

УДК 615.074: 615.322

АНАЛИЗ РОДОСПЕЦИФИЧНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСТЕНИЙ РОДА *RHODIOLA* SPP. В СРАВНИТЕЛЬНОМ АСПЕКТЕ*

© А.В. Лёзина^{1**}, И.И. Тернинко¹, Ю.Э. Генералова¹, С.С. Джаборова²

¹ Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, ул. Профессора Попова, 14А, Санкт-Петербург, 197376 (Россия), e-mail: alena.lezina@pharminnotech.com

² Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино, пр. Рудаки, 139, Душанбе, 734003 (Республика Таджикистан)

Растения рода *Rhodiola* (*Crasulaceae*) активно применяются в народной медицине разных стран мира. Самым изученным представителем данного рода является родиола розовая (*Rhodiola rosea* L.), которая в Российской Федерации является официальным видом. Но в народной медицине России и Китая применяются и другие виды рода *Rhodiola*. Так, в южной части Восточной Сибири большой популярностью пользуется родиола четырехлепестная *Rhodiola quadrifida* (Pall.) Fisch. et Mey (красная щетка), в Средней Азии – родиола разнозубчатая *Rhodiola heterodonta* (Hook. f. & Thomson) Boriss. Для введения данных видов рода *Rhodiola* в официальную медицину необходимо определение маркерных соединений и выбор критериев стандартизации. Целью данной работы было изучение фенольных спиртов и их гликозидов, установленных в качестве родоспецифичных, в *R. quadrifida* и *R. heterodonta* в сравнении с *R. rosea* методами высокоэффективной тонкослойной и жидкостной хроматографии. Установлено, что розарин характерен только для *R. rosea*, а салидрозид и тирозол количественно преобладают в *R. heterodonta* и *R. quadrifida*. Основываясь на полученных результатах, можно предположить, что отличия в хроматографическом профиле изучаемых видов могут быть использованы с целью подтверждения идентичности, а установленные соединения могут быть использованы для стандартизации указанных видов родиол.

Ключевые слова: салидрозид, тирозол, розарин, родиола розовая, родиола четырехлепестная, родиола разнозубчатая, ВЭЖХ, ВЭТСХ.

Введение

Растения рода *Rhodiola* (*Crasulaceae*) имеют значительный опыт применения в народной медицине разных стран мира. В настоящее время известно более 200 видов данного рода [1], но наиболее изученным является только один представитель – родиола розовая (*Rhodiola rosea* L.), который применяется в качестве адаптогенного средства в официальной медицине ряда стран [2]. В Российской Федерации (РФ) корневища с корнями родиолы розовой являются фармакопейным лекарственным растительным сырьем (ЛРС), критерии стандартизации которого приведены в соответствующей фармакопейной статье ФС.2.5.0036.15 «Родиолы розовой корневища и корни» [3]. Но в народной медицине стран Азии находят применение и другие виды рода *Rhodiola* [4]. Так, в традиционной тибетской медицине различные представители *Rhodiola* применяются в качестве адаптогенных, гемостатических и тонизирующих средств [5]. В фармакопею Китая

Лёзина Алёна Владимировна – аспирант,
e-mail: alena.lezina@pharminnotech.com
Тернинко Инна Ивановна – профессор кафедры
фармацевтической химии, начальник ИЛ (ЦКК ЛС),
e-mail: inna.terninko@pharminnotech.com
Генералова Юлия Эдуардовна – научный сотрудник,
e-mail: Generalova.Yuliya@pharminnotech.com
Джаборова Сахоба Саломудиновна – аспирант,
e-mail: salomudin@mail.ru

включена *Rhodiola crenulata* (Hook.f. & Thomson) H. Ohba, которая применяется для лечения горной болезни и диабета [6–8]. Корневища и корни *Rhodiola algida* Fisch. & C.A.Mey. растения, произрастающего на высоте 3000–4500 м на Цинхай-Тибетском плато, используются в качестве иммуномодулирующего средства [9]. В южной части Во-

* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20220310646s

** Автор, с которым следует вести переписку.

сточной Сибири популярным средством для лечения широкого спектра гинекологических заболеваний является родиола четырехлепестная *Rhodiola quadrifida* (Pall.) Fisch. et Mey (красная щетка) [10]. Родиола разноточечная (*Rhodiola heterodonta* (Hook. f. & Thomson) Boriss.) – эндемик гор Центральной Азии, обладает антигипоксической активностью [11] и находит применение в народной медицине Узбекистана [12]. Разновекторность применения растений рода *Rhodiola* обусловлена комплексом биологически активных веществ (БАВ). Установлено, что представители данного рода имеют схожий фитохимический профиль, который представлен полифенольными соединениями, такими как флавоноиды, проантоцианидины, производные фенилэтанола, фенольные кислоты, а также моно- и тритерпеновыми соединениями, органическими кислотами и эфирными маслами [1, 5].

В народной медицине РФ в качестве биологически активной добавки (БАД) активно применяется *R. quadrifida* при заболеваниях гинекологического профиля, таких как эндометриоз, дисменорея, аменорея, синдром поликистозных яичников, но ее применение в официальной медицине ограничено, поскольку данные о химическом составе немногочисленны, следовательно, отсутствуют критерии стандартизации [13]. К тому же идентификация близкородственных видов зачастую осложнена из-за их сходной морфологии, поэтому определение фитохимического профиля является важным этапом в изучении растений указанного рода как с целью видоспецифичного профилирования, так и для последующей стандартизации [14].

В связи с этим цель данного исследования – сравнительный анализ фенольных спиртов и их гликозидов (салидрозид, розарина, тирозола), маркерных для родиолы розовой, в других представителях рода *Rhodiola* (*R. quadrifida* и *R. heterodonta*) в сравнении с официальным видом (*R. rosea*) методами высокоэффективной тонкослойной (ВЭТСХ) и жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Экспериментальная часть

Объектом исследования служило воздушно-сухое ЛРС (корневища и корни) трех видов растений рода *Rhodiola*. Корневища и корни *R. rosea* были заготовлены в Питомнике СПХФУ в пос. Лемболово (Ленинградская область) в августе-сентябре 2020 года. ЛРС *R. quadrifida* было приобретено в аптечной сети г. Санкт-Петербурга, место и время заготовки по информации на упаковке – Алтай, март 2019 года. *R. heterodonta* была заготовлена в Таджикистане в марте 2019 года. Идентификацию *R. rosea* и *R. heterodonta* проводили с помощью специалистов кафедры фармакогнозии ФГБОУ ВО СПХФУ, а подлинность *R. quadrifida* была подтверждена сертификатом качества на БАД.

ВЭТСХ-анализ. Предварительный анализ салидрозид, тирозола и розарина проводили методом ВЭТСХ. Его реализовывали с помощью прибора САМАГ с УФ-кабинетом на пластинах Merck HPTLC silica gel 60 F154, 20×10. Нанесение проб проводили полуавтоматическим аппликатором Linomat 5. Элюирование пластин проводили в автоматической камере САМАГ Automatic Developing Chamber (ADC2). Изображения фиксировались на спектроденситометре САМАГ Scanner 3. Обработку результатов осуществляли с помощью программы VisionCATS.

Идентификацию фенольных соединений проводили в метанольных извлечениях из ЛРС, полученных по следующей методике: 1 г сырья экстрагировали 10 мл метанола на водяной бане ($t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$) с обратным холодильником в течение 10 мин. Извлечение охлаждали и фильтровали через бумажный фильтр, отстаивали в холодильнике 24 ч и отфильтровывали выпавший осадок (при его наличии). Растворы стандартных образцов (СО) отдельных фенилпропаноидов (категория EP RS, Sigma-Aldrich) готовили путем растворения в метаноле «хч» с концентрациями: салидрозид и розарин 1.00 мг/мл, тирозол 2.00 мг/мл. На хроматографическую пластину наносили по 3 мкл исследуемых извлечений, 3 мкл раствора стандартного образца (СО) розарина, 15 мкл раствора СО салидрозид и 30 мкл раствора СО тирозола. Элюирование проводили в системе этилацетат: метанол: вода: муравьиная кислота (77 : 13 : 10:2); прохождение фронта составило 85%. Идентификацию пятен на хроматограмме осуществляли до обработки реактивом в УФ-свете при длинах волн 254 и 366 нм. Пластины обрабатывали раствором для детектирования анилин-дифениламин и просматривали в видимом свете [15].

