

УДК 547.91, 615.32

## ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВОЛОДУШКИ КОЗЕЛЬЦЕЛИСТНОЙ ТРАВЫ (*BUPLEURUM SCORZONERIFOLIUM* WILLD.) В РАЗНЫЕ ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗЫ

© Ж.А. Тыхеев<sup>1,2\*</sup>, В.В. Тараскин<sup>1,2</sup>, С.В. Жигжитжапова<sup>1</sup>, Д.Г. Чимитов<sup>3</sup>, Л.Д. Раднаева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670047 (Россия), e-mail: gagarin199313@gmail.com

<sup>2</sup> Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, ул. Смолина, 24а, Улан-Удэ, 670000 (Россия)

<sup>3</sup> Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670047 (Россия)

Статья посвящена изучению изменения состава биологически активных веществ (эфирных масел, липидной фракции, фенольных соединений) надземной части володушки козельцелистной (*Bupleurum scorzonerifolium* Willd.) в зависимости от фазы развития растений. Наибольшим разнообразием входящих в состав эфирных масел соединений отличается фаза цветения. Пятнадцать терпеновых соединений – *n*-цимол,  $\beta$ -мирцен, *транс*- $\beta$ -оцимен, лимонен, (*E,E*)- $\alpha$ -фарнезен,  $\alpha$ -копаен,  $\beta$ -элемен, гумулен, гермакрен Д, кариофиллен,  $\gamma$ -муролен, бициклогермакрен,  $\Delta$ -кадинен, *t*-муролол, спатуленол – являются константными компонентами эфирных масел вне зависимости от фенофазы. Количественное содержание данных компонентов варьирует от следовых до основных на разных фенологических фазах. Установлено совпадение основных компонентов липидной фракции. Основной насыщенной кислотой является 16:0. В зависимости от фазы вегетации ее содержание меняется – примерно на одном уровне определена в фазах вегетации и цветения (26.78% и 27.26% соответственно) и наблюдается снижение к фазе плодоношения (18.17%). Основной мононенасыщенной жирной кислотой является 18:1n9. Наибольшее ее содержание обнаружено в фазу плодоношения, наименьшее – цветения. Преобладающей полиненасыщенной жирной кислотой является 18:2n9,12. Наибольшее ее содержание обнаружено в фазу вегетации (26.78%), наименьшее – цветения (24.23%). Тем не менее общее содержание ненасыщенных жирных кислот превышает общее содержание насыщенных во все фазы развития растения. Однако их соотношение меняется от фенофазы. Для всех изученных образцов наблюдается общая закономерность наибольшего содержания фенольных соединений в фазу цветения. Показано, что в период массового цветения наблюдается максимальное накопление эфирных масел, липидов и фенольных соединений.

**Ключевые слова:** *Bupleurum scorzonerifolium*, володушка козельцелистная, жирные кислоты, эфирное масло, фенольные соединения, фенофазы.

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-34-00515, проекта БГУ №20-09-0502, а также при частичной финансовой поддержке в рамках Государственного задания БИП СО РАН и проекта №АААА-А17-117011810036-3 ИОЭБ СО РАН.

### Введение

Один из наиболее распространенных в азиатской части России видов рода володушка (*Bupleurum* L.) семейства зонтичные (Umbelliferae) является володушка козельцелистная (*Bupleurum scorzonerifolium* Willd.), активно применяющаяся в практиках народной и традиционной медицины. В Китае, Корее и Японии является официальным растением и успешно используется в качестве противовоспалительного, жаропонижающего, желчегонного, тонизирующего, стимулирующего средства [1, 2].

Тыхеев Жаргал Александрович – аспирант, ассистент кафедры фармации, e-mail: gagarin199313@gmail.com

Тараскин Василий Владимирович – кандидат фармацевтических наук, старший научный сотрудник, старший преподаватель кафедры фармации, e-mail: vvtaraskin@mail.ru

Есть сведения о составе эфирных масел и липидной фракций растений этого вида, произрастающих на территории Забайкалья, Монголии и Китая [3]. В литературе также

Окончание на С. 112.

\* Автор, с которым следует вести переписку.

имеется ряд работ: изучен состав флавоноидов нескольких видов володушек, в том числе *B. scorzonerifolium* флоры Бурятии [4], исследованы фенольные соединения, эфирные масла, элементный состав володушки козельцелистной, произрастающей в Прибайкалье [5–11]. Однако известно, что накопление биологически активных соединений (БАС) в растениях в течение вегетационного периода является динамическим процессом, зависящим от многочисленных факторов окружающей среды [12]. Изучение изменения состава компонентов липидной фракции и эфирных масел, флавоноидов, фенолкарбоновых кислот и дубильных веществ растения в течение вегетационного периода позволяет выявить их роль в развитии, росте и адаптации к условиям окружающей среды, а также, установить оптимальные сроки заготовки сырья. Однако изменению содержания суммы фенольных соединений *B. scorzonerifolium* в разные стадии развития растений посвящена только одна статья [5]. В связи с вышесказанным настоящая работа является актуальной.

