

УДК 54-3:58.009:615.322

ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СЫРЬЯ ВОЛОДУШКИ ЗОЛОТИСТОЙ *VUPLEURUM LONGIFOLIUM* SSP. *AUREUM* L. (FISCH. EX HOFFM.) SOO) НА ГРАНИЦЕ АРЕАЛА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

© С.А. Дубровная^{1*}, Л.З. Хуснетдинова¹, А.Н. Акулов², Л.В. Рыжова³, О.А. Тимофеева¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, 420000, Россия, sdubrovnaya@inbox.ru

² Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, ул. Лобачевского, 2, Казань, 420111, Россия

³ Марийский государственный университет, пл. Ленина, 1, Йошкар-Ола, 424000, Россия

Природные популяции лекарственных растений представляют собой уникальные источники биологически активных веществ. В этой связи представляются актуальными работы, направленные на создание устойчивых, высокопродуктивных популяционных локусов лекарственных растений в условиях естественных фитоценозов, перспективных для сбора и заготовки сырья.

Цель исследования – выявить влияние эколого-ценотических факторов на накопление биологически активных веществ в траве володушки золотистой.

Ценопопуляции володушки золотистой *Vupleurum longifolium* ssp. *aureum* L. (Fisch. Ex Hoffm.) Soo) были выявлены в лесных фитоценозах зоны хвойно-широколиственных лесов и лесостепной зоны Республики Татарстан. В каждом местообитании у 15–20 собранных растений среднеговозрастного онтогенетического состояния определяли содержание фенольных соединений, флавоноидов, проантоцианидинов, фотосинтетических пигментов. Проводили хроматографический анализ фенольных соединений сырья каждой ценопопуляции.

Исследования показали, что у растений володушки золотистой в лесостепной зоне отмечался более разнообразный спектр фенольных соединений; только здесь было выявлено присутствие хлорогеновой и бензойной кислот, кверцетина и кемпферола. Во всех сообществах было выявлено высокое внутривидовое варьирование содержания биологически активных веществ. Данный факт следует учитывать при создании плантационных посадок, при сборе сырья.

Ключевые слова: володушка золотистая, флавоноиды, фенольные кислоты, ВЭЖХ.

Для цитирования: Дубровная С.А., Хуснетдинова Л.З., Акулов А.Н., Рыжова Л.В., Тимофеева О.А. Фитохимический состав сырья володушки золотистой *Vupleurum longifolium* ssp. *aureum* L. (Fisch. Ex Hoffm.) Soo) на границе ареала в Республике Татарстан // Химия растительного сырья. 2024. №1. С. 132–139. DOI: 10.14258/jcprm.20240112925.

Введение

Существование в условиях многовекторного воздействия факторов способствует сохранению генетического полиморфизма природных популяций лекарственных растений [1], что обеспечивает синтез широкого спектра биологически активных веществ. В этой связи представляются актуальными работы, направленные на создание в условиях естественных фитоценозов высокопродуктивных популяционных локусов, перспективных для сбора и заготовки сырья.

Цель исследования – выявить влияние эколого-ценотических факторов на накопление биологически активных веществ в траве володушки золотистой (*Vupleurum longifolium*) в различных районах Республики Татарстан.

* Автор, с которым следует вести переписку.

Экспериментальная часть

Объект исследования. Володушка золотистая *Vupleurum longifolium* ssp. *aureum* L. (Fisch. Ex Hoffm.) Soo) – плейстоценовый реликт с дизъюнктивным европейско-сибирским ареалом, считается типичным мезофитом. В пределах республики вид находится на западной границе ареала, встречается на полянах, опушках лиственных и смешанных лесов [2].

Исследования проводили на территории Республики Татарстан (РТ). Северная часть территории республики отнесена к зоне хвойно-широколиственных лесов, западная, восточная и южная части отнесены к лесостепной зоне. Для исследования были выбраны ценопопуляции (ЦП) в различных естественно-географических районах республики. 1 ЦП, 2 ЦП, приурочены к зоне хвойно-широколиственных лесов, 3 ЦП – к лесостепной зоне.

1 ЦП. Пробная площадь была заложена в Зеленодольском районе РТ. Небольшой изолированный участок широколиственного леса находится на вершине склона юго-западной экспозиции, в долине р. Петьялки, возле д. Никольское. Ценопопуляция володушки была обнаружена под пологом и на опушке широколиственного леса. Сомкнутость полога – 0.8. Агрохимическая характеристика почвы представлена в таблице 1. Почва – серая лесная, рН близка к нейтральной, содержание гумуса составило 3.2.

