

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

BIOLOGICAL SCIENCES

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-11-26

УДК 581.1



Научная статья | Физиология растений

**АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ,
СОДЕРЖАНИЕ ИРИДОИДОВ И ФЕНОЛЬНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ GENTIANA
CRUCIATA L. ИЗ РАЗНЫХ МЕСТ ОБИТАНИЯ****Э. Бименьиндавы, О.А. Тимофеева**

Обоснование. Эколого-географические условия места обитания могут влиять на синтез и накопление различных фитохимических и, следовательно, на биологические эффекты, в том числе, антиоксидантные свойства лекарственных растений. Понимание влияния условий места обитания на биоактивные соединения в лекарственных растениях очень важно для выбора места выращивания и сбора растений с наилучшим содержанием биоактивных веществ, что позволит обеспечить фармакологическую промышленность наиболее качественным сырьем.

Цель данного исследования состоит в изучении накопления иридоидов, фенольных соединений и антиоксидантной активности растения Горечавки крестовидной *G. cruciata* в зависимости от местообитания.

Материалы и методы. Исследование проводили на растениях *G. cruciata*, которые были собраны из трех районов (Лаишевский, Альметьевский и Верхнеуслонский районы) Республики Татарстан. Сумму иридоидов определяли в пересчете на генциопикрозиде, профиль индивидуальных фенольных соединений оценивали методом ВЭЖХ на хроматографической системе высокого давления BIO-RAD (США) на колонке SN-421001911, 5μм, 4×250 мм (США). Детекцию пиков осуществляли посредством двухволнового УФ ВЭЖХ детектора BioLogic QuadTec UV-Vis (США) при длине волны 260 нм. Антиоксидантную активность экстракта *G. cruciata* оценивали по его способности ингибировать аутоокисление адреналина *in vitro*.

Результаты. Были выявлены регионы Республики Татарстана с наилучшим качеством лекарственного сырья, а также факторы, способствующие накоплению различных групп биологически активных веществ в растениях *G. cruciata*. Решающую роль в накоплении иридоидов оказали влажность и тип почв; на синтез фенольных соединений большее влияние оказала влажность, нежели тип почв. Высокая антиоксидантная активность не коррелировала с содержанием фенольных соединений. По-видимому, высокая антиоксидантная активность обусловлена присутствием иридоидов, которые считаются основными веществами растения рода Горечавки.

Выводы. Альметьевский и Лаишевский районы могут быть рекомендованы для выращивания и сбора лекарственных растения вида *G. cruciata*.

Ключевые слова: *Gentiana cruciata*; антиоксидантная активность; иридоиды и фенольные соединения

Для цитирования. Бименьиндавыи Э., Тимофеева О.А. Антиоксидантная активность, содержание иридоидов и фенольных соединений в растениях *Gentiana cruciata* L. из разных мест обитания // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 11-26. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-11-26

Original article | Plant Physiology

DETERMINATION OF IRIDOID, ANTIOXIDANT ACTIVITY AND PHENOLIC COMPOUNDS BY HPLC METHOD IN PLANTS *GENTIANA CRUCIATA* L. FROM DIFFERENT GROWTH PLACE

E. Bimenyindavyi, O.A. Timofeeva

Background. The ecological and geographical conditions of the habitat may be responsible for the synthesis and accumulation of various bioactive compounds and, therefore, for biological effects, including the antioxidant properties of medicinal plants. Understanding the impact of environmental factors on bioactive compounds in medicinal plants have great importance for choosing a place for growing and harvesting plants with a high content of bioactive compounds, as well as providing the highest quality raw materials in the pharmaceutical industry.

Objective. To study the accumulation of iridoids, phenolic compounds and antioxidant activity in *G. cruciata* plant samples, depending on the growing conditions.