Цель работы – изучить динамику содержания компонентов липидной фракции, эфирных масел и фенольных соединений надземной части володушки козельцелистной травы в разные фенологические фазы, произрастающей на территории Республики Бурятия.

### Экспериментальная часть

Объекты для исследования собирали в местах естественного произрастания растений в 2018 г. (Республика Бурятия, Улан-Удэ, Октябрьский район, посёлок Южный) в разные фенофазы: начало вегетации, цветение и плодоношение. Внешние признаки растения свидетельствовали об отсутствии влияния антропогенного воздействия. Гербарные образцы хранятся в коллекции совместной лаборатории химии природных систем Байкальского института природопользования и Бурятского государственного университета им. Доржи Банзарова. Воздушно-сухое сырье (в.с.с.) анализировали в год сбора.

Эфирные масла получали методом гидродистилляции в течение 3 часов. Липидную фракцию выделяли модифицированным методом Блайя и Дайера [13]. Качественный состав и количественное содержание компонентов эфирных масел и жирных кислот исследовали на газо-хромато-масс-спектрометрической системе Agilent 6890/5973N. Использовалась 30-метровая кварцевая колонка HP-5MS (номер по каталогу 19091S-433). Процентный состав компонентов эфирных масел вычисляли по площадям газохроматографических пиков без использования корректирующих коэффициентов. Качественный анализ основан на сравнении времен и индексов удерживания, а также полных масс-спектров, библиотеки хромато-масс-спектрометрических данных летучих веществ растительного происхождения [14] и библиотеки масс-спектральных данных NIST14. Качественный анализ компонентов липидной фракции основан на сравнении времен удерживания и полных масс-спектров соответствующих чистых соединений с использованием библиотеки данных NIST14.L и стандартных смесей Bacterial Acid Methyl Esters (CP Mix, Supelco, Bellefonte, PA, USA) и Fatty Acid Methyl Esters (Supelco 37 comp. FAME Mix 10 mg/mL in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>). Сумму флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом [9]. Количественное определение суммы фенолкарбоновых кислот проводили методом прямой спектрофотометрии [9]. Дубильные вещества определяли методом окислительно-восстановительного титрования согласно [15].

### Обсуждение результатов

*Эфирные масла.* Выход эфирных масел из надземной части *B. scorzonerifolium* в различные фенологические фазы составил от 0.26 до 0.85% от массы в.с.с. Выделенные эфирные масла представляли собой подвижные жидкости светло-желтого цвета легче воды. Наибольший выход обнаружен в фазу цветения, наименьший – вегетации (табл. 1).

В составе эфирных масел, выделенных из надземной части володушки козельцелистной в разные фенофазы, идентифицировано более 30 соединений, относящиеся к альдегидам, моно- и сесквитерпеновым соединениям (табл. 1).

Наибольшим разнообразием входящих в состав эфирных масел соединений отличается фаза цветения.

*Жигжитжапова Светлана Васильевна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: Zhig2@yandex.ru

*Чимитов Даба Гомбоцыренович* – кандидат биологических наук, доцент, ведущий инженер, e-mail: dabac@mail.ru

*Раднаева Лариса Доржиевна* – доктор химических наук, профессор, заведующая лабораторией, e-mail: radld@mail.ru

Пятнадцать терпеновых соединений – *n*-цимол,  $\beta$ -мирцен, *транс*- $\beta$ -оцимен, лимонен, (*E,E*)- $\alpha$ -фарнезен,  $\alpha$ -копаен,  $\beta$ -элемен, гумулен, гермакрен Д, карифиллен,  $\gamma$ -муролен, бициклогермакрен, *d*-кадинен, Т-муролол, спатуленол – обнаружены во все фазы развития растения. Остальные идентифицированные компоненты эфирных масел володушки козельцелистной появляются или исчезают

