

УДК 615.322:574.24

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОРНЕЙ ЛОПУХА БОЛЬШОГО ФЛОРЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

© *Н.А. Дьякова*

*Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1,
Воронеж, 394006, Россия, Ninochka_V89@mail.ru*

Корни лопуха большого применяются преимущественно в виде водных извлечений, а фармакологический эффект обусловлен водорастворимыми соединениями, основу которых составляют полисахариды. Изучение особенностей накопления данной группы соединений является актуальным. Цель исследования – изучение взаимосвязи между накоплением тяжелых металлов, мышьяка и биологически активных веществ в корнях лопуха большого, собранного на территории Воронежской области в биогеоценозах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие. В Воронежском регионе была выбрана 51 точка заготовки растительного сырья. Изучение содержания в корнях лопуха большого тяжелых металлов и мышьяка, суммы полисахаридов в пересчете на фруктозу и суммы экстрактивных веществ, извлекаемых водой, вели по фармакопейным методикам. Суммарное количество гравиметрически осаждаемых водорастворимых полисахаридов определяли по ранее разработанной и валидированной запатентованной методике. Для подробного изучения влияния тяжелых металлов и мышьяка на накопление биологически активных веществ анализировали коэффициенты корреляции. Из исследуемых образцов некоторые не соответствуют требованиям нормативной документации по содержанию мышьяка. Выявлено наличие значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению экотоксикантов корнях лопуха большого, что особенно заметно для таких элементов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий, кобальт и хром. Сырье способно избирательно концентрировать медь и цинк. В восьми образцах, заготовленных в условиях урбоценозов, данный показатель оказался ниже минимального числового значения. Выявлена низкая корреляция содержания в образцах корней лопуха большого суммы гравиметрически определяемых полисахаридов и экстрактивных веществ, экстрагируемых водой, с содержанием в них тяжелых металлов и мышьяка, при этом числовой показатель суммы полисахаридов в пересчете на фруктозу в значительной степени зависит от концентрации токсичных элементов в растении, что, вероятно, связано с образованием прочных комплексов «металл-моносахарид», затрудняющих получение окрашенных комплексов мономерных сахаров с комплексообразователем при спектрофотометрическом определении.

Ключевые слова: Воронежская область, лопух большой, полисахариды, экстрактивные вещества, урбоценозы.

Для цитирования: Дьякова Н.А. Эколого-гигиеническая оценка качества корней лопуха большого флоры урбанизированных территорий Центрального Черноземья // Химия растительного сырья. 2024. №1. С. 242–250. DOI: 10.14258/jcprm.20240111743.

Введение

Фитопрепараты на отечественном фармацевтическом рынке всегда пользовались значительным спросом, что объясняется их хорошим терапевтическим эффектом и относительной безвредностью. Так, согласно данным Регистра лекарственных средств России на июль 2021 г., насчитывается более 2.1 тыс. лекарственных фитопрепаратов, а число биологически активных добавок на основе лекарственного растительного сырья превышает 7.9 тыс. При этом большая доля заготовок лекарственного растительного сырья приходится на европейскую часть Российской Федерации, характеризующуюся значительной плотностью населения, высокой активностью хозяйственной деятельности, динамичным развитием транспортных магистралей. В связи с этим увеличивается угроза сбора растительного сырья в экологически неблагоприятных районах и возрастает актуальность выявления влияния антропогенного загрязнения на химический состав растений [1–4].

Рудеральным видом, сырье которого заготавливается от дикорастущих особей, является лопух большой (*Arctium lappa* L. (syn. *Lappa edulis* Siebold ex Miq., *Lappa officinalis* All., *Lappa major* Gaertn., *Arctium majus* Bernh., *Arctium edule* Beger, *Lappa vulgaris* Hill.)) – двулетнее травянистое растение высотой 50–

150 см, обладающее выраженным потогонным, мочегонным, желчегонным, ранозаживляющим, гепатопротекторным, антиоксидантным, антибактериальным, иммуностимулирующим действием [5–10]. Широкий спектр фармакологического действия обусловлен богатым химическим составом данного ЛРС, основу которого составляют полисахариды (до 35–45% инулина), слизи, простые сахара (от 3–4 до 30%), сесквитерпеноиды, фитостерины (ситостерин, стигмастерин), полиины (арктиналь и др.), жирные кислоты (0.4–0.8% с преобладанием полиненасыщенных (до 60%) – линолевой, линоленовой, пальмитиновой), лигнаны (арктиин, арктигенин), фенолкарбоновые кислоты (0.9–1.3%, преобладают хлорогеновая, изохлорогеновая, кофейная), флавоноиды (1.3–2.3%), кумарины, эфирное масло (0.07–0.17%), органические кислоты, аминокислоты, витамины (B6, B5, B9, B4, C, E, PP, K, каротиноиды), макро- (калий, фосфор, кальций, магний, сера) и микроэлементы (железо, марганец, цинк, медь, селен) [11–17].