2 ЦП. Пробная площадь была заложена в хвойно-широколиственном лесу Балтасинского района РТ на ровном участке ландшафта. Почвы – серые лесные. Ценопопуляция приурочена к осветленной опушке леса. Почва слабокислая, характеризуется высоким показателем суммарного азота.

3 ЦП. Пробная площадь была заложена в широколиственном лесу на левом берегу р. Камы, в Алексеевском районе РТ. Лес характеризовался значительным осветлением. Сомкнутость полога – 0.4. Почва темно-серая, слабокислая (рН 5.5) с достаточным содержанием гумуса.

Для анализа сырья в каждом местообитании через 3 м отбирали от 15 до 20 растений средневозрастного генеративного состояния. Сбор травы проводили в конце июня, в период массового цветения растений. Сырье сушили воздушно-теньевым методом. У каждого экземпляра определяли содержание фенольных соединений, флавоноидов, антоцианов и проантоцианидинов, каротиноидов и фотосинтетических пигментов, биомассу.

Анализ фенольных соединений. К 25 мг предварительно растертого сухого растительного сырья добавляли 300 мкл 80%-го этанола и инкубировали на водяной бане при температуре 80 °С в течение 30 мин. В полипропиленовые пробирки типа Eppendorf с плотно заворачивающейся резьбовой крышкой объемом 1.5 мл помещали 25 мг предварительно растертого в ступке сухого материала. Добавляли 300 мкл 80%-го этанола, перемешивали с использованием встряхивателя вортекс ELMi V-3 (Elmi, Латвия) в течение 30 сек и инкубировали на водяной бане при температуре 80 °С в течение 30 мин. Полученный экстракт центрифугировали при 12000 г в течение 10 мин. Анализ содержания растворимых фенольных соединений проводили по методу Фолина-Чокальтеу в модификации Синглетона-Росси [3]. К 0.1 мл спиртового экстракта фенольных соединений добавляли 0.5 мл реактива Фолина-Чокальтеу, через 3 мин приливали 0.4 мл водного раствора Na₂CO₃ (75 г/л). В контрольные пробирки вместо экстракта вносили 0.1 мл 80% метанола. Пробирки с реакционной смесью хорошо встряхивали и оставляли на 2 ч в темноте. Измерение оптической плотности проводили в микрокуветах на спектрофотометре при длине волны 765 нм. Содержание фенольных соединений в экстракте определяли с помощью калибровочной кривой, построенной по галловой кислоте. Содержание ФС выражали в мг-экв галловой кислоты на 1 г сухого вещества.

Таблица 1. Характеристика почв изучаемых сообществ

Показатели	Место обитания		
	1 ЦП	2 ЦП	3 ЦП
рН (сол)	6.8	5.3	5.5
Гумус, %	3.2	3.1	4.7
Нитратный азот, мг/кг	3.6	34.7	24.6
Аммиачный азот, мг/кг	15.95	11.3	11.25
Подвижный фосфор, мг/кг	80	22	80
Обменный калий, мг/кг	160	110	66
Обменный кальций, ммоль/100 г	28.5	16.0	22.25
Обменный магний, ммоль/100 г	2.5	3.0	5.0

Для расчета содержания внутриклеточных фенольных соединений в образце использовали формулу:

$$\Phi=(C \cdot V) / m,$$

где Φ – общее содержание фенольных соединений, мг-экв галловой кислоты/г сухого вещества, C – концентрация ΦC , полученная по калибровочной кривой, исходя из оптической плотности образцов, мкг-экв галловой кислоты/мл, V – объем полученного экстракта, мл, m – масса навески, г.

Определение содержания флавоноидов. Для определения суммарного содержания флавоноидов к 150 мкл спиртового экстракта фенольных соединений добавляли 450 мкл 80%-ного этанола и 30 мкл 5%-ного раствора $AlCl_3$ в 2%-ном спиртовом растворе уксусной кислоты. Перемешивали и оставляли на 30 мин. Затем измеряли оптическую плотность при 417 нм используя спектрофотометр Lambda 25 (Perkin Elmer, США). Калибровочную кривую строили по известным концентрациям кверцетина.

