

- Uskov I.B., Uskov A.O. Primenenie matematiki nechetkikh mnozhestv k probleme upravleniya agroklimaticheskimi riskami. [Application of fuzzy set mathematics to the problem of agro-climatic risk management]. *Agrofizika*, 2015, no. 1, pp. 18–25.
- Chekmarev V.V. Zavisimost' razvitiia buroi rzhavchiny ozimnykh pshenitsy i rzhi ot kolichestva dnei s opredelennymi faktorami pogody. [Dependence of brown rust on winter wheat and rye on a number of days with definite weather factors]. *Zernovoe khoziaistvo Rossii*, 2015, pp.14–18.
- Chekmarev V.V. Pogodnye usloviia i osobennosti razvitiia rzhavchiny pshenitsy v Tambovskoi oblasti. [Weather conditions and features of wheat rust development in the Tambov region]. *Nauka bez granits*, 2020, no.8(48), pp. 35–39.
- Bornman J.F., Barnes P.W., Robinson S.A., Ballaré C.L., Flint S.D., Caldwell M. M. Solar ultraviolet radiation and ozone depletion-driven climate change: effects on terrestrial ecosystems // *Photochem. Photobiol. Sci.* 2015. 14. P. 88–107.
- Lahlali R., Taoussi M., Laasli S.-E., Gachara G., Ezzouggar R., Belabess Z., Aberkani K., Assouguem A., Meddich A., Jarroudi M. El, Barka E. Ait. Effects of climate change on plant pathogens and host-pathogen interactions // *Crop and Environment*. 2024. V. 3, Issue 3. 2024. P. 159–170. DOI: 10.1016/j.crope.2024.05.003.
- Li T., Zhao Y., Jin S., Yao Q., Wang H. Investigation of UV-B sensitivity of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* isolates from Gansu and Qinghai provinces, China[J] // *Acta Phytopathologica Sinica*. 2024. V. 4(3). P. 591–606. DOI: 10.13926/j.cnki.apps.000929
- Mahmoodi S., Ganje M.B. Ahmadi K., Dalvand Y., Naghibi A., Newlandsf N.K. Modeling spatiotemporal distribution of yellow rust wheat pathogen using machine learning algorithms: Insights from environmental assessment // *Environmental Technology & Innovation*. V.36. 2024. 103865. DOI: 10.1016/j.eti.2024.103865
- Mmbando G.S. The recent relationship between ultraviolet-B radiation and biotic resistance in plants: a novel non-chemical strategy for managing biotic stresses // *Plant signaling & Behavior*. 2023. Vol. 18. No. 01. e2191463. DOI: 10.1080/15592324.2023.2191463
- Shirin M., Meysam B.G., Kourosh A., Yadollah D., Amir N., Nathaniel K.N. Modeling spatiotemporal distribution of yellow rust wheat pathogen using machine learning algorithms: Insights from environmental assessment // *Environmental Technology & Innovation*. 2024. Vol. 36. DOI: 10.1016/j.eti.2024.103865.
- Young H.M., George S., Narváez D.F., Srivastava P., Schuerger A.C., Wright D. L., Marois J. J. 2012. Effect of solar radiation on disease severity of soybean rust // *Phytopathology*. V. 102. P. 794–803. DOI: 10.1094 / PHYTO-10-11-0294
- Zanella C.M., MacCormack R., Caulfield J., Gordon A., Jones H., Hubbard A., Boyd L.A. Yellow rust infection of wheat: How the quantity of light received by wheat seedlings before inoculation affects infection efficiency // *Plant Pathology*. 2024. V. 73. P. 2359–2371. DOI: 10.1111/ppa.13977

УДК 582.681:581.192

DOI: 10.25695/AGRPH.2025.03.04

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДИКОРАСТУЩИХ И СЕЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ *HYPERICUM PERFORATUM* L. КОЛЛЕКЦИИ ВИР

А. Б. Курина^{ID}, А. А. Асланова^{ID}, А. Е. Соловьева^{ID}

ORCID

Курина А. Б. [0000-0002-3197-4751](https://orcid.org/0000-0002-3197-4751)Асланова А. А. [0009-0006-3429-0060](https://orcid.org/0009-0006-3429-0060)Соловьева А. Е. [0000-0002-6201-4294](https://orcid.org/0000-0002-6201-4294)

ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР)»,
190031, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44,
e-mail: nastya_n11@mail.ru

Поступила в редакцию 18.06.2025 г., принята к печати 28.08.2025 г.

Зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.) – ценное лекарственное растение, широко применяемое в терапии депрессивных состояний и обладающее комплексным тонизирующим действием. Несмотря на природную распространенность, его производственное выращивание остается ограниченным. Растение содержит уникальный комплекс биологически активных соединений, включая нафтодиантроны (гиперицин, псевдогиперицин), флороглюцины (гиперфорин), флавоноиды и фенольные кислоты, состав которых варьирует в зависимости от генетических и экологических факторов. В исследовании проведен сравнительный анализ 12 образцов *H. perforatum* (дикорастущие формы и селекционные сорта) из коллекции ВИР по содержанию пигментов, биологически активных веществ и антиоксидантной активности. Установлены значительные межсортные различия по содержанию пигментов, фенольных соединений и антиоксидантной активности. Селекционные сорта Янтарный лекарь (к-7) и

Солнечный (к-8) демонтировали более стабильный биохимический профиль с высоким уровнем пигментов, тогда как дикорастущие формы отличаются повышенным содержанием фенольных соединений и дубильных веществ, что отражает их адаптационный потенциал. Особый интерес представляют образцы вр.21, к-14 и к-11, показавшие максимальные концентрации биологически активных соединений.