Цель исследования – изучение взаимосвязи между накоплением тяжелых металлов, мышьяка и биологически активных веществ (БАВ) в корнях лопуха большого, собранного на территории Воронежской области в биогеоценозах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие. Актуальность данного направления заключается в научной оценке возможного влияния экотоксикантов на состав БАВ лекарственных растений, изучаемого на примере лопуха большого.

Экспериментальная часть

Выбор территорий для заготовки корней лопуха большого объясняется особенностями антропогенного воздействия (рис., табл. 1) на заповедные зоны (контроль): Воронежский биосферный заповедник (1); Хоперский заповедник (Новохоперский район); (2), Хоперский заповедник (Борисоглебский район) (3); территория разработки медно-никелевых месторождений (4); зоны, подвергшиеся радионуклидному загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС (Нижедевицкий (5), Острогжский (6), Семилукский (7) районы); Нововоронежская атомная электростанция (АЭС) (8); высоковольтные линии электропередачи (ВЛЭ) (9); зоны с активной сельскохозяйственной деятельностью (Лискинский (10), Ольховатский (11), Подгоренский (12), Петропавловский (13), Грибановский (14), Хохольский (15), Новохоперский (16), Репьевский (17), Воробьевский (18), Панинский (19), Эртильский (20), Верхнехавский (21), Россошанский (22) районы); предприятия ОАО «Минудобрения» (23), ООО «Бормаш» (24); города с развитой легкой промышленностью (Борисоглебск (25), Калач (26)); теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) (27); предприятие по выпуску синтетического каучука ООО «Сибур» (28); Воронежское водохранилище (29); аэропорт (30); улица Воронежа (31); дороги разной степени загруженности – трасса М4 «Дон» (32–35, 40–43), трасса А144 (36–39), нескоростная дорога (44–47) и железная дорога (48–51).

Заготовку корней лопуха большого проводили осенью (в октябре) от двухлетних растений. Корни выкапывали, очищали от остатков стеблей и листьев, тонких корней, отмывали от земли, разрезали на куски и сушили естественным образом. Изучение содержания в корнях лопуха большого тяжелых металлов и мышьяка, суммы полисахаридов в пересчете на фруктозу и суммы экстрактивных веществ, извлекаемых водой, вели по фармакопейным методикам в соответствии с ФС.2.5.0025.15 «Лопуха корни» [18]. Суммарное количество гравиметрически осаждаемых водорастворимых полисахаридов определяли по ранее разработанной и валидированной запатентованной методике [11]. Содержание токсичных элементов определяли в соответствии с ОФС.1.5.3.0009.15 «Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах» [19]. Определяли содержание нормируемых ГФ XIV элементов – ртути, кадмия, свинца, мышьяка, а также наиболее токсичных ненормируемых в настоящее время металлов – никель, цинк (элементы 1 класса опасности), кобальт, хром и медь (элементы 2 класса опасности). В эксперименте использовали атомно-абсорбционный спектрометр МГА-915МД («Люмекс», Россия), спектрофотометр «СФ-2000» («ОКБ Спектр», Россия), ультразвуковую ванну «Град 40-35» («Град-Технолоджи», Россия), аналитические весы «A&D GH-202» (AND, Япония). Каждое определение проводили трижды, полученные результаты статистически обрабатывали при доверительной вероятности 0.95 [20, 21].

Обсуждение результатов

Средние значения содержания тяжелых металлов и мышьяка и БАВ корней лопуха большого приведены в таблице 1.

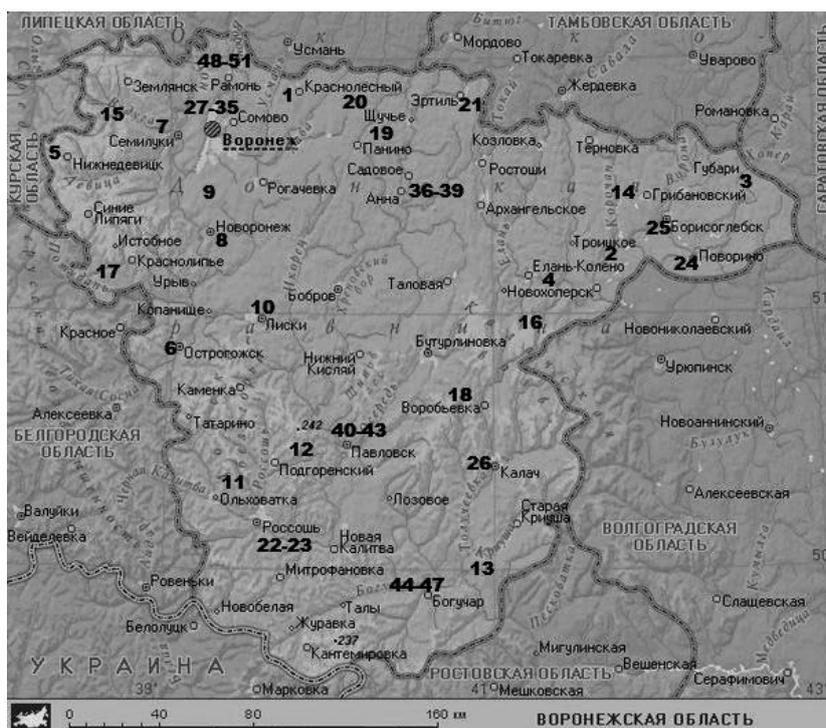


Рис. 1. Карта заготовки корней лопуха большого (расшифровка в таблице 1)