ВЭЖХ-анализ. Изучение проводили на хроматографе FlexarFX-15 с УФ детектором (PerkinElmer, США). Колонка – Zorbax C18 250 × 4.6 × 5 мкм; объем пробы – 20 мкл; скорость потока подвижной фазы – 1 мл/мин; длина волны детектирования $\lambda=220$ нм; температура термостата колонки 50 °С. Подвижная фаза

– смесь ацетонитрила (элюент А) и фосфатного буфера (рН 7.0) (элюент Б). Элюирование проводили в градиентном режиме: 0–10 мин 11% элюента А, 10–30 мин 11–30% элюента А, 30–35 мин 30–60% элюента А, 35–45 мин 60% элюента А, 45–50 мин 60–11% элюента А, 50–70 мин 11% элюента А.

Для корректной количественной оценки предварительно проводили определение влажности изучаемого ЛРС по методике, указанной в ОФС.1.5.3.0007.15 «Определение влажности лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов» [3].

Получение испытуемого раствора (пробоподготовку) проводили в соответствии с методикой ФС.2.5.0036.15 «Родиолы розовой корневища и корни» [3].

Растворы СО салидрозид, тирозол и розарина готовили в спирте 96% в концентрации 20 мкг/мл. Хроматографирование каждого испытуемого раствора проводили 3 раза. Растворы СО также хроматографировали по 3 раза и вычисляли среднее значение площади пика для каждого СО.

Идентификацию пиков на хроматограмме испытуемого раствора проводили по времени удерживания в сравнении с хроматограммами растворов СО розарина, салидрозид и тирозол соответственно.

Контролировали параметры пригодности хроматографической системы по хроматограммам растворов СО: число теоретических тарелок составило 6946 и 17806 (не менее 2000) для пиков салидрозид и тирозол соответственно, и 187525 (не менее 5000) для пика розарина; фактор асимметрии для пиков идентифицируемых веществ составил: 1.0 для салидрозид, 1.1 для тирозол и 1.1 для розарина, что не менее 0.8 и не более 1.5.

Количественное содержание каждого родоспецифичного фенольного соединения в абсолютно сухом сырье в процентах (X), вычисляли по формуле

$$X = \frac{S_1 \cdot C_0 \cdot P \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100\%}{S_0 \cdot a_1 \cdot 100 \cdot (100 - W)} = \frac{S_1 \cdot C_0 \cdot P \cdot 100 \cdot 100\%}{S_0 \cdot a_1 \cdot (100 - W)},$$

где S_1 – площадь пика соответствующего соединения в испытуемом растворе; S_0 – площадь пика соответствующего СО; C_0 – концентрация соответствующего СО, г/мл, a_1 – навеска сырья, г; P – содержание соответствующего соединения в СО, %; W – влажность сырья, %.

Испытания проводили с использованием парка оборудования ЦКП «Аналитический центр ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России» в рамках соглашения № 075-15-2021-685 от 26 июля 2021 года при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Обсуждение результатов

Методом ВЭТСХ было установлено, что все изучаемые виды родиол – *R. rosea*, *R. heterodonta* и *R. quadrifida* – содержат салидрозид и тирозол. Идентификацию розарина проводили после обработки раствором для детектирования в видимом свете (пятна окрашивались в интенсивный серый цвет). Розарин был идентифицирован только в ЛРС *R. rosea*. Хроматограммы в УФ-свете при $\lambda=254$ и 366 нм приведены в электронном приложении на рисунках 1 и 2 соответственно.

Результаты ВЭЖХ коррелируют с результатами ВЭТСХ анализа. Установлено, что в *R. rosea* присутствуют салидрозид, тирозол, розарин и другие близкие к розарину по структуре соединения, которые присутствуют на хроматограмме в диапазоне от 25 до 27 мин (рис. 3 электронного приложения, табл. 1).