в разные фенофазы. Только в начале вегетации обнаружены *транс*-карвилацетат и *изо*-аромадендрена эпоксид. В фазе цветения – сальвиadiensол и сальвиал-4(14)-ен-1-он. Пентадеканаль обнаружен только в фазу плодоношения. Основными компонентами эфирных масел в фазу начала вегетации являются гермакрен Д, кариофиллен, кариофиллен оксид, спатуленол и  $\beta$ -элемен. В фазе цветения основными отмечены гермакрен Д, *транс*- $\beta$ -оцимен, лимонен, кариофиллен,  $\beta$ -мирцен. В фазу плодоношения основными компонентами являются гермакрен Д, *транс*- $\beta$ -оцимен,  $\beta$ -мирцен, лимонен, кариофиллен. Вне зависимости от фазы вегетации основными компонентами являются сесквитерпены гермакрен Д и кариофиллен. Содержание компонентов может варьировать от следовых до значительных величин на разных фенофазах. Например, при переходе из фазы цветения в фазу плодоношения почти в два раза возрастает содержание  $\gamma$ -терпинена и почти в пять раз возрастает содержание  $\beta$ -фарнезена. Примерно на одном уровне сохраняются в фазах цветения и плодоношения доля *цис*- $\beta$ -оцимена, терпинеола-4,  $\alpha$ -пинена, сабинена,  $\beta$ -пинена,  $\beta$ -копаена. Количественное содержание  $\beta$ -мирцена резко возрастает в фазу цветения (почти в 10 раз) и в фазу плодоношения (почти в 1.5 раза) по сравнению с предыдущей фазой развития. Количественное содержание *транс*- $\beta$ -оцимена увеличивается по мере развития растения, в фазу цветения его доля в эфирном масле возрастает почти в 10 раз по сравнению с началом вегетации и сохраняется на этом уровне в фазу плодоношения. От фазы начала вегетации к фазе цветения уменьшается содержание кариофиллена,  $\gamma$ -муролона, Т-муролола, спатуленола.

Установлено, что константными компонентами эфирных масел *B. scorzonrifolium* в фазу цветения являются *цис*- $\beta$ -оцимен, *транс*- $\beta$ -оцимен, лимонен,  $\alpha$ -пинен,  $\beta$ -элемен, кариофиллен оксид, их содержание варьирует от следовых до значительных в зависимости от степени увлажненности места обитания [3], что также подтверждается и данными настоящего исследования. Стоит отметить, что из вышеупомянутых соединений только три – *транс*- $\beta$ -оцимен, лимонен и  $\beta$ -элемен – встречаются во все фазы развития, то есть они являются константными для эфирных масел *B. scorzonrifolium* вне зависимости от места произрастания и фазы вегетации.

Различия в наборе компонентов и в их содержании в маслах в разные фенологические фазы развития растения могут быть объяснены за счет образования новых функциональных органов, в клетках которых синтезируется дополнительный набор веществ, а также может быть связано с их экологической функцией. В составе эфирных масел на разных стадиях развития доминирующими компонентами являются соединения, обеспечивающие взаимодействие между организмами на различном уровне. Обращает на себя внимание, что в фазу цветения и плодоношения количественно возрастает соединения, оказывающие влияние на поведение насекомых (*цис*-, *транс*- $\beta$ -оцимен, лимонен,  $\beta$ -мирцен и др.). От фазы вегетации к фазе плодоношения увеличивается количественное содержание алифатических сесквитерпенов ( $\beta$ -фарнезен), в тоже время уменьшается содержание кариофиллен оксида и спатуленола. Указанные сесквитерпеноиды, обладая антифедантными, репеллентными, антирадикальными и антиоксидантными свойствами, являются не только защитными соединениями растений, но и играют существенную биологическую роль, участвуя в регуляции внутриклеточных процессов [16, 17].

Полученные данные позволяют определить, что фаза массового цветения является наиболее оптимальной для заготовки сырья, поскольку в это время накапливается наибольшее количество эфирных масел, и эта фаза отличается наибольшим разнообразием компонентов, входящим в их состав, которые проявляют антирадикальные, противовоспалительные, антимикробные свойства [18].

*Липидная фракция.* Содержание липидов в надземной части *B. scorzonrifolium* в различные фенологические фазы составило от 2.97 до 7.37% от массы в.с.с. Выделенные липидные фракции представляют собой густые, вязкие массы темно-зеленого цвета с приятным запахом. Наибольший выход обнаружен в фазу цветения, наименьший – вегетации (табл. 2). В составе липидной фракции было идентифицировано 35 соединений, относящиеся к жирным кислотам, стеринам и прочим компонентам.

Доминирующими жирными кислотами являются 16:0, 18:1n9 и 18:2n9, стеринны представлены  $\beta$ -ситостеролом. Стоит отметить изменение содержания 10-нонадеканола (0.76% в фазу вегетации, 8.04 и 8.14% в фазы цветения и плодоношения соответственно), которое из фазы вегетации в фазу цветения возрастает почти в 10 раз и сохраняется на этом уровне и в фазу плодоношения. Также только в эти фазы развития растения обнаружены углеводороды: алкин – 4-тридецен-6-ин, и алкан – гептадекан.

В разные фенологические фазы обнаружено 17 насыщенных жирных кислот (НЖК). Их суммарное содержание в исследованных образцах находится в пределах 36.73–43.98%. Наибольшее содержание обнаружено в фазу цветения, наименьшее – в фазу плодоношения. Основной НЖК является 16:0. Ее содержание изменяется в течение вегетационного периода: в фазах вегетации и цветения (26.78 и 27.26% соответственно) примерно на одном уровне и снижается в фазу плодоношения (18.17%). Кислота 13:0 обнаружена в следовых количествах (0.37%) только в фазу плодоношения.