Концентрация свинца в изучаемых корнях лопуха большого варьировала от 0.59 до 4.88 мг/кг. Все образцы соответствуют требованиям ОФС.1.5.3.0009.15 по содержанию данного элемента [19]. Наиболее высокие концентрации свинца отмечены в изучаемых образцах с территорий, расположенных вблизи промышленных предприятий, вблизи аэропорта, на улице г. Воронежа, вдоль трассы М4 и железнодорожного полотна. Сравнивая полученные значения с содержанием свинца в почвах районов, в которых производился сбор образцов (1.71–34.57 мг/кг), можно сделать вывод о малом накоплении металла корнями лопуха большого [4].

Содержание солей ртути в изучаемых объектах невысоко и колебалось от 0.003 до 0.006 мг/кг, что более чем в десять раз меньше предельно допустимой концентрации, установленной фармакопейной статьей в 0.1 мг/кг [19].

Концентрация кадмия в корнях лопуха большого, заготовленного на территории Воронежской области, варьировала от 0.02 до 0.28 мг/кг и не превышала предельно допустимой концентрации, установленной фармакопейной статьей в 1.0 мг/кг [19]. Анализ полученных результатов показал наличие обратной пропорциональности между содержанием металла в почве и в изучаемом виде сырья [4]. При низкой концентрации кадмия в почвах элемент накапливался примерно в такой же концентрации в корнях лопуха большого (например, для образцов контрольных зон), а при повышении содержания металла в почве степень его накопления в анализируемом сырье значительно снижалась.

Концентрация мышьяка, который в небольших количествах является жизненно необходимым элементом, участвующим в обмене фосфора, варьировала в корнях лопуха большого от 0.14 до 0.81 мг/кг. Накопления растительным сырьем данного токсиканта оценивается как невысокое [19], что, вероятно, связано с наличием физиологического барьера, препятствующего избыточному поступлению мышьяка [4].

Концентрация никеля в корнях лопуха большого отмечена в диапазоне варьирования от 1.37 до 5.94 мг/кг. При этом накопление никеля в корнях лопуха большого нельзя считать значительным [4].

Уровень накопления хрома в корнях лопуха большого Воронежской области составил 1.37–5.94 мг/кг. При низком содержании хрома в почве заповедных территорий элемент накапливался в растительном сырье достаточно эффективно. Однако на территориях, испытывающих значительное антропогенное воздействие (на улицах городов, вблизи промышленных предприятий, вблизи транспортных магистралей), корни лопуха большого содержали хром в концентрациях, значительно более низких, чем содержание его в почве [4].

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов и БАВ в изучаемых образцах