Results. *The regions of the Republic of Tatarstan with the best quality of medicinal raw materials, as well as factors contributing to the accumulation of various groups of biologically active substances in G. cruciate plants, were identified. Humidity and soil type played a decisive role in the accumulation of iridoids; the synthesis of phenolic compounds was more influenced by humidity than the type of soil. However, since the change in antioxidant activity did not correspond to concentration of phenolic compounds, this may be due to the presence of iridoids, which are considered to be the main substances of the plant of the genus Grecian. Their antioxidant activity has been shown in previous studies. In our studies, soil properties seem to have great influence on the production of studied compounds.*

Conclusions. *Almetevsky and Laishevsky districts can be chosen as the optimal place for growing and collecting medicinal plants G. cruciata L.*

Keywords: *Gentiana cruciate; antioxidant activity; iridoids and phenolic compounds*

For citation. *Bimenyindavyi E., Timofeeva O.A. Determination of Iridoid, Antioxidant Activity and Phenolic Compounds by HPLC Method in Plants Gentiana Cruciate L. from Different Growth Place. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 11-26. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-11-26*

Введение

Окислительный стресс является существенным фактором риска развития многих хронических заболеваний, таких, как астма, диабет, болезни Паркинсона и Альцгеймера, рак, и др. Также считается, что активные формы кислорода ответственны за преждевременное старение человека [7]. При употреблении природных антиоксидантных соединений, в частности, фенольных соединений, из организма удаляются свободные радикалы, такие, как пероксид водорода, гидроксильный радикал, гидроперекисный и пероксидный анионы, липидные радикалы, пероксиды, гидропероксиды и, таким образом, происходит ингибирование окислительных процессов, которые приводят к дегенеративным заболеваниям [22]. Эпидемиологические данные свидетельствуют о пользе природных антиоксидантов из лекарственных растений для здоровья и их вклад в предотвращение сердечно-сосудистых заболеваний, рака, диабета и некоторых дегенеративных заболеваний [15].

Помимо антиоксидантной активности, эти биологически активные вещества, например, фенольные соединения, оказывают противомикробную,

антиканцерогенную, противовоспалительную и другие биологические активности [19].

Учитывая широкий спектр активностей фенольных соединений, в настоящее время возрос интерес к лекарственным растениям для профилактики некоторых хронических или дегенеративных заболеваний, поскольку они являются одним из важных источников природных антиоксидантов, в том числе, фенольных соединений [23].

Горечавка крестовидная (*Gentiana cruciata* L.) известна как лекарственное и декоративное растение, относящееся к семейству *Gentianaceae*. Данное растение является источником важных фитохимических веществ, обладающие многими лечебными свойствами [14]. При этом настойки и водные экстракты этого растения применяется в народной медицине как средства, улучшающее пищеварение, при заболеваниях желудочно-кишечного тракта (потеря аппетита, диспепсия, ахилия), а также как седативное средство [2]. Кроме того, показано что, экстракт корни горечавки крестовидной стимулируют выработку лейкоцитов. Некоторые фармакологические свойства растения *G. cruciata* были исследованы и выявлены: противовоспалительная, антихолинэстеразная, антигенотоксическая, антисептическая, антиоксидантная, антибактериальная и противогрибковая активности. Исследование фитохимического состава показало, что листья и корни горечавки крестовидной богаты такими биологически активными веществами, как, иридоиды, в частности, секоиридоиды и их гликозиды (генциопикрин, сверозид, генциопикрозид, амарогенцин и свертиамарин) [26, 8] и фенольные соединения [12].

Учитывая высокий интерес к вторичным метаболитам растительно-го происхождения для разработки пищевых продуктов, косметических средств, современных лекарств, средств защиты растений, представляет интерес изучение новых растений с наиболее высоким содержанием биологических активных веществ. Известно, что содержание биологически активных веществ значительно зависит от различных факторов окружающей среды [16-18, 25]. Однако в природных условиях, когда на растения оказывает влияние целый комплекс факторов, необходимо знать, какие же из них в первую очередь наиболее важны для увеличения количества различных групп веществ вторичного метаболизма в определенном виде растения в том или ином регионе.

Цель данного исследования состоит в изучении накопления иридоидов, фенольных соединений и антиоксидантной активности растения Горечавки крестовидной в зависимости от местообитания в Республике Татарстан.

Материалы и методы

Исследование проводилось на растениях вида *G. cruciata* (Горечавка крестовидная), собранных в период цветения в трех районах Республики Татарстан в 2019 г. Характеристики регионов представлены в таблице 1. Растения были высушены в тени. Для проведения эксперимента в первую очередь растения разделяли на отдельные органы (листья, стебли, цветы). Далее измельчали сырье до порошкообразного состояния, и использовали для приготовления экстракта. Для количественного определения суммы иридоидов использовали методику [3] в пересчете на генциопикрозид.