Содержание мононенасыщенные жирных кислот (МНЖК) на разных фазах развития находится в интервале 21.51–29.03%. Наибольшее их содержание установлено в фазу вегетации; наименьшее – в фазу цветения. Кислота 18:1n6 (0.95%) идентифицирована только в фазе начала вегетации. Основной МНЖК является 18:1n9. Наибольшее ее содержание обнаружено в фазу плодоношения, наименьшее – цветения. Наибольшее суммарное содержание полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) определено в фазу вегетации (28.53%) и наименьшее – в цветение (24.23%). Основной ПНЖК является 18:2n9,12, наибольшее ее содержание обнаружено в фазу вегетации (26.78%), наименьшее – в цветение (24.23%).

Во все фазы развития растения суммарное содержание ненасыщенных жирных кислот выше, чем такое насыщенным. При этом в наибольшее превалирование (примерно в 1.4–1.5 раза) ненасыщенных жирных кислот наблюдается в начале вегетации и в фазу плодоношения. Увеличение количества ненасыщенных жирных кислот в относительно холодные месяцы вегетационного периода (июнь, август) приводит к увеличению текучести мембран, таким образом, способствуя адаптации растений к низкотемпературному стрессу [19, 20].

Таблица 1. Выход, качественный состав и количественное содержание компонентов эфирных масел надземной части *Vupleurum scorzonerifolium* в разные фенологические фазы

RI	Компонент	Выход эфирных масел, % / Фаза развития растения		
		начало вегетация	цветение	плодоношение
		0.26	0.85	0.66
Содержание компонентов, %				
	$\Sigma$ Альдегиды	–	0.36	3.40
1317	(2E,4E)-дека-2,4-диеналь	–	0.36	–
1712	Пентадеканаль	–	–	3.40
	$\Sigma$ Ароматические соединения	0.42	4.80	2.40
1024	n-цимол	0.42	4.80	2.40
	$\Sigma$ Ациклические монотерпены	1.84	17.74	21.05
991	$\beta$ -мирцен	0.52	5.46	7.66
1038	цис- $\beta$ -оцимен	–	1.25	1.44
1048	транс- $\beta$ -оцимен	1.32	11.03	11.95
	$\Sigma$ Моноциклические монотерпены	1.35	9.69	9.75
1028	Лимонен	0.56	7.63	6.05
1058	$\gamma$ -терпинен	–	1.75	3.47
1177	Терпинеол-4	–	0.31	0.23
1338	транс-карвилацетат	0.79	–	–
	$\Sigma$ Бициклические монотерпены	–	3.27	3.31
932	$\alpha$ -пинен	–	0.71	0.46
973	Сабинен	–	1.85	2.24
975	$\beta$ -пинен	–	0.71	0.61
	$\Sigma$ Алифатические сесквитерпены	1.23	2.29	4.85
1458	$\beta$ -фарнезен	–	0.63	3.01
1510	(E,E)- $\alpha$ -фарнезен	1.23	1.66	1.84
	$\Sigma$ Моноциклические сесквитерпены	51.29	40.14	43.68
1378	$\alpha$ -копаен	0.80	0.86	0.63
1392	$\beta$ -элемен	4.02	3.12	3.06
1432	$\beta$ -копаен	–	0.51	0.63
1456	Гумулен	2.34	2.52	1.20
1484	Гермакрен Д	41.39	31.03	38.16
1688	Гермакра-4(15)5.10(14)-триен-1-ол	2.74	2.10	–
	$\Sigma$ Бициклические сесквитерпены	32.05	18.10	10.92
1422	Кариофиллен	12.49	6.44	5.83
1480	$\gamma$ -муролен	2.51	1.25	0.77
1500	Бициклогермакрен	2.99	2.17	2.68
1527	d-кадинен	1.97	1.31	1.08
1555	Сальвиadiensол	–	0.71	–
1586	Кариофиллен оксид	12.09	3.82	–
1598	Сальвиал-4(14)-ен-1-он	–	0.53	–
1644	T-муролол	3.71	1.87	0.56
	$\Sigma$ Трициклических сесквитерпенов	8.10	3.64	0.64
1580	Спатуленол	6.79	3.64	0.64
1594	изо-аромадендрена эпоксид	1.31	–	–

Таблица 2. Выход, качественный состав и количественное содержание компонентов липидной фракции надземной части *Bupleurum scorzonerifolium* Willd. в разные фенологические фазы