В *R. quadrifida* и *R. heterodonta* из родоспецифичных фенолспиртов идентифицированы только салидрозид и тирозол (рис. 4 и 5 электронного приложения и табл. 2, 3 соответственно).

Таблица 1. Параметры хроматографического профиля фенольных спиртов и их гликозидов в корневищах с корнями родиолы розовой

Родоспецифичные соединения	Объект исследования	Номер пика на хроматограмме	Время удерживания, мин (R_t)	Площадь пика (S)
Салидрозид	Раствор СО	1	5.86	1048938
	Спиртовое извлечение <i>R. rosea</i>	4	5.94	284863
Тирозол	Раствор СО	2	9.4	127331
	Спиртовое извлечение <i>R. rosea</i>	5	9.54	54392
Розарин	Раствор СО	3	24.56	129689
	Спиртовое извлечение <i>R. rosea</i>	6	24.76	202615

Таблица 2. Параметры хроматографического профиля фенольных спиртов и их гликозидов в корневищах с корнями родиолы четырехлепестной

Родоспецифичные соединения	Объект исследования	Номер пика на хроматограмме	Время удерживания, мин (R_t)	Площадь пика (S)
Салидрозид	Раствор СО	1	5.86	1048938
	Спиртовое извлечение <i>R. quadrifida</i>	4	5.90	708493
Тирозол	Раствор СО	2	9.4	127331
	Спиртовое извлечение <i>R. quadrifida</i>	5	9.46	118462
Розарин	Раствор СО	3	24.56	129689
	Спиртовое извлечение <i>R. quadrifida</i>	Не идентифицирован		

Таблица 3. Параметры хроматографического профиля фенольных спиртов и их гликозидов в корневищах с корнями родиолы разнозубчатой

Родоспецифичные соединения	Объект исследования	Номер пика на хроматограмме	Время удерживания, мин (R_t)	Площадь пика (S)
Салидрозид	Раствор СО	1	5.86	1048938
	Спиртовое извлечение <i>R. heterodonta</i>	4	5.87	1146406
Тирозол	Раствор СО	2	9.4	127331
	Спиртовое извлечение <i>R. heterodonta</i>	5	9.42	250151
Розарин	Раствор СО	3	24.56	129689
	Спиртовое извлечение <i>R. heterodonta</i>	Не идентифицирован		

В электронном приложении на рисунке 6 представлено сравнение хроматографических профилей трех видов родиол, который демонстрирует качественные и количественные различия в содержании соединений, характерных для рода *Rhodiola* и определяющих его фармакологическую активность.

Сравнительный анализ профилей ВЭЖХ дает возможность говорить о том, что производные коричневого спирта, присутствующие на хроматограмме родиолы розовой – розарин и другие соединения в диапазоне 25–27 мин, не характерны для сырья *R. quadrifida* и *R. heterodonta*. В то время как профиль фенольных спиртов более показателен у родиолы разнозубчатой и представлен, кроме тирозола и салидрозид, как минимум еще 6 соединениями, из которых с родиолой розовой общими являются соединения с временами удерживания 3.80, 4.78 и 5.08 мин. Профиль фенольных соединений родиолы четырехлепестной не показателен и, кроме салидрозид и тирозола, не содержит больше соединений, пики которых представлены в достаточном для интегрирования виде.

По результатам ВЭЖХ-анализа установлено, что родиола разнозубчатая по количественному содержанию салидрозид и тирозола превосходит родиолу четырехлепестную и розовую. Но и в *R. quadrifida* по сравнению с *R. rosea* превалирует содержание указанных веществ более чем в 2 раза (табл. 4).