№ п/п	Территория сбора	Валовое содержание тяжелых металлов, мг/ кг									Содержание БАВ, %		
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	Полисахариды в пересчете на фруктозу	Гравиметрически осаждаемые водорастворимые полисахариды	Экстрактные вещества, извлекаемые водой
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Воронежский государственный заповедник	0.59	0.004	0.04	0.26	2.16	2.32	3.53	7.84	29.08	15.75	37.82	47.84
2	Хоперский заповедник (Новохоперский район)	0.88	0.003	0.02	0.20	2.76	3.09	2.17	8.29	33.96	14.72	34.58	40.16
3	Хоперский заповедник (Борисоглебский район)	0.63	0.003	0.03	0.14	2.08	2.67	3.21	9.52	35.74	15.29	38.94	50.10
4	с. Елань-Колено	0.87	0.004	0.07	0.18	2.14	5.72	3.51	10.63	37.95	13.53	31.85	42.90
5	Нижнедевицкий р-н	1.14	0.004	0.12	0.17	1.05	4.96	4.60	8.84	25.63	13.59	28.60	39.46
6	Острогожский р-н	2.17	0.005	0.11	0.25	2.94	6.76	5.37	11.60	45.74	11.54	34.64	41.98
7	Семилукский р-н	1.86	0.004	0.14	0.27	3.15	5.23	6.17	9.34	44.17	12.84	24.19	36.78
8	г. Нововоронеж	1.74	0.005	0.02	0.19	1.86	3.90	3.12	6.46	26.83	12.08	27.54	44.00
9	ВЛЭ (Нововоронежский городской округ)	2.08	0.004	0.12	0.34	3.78	6.10	3.93	7.75	32.05	10.24	21.17	29.64
10	Сельскохозяйственные поля Лискинского р-на	2.27	0.005	0.15	0.20	1.37	5.32	5.74	8.88	27.47	12.29	25.82	38.27
11	Сельскохозяйственные поля Ольховатского р-на	1.54	0.004	0.17	0.30	3.14	6.14	3.84	9.16	34.91	11.03	32.75	40.26
12	Сельскохозяйственные поля Подгоренского р-на	2.17	0.003	0.11	0.30	3.76	3.00	5.82	7.58	30.07	10.25	35.18	43.09
13	Сельскохозяйственные поля Петропавловского р-на	2.72	0.003	0.10	0.17	1.57	3.24	6.54	8.59	29.58	14.56	30.63	42.99
14	Сельскохозяйственные поля Грибановского р-на	2.56	0.004	0.15	0.31	4.20	3.52	7.40	10.64	36.90	10.67	22.53	31.50
15	Сельскохозяйственные поля Хохольского р-на	2.21	0.005	0.09	0.21	4.04	5.86	2.48	8.40	41.90	11.80	31.85	42.43
16	Сельскохозяйственные поля Новохоперского р-на	2.17	0.004	0.07	0.20	3.65	2.88	3.69	7.44	29.01	12.89	26.80	38.89
17	Сельскохозяйственные поля Репьевского р-на	2.08	0.005	0.17	0.28	4.15	4.16	4.06	9.35	31.02	10.57	23.74	30.79
18	Сельскохозяйственные поля Воробьевского р-на	1.12	0.005	0.10	0.16	3.78	3.09	5.26	8.49	21.04	14.05	35.44	48.43
19	Сельскохозяйственные поля Панинского р-на	3.00	0.004	0.16	0.31	2.85	7.13	3.71	10.56	44.18	13.67	36.73	53.72
20	Сельскохозяйственные поля Верхнехавского р-на	3.16	0.004	0.15	0.36	2.74	5.32	6.20	9.38	39.39	9.46	25.85	37.09
21	Сельскохозяйственные поля Эртильского р-на	2.02	0.003	0.09	0.20	3.52	3.03	4.88	10.03	48.17	13.27	22.05	33.59
22	Сельскохозяйственные поля Россошанского р-на	3.56	0.004	0.17	0.31	4.74	5.22	5.10	7.84	37.22	10.31	25.10	36.97
23	500 м от ОАО «Минудобрения»	4.11	0.005	0.22	0.60	4.57	13.36	12.52	12.24	76.37	9.57	24.08	32.65
24	500 м от ООО «Бормаш»	4.88	0.005	0.27	0.81	5.94	10.27	9.53	15.00	62.01	8.46	25.98	38.90
25	город Борисоглебск	2.32	0.005	0.15	0.29	4.14	8.50	8.80	8.96	59.04	13.93	30.17	44.32
26	город Калач	2.73	0.005	0.12	0.25	3.12	9.38	7.05	9.45	55.39	14.42	34.26	42.89
27	500 м от ТЭЦ «ВОГРЭС» (г. Воронеж)	1.15	0.006	0.07	0.67	2.84	7.12	9.06	7.75	60.28	12.74	23.85	37.22
28	500 м от ООО «Сибур» (г. Воронеж)	3.81	0.006	0.08	0.42	3.51	9.20	6.29	9.22	70.36	10.64	23.13	34.17
29	Побережье Воронежского водохранилища	2.76	0.005	0.10	0.32	3.72	3.33	5.25	5.31	39.01	14.64	32.61	45.27