Компонент	Выход липидной фракции, % / Фаза развития растения		
	начало вегетации	цветение	плодоношение
	2.97	7.37	4.14
Содержание компонентов, %			
Нонандиовая кислота	0.39	0.81	0.53
12:0	0.36	0.87	0.86
13:0	–	–	0.37
14:0	1.31	2.89	2.94
15:0	1.56	1.22	1.02
16:0	26.78	27.26	18.17
17:0	0.63	0.69	0.58
18:0	3.34	3.63	3.15
19:0	0.14	0.17	0.18
20:0	1.08	1.18	2.01
21:0	0.20	0.21	0.30
22:0	1.83	1.48	2.33
23:0	0.69	0.69	0.94
24:0	1.23	1.40	1.57
25:0	0.16	0.51	0.31
26:0	0.33	0.40	0.55
28:0	0.64	0.58	0.93
$\Sigma$ НЖК	40.65	43.98	36.73
15:1	0.09	0.14	0.21
16:1n7	1.93	1.34	1.56
16:1n9	2.10	1.94	0.81
17:1n10	0.19	0.20	0.00
18:1n9	22.99	17.60	24.90
18:1n6	0.95	–	–
20:1n9	0.77	0.30	0.54
$\Sigma$ МНЖК	29.03	21.51	28.02
16:2n7,10	0.14	0.15	0.08
18:3n6	1.19	0.22	0.54
18:2n9,12	26.78	23.58	24.33
20:2n11	0.42	0.28	0.16
$\Sigma$ ПНЖК	28.53	24.23	25.11
$\beta$ -ситостерол	0.67	0.56	0.72
$\Sigma$ стеринов	0.67	0.56	0.72
Тридецен-6-ин-4	–	0.19	0.23
Гептадекан	–	0.35	0.25
Гексадекан	0.07	0.51	0.20
Эйкозан	0.12	0.39	0.29
Тетракозан	0.17	0.24	0.31
Нонадеканон-10	0.76	8.04	8.14
$\Sigma$ прочих компонентов	1.12	9.71	9.42

Согласно полученным данным, липидная фракция характеризуется высоким содержанием МНЖК и ПНЖК, что подтверждает фармакологическую ценность данного вида. Применение ненасыщенных жирных кислот может облегчать симптомы некоторых хронических и дегенеративных (в том числе сердечно-сосудистых и воспалительных) заболеваний [21].

**Фенольные соединения.** Показано, что в фазе начала вегетации содержание дубильных веществ, флавоноидов и фенолкарбоновых кислот составляла  $3.59 \pm 0.05\%$ ,  $2.72 \pm 0.02\%$  и  $4.08 \pm 0.10\%$  соответственно. Во время цветения суммарное содержание данных групп БАС возрастает и составляет для дубильных веществ –  $5.07 \pm 0.12\%$ , флавоноидов –  $4.86 \pm 0.07\%$  и фенолкарбоновых кислот –  $5.04 \pm 0.06\%$ ; в фазу плодоношения происходит снижение их содержания до сопоставимых значений с фазой начала вегетации ( $3.93 \pm 0.11\%$ ,  $2.55 \pm 0.06\%$  и  $3.89 \pm 0.03\%$  соответственно) (табл. 3). Наши данные согласуются с динамикой накопления указанных групп фенольных соединений надземной части *B. scorzonerifolium* из Иркутской области [5].

Соединения фенольной природы участвуют в метаболизме растений, влияя на их развитие и рост. Например, флавоноиды выполняют значимую функцию, защищая растения от неблагоприятных факторов

окружающей среды, таких как ультрафиолетовое излучение, травоядные насекомые, тяжелые металлы, патогенные бактерии и грибы [22, 23]. Так, максимальное содержание соединений фенольной природы приходилось на фазу цветения, что вероятно связано с тем, что соединения фенольной природы необходимы как для привлечения насекомых для опыления, так и для образования пыльцевой трубки [24, 25].

Благодаря высокому содержанию фенольных соединений, володушки козельцелистной трава обладает желчегонным, сокогонным действием и проявляет противовоспалительную и гепатопротекторную активности [26].

Таблица 3. Изменение содержания дубильных веществ, суммы флавоноидов и фенолкарбоновых кислот надземной части *Bupleurum scorzonerifolium* Willd. в разные фенологические фазы

Фаза развития	Содержание, %		
	Дубильные вещества	Сумма флавоноидов	Сумма фенолкарбоновых кислот
Собственные данные			
Начало вегетации	3.59±0.05	2.72±0.02	4.08±0.10
Цветение	5.07±0.12	4.86±0.07	5.04±0.06
Плодоношение	3.93±0.11	2.55±0.06	3.89±0.03
Данные литературы согласно [5]. Место сбора – Иркутская область, Иркутский район.			
Вегетация	3.68±0.15	2.00±0.14	2.13±0.16
Цветение	8.02±0.21	4.39±0.08	4.86±0.10
Начало плодоношения	6.10±0.20	3.68±0.17	3.41±0.12
Плодоношение	5.95±0.18	2.71±0.10	2.38±0.19

### Выводы

Изучено изменение химического состава и динамика содержания в разные фенологические фазы эфирных масел, липидной фракции и фенольных соединений в надземной части володушки козельцелистной. Качественный состав основных компонентов эфирных масел, жирных кислот в разные стадии развития схож. Однако накопление разных групп БАС в разные фенофазы изменяется, что связано с их ролью в росте и развитии растений. Максимальное накопление ценных фармакологически активных веществ происходит в фазу цветения, поэтому оптимальным временем заготовки надземной части володушки козельцелистной является фаза массового цветения.