Содержание суммы иридоидов в пересчете на генциопикрозид в абсолютно сухом сырье в процентах (X) вычисляли по формуле:

$$X = \frac{A \cdot 100 \cdot 100}{E_{1\text{см}}^{1\%} \cdot a \cdot (100 - W)}$$

$E_{1\text{см}}^{1\%}$ – справочный удельный показатель поглощения стандартного образца генциопикрозида при длине волны 512 нм, равный 45,58;

A – навеска сырья, г;

W – влажность сырья, %.

Для проведения хроматографического анализа первоначально проводили спиртовую экстракцию фенольных соединений в 70 % этаноле на водяной бане в течение 90 мин [6]. Далее была проведена идентификация фенольных соединений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографической системе высокого давления BIO-RAD (США). Использовали оригинальную колонку SN-421001911, 5 μ m, 4 \times 250 мм (США). Детекцию пиков осуществляли посредством двуволнового УФ ВЭЖХ детектора BioLogic QuadTec UV-Vis (США) при длине волны 260 нм. В качестве подвижной фазы использовали 98 % воды, 1 % уксусной кислоты, 1 % ацетонитрила (раствор А) и 99 % ацетонитрила, 1 % уксусной кислоты (Б). Элюирование: линейный градиент подвижной фазы А в фазе В составлял 30-80 % от 0 до 9 минут с последующим изократическим элюированием 80 % фазы А в фазе В от 9 до 15 минут; скорость потока составляла 1 мл / мин. ВЭЖХ проводили при комнатной температуре (25 \pm 2 °С). Для идентификации пиков, выявляемых на хроматограмме, использовали стандарты: кверцетин, протоктехоновая кислота, хлорогеновая кислота, лютеолин, кэмпферол, цис-5-, кумаровая кислота, бензойная кислота, феруловая кислота, кофейная кислота, синнаповая кислота.

Антиоксидантную активность экстракта оценивали по его способности ингибировать аутоокисление адреналина *in vitro* и тем самым предотвращать образование активных форм кислорода [4].

Повторность опытов – 5-ти кратная. Статическая обработка результатов была проведена с использованием Microsoft Excel.

Таблица 1.

Гео-климатические характеристики регионов сбора, 2019 г.

источник www.nuipogoda.ru

Регион	Температура, °С	Осадки, мм	Географическая зона	Почва
Верхнеуслонский	14, 4	485	Широколиственные леса	Светло-серые лесные и серые лесные
Лаишевский	14, 8	397	Широколиственные леса	Светло-серые
Альметьевский	14, 2	535	Лесостепь	Черноземные

Результаты и обсуждение

Биологически активные соединения в лекарственных растениях могут изменяться в зависимости от места произрастания растений и погодных условий, что потенциально может влиять на качество сырья. В нашем исследовании наблюдали различия в содержании (суммы) иридоидов в пересчете на генциоприкозид среди растения *G. cruciata* из разных мест обитания ($p < 0.05$). Наибольшее значение найдено в листьях растений из Альметьевского района (рис. 1). Этот район отличается черноземными почвами и большим количеством осадков, по сравнению с другими исследуемыми регионами (табл. 1). В других исследованиях также была показана зависимость накопления генциоприкозида от географических, климатических (температура и осадки), а также от эдафических факторов, таких как микро- / макроэлементы и pH почвы [25]. Sadia et al., доказали значимое влияние азота, pH и высоты над уровнем моря на содержание генциопирикозида в растениях *Gentiana macrophylla* Pall [17]. В нашем исследовании мы показали, что на повышение содержания генциопирикозида в *G. cruciata* влияли зональность, влажность и тип почв.

Помимо иридоидов, экстракт травы *Gentiana cruciata* L. содержат фенольные соединения, в т.ч. флавоноиды, дубильные вещества, ксантоны [8, 12]. Показано, что факторы окружающей среды, такие, как минеральные вещества (фосфора, калия), температура, влажность, высота над уровнем моря и др., могут влиять на уровни фенольных соединений в разных видах растений [16]. Фенольные соединения растений синтезируются через шикиматный / фенилпропаноидный путь.