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30	Вблизи Воронежского аэропорта	4.44	0.004	0.15	0.40	3.91	4.87	4.36	9.63	28.69	9.35	27.53	35.87
31	Улица г. Воронеж	3.11	0.005	0.11	0.47	3.12	7.46	13.85	12.25	67.37	11.16	26.42	37.50
32	Автомобильная трасса М4 в Рамонском р-не (0 м)	2.66	0.004	0.28	0.53	2.97	6.09	8.63	15.78	57.49	11.89	25.75	33.38
33	Автомобильная трасса М4 в Рамонском р-не (100 м)	2.05	0.005	0.25	0.46	2.84	4.99	7.69	11.53	42.08	11.44	24.15	35.60
34	Автомобильная трасса М4 в Рамонском р-не (200 м)	2.01	0.004	0.08	0.41	2.08	3.80	4.51	8.90	36.84	12.53	26.64	39.61
35	Автомобильная трасса М4 в Рамонском р-не (300 м)	1.15	0.005	0.10	0.34	2.14	3.78	3.86	9.27	35.01	12.28	26.02	38.58
36	Автомобильная трасса А144 (0 м)	3.18	0.003	0.17	0.29	3.74	9.23	6.63	13.04	63.72	10.45	27.60	38.01
37	Автомобильная трасса А144 (100 м)	2.89	0.004	0.12	0.27	3.12	7.07	7.80	11.55	55.17	10.07	24.24	33.19
38	Автомобильная трасса А144 (200 м)	2.01	0.004	0.12	0.23	2.98	6.31	6.31	9.75	41.05	11.27	25.74	39.90
39	Автомобильная трасса А144 (300 м)	1.52	0.003	0.04	0.18	2.94	5.38	3.85	9.59	32.98	11.65	27.19	42.85
40	Автомобильная трасса М4 в Павловском р-не (0 м)	3.01	0.005	0.12	0.27	4.04	6.18	9.65	14.81	61.05	12.36	34.70	41.85
41	Автомобильная трасса М4 в Павловском р-не (100 м)	2.56	0.005	0.17	0.25	3.87	4.88	7.02	12.98	56.15	11.56	32.50	43.69
42	Автомобильная трасса М4 в Павловском р-не (200 м)	2.08	0.005	0.12	0.21	2.98	3.94	7.67	10.64	51.59	13.08	34.68	42.90
43	Автомобильная трасса М4 в Павловском р-не (300 м)	1.97	0.005	0.09	0.15	3.15	3.42	4.26	9.49	42.77	13.99	33.81	52.84
44	Нескоростная автомобильная дорога (0 м)	2.01	0.003	0.07	0.31	2.70	4.79	3.52	9.75	45.84	13.52	29.64	43.64
45	Нескоростная автомобильная дорога (100 м)	1.72	0.003	0.04	0.27	2.54	4.86	4.09	8.60	41.73	14.25	30.52	46.31
46	Нескоростная автомобильная дорога (200 м)	1.41	0.003	0.04	0.25	2.42	3.38	3.86	8.25	37.16	14.38	28.16	39.03
47	Нескоростная автомобильная дорога (300 м)	1.38	0.003	0.04	0.20	2.16	3.60	4.78	8.09	37.39	14.00	29.28	41.07
48	Железная дорога (0 м)	3.09	0.004	0.22	0.43	3.82	7.35	9.63	16.62	53.04	10.57	34.93	46.05
49	Железная дорога (100 м)	2.14	0.004	0.24	0.41	3.51	5.07	5.72	14.23	49.63	9.47	31.74	44.48
50	Железная дорога (200 м)	1.06	0.003	0.18	0.37	3.26	4.20	4.12	10.56	42.46	9.03	32.28	47.95
51	Железная дорога (300 м)	1.01	0.003	0.17	0.31	3.17	3.75	4.22	8.79	39.95	11.75	33.30	51.38
Числовой показатель по ФС [18]		6.0	0.1	1.0	0.5	–					Не менее 8	–	Не менее 35

Уровень накопления кобальта в корнях лопуха большого Воронежской области составил 2.17–13.85 мг/кг. При избытке кобальта в почве отмечено торможение его поглощения [4].

Для корней лопуха большого отмечена способность к накоплению меди. В ряде (в 22 из 51) образцов сырья лопуха большого, особенно произрастающих на контрольных территориях и в условиях агробиоценозов, концентрация данного элемента в сырье выше, чем в почвах соответствующих районов [4].

Корни лопуха большого активно накапливают цинк, содержание которого в образцах варьировало от 21.04 до 76.37 мг/кг. Примерно в половине изученных образцов концентрация металла в сырье лопуха большого оказалось выше, чем в почве мест произрастания, что, вероятно, связано со значительной физиологической потребностью растения в данном элементе [4].

Содержание суммы полисахаридов в пересчете на фруктозу в образцах, заготовленных в контрольных районах, принимало числовые значения от 14.72 до 15.75%. Для сырья, собранного в условиях агробиоценозов, характерно накопление данной группы БАВ в диапазоне 10.31–13.67%. Для корней лопуха большого, произраставшего в условиях урбанизированных территорий характерно накопление суммы полисахаридов в пересчете на фруктозу от 8.46 до 14.38%. Наиболее низкая концентрация суммы полисахаридов в

пересчете на фруктозу отмечена для образцов, заготовленных вблизи химических предприятий, вблизи международного аэропорта, вдоль и на удалении 100 м от трассы А144, вдоль и на удалении 200 м от железной дороги, под высоковольтными линиями электропередачи. Таким образом, можно предположить наличие значительного отрицательного влияния антропогенной нагрузки на накопление в корнях лопуха данной группы БАВ.

Содержание гравиметрически определяемых водорастворимых полисахаридов в корнях лопуха большого характеризуется числовыми значениями от 21.17 до 38.94%. В образцах, заготовленных на контрольных территориях, сумма гравиметрически определяемых водорастворимых полисахаридов варьирует от 28.58 до 38.94%. Для корней лопуха большого, произраставшего в условиях агробиоценозов, накопление данной группы БАВ несколько ниже, чем для образцов контрольных территорий, и характеризуется значениями диапазона 22.05–36.73%.

Объяснить полученные результаты представляется возможным разными методами количественного определения БАВ. Тяжелые металлы, накопленные в лекарственном растительном сырье, связываются в прочные комплексы с гидроксигруппами конденсированных гексоз и пентоз [8]. При гравиметрическом определении связанные с полисахаридами тяжелые металлы хорошо осаждаются вместе с определяемой группой БАВ, в то время как при спектрофотометрическом определении комплексы моно- и полисахаридов с экотоксикантами в силу меньшей растворимости мешают образованию специфических комплексов с используемым в методике комплексообразователем. В связи с этим мы видим некоторое снижение уровня содержания полисахаридов в пересчете на мономерные сахара, поскольку часть мономеров в реакцию с комплексообразователем (резорцином) не вступает.