Ключевые слова: зверобой продырявленный, дикорастущие и селекционные формы, биологически активные вещества, изменчивость

COMPARATIVE ANALYSIS OF BIOCHEMICAL COMPOSITION OF THE VIR WILD AND CULTIVATED *HYPERICUM PERFORATUM* L. ACCESSIONS

A. B. Kurina, A. A. Aslanova, A. E. Solovyeva

Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR),
190031, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya St., 42-44,
e-mail: nastya_n11@mail.ru

St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) is a valuable medicinal plant possessing complex tonic properties and is widely used in the treatment of depressive disorders. Despite of the fact that it is widespread in nature, commercial cultivation of the plant remains limited. The plant contains a unique complex of bioactive compounds, including naphthodianthrone (hypericin, pseudohypericin), phloroglucinols (hyperforin), flavonoids and phenolic acids, with composition varying depending on genetic and environmental factors. In this study a comparative analysis of 12 *H. perforatum* accessions (wild forms and cultivated cultivars) from the VIR collection was conducted, evaluating pigment content, bioactive compounds and antioxidant activity. Significant interspecific differences in pigment content, phenolic compounds and antioxidant activity were found between the studied forms. Cultivated accessions Yantarny Lekar (k-7) and Solnechny (k-8) demonstrated more stable biochemical profiles with high pigment levels, while wild forms showed increased phenolic and tannin content, reflecting their adaptive potential. Accessions vr.21, k-14 and k-11 exhibited the highest concentrations of bioactive compounds.

Keywords: St. John's wort, wild and cultivated forms, bioactive compounds, variability

ВВЕДЕНИЕ

Зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.) семейства Hypericaceae (Guttiferae) широко применяется в медицинской практике и является популярным компонентом биологически активных добавок, применяемых в ряде стран для лечения легких и умеренных форм депрессии (Ng et al., 2017; Zhao et al., 2023), оказывает стимулирующее действие на органы ЖКТ, кровообращение и общее тонизирующее действие. Современные фармакологические исследования подтверждают, что экстракты зверобоя эффективны благодаря наличию гиперина и гиперфорина (Lou et al., 2022; Wang et al., 2023). В связи с растущим интересом к фармакологической активности растительных экстрактов и непосредственно к гиперину, гиперфору и родственными соединениям, зверобой продырявленный стал одним из наиболее изучаемых лекарственных растений за последние два десятилетия (Kaplan et al., 2023). Однако большинство исследований сосредоточено на химическом составе растений, собранных в естественных условиях произрастания, и на фармакологических и клинических свойствах их экстрактов (Nobakht et al., 2022; Caldeira et al., 2022; Sherif et al., 2023).

Несмотря на широкое распространение зверобоя в природе, его культивирование остается ограниченным. Литературные данные свидетельствуют о том, что исследований, посвященных оценке агрономических и фитохимических характеристик *H. perforatum* в условиях открытого грунта, крайне мало. Большинство публикаций основаны на изучении образцов, собранных в дикой природе или выращенных в

контролируемых условиях, преимущественно в горшках (Lazzara et al., 2021).

Качество сырья зверобоя может варьироваться в зависимости от подвида или сорта, географических особенностей региона и сроков сбора (Verotta, 2003; Lazzara et al., 2021). Помимо этого, на химический состав растения влияют факторы окружающей среды, генотип и их взаимодействие (Bagdonaitė et al., 2010). Между разными популяциями могут наблюдаться значительные генотипические и фенотипические различия (Walker et al., 2001). В связи с этим для выведения сортов, адаптированных к конкретным регионам, необходимо изучить генетическое разнообразие и дать морфологическую и биохимическую характеристику растений (Kaplan et al., 2023).

Биохимический состав *H. perforatum* представляет собой сложный комплекс вторичных метаболитов, среди которых особое значение имеют нафтодиантроны (гиперин, псевдогиперин), флороглюцины (гиперфорин, адгиперфорин), флавоноиды (кверцетин, рутин, гиперозид) и фенольные кислоты (Avato et al., 2020). Именно эти группы соединений определяют основные фармакологические свойства растения, включая антидепрессивную, противовирусную, антиоксидантную и противовоспалительную активность (Nicolussi et al., 2020).

В контексте решения проблемы вариабельности биохимического состава особый интерес представляет сравнительный анализ дикорастущих и селекционных образцов *H. perforatum*. Последние достижения в области селекции лекарственных растений позволили создать ряд перспективных сортов,

характеризующихся не только высокой продуктивностью, но и стабильным содержанием биологически активных веществ (Karakas et al., 2022). Однако вопрос о том, насколько селекционные формы могут полноценно заменить дикорастущие растения в качестве источника лекарственного сырья, остается открытым и требует дополнительных исследований.

Целью исследования является комплексный сравнительный анализ биохимического состава и

антиоксидантной активности дикорастущих и селекционных образцов *H. perforatum* L коллекции ВИР.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили 12 образцов зверобоя, представленные дикорастущими формами и селекционными сортами (табл. 1).

Таблица 1. Список изученных образцов зверобоя продырявленного

№	№ каталога	Название	Происхождение
1	к-6	—	Россия, ф. Гавриш
2	к-7	Янтарный лекарь	Россия, ф. Сибирский сад
3	к-8	Солнечный	Россия, ф. Гавриш
4	к-9	Айболит	Россия, ф. Аэлита
5	к-10	Дикорастущий	Россия, КБР, с. Гудко
6	к-11	Дикорастущий	Россия, КБР, г. Эльбрус
7	к-12	Дикорастущий	Россия, КБР, Долина нарзанов
8	вр.20	Дикорастущий	Россия, КБР, долина нарзанов
9	вр.21	Дикорастущий	Россия, КБР, р. Терек
10	к-13	Дикорастущий	Россия, КБР, р-н Псычох
11	вр.22	Дикорастущий	Россия, КБР, р-н Псычох
12	к-14	Дикорастущий	Россия, Пензенская обл., с. Большой Вьяс

Исследования проводили в ФГБНУ ФИЦ ВИГРР им. Н. И. Вавилова (ВИР) на НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Пушкин, Ленинградская область) в условиях открытого грунта в 2024 г. Растения зверобоя высаживали по 5 штук на делянку, учетная площадь делянки 1 м², расстояние между делянками в ряду 1,5 м, между рядами 2,0 м.