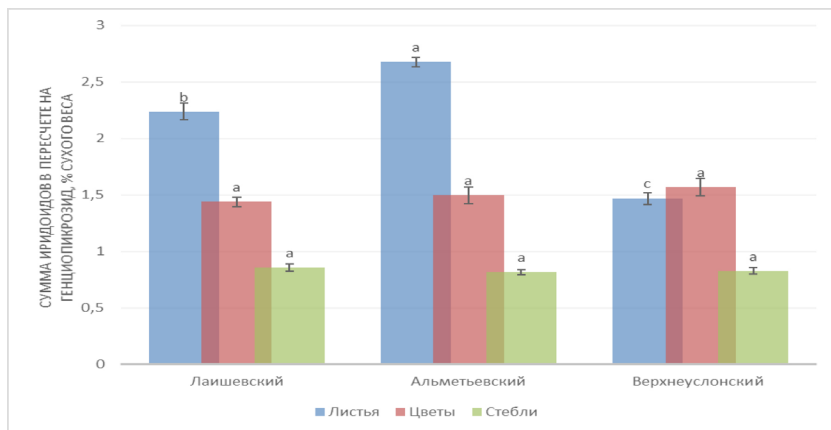


Рис. 1. Содержание иридоидов в пересчете на генциопикрозид. Одинаковыми буквами обозначено отсутствие статистически значимых отличий между растениями и при $p < 0.05$.

Согласно данным литературы, повышение содержания фенольных соединений происходит за счет активации многих ключевых генов, кодирующие основные ферменты этого пути, включая фенилаланин-аммиак-лиазу (ФАЛ), халкон-синтазу, шикиматдегидрогеназу, циннамилловый спиртдегидрогеназу и полифенолоксидазу, которая происходит при действии различных стрессоров (засуха, дефицит минеральных веществ, засоленность, УФ-излучение, присутствие тяжелых металлов и т. д.) [18]. Другими словами, фенольные соединения синтезируются в оптимальных условиях, но высокий их уровень наблюдается при неблагоприятных условиях. Изучение профиля индивидуальных фенольных соединений методом ВЭЖХ в растениях *G. spicata* из разных мест обитания показало, что растения богаты разными фенольными соединениями с преобладанием синнаповой кислоты и кверцетина. В растениях из Верхнеуслонского района преобладала синнапоновая кислота в то время, как в растениях из Альметьевского района было отмечено преобладание кверцетина, и в растениях из Лаишевского района – кверцетина и синнаповой кислоты (рис. 2-4). Стоит отметить, что условия Лаишевского района способствовали большому разнообразию фенольных соединений, по сравнению с другими районами. Данный район находится в зоне хвойно-широколиственных лесов, характеризуется наименьшим количеством осадков и светло-серыми почвами. Этот тип почв характеризуются относительно pH и низкой плодородностью [5]. Общеизвестно, что кислые почвы характери-

зуются высокой концентрацией микроэлементов, в частности, алюминия и железа [1]. Растения, которые растут на таких почвах, подвергаются стрессу, вызванным металлами, в результате чего растения усиливают биосинтез фенолов. Фенолы обладают антиоксидантными свойствами и защищают растение от окислительного стресса, который возникает в ответ на действие тяжелых металлов, вызывает образование АФК в растении и в конечном итоге приводит к замедлению роста [11]. В исследованиях Ismail, et al. 2016, растения *C. nutans*, растущие на кислых почвах, содержали высокое содержание фенольных соединений, по сравнению с растениями нейтральных почв [9]. Однако растения из Верхнеуслонского района тоже росли на светлых лесных почвах, тем не менее, разнообразие фенольных соединений там было существенно ниже, по сравнению с Лаишевским районом. По видимому, на синтез фенольных соединений в горечавке крестовидной, большее влияние оказывают условия водообеспеченности, нежели тип почв.