Определение содержания антоцианов и проантоцианидинов (АЦ+ПАЦ). Содержание антоцианов и проантоцианидинов определяли по методу Тоге и соавт. [4] с внесенными модификациями. Спиртовой экстракт помещали полипропиленовые пробирки типа Eppendorf с плотно заворачивающейся резьбовой крышкой объемом 1.5 мл высушивали досуха при 35 °С и 20 мбар на вакуумном концентраторе (Concentrator plus, Eppendorf, USA). Затем растворяли 200 мкл 80% ацетона и добавляли 800 мкл смеси HCl-бутанол (1 : 5) и нагревали при 95 °С в течение 1 ч. Охлаждали и центрифугировали 10 мин при 12000 g центрифуге MiniSpin (Eppendorf, США). Супернатант отбирали и измеряли оптическую плотность при 520 нм на спектрофотометре LAMBDA 25 (PerkinElmer, США). Концентрацию антоцианов и проантоцианидинов определяли по калибровочной кривой, построенной по известным концентрациям цианидин-3-глюкозида (CAS 7084-24-4, 99%, Sigma-Aldrich) и проантоцианидина А2 (CAS 41743-41-3, ≥99%, Sigma-Aldrich). Содержание суммы антоцианов и проантоцианидинов рассчитывали в мг/г сухого веса.

Хроматографический анализ фенольных соединений. Разделение фенольных соединений проводили на хроматографической системе высокого давления BioLogic DuoFlow™ (BioRad, США). Использовали колонку Nucleosil 7@ C18 размер пор 6 μm, размеры колонки 4 × 250 мм (Macherey-Nagel, Германия). Детекцию пиков осуществляли посредством детектора BioLogic QuadTec UV/Vis (BioRad, США) при длине волны 280 нм (для фенольных кислот и флавоноидов) и 360 нм (для флавоноидов). Для разделения использовали следующие растворы: раствор А – 6% уксусная кислота, раствор Б – 80% ацетонитрил. Скорость потока – 0.6 мл/мин. Градиент раствора Б был сделан по следующей схеме: 0–4 мин 0%; 4–6 мин 0–5%; 6–8 мин 5%; 8–13 мин 5–30%; 13–16 мин 30%; 16–26 мин 30–65%; 26–31 мин 65%; 31–41 мин 65–100%; 41–46 мин 100%; 46–47 мин 100–0%; 47–52 мин 0%. На колонку вносили по 50 мкл экстракта. Идентификацию пиков проводили, используя набор чистых фенольных соединений: галловая кислота (CAS 149-91-7, ≥98% Merck), Феруловая кислота (CAS 537-98-4, 99%, Alfa Aesar), п-кумаровая кислота (CAS 501-98-4, 98%, Alfa Aesar), эпикатехин (CAS 490-46-0, ≥98%, Merck), хлорогеновая кислота (327-97-9, ≥98%, Merck), кофейная кислота (CAS 331-39-5, 98%, Alfa Aesar), рутин (CAS 250249-75-3, 99% Sigma-Aldrich), бензойная кислота (CAS 65-85-0, 99.5%, Merck), изорамнетин (CAS 480-19-3, ≥95%, Merck), коричная кислота (CAS 140-10-3, 99%, Sigma-Aldrich), кверцетин (CAS 117-39-5, 99%, Merck), кемпферол (CAS 520-18-3, ≥90%, Merck), кемпферид (CAS 491-54-3, 98%, Merck).

Определение содержания хлорофилла и каротиноидов. Работу проводили спектрофотометрически [5] с внесенными модификациями. Для экстрагирования хлорофилла, навеску сухой биомассы листьев растирали и до порошкообразного состояния. Заливали 80% ацетоном и оставляли на шейкере на 1 ч при комнатной температуре. Затем центрифугировали (10 мин, 12000 об./мин) и отбирали супернатант, а оставшийся осадок экстрагировали еще два раза. Все супернатанты объединяли и измеряли поглощение экстракта при длинах волн, соответствующих хлорофиллам а, б и каротиноидам на спектрофотометре Lambda 25 (PerkinElmer, США). Расчет содержания проводили согласно методическим рекомендациям [5].