### Список литературы

1. Yao R., Zou Y., Chen X. Traditional use, pharmacology, toxicology, and quality control of species in genus *Bupleurum* L. // Chinese herbal medicine. 2013. Vol. 5. N4. Pp. 245–255. DOI: 10.1016/S1674-6384(13)60036-2.
2. Yuan B., Yang R., Ma Y., Zhou S., Zhang X., Liu Y. A systematic review of the active saikosaponins and extracts isolated from Radix Bupleuri and their application // Pharmaceutical biology. 2017. Vol. 55. N1. Pp. 620–635. DOI: 10.1080/13880209.2016.1262433.
3. Tykheev Zh.A., Zhigzhitzhapova S.V., Zhang F., Taraskin V.V., Anenkhonov V.V., Radnaeva L.D., Chen S. Constituents of essential oil and lipid fraction from the aerial part of *Bupleurum scorzonerifolium* Willd. (Apiaceae) from different habitats // Molecules. 2018. Vol. 23. N6. P. 1496. DOI: 10.3390/molecules23061496.
4. Olennikov D.N., Partilkhayev V.V. Flavonoids and phenylpropanoids from several species of *Bupleurum* growing in Buryatia // Chemistry of natural compounds. 2013. Vol. 48. N6. Pp. 1078–1082. DOI: 10.1007/s10600-013-0471-x.
5. Минович В.М., Петухова С.А., Дударева Л.В. Накопление фенольных соединений в надземных органах володушки козельцелистной (*Bupleurum scorzonerifolium* Willd.), произрастающей в Прибайкалье // Acta biomedical scientifica. 2017. Т. 2. №3. С. 78–81.
6. Минович В.М., Петухова С.А., Дударева Л.В. Изучение состава фенольных соединений володушки козельцелистной (*Bupleurum scorzonerifolium* Willd.), произрастающей в Прибайкалье, методом ВЭЖХ // Acta biomedica scientifica. 2017. Т. 2. №3. С. 75–77.
7. Минович В.М., Петухова С.А. Изучение элементного состава надземных органов володушки козельцелистной (*Bupleurum scorzonerifolium* Willd.), произрастающей в Прибайкалье // Вестник ВСГУТУ. 2017. №1. С. 39–43.
8. Минович В.М., Петухова С.А., Дударева Л.В., Соколова Н.А. Исследование компонентного состава эфирного масла надземных органов володушки козельцелистной, произрастающей в Прибайкалье // Медицинский альманах. 2017. №5. С. 165–167.
9. Петухова С.А., Минович В.М. Разработка методики количественного определения суммы флавоноидов в траве володушки козельцелистной // Медицинский альманах. 2017. №3. С. 203–205.
10. Петухова С.А., Минович В.М., Бочарова Г.И. Разработка показателей и норм качества травы володушки козельцелистной // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти профессора В.А. Маняка «Инновационные технологии в фармации». Иркутск, 2017. С. 138–142.

11. Минович В.М., Петухова С.А. Динамика накопления фенолкарбоновых кислот в надземных органах володушки козелецелистной (*Bupleurum scorzoniferifolium* Willd.), произрастающей в Прибайкалье // Сборник научных трудов научно-методической конференции «III Гаммермановские чтения». СПб., 2017. С. 82–84.
12. Минаева В.Г., Запромегов М.Н. Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование. Новосибирск, 1978. 252 с.
13. Kates M. Techniques of lipidology: isolation, analysis, and identification of lipid. New-York, 1972. 610 p.
14. Ткачев А.В. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск, 2008. 969 с.
15. Государственная фармакопея Российской Федерации: в 4 томах, XIV изд. М., 2018. URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>.
16. Кинтя П.К., Фадеев Ю.М., Акимов Ю.А. Терпеноиды растений. Кишинев, 1990. 151 с.
17. Племенков В.В. Химия изопреноидов. Барнаул, 2007. 322 с.
18. Атажанова Г.А. Терпеноиды эфирных масел растений. Распространение, химическая модификация и биологическая активность. М., 2008. 288 с.
19. Чиркова Т.В. Клеточные мембраны и устойчивость растений к стрессовым воздействиям // Соросовский образовательный журнал. 1997. №9. С. 12–17.
20. Ильинская Л.И., Озероцковская О.Л. Продукты липоксигеназного окисления жирных кислот как сигнальные молекулы в индуцировании устойчивости растений (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 1998. Т. 34. №5. С. 467–479.
21. Finley J.W., Shahidi F. The chemistry, processing, and health benefits of highly unsaturated fatty acids: an overview. Washington, 2001. 788 p.
22. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пушино, 2013. 310 с.
23. Mierziak J., Kostyn K., Kulma A. Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment // Molecules. 2014. Vol. 19. N10. Pp. 16240–16265. DOI: 10.3390/molecules191016240.
24. Formica J.V., Regelson W. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids // Food and chemical toxicology. 1995. Vol. 33. N12. Pp. 1061–1080.
25. Минаева В.Г., Горбалева Г.Н. О влиянии флавоноидов на прорастание пыльцы и рост пыльцевых трубок // Полезные растения природной флоры Сибири. Новосибирск, 1967. С. 231–237.
26. Минаева В.Г. Лекарственные растения Сибири. Новосибирск, 1970. 271 с.