Сбор и заготовку растительного материала проводили в фазу массового цветения согласно ГОСТ 15161-93 «Трава зверобоя. Технические условия» путем сушки при 50°C. Для биохимического анализа использовалась усредненная проба надземной части растения. Проба включала листья, соцветия (бутоны, цветки) и верхние неодревесневшие части стеблей длиной до 30 см в той естественной пропорции, в которой они присутствуют в растении на момент сбора. После сушки проводилось общее измельчение и гомогенизация всего сырья для получения репрезентативной пробы.

Биохимический анализ образцов проводили по методике А. И. Ермакова (Ермаков и др., 1987) в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР в трехкратной повторности.

Пигментный состав. Хлорофиллы и каротиноиды были выделены с использованием 100% ацетона, и их абсорбция была измерена на спектрофотометре Ultrospec II (Великобритания). Сущность метода заключается в измерении оптической плотности вытяжки пигментов на спектрофотометре при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов, *a* (663 нм) и *b* (645 нм), и максимуму поглощения каротиноидов (440 нм), с последующим расчетом концентрации пигментов по уравнениям Ветштейна и Хольма для 100% ацетона. Суммарное содержание каротинов (454 нм), лютеина (447 нм), виолксантина (443 нм) и ксантофилла (440 нм) определяли методом бумажной

хроматографии, где в качестве подвижной фазы использовались: для определения суммы каротинов – петролейный эфир; для определения остальных желтых пигментов – смесь бензола с петролейным эфиром (3:1), с последующим элюированием ацетоном (Ермаков и др., 1987).

Антоцианы извлечены экстракцией раствором 1% соляной кислоты, с последующим спектрофотометрированием при длине волны 510 нм, в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид. Для внесения поправки на содержание зеленых пигментов одновременно определяли оптическую плотность полученных экстрактов при 657 нм (Чупахина, Масленников, 2004).

Экстракцию фенольных веществ и определение антиоксидантной активности проводили с использованием 80% этанола.

Общее содержание фенольных веществ определяли методом Фолина и Чокальтеу в модификации Синглтона и Росси (Singleton, Rossi, 1965), который основан на восстановлении Mo⁶⁺ до Mo⁵⁺, в результате которого анализируемый раствор приобретает синий цвет и может быть измерен оптически, при длине волны 765 нм. Результат выражали в эквивалентах галловой кислоты (ГК) – мг-экв. ГК г⁻¹.

Антиоксидантная активность. Количественную оценку антиоксидантной активности спиртовых экстрактов проводили спектрофотометрически с применением стабильного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) при длине волны 515 нм. После стадии нейтрализации свободных радикалов в стандартных условиях проводили измерение скорости окисления радикала DPPH. Результат выражали в % поглощения свободных радикалов (Afshar et al., 2012).

Выделение флавоноидов проводили водно-спиртовым извлечением с использованием 50%

этилового спирта на кипящей водяной бане в течение 30 минут.

Сумма флавоноидов. Метод основан на формировании флавоноид-алюминиевого комплекса (Settharaksa et al., 2012). Суммарное содержание флавоноидов определялось спектрофотометрически при длине волны – 410 нм, результат выражали в % исходного сырья в пересчете на рутин (по калибровочной кривой).

Дубильные вещества. Методика потенциометрического титрования дубильных веществ в траве зверобоя (Марахова и др., 2014).

Все данные приведены на сухое вещество.

Статистический анализ. Анализ данных выполняли с использованием программного обеспечения STATISTICA v. 12 (StatSoft Inc., США). Средние значения данных сравнивали с помощью

однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Для выявления выделившихся образцов использовали критерий достоверной значимой разницы Тьюки (HSD – Honestly significant difference Tukey) и HCP₀₅ (StatSoft, 2013, Наследов, 2012). Метод главных компонент использовали для раскрытия основных факторов выявляющих изменчивость образцов по комплексу признаков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ качественного состава и количественного содержания пигментов свидетельствует о значительных различиях между образцами, что может быть связано с их генетическими особенностями, условиями выращивания и адаптационными механизмами (табл. 2 и 3).

Таблица 2. Пигментный состав образцов зверобоя продырявленного, мг 100 г⁻¹ сух. вещ.