При отсутствии нормального распределения выборки оценивали медиану (Me), процентилю, варьирование признака в пределах выборки (минимальные и максимальные значения). Для характеристики однородности выборки и степень изменчивости признака определяли коэффициент вариации (Cv). Для выявления зависимости между условиями произрастания и содержанием фенольных соединений в сырье был проведен двухфакторный иерархический дисперсионный анализ. Оценку взаимосвязи между содержанием различных биологически активных веществ проводили с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена. В работе применялись традиционные показатели значимости признаков: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

Обсуждение результатов

Результаты нашего исследования показали, что состав фенольных соединений растения *B. aureum* имеет ряд сходств с спектром фенольных соединений володушки многожилковой (*Bupleurum multinervis* DC) [6]. Как и в растениях *B. multinervis* в составе экстрактов *B. aureum* были обнаружены фенольные кислоты и флавоноиды. Методом обращено-фазной ВЭЖХ в экстрактах травы *B. aureum* было идентифицировано 12 соединений: галловая, хлорогеновая, кофейная, феруловая, бензойная и коричная кислоты, эпикатехин, рутин, изорамнетин, кверцетин, кемпферол и кемпферид (рис. 1).

Изучение морфофизиологической изменчивости природных популяций *B. aureum* показало, что ботанико-географические условия произрастания оказывают большое влияние на качественный состав фенольных соединений сырья. В экстрактах растений из Алексеевского района в спектре фенольных соединений выявили присутствие хлорогеновой и бензойной кислот, кверцетина и кемпферола (рис. 1 А), которые отсутствовали в спектре фенольных соединений растений из Балтасинского и Зеленодольского районов (рис. 1 Б, В). В экстрактах растений из Балтасинского района было выявлено наличие эпикатехина (рис. 1 Б, В). Важно отметить, что интенсивности пиков рутина и изорамнетина в экстрактах листьев растений Алексеевского района были примерно равными, в то время как в экстрактах растений Балтасинского и Зеленодольского районов, интенсивность пика рутина была выше по сравнению с интенсивностью пика изорамнетина.

Разный качественный и количественный состав фенольных соединений обеспечивает поливариантность адаптации к изменяющимся факторам среды [7–10]. Содержание флавоноидов рутина и изорамнетина несколько отличалось в различных ботанико-географических зонах. Высокое содержание флавоноидов володушки фиксировали в зоне хвойно- широколиственных лесов [11].

Для выявления зависимости между условиями произрастания и содержанием фенольных соединений в сырье володушки был проведен двухфакторный иерархический дисперсионный анализ; факторы – ценопопуляция (фиксированный) и образец (случайный); фактор образец вложен в ценопопуляцию. Для всех признаков, кроме содержания каротиноидов, значимым оказался только фактор «Образец» ($P < 10^{-6}$). Доля изменчивости этого фактора для разных признаков составляет 97–99%, т.е. содержание фенольных соединений в большей степени варьирует между разными растениями в пределах одной ценопопуляции. Для признака «Содержание каротиноидов» оказываются значимыми оба фактора: ценопопуляция ($P = 0.005$) и образец ($P < 10^{-6}$). Наибольшая изменчивость (74%) приходится на «Образец», доля изменчивости между ценопопуляциями составила 25%. Действительно, во всех местах обитания отмечалось высокое варьирование показателя «Содержание фенольных соединений» в пределах образцов. Разница между минимальным и максимальным значением варьировала в 2–3 раза (табл. 2). Содержание фенольных соединений может значительно варьировать от освещения, эдафического фактора и случайных сочетаний факторов [7–10, 12–14]. Достаточно высокая изменчивость характерна для биомассы травы. В разных ценопопуляциях она составила 42–60% (табл. 2).

Оценку взаимосвязи между содержанием различных биологически активных веществ проводили с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена. Между всеми изучаемыми признаками (содержание фенольных соединений, содержание флавоноидов, содержание каротиноидов, содержание антоцианов) наблюдается высокая корреляция (табл. 3). Наибольшая положительная корреляция наблюдается между содержанием флавоноидов и фенольных соединений ($r_s = 0.99$), АЦ+ПАЦ и хлорофиллом ($r_s = 0.80$). Также нужно отметить, что между некоторыми веществами наблюдается отрицательная связь.

Природные популяции володушки характеризовались существенной неоднородностью по признаку «Биомасса травы» (табл. 3). Коэффициент вариации в Зеленодольском районе (ЦП 1) составил 59,7%. С учетом выявленной гетерогенности признака выборка была ранжирована на три класса жизненности (высокий – 1; нормальный – 2; низкий – 3), согласно виталитетному статусу особей [15]. Класс высокой жизненности включал единичные растения, поэтому они были объединены с растениями класса нормальной жизненности (табл. 4).

Проведенные исследования показали, что растения небольшого размера в третьем классе жизненности характеризуются большим содержанием фенольных соединений.