Поступила в редакцию 20 августа 2019 г.

После переработки 13 сентября 2019 г.

Принята к публикации 4 декабря 2019 г.

**Для цитирования:** Тыхеев Ж.А., Тараскин В.В., Жигжитжапова С.В., Чимитов Д.Г., Раднаева Л.Д. Изменение состава биологически активных соединений володушки козелецелистной травы (*Bupleurum scorzoniferifolium* Willd.) в разные фенологические фазы // Химия растительного сырья. 2020. №2. С. 111–118. DOI: 10.14258/jcrpm.2020026323.

Tykheev Zh.A.<sup>1,2\*</sup>, Taraskin V.V.<sup>1,2</sup>, Zhigzhitzhapova S.V.<sup>1</sup>, Chimitov D.G.<sup>3</sup>, Radnaeva L.D.<sup>1,2</sup> DYNAMIC CHANGES IN THE COMPOSITION OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS OF *BUPLEURUM SCORZONERIFOLIUM* WILLD. AERIAL PART IN DIFFERENT PHENOLOGICAL PHASES

<sup>1</sup> Baikal Institute of Nature Management SB RAS, ul. Sakhyanovoy, 6, Ulan-Ude, 670047 (Russia), e-mail: gagarin199313@gmail.com

<sup>2</sup> Buryat State University named after Dorzhi Banzarov, ul. Smolina, 24a, Ulan-Ude, 670000 (Russia)

<sup>3</sup> Institute of General and Experimental Biology SB RAS, ul. Sakhyanovoy, 6, Ulan-Ude, 670047 (Russia)

The article is devoted to investigate the changes in the composition of biologically active substances (essential oils, lipid fraction, phenolic compounds) of the aerial part of the *Bupleurum scorzoniferifolium* Willd. in depending on the phase of plant development. The greatest variety of compounds included in the composition of essential oils is characterized by a flowering phase. Fifteen terpene compounds – *p*-cymol,  $\beta$ -myrcene, *trans*- $\beta$ -ocymene, limonene, (*E,E*)- $\alpha$ -farnesene,  $\alpha$ -copaene,  $\beta$ -elemene, humulene, germacrene D, caryophyllene,  $\gamma$ -muurolene, bicyclogermacrene,  $\Delta$ -cadinene, *t*-muurolol, spatulenol – are constant components of essential oils, regardless of phenophase. The quantitative content of these components varies from trace to major at different phenological phases. The coincidence of the main components of the lipid fraction was established. The main saturated

\* Corresponding author.

acid is 16:0. Its content changes depending on the phase of vegetation – it is approximately at the same level determined in the phases of vegetation and flowering phases (26.78% and 27.26%, respectively) and there is a decrease in the fruit phase (18.17%). The main monounsaturated fatty acid is 18:1n9. Its greatest content was found in the fruiting phase, the smallest – flowering. The predominant polyunsaturated fatty acid is 18:2n9,12. Its greatest content was found in the vegetation phase (26.78%), the lowest – flowering (24.23%). However, the total content of unsaturated fatty acids exceeds the total content of saturated fatty acids in all phases of plant development. Although, their ratio varies from phenophase. There is a general pattern of highest content of phenolic compounds in the flowering phase for all studied samples. It was shown that during the flowering phase, the maximum accumulation of essential oils, lipids and phenolic compounds is observed.

*Keywords:* *Bupleurum scorzonerifolium*, fatty acids, essential oils, phenolic compounds, phenological phases.