№	№ каталога	Сумма хлорофиллов	Каротиноиды	Каротины	β-каротин	Ксантофиллы	Виолосантин	Лютеин
1	к-6	115,43±12,43 ^a	34,71±3,48 ^{ab}	8,66±1,27 ^a	7,25±0,76 ^a	26,06±2,21 ^b	10,33±3,12 ^a	10,71±4,09 ^a
2	к-7	122,37±16,42 ^a	31,81±4,58 ^{ab}	8,21±0,77 ^{ab}	7,21±0,77 ^a	24,60±3,81 ^b	9,36±1,03 ^{ac}	5,35±1,44 ^b
3	к-8	109,38±6,57 ^a	32,25±2,92 ^{ab}	7,25±0,48 ^b	6,92±0,46 ^a	25,33±2,63 ^b	10,20±1,63 ^a	7,61±2,56 ^b
4	к-9	65,79±4,76 ^{bc}	20,44±3,23 ^c	4,72±0,35 ^{cc}	4,38±0,39 ^c	16,05±3,18 ^a	8,99±2,90 ^{cc}	2,63±0,82 ^{bc}
5	к-10	81,82±5,74 ^b	23,01±1,91 ^{cd}	7,69±0,76 ^a	6,15±0,16 ^{ab}	15,31±1,33 ^a	9,07±1,75 ^{cc}	2,53±0,58 ^c
6	к-11	81,81±9,71 ^b	22,42±4,97 ^{cd}	5,52±0,35 ^c	5,18±0,57 ^{bc}	17,24±4,43 ^a	7,52±4,11 ^{ac}	2,58±0,66 ^{bc}
7	к-12	76,10±8,55 ^{bc}	25,69±3,13 ^{bc}	5,69±0,80 ^c	5,31±0,51 ^{bc}	20,01±2,33 ^{ab}	8,57±3,31 ^{ac}	6,96±1,51 ^b
8	вр.20	57,12±3,75 ^c	18,06±5,12 ^{cd}	5,62±0,48 ^c	4,80±0,47 ^c	12,44±5,29 ^a	6,64±2,41 ^{ac}	2,83±1,67 ^{bc}
9	вр.21	153,84±19,95 ^d	34,76±9,32 ^{ab}	11,15±0,97 ^d	10,61±1,37 ^d	24,14±8,10 ^b	16,80±5,92 ^b	2,81±0,50 ^{bc}
10	к-13	69,12±18,16 ^{bc}	26,01±3,15 ^{bc}	6,88±0,31 ^{bc}	6,41±0,20 ^a	19,60±2,98 ^{ab}	10,06±1,35 ^a	3,95±0,29 ^{bc}
11	вр.22	43,55±1,14 ^c	15,08±1,07 ^d	4,12±0,38 ^c	3,56±0,03 ^c	11,52±1,09 ^a	4,70±2,13 ^c	2,25±0,51 ^c
12	к-14	117,62±18,68 ^a	28,22±4,42 ^{abc}	7,89±1,69 ^a	7,80±1,78 ^a	20,33±2,77 ^{ab}	13,75±1,86 ^{ab}	2,02±0,57 ^c
Среднее		91,16±32,31	26,04±6,50	6,95±1,95	6,30±1,88	19,39±5,78	9,67±3,15	4,35±2,75
CV, %		35,4	25,0	28,1	29,8	29,8	32,6	63,1
HCP ₀₅		21,89	7,92	1,56	1,42	5,09	5,27	2,97

^{a-c} Значения с разным надстрочным индексом в столбце существенно различались при $p < 0,05$ (Tukey's HSD test).

Таблица 3. Биологически активные вещества зверобоя продырявленного

№	№ каталога	Фенольные соединения, мг·экв ГК г ⁻¹	Флавоноиды, %	Гиперозид, %	Дубильные вещества, %	DPРН, %
1	к-6	110,02±12,94 ^a	4,60±0,51 ^a	4,16±0,46 ^{ab}	12,18±0,29 ^{ab}	77,33±0,94 ^a
2	к-7	135,80±4,44 ^b	4,92±0,12 ^{ab}	4,44±0,11 ^{ab}	13,24±0,50 ^{ab}	78,55±0,89 ^a
3	к-8	124,61±3,48 ^{ab}	4,69±0,51 ^{ab}	4,24±0,46 ^{ab}	11,53±0,29 ^a	78,94±0,82 ^{ab}
4	к-9	201,13±9,76 ^c	4,96±0,30 ^{ab}	4,48±0,27 ^{ab}	13,71±0,82 ^b	83,54±0,26 ^f
5	к-10	135,57±3,81 ^b	4,07±0,67 ^a	3,67±0,60 ^a	14,68±0,65 ^{bc}	80,63±1,52 ^b
6	к-11	212,22±12,98 ^c	4,84±0,18 ^{ab}	4,37±0,17 ^{ab}	14,76±1,02 ^c	85,35±0,28 ^c
7	к-12	119,73±13,41 ^a	4,01±0,35 ^a	3,62±0,32 ^a	7,58±1,96 ^d	78,23±1,11 ^a
8	вр.20	126,81±6,67 ^b	5,17±0,38 ^{ab}	4,67±0,34 ^{ab}	11,19±0,96 ^a	74,06±1,37 ^d
9	вр.21	149,53±9,10 ^b	6,35±0,13 ^c	5,73±0,12 ^c	14,80±0,64 ^c	68,88±1,95 ^c
10	к-13	147,33±2,84 ^b	3,94±0,94 ^a	3,56±0,85 ^a	16,13±0,33 ^{cc}	72,82±0,43 ^d
11	вр.22	134,97±10,18 ^b	6,28±0,21 ^c	5,67±0,19 ^c	17,21±1,17 ^c	80,13±0,53 ^b
12	к-14	220,81±3,70 ^c	5,14±0,33 ^{ab}	4,64±0,30 ^a	12,91±0,46 ^{ab}	74,31±0,61 ^d
Среднее		151,54±37,91	4,92±0,78	4,44±0,70^{ab}	13,33±2,55	77,73±4,63
CV, %		25,02	15,83	15,83	19,12	5,97
HCP ₀₅		15,64	0,81	0,73	1,59	1,84

^{a-f} Значения с разным надстрочным индексом в столбце существенно различались при $p < 0,05$ (Tukey's HSD test).

Пигментный комплекс звербоя продырявленного в целом малоизучен. В данном исследовании сумма хлорофиллов варьировала от 43,55 до 153,84 мг 100 г⁻¹ (CV=35,4%), хлорофилл *a* – от 34,89 до 115,63 мг 100 г⁻¹ (CV=33,3%), хлорофилл *b* – от 8,66 до 38,22 мг 100 г⁻¹ (CV=45,5%), что свидетельствует о значительных межсортных различиях (табл. 2). Наибольшее содержание выявлено у дикорастущего образца (вр.21), собранного на территории Кабардино-Балкарской республики (КБР) на берегу реки Терек, что может указывать на его высокую фотосинтетическую активность. Наименьшим содержанием хлорофиллов характеризовался дикорастущий образец (вр.22) из КБР района Псычох – 43,55 мг 100 г⁻¹.

Содержание каротиноидов характеризовалось меньшей изменчивостью – от 15,08 до 34,76 мг 100 г⁻¹ (CV=25,0%), при этом дикорастущий (вр.21) и селекционный (к-6) образцы показали максимальные концентрации. Содержание каротинов, в том числе и β-каротина было наиболее высоким у дикорастущего образца (вр.21) – 10,61 мг 100 г⁻¹, что делает данный образец потенциально ценным источником антиоксидантов.