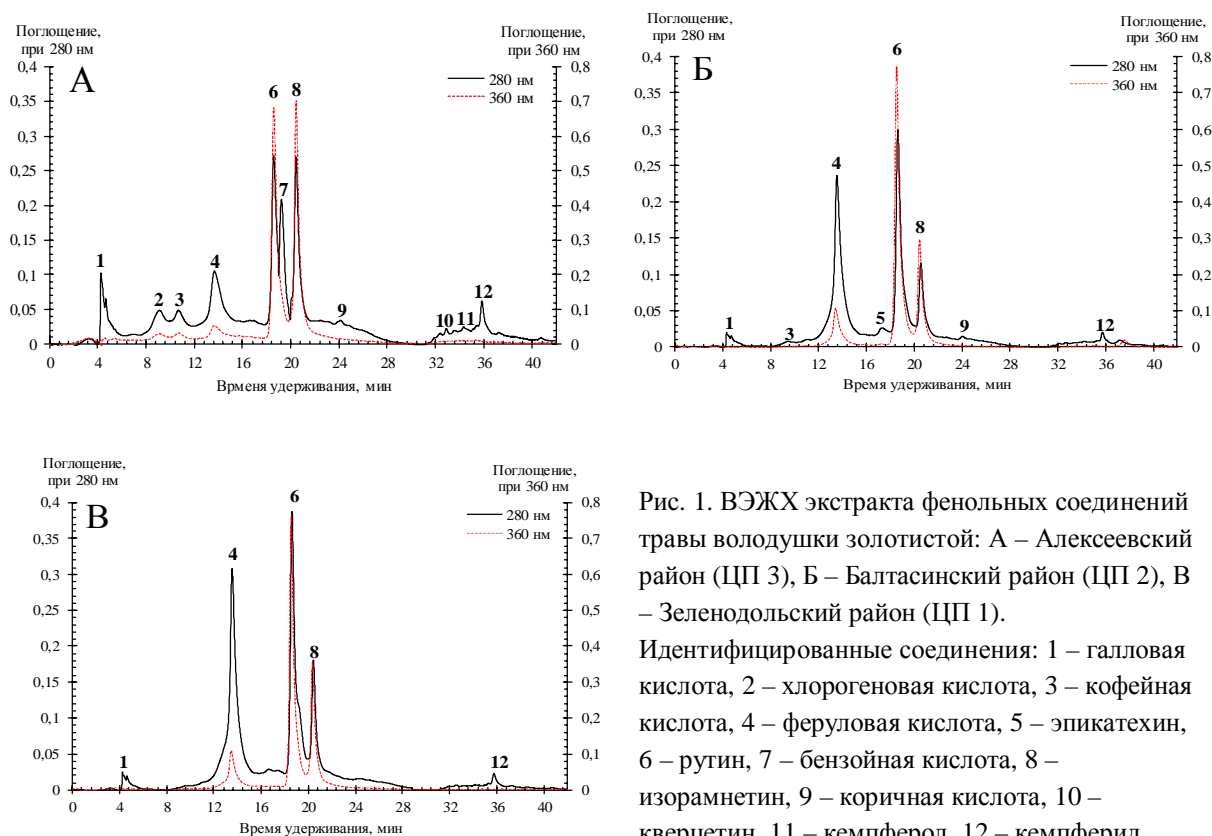


Рис. 1. ВЭЖХ экстракта фенольных соединений травы володушки золотистой: А – Алексеевский район (ЦП 3), Б – Балтасинский район (ЦП 2), В – Зеленодольский район (ЦП 1).

Идентифицированные соединения: 1 – галловая кислота, 2 – хлорогеновая кислота, 3 – кофейная кислота, 4 – феруловая кислота, 5 – эпикатехин, 6 – рутин, 7 – бензойная кислота, 8 – изорамнетин, 9 – коричная кислота, 10 – кверцетин, 11 – кемпферол, 12 – кемпферид

Таблица 2. Морфолого-физиологическая характеристика природных популяций *B. Longifolium*