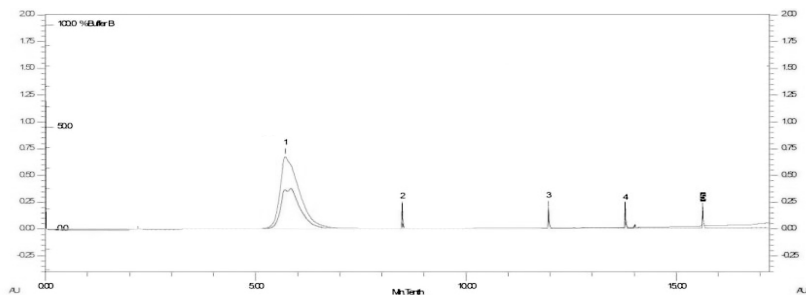


Рис. 2. ВЭЖХ хроматограмма водно-спиртового экстракта *G. sibirica* L. собранного из Верхнеуслонского района. 1 – Синнаповая кислота, 2 – Цис-5-кофеоилхиновая кислота, 3 – кофейная кислота, 4 – Кумаровая кислота, 5 – Цинарозид

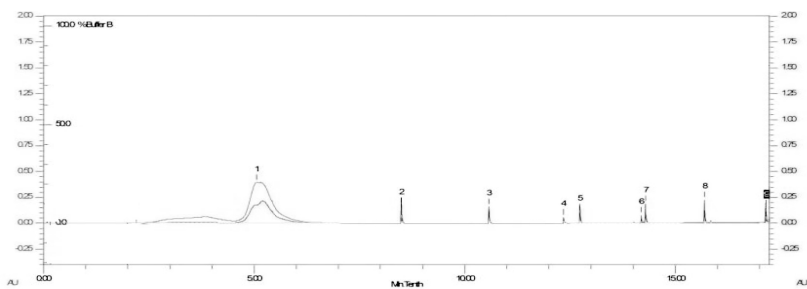


Рис. 3. ВЭЖХ хроматограмма водно-спиртового экстракта *G. sibirica* L. собранного из Альметьевского района. 1 – Кверцетин, 2 – Цис-5-кофеоилхиновая кислота, 3 – Феруловая кислота, 6 – Кумаровая кислота, 8 – Цинарозид.

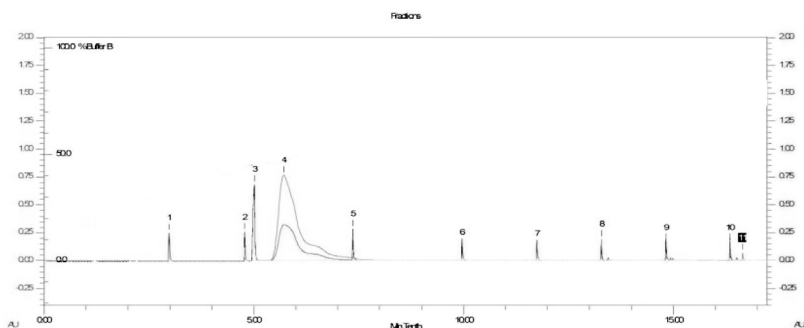


Рис. 4. ВЭЖХ хроматограмма водно-спиртового экстракта *G. sguiciata* L. собранного из Лаишевского района. 1 – Галловая кислота, 2 – Коричная кислота, 3 – кверцетин, 4 – Синапсовая кислота, 5 – Протокахетоновая кислота, 6 – Хлорогеновая кислота, 7 – Кофейная кислота, 10 – Лютеолин

Результаты исследований свидетельствуют о том, что условия мест обитания также влияют на антиоксидантные свойства растений [13]. Наши результаты показали, что величина антиоксидантной способности растений *G. sguiciata* зависело от условий окружающей среды. Растения из Альметьевского района показали наиболее высокую антиоксидантную активность, по сравнению с другими районами (рис. 5).

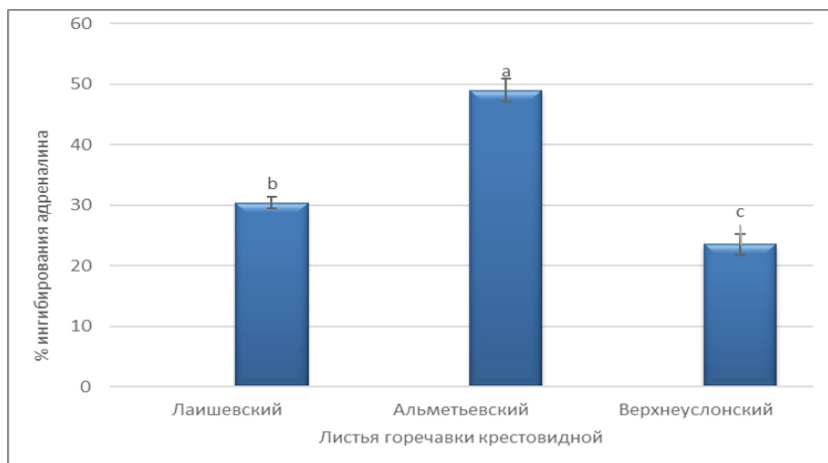


Рис. 5. Антиоксидантная активность экстракта листьев *G. sguiciata*. Одинаковыми буквами обозначено отсутствие статистически значимых отличий между растениями и при $p < 0.05$.