Ксантофилловый комплекс представлен преимущественно виолоксантином и лютеином. Суммарное содержание ксантофиллов варьировало в пределах 11,52–26,06 мг 100 г⁻¹. Высоким суммарным содержанием ксантофиллов характеризовались селекционные образцы (к-6, к-8 и к-7) и дикорастущий образец (вр.21) – 24,14–26,06 мг 100 г⁻¹. В большинстве образцов в составе ксантофиллов преобладает виолоксантин. Высоким содержанием характеризовались дикорастущие образцы из КБР (вр.21) и Пензы (к-14) – 16,80 и 13,75 мг 100 г⁻¹, соответственно. Наибольшее содержание лютеина обнаружено в селекционном образце (к-6) – 10,33 мг 100 г⁻¹, немного меньше в образцах Солнечный (к-8) и дикорастущий (к-12) – 7,61 и 6,96 мг 100 г⁻¹.

Высокие значения коэффициента вариации (25–63%) подтверждают значительную внутривидовую вариабельность звербоя продырявленного по пигментному составу. Селекционные формы в среднем содержали больше хлорофиллов и каротиноидов, чем дикорастущие, исключение – образец вр.21. Образец, собранный в районе Псычох (вр.22) характеризовался минимальными значениями почти по всем показателям пигментного состава. В целом дикорастущие образцы показывали сильную зависимость от места сбора.

Содержание фенольных соединений варьировало от 110,02 до 220,81 мг-экв. ГК г⁻¹, причем три образца (к-11, к-9, к-14) достоверно превосходили

остальные по этому показателю (табл. 3). У селекционных образцов среднее содержание фенольных соединений (142,89 мг-экв. ГК г⁻¹) ниже, чем у дикорастущих (157,33 мг-экв. ГК г⁻¹).

Содержание флавоноидов и гиперозида было высоким у дикорастущих образцов вр.21 и вр.22, что может свидетельствовать об их более высокой биологической активности.

Дубильные вещества демонстрировали значительный разброс (от 7,58 до 17,21%), наибольшие значения, показали образцы, собранные в районе Псычох (вр.22 и к-13), что может быть важно для фармакологического применения.

Антиоксидантная активность (DPPH) варьировала от 68,88% (вр.21) до 85,35% (к-11) наибольшей активностью характеризовались образцы с высоким содержанием фенольных соединений (к-11, к-9). Антиоксидантная активность у селекционных форм стабильно высокая (77,33–83,54%) и может быть результатом направленной селекции.

Дикорастущие образцы в среднем богаче фенольными соединениями и дубильными веществами, чем селекционные. Дикорастущие образцы вр.21 и к-14 выделяются по комплексу показателей: высокие уровни β-каротина, флавоноидов и дубильных веществ, что делает их перспективными для дальнейших исследований.

Корреляционный анализ показал сильную положительную связь антиоксидантной активности с общим содержанием фенольных соединений ($r=0,72$) и среднюю – с дубильными веществами ($r=0,59$). Были выявлены средняя отрицательная корреляция с каротиноидами ($r=-0,59$) и ксантофиллами ($r=-0,63$) и отсутствие значимой связи с флавоноидами. Это свидетельствует о сложной компенсаторной регуляции антиоксидантной системы, где стабильность общей активности обеспечивается не отдельными метаболитами, а сбалансированным взаимодействием всего комплекса биологически активных веществ.

В результате анализа биохимических признаков методом главных компонент было установлено, что их изменчивость определяется в основном тремя факторами (табл. 4). В совокупности они определяют общую дисперсию на 84,63%. Так первая компонента определяет ее на 48,61%, которая характеризует содержание хлорофиллов, каротиноидов, каротинов, β-каротина, виолоксантина, ксантофиллов и уровень DPPH. Вторая главная компонента характеризует содержание флавоноидов, гиперозида, лютеина и дубильных веществ; третья – фенольные соединения.

Поскольку первые две компоненты характеризуют большую часть изменчивости признаков, мы рассмотрели расположение образцов в их пространстве (рис. 1).

Таблица 4. Дисперсия главных компонент

Компонента	Собственные значения	% от общей дисперсии	Кумулятивные собственные значения	Кумулятивность, %
1	5,83	48,61	5,83	48,61
2	3,02	25,21	8,86	73,83
3	1,29	10,80	10,15	84,63

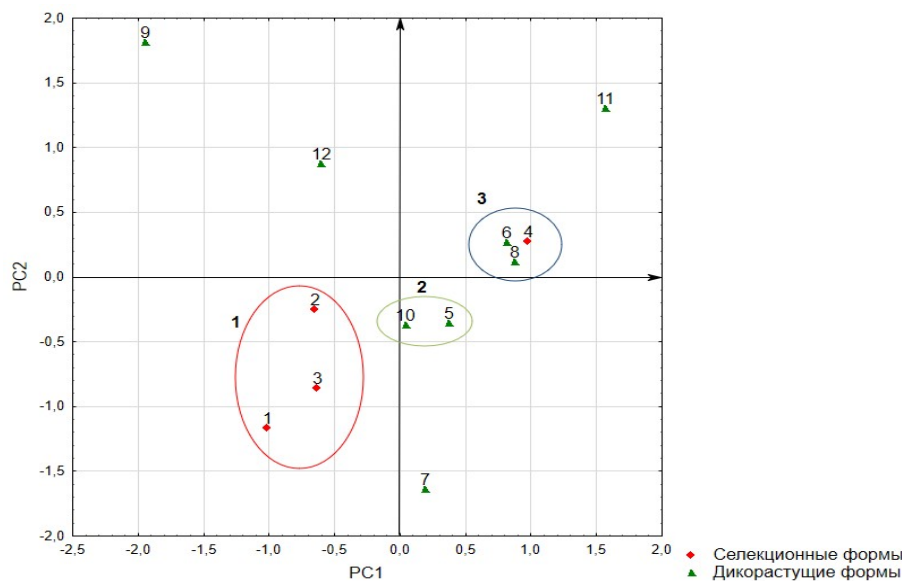


Рис. Распределение образцов зверобоя в пространстве первых двух компонент.
Цифрами обозначены номера образцов согласно таблице 1