Сумма экстрактивных веществ, извлекаемых водой из корней лопуха большого, варьировала от 29.64 до 53.72%. В восьми изучаемых образцах данный показатель оказался ниже минимального числового значения, установленного фармакопейной статьей (35%): в корнях лопуха большого, заготовленных на сельскохозяйственных полях в Грибановском, Репьевском, Эртильском районах, под высоковольтными линиями электропередачи, вблизи химических предприятий ОАО «Минудобрения», ОАО «Воронежсинтезкаучук», вдоль трассы М4 в Рамонском районе, на удалении 100 м от трассы А144 в Аннинском районе. В образцах, не соответствующих требованиям Государственной фармакопеи по показателю сумма экстрактивных веществ, извлекаемых водой, содержание суммы полисахаридов в пересчете на фруктозу, а также сумма гравиметрически определяемых водорастворимых полисахаридов, отличаются более низкими значениями относительно других изученных образцов.

Для подробного изучения влияния концентрации тяжелых металлов и мышьяка на БАВ в корнях лопуха большого анализировали коэффициенты корреляции (табл. 2) [20, 21].

Согласно корреляционному анализу, на накопление в корнях лопуха большого суммы полисахаридов в пересчете на фруктозу все анализируемые токсичные элементы оказывают отрицательное воздействие: заметное отрицательное влияние выявлено для кадмия, никеля и мышьяка, умеренное отрицательное влияние – для свинца, ртути, хрома, кобальта, цинка и меди. Анализ влияния определяемых в корнях лопуха большого токсичных элементов на накопление экстрактивных веществ, извлекаемых водой, показал умеренное отрицательное влияние хрома и кобальта. Для гравиметрически осаждаемых водорастворимых полисахаридов, являющихся главной группой БАВ, экстрагируемых из корней лопуха большого водой, также отмечено умеренное отрицательное влияние хрома и кобальта.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между содержанием суперэкооксидантов и БАВ в корнях лопуха большого

БАВ	Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
Сумма полисахаридов в пересчете на фруктозу	-0.44	-0.36	-0.55	-0.50	-0.50	-0.39	-0.31	-0.49	-0.43
Сумма экстрактивных веществ, извлекаемых водой	-0.25	-0.21	-0.19	-0.27	-0.08	-0.37	-0.37	-0.25	-0.25
Сумма гравиметрически определяемых водорастворимых полисахаридов	-0.15	-0.21	-0.12	-0.33	0.05	-0.38	-0.23	-0.17	-0.15

Выводы

Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в почвах региона и содержание этих элементов в корнях лопуха большого, можно предполагать наличие значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению экотоксикантов корнях лопуха большого, что особенно заметно для таких элементов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий, кобальт и хром. Сырье способно избирательно концентрировать медь и цинк. Изучена взаимосвязь между накоплением тяжелых металлов и мышьяка и БАВ (полисахаридов в пересчете на фруктозу и гравиметрически осаждаемых водорастворимых полисахаридов, экстрактивных веществ, экстрагируемых водой) в корнях лопуха большого, заготовленных в биогеоценозах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие. Выявлена низкая корреляция содержания в образцах корней лопуха большого суммы гравиметрически определяемых полисахаридов и экстрактивных веществ, экстрагируемых водой, с содержанием в них тяжелых металлов и мышьяка, при этом числовой показатель суммы полисахаридов в пересчете на фруктозу в значительной степени зависит от концентрации токсичных элементов в растении, что, вероятно, связано с образованием прочных комплексов «металл-моносахарид», затрудняющих получение окрашенных комплексов мономерных сахаров с комплексообразователем при спектрофотометрическом определении.

Финансирование

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-27-00272).