Район	Медиана (Me)	min-max	Нижний квартиль	Верхний квартиль	Коэффициент вариации CV (%)
Фенольные соединения (мг/г)					
ЦП 1	59.93	33.36–86.74	51.63	67.12	25.2
ЦП 2	54.47	26.14–81.07	40.71	68.35	30.6
ЦП 3	49.71	33.42–61.97	41.57	55.82	16.51
Флавоноиды (мг/г)					
ЦП 1	33.96	18.97–49.31	29.35	38.16	25.4
ЦП 2	30.97	14.86–46.09	22.93	39.17	30.1
ЦП 3	28.26	19.00–36.92	24.23	30.74	16.91
Каротиноиды (мг/г)					
ЦП 1	0.36	0.24–0.43	0.32	0.41	16.8
ЦП 2	0.31	0.21–0.42	0.26	0.38	23.3
ЦП 3	0.39	0.28–0.56	0.36	0.43	15.44
Хлорофилл (мг/г)					
ЦП 1	3.23	1.38–4.50	2.48	3.53	28.7
ЦП 2	3.24	1.66–4.40	2.55	3.73	22.5
ЦП 3	3.54	2.28–4.49	3.27	3.85	14.12
Антоцианы (мг/г)					
ЦП 1	7.27	4.42–10.65	6.21	7.75	22.23
ЦП 2	7.29	4.92–8.72	5.73	7.98	17.7
ЦП 3	7.32	4.26–9.39	6.56	8.00	17.31
Биомасса травы (г)					
ЦП 1	4.08	1.19–9.12	2.08	5.15	59.7
ЦП 2	2.94	2.20–7.39	2.66	4.61	41.8
ЦП 3	3.19	2.23–6.97	2.51	3.72	41.5

Таблица 3. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между биологически активными веществами

	Фенольные соединения	Флавоноиды	Каротиноиды	Хлорофилл
Флавоноиды	0.99***	–	–	–
Каротиноиды	-0.26*	-0.25*	–	–
Хлорофилл	-0.57***	-0.56***	0.62***	–
АЦ+ПАЦ	-0.40***	-0.38***	0.46***	0.80***

Примечание: в таблице приведен уровень значимости коэффициентов корреляции: *P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001.

Таблица 4. Особенность накопления фенольных соединений растений *B. longifolium* различного класса жизненности

Показатели	Местообитание					
	Зеленодольский район (ЦП 1)		Балтасинский район (ЦП 2)		Алексеевский район (ЦП 3)	
Класс жизненности	1-2	3	1-2	3	1-2	3
Средняя масса травы (г)	5.6	2.2	4.4	2.6	4.6	2.6
Фенольные соединения (мг/г)	56.2	66.2	46.12	64.16	50	51.52
Коэффициента корреляции Спирмена	-0.3	-0.7	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3

Выводы

Спектр фенольных соединений в сырье володушки золотистой из различных районов РТ значительно варьировал. В экстрактах растений из Алексеевского района в спектре фенольных соединений выявили присутствие хлорогеновой и бензойной кислот, кверцетина и кемпферола, в экстрактах растений из Балтасинского района было выявлено наличие эпикатехина.

Была отмечена высокая внутривидовая вариабельность по признакам «Содержания фенольных соединений», «Содержания флавоноидов», «Содержание каротиноидов», «Содержания антоцианов».

Высокая корреляция в растениях отмечается между содержанием флавоноидов и фенольных соединений ($r_s=0.99$), АЦ+ПАЦ и хлорофиллом ($r_s=0.80$), отрицательная корреляция между флавоноидами и пигментами фотосинтеза.

Отсутствие достоверных отличий по содержанию биологически активных веществ в фитоценозах различных ботанико-географических зон РТ позволяет рекомендовать сбор и заготовку сырья в любых районах. Высокую неоднородность выборки по качественным и количественным показателям необходимо учитывать при проведении селекционных работ и создании искусственных плантаций.

Финансирование

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030), а также при частичной финансовой поддержке Госзадания КИББ ФИЦ КазНЦ РАН.

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, предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Ensslin A., Godefroid S. How cultivating wild plants in botanic gardens can change their genetic and phenotypic status and what it means for their conservation value // *Sibbaldia: the International Journal of Botanic Garden Horticulture*. 2019. Vol. 17. Pp. 51–69. DOI: 10.24823/Sibbaldia.2019.267.
2. Демина Г.В., Кадырова Л.Р., Прохоренко Н.Б., Тимофеева О.А., Хуснетдинова Л.З. Атлас лекарственных растений Республики Татарстан. Казань, 2022. 456 с.
3. Singleton V.L., Rossi J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolyb-dicphoungstic acid reagent // *Am. J. Enol. Vitic.* 1965. Vol. 16. Pp. 144–158.
4. Tohge T., Matsui K., Ohme-Takagi M., Yamazaki M., Saito K. Enhanced radical scavenging activity of genetically modified Arabidopsis seeds // *Biotechnology letters*. 2005. Vol. 27. Pp. 297–303. DOI: 10.1007/s10529-005-0683-7.