## References

1. Yao R., Zou Y., Chen X. *Chinese herbal medicine*, 2013, vol. 5, no. 4, pp. 245–255. DOI: 10.1016/S1674-6384(13)60036-2.
2. Yuan B., Yang R., Ma Y., Zhou S., Zhang X., Liu Y. *Pharmaceutical biology*, 2017, vol. 55, no. 1, pp. 620–635. DOI: 10.1080/13880209.2016.1262433.
3. Tykheev Zh.A., Zhigzhitzhapova S.V., Zhang F., Taraskin V.V., Anenkhonov V.V., Radnaeva L.D., Chen S. *Molecules*, 2018, vol. 23, no. 6, p. 1496. DOI: 10.3390/molecules23061496.
4. Olennikov D.N., Partilkhaev V.V. *Chemistry of natural compounds*, 2013, vol. 48, no. 6, pp. 1078–1082. DOI: 10.1007/s10600-013-0471-x.
5. Mirovich V.M., Petukhova S.A., Dudareva L.V. *Acta biomedical scientifica*, 2017, vol. 2, no. 3, pp. 78–81. (in Russ.).
6. Mirovich V.M., Petukhova S.A., Dudareva L.V. *Acta biomedical scientifica*, 2017, vol. 2, no. 3, pp. 75–77. (in Russ.).
7. Mirovich V.M., Petukhova S.A. *Vestnik VSGUTU*, 2017, no. 1, pp. 39–43. (in Russ.).
8. Mirovich V.M., Petukhova S.A., Dudareva L.V., Sokolova N.A. *Meditinskij al'manakh*, 2017, no. 5, pp. 165–167. (in Russ.).
9. Petukhova S.A., Mirovich V.M. *Meditinskij al'manakh*, 2017, no. 3, pp. 203–205. (in Russ.).
10. Petukhova S.A., Mirovich V.M., Bocharova G.I. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy pamyati professora V.A. Manyaka «Innovatsionnye tekhnologii v farmatsii»*. [Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the memory of Professor V.A. Manyaka "Innovative technologies in pharmacy"]. Irkutsk, 2017, pp. 138–142. (in Russ.).
11. Mirovich V.M., Petukhova S.A. *Sbornik nauchnykh trudov nauchno-metodicheskoy konferentsii «III Gammermanovskiy cheniya»*. [Collection of scientific works of the scientific-methodical conference "III Hammerman readings"]. St. Petersburg, 2017, pp. 82–84. (in Russ.).
12. Minayeva V.G., Zaprometov M.N. *Flavonoidy v ontogeneze rasteniy i ikh prakticheskoye ispol'zovaniye*. [Flavonoids in plant ontogenesis and their practical use]. Novosibirsk, 1978, 252 p. (in Russ.).
13. Kates M. *Techniques of lipidology: isolation, analysis, and identification of lipid*. New-York, 1972, 610 p.
14. Tkachev A.V. *Issledovaniye letuchikh veshchestv rasteniy*. [Study of plant volatiles]. Novosibirsk, 2008, 969 p. (in Russ.).
15. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii: v 4 tomakh, XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation: in 4 volumes, XIV ed.]. Moscow, 2018. URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php> (in Russ.).
16. Kintya P.K., Fadeyev Yu.M., Akimov Yu.A. *Terpenoidy rasteniy*. [Terpenoids of plants]. Kishinev, 1990, 151 p. (in Russ.).
17. Plemenkov V.V. *Khimiya izoprenoidov*. [Chemistry of isoprenoids]. Barnaul, 2007, 322 p. (in Russ.).
18. Atazhanova G.A. *Terpenoidy efirnykh masel rasteniy. Rasprostraneniye, khimicheskaya modifikatsiya i biologicheskaya aktivnost'*. [Terpenoids of essential oils of plants. Distribution, chemical modification and biological activity]. Moscow, 2008, 288 p. (in Russ.).
19. Chirkova T.V. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*, 1997, no. 9, pp. 12–17. (in Russ.).
20. Il'inskaya L.I., Ozerotkovskaya O.L. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 1998, vol. 34, no. 5, pp. 467–479. (in Russ.).
21. Finley J.W., Shahidi F. *The chemistry, processing, and health benefits of highly unsaturated fatty acids: an overview*. Washington, 2001, 788 p.
22. Tarakhovskiy Yu.S., Kim Yu.A., Abdrasilov B.S., Muzafarov Ye.N. *Flavonoidy: biokhimiya, biofizika, meditsina*. [Flavonoids: biochemistry, biophysics, medicine]. Pushchino, 2013, 310 p. (in Russ.).
23. Mierziak J., Kostyn K., Kulma A. *Molecules*, 2014, vol. 19, no. 10, pp. 16240–16265. DOI: 10.3390/molecules191016240.
24. Formica J.V., Regelson W. *Food and chemical toxicology*, 1995, vol. 33, no. 12, pp. 1061–1080.
25. Minayeva V.G., Gorbaleva G.N. *Poleznye rasteniya prirodnoy flory Sibiri*. [Useful plants of Siberian natural flora]. Novosibirsk, 1967, pp. 231–237. (in Russ.).
26. Minayeva V.G. *Lekarstvennyye rasteniya Sibiri*. [Medicinal plants of Siberia]. Novosibirsk, 1970, 271 p. (in Russ.).

Received August 20, 2019

Revised September 13, 2019

Accepted December 4, 2019

**For citing:** Tykheev Zh.A., Taraskin V.V., Zhigzhitzhapova S.V., Chimitov D.G., Radnaeva L.D. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 2, pp. 111–118. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020026323.