Таблица 4. Содержание родоспецифичных фенольных соединений в трех видах родиол

Родоспецифичные фенольные соединения	70% спиртовые извлечения корневищ с корнями					
	<i>R. rosea</i>		<i>R. quadrifida</i>		<i>R. heterodonta</i>	
	$X_{cp} \pm \Delta x_i, \%$	$\varepsilon, \%$	$X_{cp} \pm \Delta x_i, \%$	$\varepsilon, \%$	$X_{cp} \pm \Delta x_i, \%$	$\varepsilon, \%$
	(n=6)					
Тирозол	0.092±0.001	2.94	0.210±0.016	1,22	0.440±0.010	0.54
Салидрозид	0.059±0.003	0.31	0.162±0.020	0.61	0.236±0.001	0.14
Розарин	0.745±0.395	6.76	Не идентифицирован			

Выводы

В результате исследования установлено, что гликозиды коричневого спирта (розарин и другие соединения со схожей структурой) характерны только для ЛРС родиолы розовой. При этом содержание специфических для родиолы производных фенолэтанола – тирозола и его глюкозида салидрозид – характерно для всех 3 изучаемых видов с превалированием в родиоле разнозубчатой. Следовательно, данный факт дает основание говорить об отличии в хроматографическом профиле изучаемых видов рода родиола, что может

быть использовано с целью подтверждения идентичности, а также дает возможность проводить дальнейшую стандартизацию этих видов родиол с учетом сведений о предполагаемых основных соединениях. Так, если корневища с корнями родиолы розовой, согласно ГФ РФ, рекомендовано стандартизовать по содержанию гликозидов коричневого спирта в пересчете на розавин и по салидрозиду, то для сырья родиол четырехлепестной и разнозубчатой критерием количественной оценки целесообразно выбрать салидрозид и тирозол. А в качестве профиля идентификации предложить использовать отсутствие гликозидов коричневого спирта при ТСХ-анализе.

Учитывая, что для салидрозиды отмечена способность значительно подавлять пролиферацию, миграцию и инвазию клеток груди и индуцировать апоптоз раковых клеток *in vitro*, а также подавлять рост опухоли *in vivo* [16, 17]; положительно влиять на развитие и течение болезни Альцгеймера и острого респираторного дистресс синдрома [18–20], а также оказывать защитное действие на эндотелиальные клетки [21–23] перспективным является дальнейшее изучение *R. quadrifida* и *R. heterodonta* на предмет оценки фармакологической активности, а также выделения данных БАВ в индивидуальном виде.