Некоторые исследования свидетельствуют, что антиоксидантная активность связана с содержанием фенольных соединений в растениях [20]. Эти соединения известны как мощные антиоксиданты [24]. Однако в наших экспериментах антиоксидантная активность была высокая в растениях, которые содержат больше гентиопикрозида. Антиоксидантная активность данного вещества также была обнаружена [10, 21]. Кроме того, иридоиды являются основными компонентами растения рода Горечавка. В связи с этим можно полагать, что фармакологический эффект растений *G. cruciata* связан в основном с иридоидами.

Выводы

Наши результаты показывают, что места сбора влияли на содержание исследуемых биоактивных веществ в *G. Cruciate*, что обуславливают различия в антиоксидантной активности. Высокое содержание гентиопикрозида и антиоксидантная активность были обнаружены в растениях *G. cruciata* из Альметьевского района. Решающую роль в накоплении иридоидов оказали влажность и тип почв. Растения из Лаишевского района отличались большим количеством индивидуальных фенольных соединений, на синтез которых большее влияние оказала влажность. Поскольку высокая антиоксидантная активность не коррелировала с содержанием фенольных соединений, можно предположить, что это может быть связано с наличием иридоидов, которые считаются основными соединениями представителей рода Горечавки.

Список литературы

1. Бовина Н. В. Экологическая оценка влияния применения различных систем удобрения на гумусовое состояние дерновоподзолистых почв в длительных стационарных опытах. Москва, 2020. 142 с. http://www.old.timacad.ru/catalog/disser/kd/bovina/kd_bovina.pdf
2. Марчиши С. М., Стойко Л. И., Дахим И. С. Определение качественного состава и количественного содержания кислот гидроксикоричных в горечавки крестовидной траве (*Gentiana cruciatal.*) // *Farmatsevtichnyi zhurnal*. 2016. № 3-4. С. 76-81.
3. Рудакова Ю.Г. Фармакогностическое изучение дубровника белого (*Teucrium polium L.*) флоры северного Кавказа. Диссертация на соискание ученой степени кандидата фармакологических наук. Пятигорск, 2015. 166 с.
4. Рябинина Е.И., Зотова Е. Е., Ветрова Е.Н., Пономарева Н. И., Илюшина Т.Н. Новый подход в оценке антиоксидантной активности растительного

- сырья при исследовании процесса аутоокисления адреналина // Химия растительного сырья. 2011. № 3. С. 117–121.
5. Салимзянова И. Н. Агрехимическая оценка почв предкамья Республики Татарстан. Казань, 2004. 158 с.
 6. Хуснетдинова Л.З., Акулов А.Н., Дубровная С.А. Изучение спектра биологически активных флавоноидов травы *Nuregicum perforatum* флоры Республики Татарстан методом высокоэффективной жидкостной хроматографии // Химия растительного сырья. 2017. №4. С. 175-179. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017041841>
 7. Badakhshan M. P., Subramanion L. J., Lachimanan Y. L., Yeng C., Sreenivasan S. Antioxidant activity of methanol extracts of different parts of *Lantana camara* // *Asian pac j trop biomed.* 2012. Vol. 2(12). P. 960-965. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60007-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60007-6)
 8. Budniak L., Slobodianiuk L., Marchyshyn S., Basaraba R., Banadyga A. The antibacterial and antifungal activities of the extract of *Gentiana cruciata* L. herb. *Phol.* 2021. Vol. 2. P. 188-197. https://pharmacologyonline.silae.it/files/archives/2021/vol2/PhOL_2021_2_A022_Budniak.pdf
 9. Ismail N. Z., Arsad H., Samian M. R., Hamdan M. R. Determination of phenolic and flavonoid contents, antioxidant activities and GC-MS analysis of *Clinacanthus nutans* (Acanthaceae) in different locations // *Agrivita journal of agricultural science.* 2017. Vol. 39(3). P. 335–344. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v39i3.1076>
 10. Jin M., Feng H., Wang Y., Yan S., Shen B., Li Z., Haiyan Qin H., Wang Q., Li J., Liu G. Gentiopicroside ameliorates oxidative stress and lipid accumulation through nuclear factor erythroid 2-related factor 2 activation. *Hindawi // Oxidative medicine and cellular longevity.* 2020. Vol. 2020. P. 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/2940746>
 11. Kaur R., Yadav P., Sharma A., Kumar T. A., Kumar V., Kaur K. S., Bhardwaj R. Castasterone and citric acid treatment restores photosynthetic attributes in *Brassica juncea* L. under Cd (II) toxicity // *Ecotoxicol. Environ. saf.*, 2017. Vol. 145. P. 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.067>
 12. Khusnetdinova, L. Z., Salmin E. M. The content of phenolic compounds in *Gentiana cruciata* L. growing in the territory of the Republic of the Tatarstan // *J res med dent sci.* 2020. Vol. 8 (7). P. 109-112.
 13. Liu W., Yin D., Li N., Hou X., Wang D., Li D., Liu J. Influence of Environmental Factors on the Active Substance production and antioxidant activity in *Potentilla fruticosa* L. and its quality assessment // *Scientific reports.* 2016. Vol. 6, 28591. P. 1-18. <https://doi.org/10.1038/srep28591>