5. Коробко В.В., Касаткин М.Ю. Физиология растений: большой практикум: учебное пособие для студентов биологического факультета. Саратов, 2017. 120 с.
6. Минович В.М., Оленников Д.Н., Петухова С.А., Посохина А.А. Флавоноиды и фенилпропаноиды надземных органов володушки многожилковой (*Bupleurum multinerve* DC.) флоры Прибайкалья // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 121–128. DOI: 10.14258/jcprm.2020047530.
7. Щербаков А.В., Чистякова М.В., Усманов И.Ю. Экологические аспекты регуляции пластичности накопления флавоноидов на Южном Урале // Вестник Башкирского университета. 2011. Т. 16, №4. С. 1198–1205.
8. Щербаков А.В., Усманов И.Ю., Суюндуков Я.Т. Внутрипопуляционная изменчивость биосинтеза флавоноидов в лекарственных растениях Южного Урала // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, №1. С. 274–279.
9. Becker C., Urlic B., Jukić Špika M., Kläring H-P., Krumbein A., Baldermann S. et al. Nitrogen Limited Red and Green Leaf Lettuce Accumulate Flavonoid Glycosides, Caffeic Acid Derivatives, and Sucrose while Losing Chlorophylls, B-Carotene and Xanthophylls // PLoS ONE. 2015. Vol. 10(11). e0142867. DOI: 10.1371/journal.pone.0142867.
10. Gul H., Kinza S., Shinwari Z.K., Hamayun M. Effect of selenium on the biochemistry of zea mays under salt stress // Pakistan Journal of Botany. 2017. Vol. 49. Pp. 25–32.
11. Timofeeva O.A., Dubrovnaya S.A., Khuznetdinova L.Z. Morphophysiological characterization of *Bupleurum aureum* in natural populations of the Republic of Tatarstan // Acta Biologica Sibirica. 2022. Vol. 8. Pp. 843–855. DOI: 10.5281/zenodo.7749924.
12. Agati G., Tattini M. Multiple functional roles of flavonoids in photoprotection // New Phytologist. 2010. Vol. 186. Pp. 786–793.
13. Mierziak J., Kostyn K., Kulma A. Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment // Molecules. 2014. Vol. 19. Pp. 16240–16265.
14. Соловченко А.Е., Мерзляк М.Н. Экранирование видимого и УФ-излучения как механизм фотозащиты у растений // Физиология растений. 2008. Т. 55. С. 803–822.
15. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. Казань, 1989. 145 с.

Поступила в редакцию 28 апреля 2023 г.

После переработки 13 июня 2023 г.

Принята к публикации 27 июня 2023 г.

Dubrovnaya S.A.^{1*}, Khuznetdinova L.Z.¹, Akulov A.N.², Ryzhova L.V.³, Timofeeva O.A.¹ PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF RAW MATERIALS OF *BUPLEURUM LONGIFOLIUM* SSP. *AUREUM* L. (FISCH. EX HOFFM.) SOO ON THE BORDER OF THE RANGE OF THE TATARSTAN REPUBLIC

¹ Kazan (Volga Region) Federal University, Kremlevskaya st., 18, Kazan, 420000, Russia, e-mail: sdubrovnaya@inbox.ru

² Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Federal Research Center KazSC RAS, Lobachevskogo st., 2, Kazan, 420111, Russia

³ Mari State University, pl. Lenina, 1, Yoshkar-Ola, 424000, Russia

B. longifolium ssp. *aureum* cenopopulations were detected in forest phytocenoses of the coniferous-broad-leaved forests and the forest-steppe zones of the Republic of Tatarstan. In each habitat, the concentration of phenolic compounds, flavonoids, proanthocyanidins, and photosynthetic pigments was determined in 20 collected plants of the middle age ontogenetic state. Chromatographic analysis of phenolic compounds of the raw materials of each cenopopulation was carried out.

It was found that the content of rutin and ferulic acid of plants in the zone of coniferous-broadleaf forests was higher than in the forest-steppe zone. However, there was a more diverse spectrum of phenolic compounds. The chlorogenic and benzoic acids, quercetin and kaempferol were detected. In all communities, high intra-population variation in the concentration of biologically active substances was revealed. This fact should be taken into account during plantation creations and raw materials collection.