В пространстве двух главных компонент выделилось три группы образцов и четыре образца не формировали групп. В первую группу вошли селекционные образцы (к-6, к-7, к-8), которые отличались высоким содержанием каротиноидов и лютеина и средним содержанием фенольных соединений ($123,47 \text{ мг-экв. ГК г}^{-1}$). Во вторую группу вошли дикорастущие образцы (к-10, к-13), характеризующиеся высоким содержанием дубильных веществ и низким уровнем содержания пигментов. Третья группа представлена двумя дикорастущими образцами (к-11, вр.20) и одним сортом (к-9), которые отличались высоким содержанием фенольных соединений, флавоноидов и гиперозида, что коррелирует с высокой антиоксидантной активностью.

Образец, собранный в Долине нарзанов (к-12), характеризовался низкими значениями каротинов ($5,69 \text{ мг } 100 \text{ г}^{-1}$), но высоким содержанием лютеина ($6,96 \text{ мг } 100 \text{ г}^{-1}$ и небольшим содержанием дубильных веществ ($7,58\%$), что может снижать вяжущие свойства.

Образец, собранный на берегу р. Терек (вр.21), характеризовался наибольшим содержанием практически всех пигментов, в частности каротинов ($11,15 \text{ мг } 100 \text{ г}^{-1}$), β -каротина ($10,61 \text{ мг } 100 \text{ г}^{-1}$) и виолоксантина ($16,80 \text{ мг } 100 \text{ г}^{-1}$). При высоких значениях по содержанию гиперозида ($5,73\%$) и флавоноидов ($6,35\%$) образец вскрыл самую низкую антиоксидантную активность (DPPH – $68,88\%$), что требует дополнительного изучения.

Образец, собранный в районе Псычох (вр.22), характеризовался низким содержанием пигментов, но высоким содержанием дубильных веществ ($17,21\%$), гиперозида ($5,67\%$) и флавоноидов ($6,28\%$), хорошей антиоксидантной активностью (DPPH – $80,13\%$).

Образец, собранный в Пензенской области (к-14), характеризовался самым высоким содержанием фенольных соединений ($220,81 \text{ мг-экв. ГК г}^{-1}$),

высоким уровнем виолоксантина ($13,75 \text{ мг } 100 \text{ г}^{-1}$) и гиперозида ($4,64\%$). DPPH ($74,31\%$) ниже, чем у других образцов с аналогичным содержанием фенольных соединений, что может быть связано с составом фенольного комплекса.

ВЫВОДЫ

Установлены значительные различия между дикорастущими и селекционными образцами *H. perforatum* L. по содержанию пигментов, фенольных соединений и антиоксидантной активности. Наибольшие различия (в 2,5–3,5 раза) выявлены по содержанию суммы хлорофиллов ($43,55\text{--}153,84 \text{ мг } 100 \text{ г}^{-1}$), фенольных соединений ($110,02\text{--}220,81 \text{ мг-экв. ГК г}^{-1}$) и дубильных веществ ($7,58\text{--}17,21\%$). Селекционные сорта характеризуются более стабильным и сбалансированным биохимическим составом. Географическое происхождение образцов существенно влияет на биохимический состав дикорастущих форм.

Селекционные сорта Янтарный лекарь (к-7) и Солнечный (к-8) показывают стабильно высокие уровни пигментов и антиоксидантной активности, что подтверждает успешность селекции на улучшение биохимических свойств. Дикорастущие образцы богаче фенольными соединениями и дубильными веществами, что согласуется с данными других исследований о их повышенной адаптивности.

Наибольший интерес представляют образцы вр.21, к-14 и к-11, характеризующиеся высоким уровнем биологически активных соединений. Эти данные могут быть использованы для отбора перспективных образцов в медицине, пищевой промышленности и селекции.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 25-26-00291.

Список литературы

ГОСТ 15161-93 «Трава зверобоя. Технические условия»

Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П., Перуанский Ю. А., Луковникова Г. А., Иконникова М. И. Методы биохимических исследований. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.

Наследов А. Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных. Речь, 2012. 392 с.

Марахова А. И., Станишевский Я. М., Потапов В. И., Сорокина А. А. Разработка и валидация методики потенциометрического определения суммы дубильных веществ в траве зверобоя // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2014. № 3(8). С. 140–143.

Чупахина Г. Н., Масленников П. В. Методы анализа витаминов: Практикум. Калининград: Изд-во КГУ, 2004. 36 с.

Afshar F.H., Delazar A., Nazemiyeh H., Esnaashari S., Moghadam S.B. Comparison of the total phenol, flavonoid contents and antioxidant activity of methanolic of *Artemisia spicigera* and *A. splendens* growing in Iran // Pharmaceutical Sciences. 2012. Vol. 18(3). P. 165–70.

Avato P., Argentieri M. P. Phytochemicals from *Hypericum* spp. as Potential Antimicrobial Agents // Pharmaceuticals. 2020. Vol. 13, № 8. P. 174.

Bagdonaitė E., Mártonfi P., Repčák M., Labokas J. Variation in the contents of pseudohypericin and hypericin in *Hypericum perforatum* from Lithuania // Biochemical Systematics and Ecology. 2010. Vol. 38, № 4. P. 634–640. DOI: 10.1016/j.bse.2010.08.005

Bertoli A., Pistelli L., Morelli I., Fraternali D., Giamperi L., Ricci D. Volatile constituents of different *Hypericum* species // Natural Product Communications. 2021. Vol. 16, № 3. P. 1934578X21996177.

Bruni R., Brighenti V., England T., Pellati F. Analytical methods for the study of bioactive compounds from medicinally used *Echinacea* species // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2019. Vol. 160. P. 443–477.