Список литературы

1. Chiang H.M., Chen H.C., Wu C.S., Wu P.Y., Wen K.C. Rhodiola plants: Chemistry and biological activity // Journal of Food and Drug Analysis. 2015. Vol. 23. N3. Pp. 359–369. DOI: 10.1016/j.jfda.2015.04.007.
2. Panossian A., Wikman G., Sarris J. Rosenroot (Rhodiola rosea): traditional use, chemical composition, pharmacology, and clinical efficacy // Phytomedicine. 2010. Vol. 17. N7. Pp. 481–93. DOI: 10.1016/j.phymed.2010.02.002.
3. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. М., 2018. URL: <http://www.femb.ru/femb/pharmacopea.php>.
4. Kosakowska O., Bączek K., Przybył J. L., Pióro-Jabrucka E., Czupa W., Synowiec A., Gniewosz M., Costa R., Mondello L., Węglarz Z. Antioxidant and Antibacterial Activity of Roseroot (Rhodiola rosea L.) Dry Extracts // Molecules. 2018. Vol. 23. N7. P. 1767. DOI: 10.3390/molecules23071767.
5. Liu Z., Liu Y., Liu C. et al. The chemotaxonomic classification of Rhodiola plants and its correlation with morphological characteristics and genetic taxonomy // Chemistry Central Journal. 2013. Vol. 7. 118. DOI: 10.1186/1752-153X-7-118.
6. Chiu T.F., Chen L.C., Su D.H. et al. Rhodiola crenulata extract for prevention of acute mountain sickness: a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover trial // BMC Complementary and Alternative Medicine. 2013. Vol. 13. 298. DOI: 10.1186/1472-6882-13-298.
7. Li T., Zhang H. Identification and Comparative Determination of Rhodionin in Traditional Tibetan Medicinal Plants of Fourteen Rhodiola Species by High-Performance Liquid Chromatography-Photodiode Array Detection and Electropray Ionization-Mass Spectrometry // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. 2008. Vol. 56. N6. Pp. 807–814. DOI: 10.1248/cpb.56.807.
8. Lin K.T., Hsu S.W., Lai F.Y. et al. Rhodiola crenulata extract regulates hepatic glycogen and lipid metabolism via activation of the AMPK pathway // BMC Complementary and Alternative Medicine. 2016. Vol. 16. 127. DOI: 10.1186/s12906-016-1108-y.
9. Qi Y.-J., Cui S., Lu D.-X. et al. Effects of the aqueous extract of a Tibetan herb, Rhodiola algida var. tangutica on proliferation and HIF-1 α , HIF-2 α expression in MCF-7 cells under hypoxic condition in vitro // Cancer Cell International. 2015. Vol. 15. 81. DOI: 10.1186/s12935-015-0225-x.
10. Yoshikawa M., Shimada H., Matsuda H., Yamahara J., Murakami N. Bioactive constituents of Chinese natural medicines. I. New sesquiterpene ketones with vasorelaxant effect from Chinese moxa, the processed leaves of Artemisia argyi Levl. et Vant.: moxartenone and moxartenolide // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. 1996. Vol. 44. N9. Pp. 1656–1662. DOI: 10.1248/cpb.44.1656.
11. Grace M.H., Yousef G.G., Kurmukov A.G., Raskin I., Lila M.A. Phytochemical characterization of an adaptogenic preparation from Rhodiola heterodonta // Natural Product Communications. 2009. Vol. 4. N8. Pp. 1053–1058.
12. Рахматуллаева М.М. Микроскопический анализ корневищ и корней родиолы разнозубчатой // Фармацевтический вестник Узбекистана. 2015. №3. С. 42–45.
13. Lee S.-Y., Shi L.-S., Chu H., Li M.-H., Ho C.-W., Lai F.-Y., Huang C.-Y., Chang T.-C. Rhodiola crenulata and Its Bioactive Components, Salidroside and Tyrosol, Reverse the Hypoxia-Induced Reduction of Plasma-Membrane-Associated Na,K-ATPase Expression via Inhibition of ROS-AMPK-PKC ξ Pathway // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2013. 284150. DOI: 10.1155/2013/284150.
14. Wang Q., Ruan X., Jin Z.H., Yan Q.C., Tu S. Identification of Rhodiola species by using RP-HPLC // Journal of Zhejiang University-SCIENCE B. 2005. Vol. 6. Pp. 477–482. DOI: 10.1631/jzus.2005.B0477.
15. Methods for Identification of Herbal Drugs and Herbal Drug Preparations. Rhodiola rosea HPTLC Association. USP41-NF36. 2020. URL: https://www.hptlcassociation.org/methods/methods_for_identification_of_herbals.cfm.
16. Zhao G., Shi A., Fan Z., Du Y. Salidroside inhibits the growth of human breast cancer in vitro and in vivo // Oncology Reports. 2015. Vol. 33. Pp. 2553–2560. DOI: 10.3892/or.2015.3857.

17. Yang D.W., Kang O.H., Lee Y.S., Han S.H., Lee S.W., Cha S.W., Seo Y.S., Mun S.H., Gong R., Shin D.W., Kwon D.Y. Anti-inflammatory effect of salidroside on phorbol-12-myristate-13-acetate plus A23187-mediated inflammation in HMC-1 cells // *International Journal of Molecular Medicine*. 2016. Vol. 38. Pp. 1864–1870. DOI: 10.3892/ijmm.2016.2781.
18. You L., Zhang D., Geng H. Salidroside protects endothelial cells against LPS-induced inflammatory injury by inhibiting NLRP3 and enhancing autophagy // *BMC Complementary Medicine and Therapies*. 2021. Vol. 21. 146. DOI: 10.1186/s12906-021-03307-0.
19. An J., Yang H., Zhang Q., Liu C., Zhao J., Zhang L., Chen B. Natural products for treatment of osteoporosis: The effects and mechanisms on promoting osteoblast-mediated bone formation // *Life Sciences*. 2016. Vol. 147. Pp. 46–58.
20. Yuan Y., Wang Z., Nan B., Yang C., Wang M., Ye H., Xi C., Zhang Y., Yan H. Salidroside alleviates liver inflammation in furan-induced mice by regulating oxidative stress and endoplasmic reticulum stress // *Toxicology*. 2021. Vol. 461. 152905. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152905.
21. Gao J., Zhou R., You X. Salidroside suppresses inflammation in a D-galactose-induced rat model of Alzheimer's disease via SIRT1/NF- κ B pathway // *Metabolic Brain Disease*. 2016. Vol. 31. Pp. 771–778. DOI: 10.1007/s11011-016-9813-2.
22. Seo E.-J., Fischer N., Efferth T. Phytochemicals as inhibitors of NF- κ B for treatment of Alzheimer's disease // *Pharmacological Research*. 2018. Vol. 129. Pp. 262–273. DOI: 10.1016/j.phrs.2017.11.030.
23. Song D., Zhao M., Feng L., Wang P., Li Y., Li W. Salidroside attenuates acute lung injury via inhibition of inflammatory cytokine production // *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2021. Vol. 142. 111949. DOI: 10.1016/j.biopha.2021.111949.