Keywords: *Bupleurum longifolium* ssp. *aureum*, flavonoids, phenolic acids, HPLC.

For citing: Dubrovnaya S.A., Khuznetdinova L.Z., Akulov A.N., Ryzhova L.V., Timofeeva O.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 1, pp. 132–139. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240112925.

* Corresponding author.

References

1. Ensslin A., Godefroid S. *Sibbaldia: the International Journal of Botanic Garden Horticulture*, 2019, vol. 17, pp. 51–69. DOI: 10.24823/Sibbaldia.2019.267.
2. Demina G.V., Kadyrova L.R., Prokhorenko N.B., Timofeyeva O.A., Khusnetdinova L.Z. *Atlas lekarstvennykh rasteniy Respubliki Tatarstan*. [Atlas of medicinal plants of the Republic of Tatarstan]. Kazan', 2022, 456 p. (in Russ.).
3. Singleton V.L., Rossi J.A. *Am. J. Enol. Vitic.* 1965, vol. 16, pp. 144–158.
4. Tohge T., Matsui K., Ohme-Takagi M., Yamazaki M., Saito K. *Biotechnology letters*, 2005, vol. 27, pp. 297–303. DOI: 10.1007/s10529-005-0683-7.
5. Korobko V.V., Kasatkin M.Yu. *Fiziologiya rasteniy: bol'shoy praktikum. Uchebnoye posobiye dlya studentov biologicheskogo fakul'teta*. [Plant physiology: large workshop: textbook for students of the Faculty of Biology]. Saratov, 2017, 120 p. (in Russ.).
6. Mirovich V.M., Olennikov D.N., Petukhova S.A., Posokhina A.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 121–128. DOI: 10.14258/jcprm.2020047530. (in Russ.).
7. Shcherbakov A.V., Chistyakova M.V., Usmanov I.Yu. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2011, vol. 16, no. 4, pp. 1198–1205. (in Russ.).
8. Shcherbakov A.V., Usmanov I.Yu., Suyundukov Ya.T. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 1, pp. 274–279. (in Russ.).
9. Becker C., Urlic B., Jukić Špika M., Kläring H-P., Krumbein A., Baldermann S. et al. *PLoS ONE*, 2015, vol. 10(11), e0142867. DOI: 10.1371/journal.pone.0142867.
10. Gul H., Kinza S., Shinwari Z.K., Hamayun M. *Pakistan Journal of Botany*, 2017, vol. 49, pp. 25–32.
11. Timofeeva O.A., Dubrovnaya S.A., Khuznetdinova L.Z. *Acta Biologica Sibirica*, 2022, vol. 8, pp. 843–855. DOI: 10.5281/zenodo.7749924.
12. Agati G., Tattini M. *New Phytologist*, 2010, vol. 186, pp. 786–793.
13. Mierziak J., Kostyn K., Kulma A. *Molecules*, 2014, vol. 19, pp. 16240–16265.
14. Solovchenko A.Ye., Merzlyak M.N. *Fiziologiya rasteniy*, 2008, vol. 55, pp. 803–822. (in Russ.).
15. Zlobin Yu.A. *Printsipy i metody izucheniya tsenoticheskikh populyatsiy rasteniy*. [Principles and methods of studying coenotic plant populations]. Kazan', 1989, 145 p. (in Russ.).

Received April 28, 2023

Revised June 13, 2023

Accepted June 27, 2023

Сведения об авторах

Дубровная Светлана Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент, sdubrovnaya@inbox.ru

Хуснетдинова Ландыш Завдетовна – кандидат биологических наук, доцент, husnetdinova.l@mail.ru

Акулов Антон Николаевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, akulov_anton@mail.ru

Рыжова Людмила Валерьяновна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биологии, procopjeva@mail.ru

Тимофеева Ольга Арнольдовна – доктор биологических наук, профессор, otimofeeva2008@mail.ru

Information about authors

Dubrovnaya Svetlana Alekseevna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, sdubrovnaya@inbox.ru

Khusnetdinova Landysh Zavdetovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, husnetdinova.l@mail.ru

Akulov Anton Nikolaevich – candidate of biological sciences, senior researcher, akulov_anton@mail.ru

Ryzhova Lyudmila Valeryanovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biology, procopjeva@mail.ru

Timofeeva Olga Arnoldovna – Doctor of Biological Sciences, Professor, otimofeeva2008@mail.ru