Ali Abdujalil Kaid Hasan, Maryin A.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 2, pp. xxx–xxx. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240212998.

References

- Kolomiyets N.E., Boyev R.S., Zhalnina L.V., Tikhomirova V.A., Kashapov D.R., Bondarchuk R.A., Novozheyeva T.P., Abramets N.Yu., Safronov S.M., Ali A.K.Kh. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 2, pp. 29–57. (in Russ.).
- Velichko V.V., Khanina M.A. *Meditsina i obrazovaniye v Sibiri*, 2011, no. 5, pp. 17–21. (in Russ.).
- Nikulina A.V., Platonov Ye.A., Potanina O.G. *Farmatsiya*, 2017, vol. 66, no. 2, pp. 24–27. (in Russ.).
- D'yakova N.A. *Vestnik Smolenskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii*, 2022, vol. 21, no. 1, pp. 175–180. DOI: 10.37903/vsgma.2022.1.23. (in Russ.).
- D'yakova N.A. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 478–487. DOI: 10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487. (in Russ.).
- Wang D., Bădărau A.S., Swamy M.K., Shaw S., Maggi F., Da Silva L.E., López V., Yeung A.W.K., Mocan A., Atanasov A.G. *Front. Plant Sci.*, 2019, vol. 10, p. 834. DOI: 10.3389/fpls.2019.00834.
- Knaub N.N. *Fitokhimicheskoye issledovaniye i perspektivy ispol'zovaniya list'yev lopukha bol'shogo, proizrastayushchego v Altayskom kraye, v kachestve lekarstvennogo syr'ya: avtoref. diss. ... kand. farm. nauk.* [Phytochemical study and prospects for the use of burdock leaves, growing in the Altai region, as medicinal raw materials: autoref. diss. ... cand. pharm. Sci.]. Perm', 2006, 22 p. (in Russ.).
- Gravel' I.V., Samylina I.A. *Zdorov'ye i obrazovaniye v XXI veke*, 2006, vol. 8, no. 5, p. 201. (in Russ.).
- Gravel' I.V. *Regional'nyye problemy ekologicheskoy otsenki lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya i fitopreparatov na primere Altayskogo kraya: diss. ... d-ra farm. nauk.* [Regional problems of environmental assessment of medicinal plant raw materials and herbal medicines using the example of the Altai Territory: diss. ... Dr. Pharm. Sci.]. Moscow, 2005, 429 p. (in Russ.).
- Gosudarstvennaya farmakopeya RF, XIV izdaniye.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV ed.]. Moscow, 2018, vol. 2. URL: <http://femb.ru/feml>. (in Russ.).
- Sudyko A.F. *Materialy V Mezhdunarodnoy konferentsii.* [Materials of the V International Conference]. Tomsk, 2016, pp. 620–624. (in Russ.).
- Kolomiyets N.E. *Farmakognosticheskoye issledovaniye roda Equisetum L. flory Sibiri kak istochnika lekarstvennykh sredstv: diss. ... d-ra farm. nauk.* [Pharmacognostic study of the genus Equisetum L. of the flora of Siberia as a source of medicines: diss. ... Dr. Pharm. Sci.]. Moscow, 2010, 414 p. (in Russ.).
- Shplis O.N., Kolomiyets N.E., Abramets N.Yu., Daybova Ye.B., Bondarchuk R.A., Mar'in A.A., Smolyakova I.M., Avdeyenko S.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 1, pp. 237–244. DOI: 10.14258/jcprm.2020016124. (in Russ.).
- Fed'ko I.V., Kolomiyets N.E., Kitapova R.R. *Rastitel'nyye resursy*, 2014, vol. 50, no. 2, pp. 250–253. (in Russ.).
- Kolomiyets N.E., Ageyeva L.D., Abramets N.Yu. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2014, no. 8-6, pp. 1418–1421. (in Russ.).
- Fed'ko I.V., Ismatova R.R., Kolomiyets N.E., Kambalina M.G., Khvashchevskaya A.A. *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal*, 2013, vol. 20, no. 2, pp. 148–150. (in Russ.).
- Zidorn C. *Phytochemistry*, 2019, vol. 163, pp. 147–148. DOI: 10.1016/j.phytochem.2019.02.013.
- Haigney S. *BioPharm International*, 2018, vol. 31, no. 9, pp. 18–20.
- Salugeleiro L., Martins A.P., Correia H. *Flavour and Fragrance Journal*, 2010, vol. 25, no. 5, pp. 253–271.

* Corresponding author.

20. Shaban N.S., Abdou K.A., Hassan N.E.-H.Y. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 2016, vol. 5, no. 1, pp. 102–106. DOI: 10.1016/j.bjbas.2015.10.001.
21. Luo L., Wang B., Jiang J. et al. *Front. Pharmacol.*, 2021, vol. 11, 595335. DOI: 10.3389/fphar.2020.595335.
22. *European Pharmacopoeia 6th Edition*. Council of Europe European-European Directorate for the Quality of Medicines, 2007, vol. 2, 4392 p.
23. *United States Pharmacopeia (USP). USP Elemental Impurities-Limits, US Pharmacopeia - National Formulary, USP 46-NF41*. Rockville, MD: United States Pharmacopeia Convention Inc., 2023.
24. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Gигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов*. [SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products]. Moscow, 2001, 369 p. (in Russ.).
25. Chertko N.K., Chertko E.N. *Геохимия и экология химических элементов: Справочное пособие*. [Geochemistry and ecology of chemical elements: A reference guide]. Minsk, 2008, 140 p. (in Russ.).

Received June 8, 2023

Revised September 8, 2023

Accepted September 13, 2023

Сведения об авторах

Коломиец Наталья Эдуардовна – доктор фармацевтических наук, профессор, профессор кафедры фармацевтического анализа, профессор кафедры фармации, borkol47@mail.ru

Боев Роман Сергеевич – кандидат фармацевтических наук, директор по науке, brs-0@yandex.ru

Жалнина Людмила Владимировна – аспирант, zhalnina82@gmail.com

Али Абдулжалил Каид Хасан – аспирант, jalilalshemiry@yahoo.com

Марьин Андрей Александрович – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармации, mfanrd@mail.ru

Information about authors

Kolomiets Natalya Eduardovna – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Professor of the Department of Pharmaceutical Analysis, Professor of the Department of Pharmacy, borkol47@mail.ru

Boev Roman Sergeevich – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Director of Science, brs-0@yandex.ru

Zhalnina Lyudmila Vladimirovna – graduate student, zhalnina82@gmail.com

Ali Abdujalil Qaid Hasan – graduate student, jalilalshemiry@yahoo.com

Maryin Andrey Aleksandrovich – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmacy, mfanrd@mail.ru