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. Великанова Н.А. Экологическая оценка состояния лекарственного растительного сырья (на примере *Polygonum aviculare* L. и *Plantago major* L.) в урбоусловиях города Воронежа и его окрестностей: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 2013. 21 с.
2. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П., Самылина И.А. Эффективность и безопасность лекарственного растительного сырья лопуха обыкновенного, собранного в Центральном Черноземье // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия, Биология, Фармация. 2019. №3. С. 73–78.
3. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. Контроль радиационной безопасности и качества лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере корней лопуха обыкновенного // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2019. №8(1). С. 73–77. DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-1-73-77.
4. Дьякова Н.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Вестник ИрГХХА. 2019. №95. С. 19–30.
5. Lin S.C., Lin C.H., Lin C.C., Lin Y.H., Chen C.F., Chen I.C., Wang L.Y.J. Hepatoprotective effects of *Arctium lappa* Linne on liver injuries induced by chronic ethanol consumption and potentiated by carbon tetrachloride // Journal of Biomedical Science. 2002. Vol. 9(5). Pp. 401–409. DOI: 10.1007/BF02256533.
6. Nascimento B.A.C., Gardinassi L.G., Silveira I.M.G., Gallucci M.G., Tom M.A., Oliveira J.F.D., Moreira M.R.A., Meirelles A.F.G., Faccioli L.H., Silva C.T., Zoccal K.F. *Arctium lappa* Extract Suppresses Inflammation and Inhibits Melanoma Progression // Medicines. 2019. Vol. 6(3). P. 81. DOI: 10.3390/medicines6030081.
7. Tang Y., Lou Z., Yang L., Wang H. Screening of antimicrobial compounds against *Salmonella typhimurium* from burdock (*Arctium lappa*) leaf based on metabolomics // European Food Research and Technology. 2015. Vol. 240. Pp. 1203–1209. DOI: 10.1007/s00217-015-2423-0.
8. Chan Y.S., Cheng L.N., Wu J.H., Chan E., Kwan Y.W., Lee S.M.Y., Leung G.P.H., Yu P.H.F., Chan S.W. A Review of the Pharmacological Effects of *Arctium Lappa* (Burdock) // Inflammopharmacology Actions. 2011. Vol. 19(5). Pp. 245–254. DOI: 10.1007/s10787-010-0062-4.
9. Annunziata G., Barrea L., Ciampaglia R. *Arctium lappa* contributes to the management of type 2 diabetes mellitus by regulating glucose homeostasis and improving oxidative stress: A critical review of in vitro and in vivo animal-based studies // Phytotherapy Research. 2019. Vol. 33(9). Pp. 2213–2220. DOI: 10.1002/ptr.6416.
10. Kardosova A., Ebringerova A. A biologically active fructan from the roots of *Arctium lappa* L. // International Journal of Biological Macromolecules. 2003. Vol. 33. Pp. 135–140. DOI: 10.1016/S0141-8130(03)00079-5.
11. Дьякова Н.А., Самылина И.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П., Мындра А.А., Шушунова Т.Г. Разработка и валидация экспрессной методики количественного определения водорастворимых полисахаридов в корнях лопуха

- обыкновенного (*Arctium lappa* L.) // Химико-фармацевтический журнал. 2015. №9. С. 35–38. DOI: 10.30906/0023-1134-2015-49-9-35-38.
12. Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара, 2004. 1179 с.
 13. Carlotto J., de Souza L.M, Baggio C.H., de P Werner M.F., Maria-Ferreira D., Sasaki G.L., Iacomini M., Cipriani T.R. Polysaccharides From *Arctium Lappa* L.: Chemical Structure and Biological Activity // International Journal of Biological Macromolecules. 2016. Vol. 91. Pp. 954–960. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.06.033.
 14. Mkrtchian T.A., Snapiian G.G., Nikogosian G.A. Pectin production from burdock (*Arctium* sp.). // Ukrainian Biochemical Journal. 1998. Vol. 1. Pp. 98–105.
 15. Al-Snafi A.E. The Pharmacological Importance and Chemical Constituents of *Arctium Lappa* // International Journal for Pharmaceutical Research Scholars. 2014. Vol. 3. Pp. 663–670.
 16. Wang H.Y., Yang J.S., Pao Y.H. Studies on the chemical constituents of *Arctium lappa* L. // Acta Pharmaceutica Sinica. 1993. Vol. 28. Pp. 911–917.
 17. 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. DOI: 10.14258/jcprp.2021028315.
 18. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. М., 2018. Т. 4. 1883 с.
 19. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. М., 2018. Т. 2. 1449 с.
 20. Бондарчук С.С., Бондарчук И.С. Статобработка экспериментальных данных в MS Excel. Томск, 2018. 433 с.
 21. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М., 2000. 312 с.

Поступила в редакцию 2 января 2024 г.

После переработки 17 января 2024 г.

Принята к публикации 13 февраля 2024 г.

Dyakova N.A. ECOLOGICAL AND HYGIENIC ASSESSMENT OF THE QUALITY OF BURDOCK ROOTS OF LARGE FLORA OF URBANIZED TERRITORIES OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

Voronezh State University, Universitetskaya ave., 1, Voronezh, 394006, Russia, e-mail: Ninochka_V89@mail.ru

The roots of the bladder are mainly used in the form of aqueous extracts, and the pharmacological effect is due to water-soluble compounds based on polysaccharides. The study of the peculiarities of accumulation of this group of compounds is relevant. The aim of this study the relationship between the accumulation of heavy metals and arsenic and biologically active substances in the roots of ordinary burdock, collected on the territory of the Voronezh region in biogeocenoses experiencing various anthropogenic effects. In the Voronezh region, 51 points of harvesting plant raw materials were selected. The study of the content of heavy metals and arsenic in the roots of the bladder, the sum of polysaccharides in terms of fructose and the sum of extractive substances extracted by water was conducted according to pharmacopeic methods. The total amount of gravimetrically precipitated water-soluble polysaccharides was determined by a previously developed and validated patented procedure. Correlation coefficients were analyzed to examine in detail the effects of heavy metals and arsenic on the accumulation of biologically active substances. Of the samples examined, some do not meet the requirements of the regulatory documentation for arsenic content. Significant physiological barriers have been identified to the accumulation of ecotoxicants in the roots of common burdock, which is especially noticeable for elements such as lead, mercury, arsenic, cadmium, cobalt and chromium. The raw material can selectively concentrate copper and zinc. In eight samples prepared under urbocenosis conditions, this indicator was below the minimum numerical value. Low correlation of the content of large sum of gravimetrically determined polysaccharides and extractive substances in samples of burdock roots was revealed. extracted with water, containing heavy metals and arsenic, wherein the numerical value of the sum of the polysaccharides in terms of fructose is largely dependent on the concentration of toxic elements in the plant; which is probably due to the formation of strong metal-monosaccharide complexes, which make it difficult to obtain colored complexes of monomer sugars with a complexing agent during spectrophotometric determination.