Поступила в редакцию 29 ноября 2021 г.

После переработки 12 апреля 2022 г.

Принята к публикации 8 мая 2022 г.

Для цитирования: Лёзина А.В., Тернинко И.И., Генералова Ю.Э., Джаборова С.С. Анализ родоспецифичных фенольных соединений растений рода *Rhodiola spp.* в сравнительном аспекте // *Химия растительного сырья*. 2022. №3. С. 187–193. DOI: 10.14258/jcrpm.20220310646.

Lyozina A.V.^{1*}, *Terninko I.I.*¹, *Generalova Yu.E.*¹, *Dzhaborova S.S.*² ANALYSIS OF GENUS SPECIFIC PHENOLIC COMPOUNDS IN PLANTS OF THE GENUS *RHODIOLA SPP.* IN A COMPARATIVE ASPECT

¹ *St. Petersburg State Chemical Pharmaceutical University, ul. Professor Popova, 14A, St. Petersburg, 197376 (Russia), e-mail: alena.lezina@pharminnotech.com*

² *Tajik State Medical University named after Abuali ibn Sino, pr. Rudaki, 139, Dushanbe, 734003 (Republic of Tajikistan)*

Plants of the genus *Rhodiola* (Crasulaceae) are actively used in folk medicine around the world. The most studied representative of this genus is *Rhodiola rosea* L., which is an official species in the Russian Federation. But in the folk medicine of Russia and China, other species of the genus *Rhodiola* are also used. Thus, in the southern part of Eastern Siberia, *Rhodiola quadrifida* (Pall.) Fisch et Mey is very popular., in Central Asia - *Rhodiola heterodonta* (Hook. f. & Thomson) Boriss. To introduce these species of the genus *Rhodiola* into official medicine, it is necessary to determine marker compounds and select standardization criteria. The purpose of this work was to study phenolic alcohols and their glycosides, established as genus specific, in *Rhodiola quadrifida* and *Rhodiola heterodonta* in comparison with *Rhodiola rosea* by high performance thin layer and liquid chromatography. It has been established that rosin is characteristic only for *R. rosea*, while salidroside and tyrosol quantitatively prevail in *R. heterodonta* and *R. quadrifida*. Based on the obtained results, it can be assumed that the differences in the chromatographic profile of the studied species can be used to confirm the identity, and the identified compounds can be used to standardize the indicated *Rhodiola* species.

Keywords: salidroside, tyrosol, rosin, *Rhodiola rosea*, *Rhodiola quadrifida*, *Rhodiola heterodonta*, HPLC, HPTLC.

* Corresponding author.