Caldeira G.I., Gouveia L.P., Serrano R., Silva O.D. *Hypericum* Genus as a Natural Source for Biologically Active Compounds // Plants (Basel). 2022. Vol. 11, № 19. P. 2509. DOI: 10.3390/plants11192509

Kaplan M., Say R., Köprü S., Karaman K., Sunulu S., Yılmaz M.M. Morphological, physicochemical, and bioactive characteristics of *Hypericum perforatum* genotypes, and their classification by GT-Biplot approach // Biochemical Systematics and Ecology. 2023. Vol. 111. P. 104721. DOI: 10.1016/j.bse.2023.104721

Karakas F.P., Turker A.U., Karakas A. *Hypericum perforatum* L.: A comprehensive review on its chemistry and biological activities // South African Journal of Botany. 2022. Vol. 146. P. 303–325.

Lazzara S., Carrubba A., Napoli E. Cultivating for the industry: cropping experiences with *Hypericum perforatum* L. in a Mediterranean environment // Agriculture. 2021. Vol. 11, № 5. P. 446. DOI: 10.3390/agriculture11050446

Lou H., Ma F., Yi P., Hu Z., Gu W., Huang L., He W., Yuan C., Hao X. Bioassay and UPLC-Q-Orbitrap-MS/MS guided isolation of polycyclic polyprenylated acylphloroglucinols from St. John's wort and their neuroprotective activity // Arabian Journal of Chemistry. 2022. Vol. 15. P. 104057. DOI: 10.1016/j.arabjc.2022.104057

Murch S.J., Simmons C.B., Saxena P.K. Melatonin in feverfew and other medicinal plants // The Lancet. 2021. Vol. 350, № 9091. P. 1598–1599.

Ng Q.X., Venkatanarayanan N., Ho C.Y.X. Clinical use of *Hypericum perforatum* (St John's wort) in depression: A meta-analysis // Journal of Affective Disorders. 2017. Vol. 210. P. 211–221. DOI: 10.1016/j.jad.2016.12.048.

Nicolussi S., Drewe J., Butterweck V., Meyer Zu Schwabedissen H.E. Clinical relevance of St. John's wort drug interactions revisited // British Journal of Pharmacology. 2020. Vol. 177, № 6. P. 1212–1226.

Nobakht S.Z., Akaberi M., Mohammadpour A.H., Tafazoli Moghadam A., Emami S.A. *Hypericum perforatum*: Traditional uses, clinical trials, and drug interactions // Iranian Journal of Basic Medical Sciences. 2022. Vol. 25, № 9. P. 1045–1058. DOI: 10.22038/IJBMS.2022.65112.14338

Settharaksa S., Jongjareonrak A., Hmadhlu P., Chansuwan W., Siripongvutikorn S. Flavonoid, phenolic contents and antioxidant properties of Thai hot curry paste extract and its ingredients as affected of pH, solvent types and high temperature // International Food Research Journal. 2012. Vol. 19, № 4. P. 1581–1587.

Singleton V.L., Rossi J.A. Jr. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents // American Journal of Enology and Viticulture. 1965. Vol. 16. P. 144–158. DOI: 10.5344/ajev.1965.16.3.144

Sherif M.M., Elshikh H.H., Abdel-Aziz M.M., Elaasser M.M., Yosri M. In Vitro Antibacterial and Phytochemical Screening of *Hypericum perforatum* Extract as Potential Antimicrobial Agents against Multi-Drug-Resistant (MDR) Strains of Clinical Origin // BioMed Research International. 2023. Vol. 2023. P. 6934398. DOI: 10.1155/2023/6934398

Verotta L. *Hypericum perforatum*, a source of neuroactive lead structures // Current Topics in Medicinal Chemistry. 2003. Vol. 3, № 2. P. 187–201. DOI: 10.2174/1568026033392589

Walker L., Sirvent T., Gibson D., Vance N. Regional differences in hypericin and pseudohypericin concentrations and five morphological traits among *Hypericum perforatum* plants in the northwestern United States // Canadian Journal of Botany. 2001. Vol. 79, № 10. P. 1248–1255. DOI: 10.1139/b01-103

Wang L., Ibi A., Chang C., Solnier J.A. New UHPLC analytical method for St. John's wort (*Hypericum perforatum*) extracts // Separations. 2023. Vol. 10, № 5. P. 280. DOI: 10.3390/separations10050280.

Zhao X., Zhang H., Wu Y., Yu C. The efficacy and safety of St. John's wort extract in depression therapy compared to SSRIs in adults: A meta-analysis of randomized clinical trials // Advances in Clinical and Experimental Medicine. 2023. Vol. 32. P. 151–161. DOI: 10.17219/acem/152942