Keywords: Voronezh region, common bladder, polysaccharides, extractive substances, urbocenoses.

References

1. Velikanova N.A. *Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya (na primere Polygonum aviculare L. i Plantago major L.) v urbousloviyakh goroda Voronezh i yego okrestnostey: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk.* [Ecological assessment of the state of medicinal plant raw materials (using the example of Polygonum aviculare L. and Plantago major L.) in the urban conditions of the city of Voronezh and its environs: abstract of thesis. dis. ...cand. biol. Sci.]. Voronezh, 2013, 21 p. (in Russ.).
2. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P., Samylina I.A. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya, Biologiya, Farmatsiya*, 2019, no. 3, pp. 73–78. (in Russ.).
3. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2019, no. 8(1), pp. 73–77. DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-1-73-77. (in Russ.).
4. D'yakova N.A. *Vestnik IrGSKhA*, 2019, no. 95, pp. 19–30. (in Russ.).
5. Lin S.C., Lin C.H., Lin C.C., Lin Y.H., Chen C.F., Chen I.C., Wang L.Y.J. *Journal of Biomedical Science*, 2002, vol. 9(5), pp. 401–409. DOI: 10.1007/BF02256533.
6. Nascimento B.A.C., Gardinassi L.G., Silveira I.M.G., Gallucci M.G., Tom M.A., Oliveira J.F.D., Moreira M.R.A., Meirelles A.F.G, Faccioli L.H., Silva C.T., Zoccal K.F. *Medicines*, 2019, vol. 6(3), p. 81. DOI: 10.3390/medicines6030081.
7. Tang Y., Lou Z., Yang L., Wang H. *European Food Research and Technology*, 2015, vol. 240, pp. 1203–1209. DOI: 10.1007/s00217-015-2423-0.
8. Chan Y.S., Cheng L.N., Wu J.H., Chan E., Kwan Y.W., Lee S.M.Y., Leung G.P.H., Yu P.H.F., Chan S.W. *Inflammopharmacology Actions*, 2011, vol. 19(5), pp. 245–254. DOI: 10.1007/s10787-010-0062-4.
9. Annunziata G., Barrea L., Ciampaglia R. *Phytotherapy Research*, 2019, vol. 33(9), pp. 2213–2220. DOI: 10.1002/ptr.6416.
10. Kardosova A., Ebringerova A. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2003, vol. 33, pp. 135–140. DOI: 10.1016/S0141-8130(03)00079-5.
11. D'yakova N.A., Samylina I.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P., Myndra A.A., Shushunova T.G. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2015, no. 9, pp. 35–38. DOI: 10.30906/0023-1134-2015-49-9-35-38. (in Russ.).
12. Kurkin V.A. *Farmakognosiya*. [Pharmacognosy]. Samara, 2004, 1179 p. (in Russ.).
13. Carlotto J., de Souza L.M, Baggio C.H., de P Werner M.F., Maria-Ferreira D., Sasaki G.L., Iacomini M., Cipriani T.R. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, vol. 91, pp. 954–960. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.06.033.
14. Mkrtchian T.A., Snapián G.G., Nikogosian G.A. *Ukrainian Biochemical Journal*, 1998, vol. 1, pp. 98–105.
15. Al-Snafi A.E. *International Journal for Pharmaceutical Research Scholars*, 2014, vol. 3, pp. 663–670.
16. Wang H.Y., Yang J.S., Pao Y.H. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 1993, vol. 28, pp. 911–917.
17. 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. DOI: 10.14258/jcprm.2021028315. (in Russ.).
18. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIV izdaniye*. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV edition]. Moscow, 2018, vol. 4, 1883 p. (in Russ.).
19. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIV izdaniye*. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV edition]. Moscow, 2018, vol. 2, 1449 p. (in Russ.).
20. Bondarchuk S.S., Bondarchuk I.S. *Statobrabotka eksperimental'nykh dannyykh v MS Excel*. [Statistical processing of experimental data in MS Excel]. Tomsk, 2018, 433 p. (in Russ.).
21. Rebrova O.Yu. *Statisticheskii analiz meditsinskikh dannyykh. Primeneniye paketa prikladnykh programm STATISTICA*. [tatistical analysis of medical data. Using the STATISTICA application package]. Moscow, 2000, 312 p. (in Russ.).

Received January 2, 2024

Revised January 17, 2024

Accepted February 13, 2024

Сведения об авторах

Дьякова Нина Алексеевна – доктор фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, Ninochka_V89@mail.ru

Information about authors

Dyakova Nina Alekseevna – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Assistant Professor of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology, Ninochka_V89@mail.ru