References

1. Chiang H.M., Chen H.C., Wu C.S., Wu P.Y., Wen K.C. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2015, vol. 23, no. 3, pp. 359–369. DOI: 10.1016/j.jfda.2015.04.007.
2. Panossian A., Wikman G., Sarris J. *Phytomedicine*, 2010, vol. 17, no. 7, pp. 481–93. DOI: 10.1016/j.phymed.2010.02.002.
3. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii, XIV izdaniye*. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV edition]. Moscow, 2018. URL: <http://www.femb.ru/femb/pharmacopea.php>. (in Russ.).
4. Kosakowska O., Bączek K., Przybył J. L., Pióro-Jabrucka E., Czupa W., Synowiec A., Gniewosz M., Costa R., Mondello L., Węglarz Z. *Molecules*, 2018, vol. 23, no. 7, p. 1767. DOI: 10.3390/molecules23071767.
5. Liu Z., Liu Y., Liu C. et al. *Chemistry Central Journal*, 2013, vol. 7, 118. DOI: 10.1186/1752-153X-7-118.
6. Chiu T.F., Chen L.C., Su D.H. et al. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2013, vol. 13, 298. DOI: 10.1186/1472-6882-13-298.
7. Li T., Zhang H. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 2008, vol. 56, no. 6, pp. 807–814. DOI: 10.1248/cpb.56.807.
8. Lin K.T., Hsu S.W., Lai F.Y. et al. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2016, vol. 16, 127. DOI: 10.1186/s12906-016-1108-y.
9. Qi Y.-J., Cui S., Lu D.-X. et al. *Cancer Cell International*, 2015, vol. 15, 81. DOI: 10.1186/s12935-015-0225-x.
10. Yoshikawa M., Shimada H., Matsuda H., Yamahara J., Murakami N. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 1996, vol. 44, no. 9, pp. 1656–1662. DOI: 10.1248/cpb.44.1656.
11. Grace M.H., Yousef G.G., Kurmukov A.G., Raskin I., Lila M.A. *Natural Product Communications*, 2009, vol. 4, no. 8, pp. 1053–1058.
12. Rakhmatullayeva M.M. *Farmatsevticheskiy vestnik Uzbekistana*, 2015, no. 3, pp. 42–45.
13. Lee S.-Y., Shi L.-S., Chu H., Li M.-H., Ho C.-W., Lai F.-Y., Huang C.-Y., Chang T.-C. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 284150. DOI: 10.1155/2013/284150.
14. Wang Q., Ruan X., Jin Z.H., Yan Q.C., Tu S. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 2005, vol. 6, pp. 477–482. DOI: 10.1631/jzus.2005.B0477.
15. *Methods for Identification of Herbal Drugs and Herbal Drug Preparations. Rhodiola rosea HPTLC Association. USP41-NF36*. 2020. URL: https://www.hptlcassociation.org/methods/methods_for_identification_of_herbals.cfm.
16. Zhao G., Shi A., Fan Z., Du Y. *Oncology Reports*, 2015, vol. 33, pp. 2553–2560. DOI: 10.3892/or.2015.3857.
17. Yang D.W., Kang O.H., Lee Y.S., Han S.H., Lee S.W., Cha S.W., Seo Y.S., Mun S.H., Gong R., Shin D.W., Kwon D.Y. *International Journal of Molecular Medicine*, 2016, vol. 38, pp. 1864–1870. DOI: 10.3892/ijmm.2016.2781.
18. You L., Zhang D., Geng H. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 2021, vol. 21, 146. DOI: 10.1186/s12906-021-03307-0.
19. An J., Yang H., Zhang Q., Liu C., Zhao J., Zhang L., Chen B. *Life Sciences*, 2016, vol. 147, pp. 46–58.
20. Yuan Y., Wang Z., Nan B., Yang C., Wang M., Ye H., Xi C., Zhang Y., Yan H. *Toxicology*, 2021, vol. 461, 152905. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152905.
21. Gao J., Zhou R., You X. *Metabolic Brain Disease*, 2016, vol. 31, pp. 771–778. DOI: 10.1007/s11011-016-9813-2.
22. Seo E.-J., Fischer N., Efferth T. *Pharmacological Research*, 2018, vol. 129, pp. 262–273. DOI: 10.1016/j.phrs.2017.11.030.
23. Song D., Zhao M., Feng L., Wang P., Li Y., Li W. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2021, vol. 142, 111949. DOI: 10.1016/j.biopha.2021.111949.

Received November 29, 2021

Revised April 12, 2022

Accepted May 8, 2022

For citing: Lyozina A.V., Terninko I.I., Generalova Yu.E., Dzhaborova S.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 3, pp. 187–193. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220310646.