References

- GOST 15161-93 Trava zveroboya. Tekhnicheskiye usloviya. [GOST 15161-93 St. John's Wort Herb. Technical Specifications]. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruanskiy Yu.A., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. *Metody biokhichimicheskikh issledovaniy*. [Methods of Biochemical Research]. L.: Agropromizdat, 1987. 430 p.
- Nasledov A.D. *Matematicheskkiye metody psikhologicheskogo issledovaniya. Analiz i interpretatsiya dannykh*. [Mathematical Methods in Psychological Research. Analysis and Interpretation of Data] Rech', 2012. 392 p.
- Marakhova A.I., Stanishevskiy Ya. M., Potapov V. I., Sorokina A. A. Razrabotka i validatsiya metodiki potentiometricheskogo opredeleniya summy dubil'nykh veshchestv v trave zveroboya. [Development and Validation of a Method for Potentiometric Determination of the Total Tannins in St. John's Wort Herb]. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2014, no. 3(8), pp. 140–143.
- Chupakhina G.N., Maslennikov P.V. *Metody analiza vitaminov: Praktikum*. [Methods of Vitamin Analysis: A Practical Guide]. Kaliningrad: Izd-vo KGU, 2004. 36 p.
- Afshar F.H., Delazar A., Nazemiyeh H., Esnaashari S., Moghadam S.B. Comparison of the total phenol, flavonoid contents and antioxidant activity of methanolic extracts of *Artemisia spicigera* and *A. splendens* growing in Iran // *Pharmaceutical Sciences*. 2012. Vol. 18(3). P. 165–70.
- Avato P., Argentieri M. P. Phytochemicals from *Hypericum* spp. as Potential Antimicrobial Agents // *Pharmaceuticals*. 2020. Vol. 13, № 8. P. 174.
- Bagdonaitė E., Mártonfi P., Repčák M., Labokas J. Variation in the contents of pseudohypericin and hypericin in *Hypericum perforatum* from Lithuania // *Biochemical Systematics and Ecology*. 2010. Vol. 38, № 4. P. 634–640. DOI: 10.1016/j.bse.2010.08.005
- Bertoli A., Pistelli L., Morelli I., Fraternale D., Giamperi L., Ricci D. Volatile constituents of different *Hypericum* species // *Natural Product Communications*. 2021. Vol. 16, № 3. P. 1934578X21996177.
- Bruni R., Brighenti V., England T., Pellati F. Analytical methods for the study of bioactive compounds from medicinally used *Echinacea* species // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2019. Vol. 160. P. 443–477.
- Caldeira G.I., Gouveia L.P., Serrano R., Silva O.D. *Hypericum* Genus as a Natural Source for Biologically Active Compounds // *Plants (Basel)*. 2022. Vol. 11, № 19. P. 2509. DOI: 10.3390/plants11192509
- Kaplan M., Say R., Köprü S., Karaman K., Sunulu S., Yılmaz M.M. Morphological, physicochemical, and bioactive characteristics of *Hypericum perforatum* genotypes, and their classification by GT-Biplot approach // *Biochemical Systematics and Ecology*. 2023. Vol. 111. P. 104721. DOI: 10.1016/j.bse.2023.104721
- Karakas F.P., Turker A.U., Karakas A. *Hypericum perforatum* L.: A comprehensive review on its chemistry and biological activities // *South African Journal of Botany*. 2022. Vol. 146. P. 303–325.
- Lazzara S., Carrubba A., Napoli E. Cultivating for the industry: cropping experiences with *Hypericum perforatum* L. in a Mediterranean environment // *Agriculture*. 2021. Vol. 11, № 5. P. 446. DOI: 10.3390/agriculture11050446
- Lou H., Ma F., Yi P., Hu Z., Gu W., Huang L., He W., Yuan C., Hao X. Bioassay and UPLC-Q-Orbitrap-MS/MS guided isolation of polycyclic polyprenylated acylphloroglucinols from St. John's wort and their neuroprotective activity // *Arabian Journal of Chemistry*. 2022. Vol. 15. P. 104057. DOI: 10.1016/j.arabjc.2022.104057
- Murch S.J., Simmons C.B., Saxena P.K. Melatonin in feverfew and other medicinal plants // *The Lancet*. 2021. Vol. 350, № 9091. P. 1598–1599.
- Ng Q.X., Venkatanarayanan N., Ho C.Y.X. Clinical use of *Hypericum perforatum* (St John's wort) in depression: A meta-analysis // *Journal of Affective Disorders*. 2017. Vol. 210. P. 211–221. DOI: 10.1016/j.jad.2016.12.048.
- Nicolussi S., Drewe J., Butterweck V., Meyer Zu Schwabedissen H.E. Clinical relevance of St. John's wort drug interactions revisited // *British Journal of Pharmacology*. 2020. Vol. 177, № 6. P. 1212–1226.
- Nobakht S.Z., Akaberi M., Mohammadpour A.H., Tafazoli Moghadam A., Emami S.A. *Hypericum perforatum*: Traditional uses, clinical trials, and drug interactions // *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*. 2022. Vol. 25, № 9. P. 1045–1058. DOI: 10.22038/IJBMS.2022.65112.14338
- Settharaksa S., Jongjareonrak A., Hmadhlu P., Chansuwan W., Siripongvutikorn S. Flavonoid, phenolic contents and antioxidant properties of Thai hot curry paste extract and its ingredients as affected of pH, solvent types and high temperature // *International Food Research Journal*. 2012. Vol. 19, № 4. P. 1581–1587.
- Singleton V.L., Rossi J.A. Jr. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents // *American Journal of Enology and Viticulture*. 1965. Vol. 16. P. 144–158. DOI: 10.5344/ajev.1965.16.3.144
- Sherif M.M., Elshikh H.H., Abdel-Aziz M.M., Elaasser M.M., Yosri M. In Vitro Antibacterial and Phytochemical Screening of *Hypericum perforatum* Extract as Potential Antimicrobial Agents against Multi-Drug-Resistant (MDR) Strains of Clinical Origin // *BioMed Research International*. 2023. Vol. 2023. P. 6934398. DOI: 10.1155/2023/6934398
- Verotta L. *Hypericum perforatum*, a source of neuroactive lead structures // *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 2003. Vol. 3, № 2. P. 187–201. DOI: 10.2174/1568026033392589
- Walker L., Sirvent T., Gibson D., Vance N. Regional differences in hypericin and pseudohypericin concentrations and five morphological traits among *Hypericum perforatum* plants in the northwestern United States // *Canadian Journal of Botany*. 2001. Vol. 79, № 10. P. 1248–1255. DOI: 10.1139/b01-103
- Wang L., Ibi A., Chang C., Solnier J.A. New UHPLC analytical method for St. John's wort (*Hypericum perforatum*) extracts // *Separations*. 2023. Vol. 10, № 5. P. 280. DOI: 10.3390/separations10050280
- Zhao X., Zhang H., Wu Y., Yu C. The efficacy and safety of St. John's wort extract in depression therapy compared to SSRIs in adults: A meta-analysis of randomized clinical trials // *Advances in Clinical and Experimental Medicine*. 2023. Vol. 32. P. 151–161. DOI: 10.17219/acem/152942