14. Mirzaee, F., Hosseini A., Jouybari H.B., Davoodi A., Azadbakht M. Medicinal, biological and phytochemical properties of *Gentiana* species // Journal of traditional and complementary medicine. 2017. Vol. 7(4). P. 400–408. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.12.013>
15. Quiroz-González B., García-Mateos R., Corrales-García J.J.E., Colinas-León M.T. Pitaya (*Stenocereus* spp.): an under-utilized fruit // JPACD. 2018. Vol. 20. P. 82-100. <https://www.jpacd.org/jpacd/article/view/30>
16. Rezende W.P., Leonardo L Borges L.L., Santos L. D., Alves M. N., Paula R.J. Effect of environmental factors on phenolic compounds in leaves of *Syzygium jambos* (L.) Alston (Myrtaceae) // Mod Chem appl. 2015. Vol. 3(2). P. 1-6. <https://doi.org/10.4172/2329-6798.1000157>
17. Sadia S., Aftab B., Tariq A., Zhang J., Razaq A. Gentiopicrin and swertiamarin contents in *Gentiana macrophylla* pall. roots along elevation gradient in Donglingshan meadow, Beijing, China. Pak // J. Bot. 2018. Vol. 52(1). P. 1-7. [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-1\(31\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-1(31))
18. Sharma A., Shahzad B., Rehman A., Bhardwaj R., Landi M., Zheng B. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress // Molecules. 2019. Vol. 24. P. 1-22. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>
19. Soto-Hernández M., Palma-Tenango M., García-Mateos M. R. Phenolic compound. Biological activity. Croacia: Intech., 2017. 227 p. <https://doi.org/10.5772/63693>
20. Wang Z., Cuiming T., Dai F., Xiao G., Luo G. HPLC determination of phenolic compounds in different solvent extracts of mulberry leaves and antioxidant capacity of extracts // International journal of food properties. 2021. Vol. 24. P. 544-552. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1904980>
21. Yaoa T., Cuia Q., Liua Z., Wanga C., Zhanga Q., Wang G. Metabolomic evidence for the therapeutic effect of gentiopicroside in a corticosterone-induced model of depression // Biomedicine & pharmacotherapy. 2019. Vol. 120. P. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109549>
22. Yuanyuan Z., Ping C., Guanghui C., Yongqiang Z. A brief review of phenolic compounds identified from plants: Their extraction, analysis and biological activity // Natural product communications. 2022. Vol. 17(1). P. 1–14. <https://doi.org/10.1177/1934578X211069721>
23. Zahra Z., Mansureh G., Gianluigi B., Ali T. Effects of ecological factors on the antioxidant potential and total phenol content of *Scrophularia striata* Boiss // Scientific reports. 2019. Vol. 9(16021). P. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52605-8>

24. Zekeya N., Ibrahim M., Mamiro B., Ndossi H., Kilonzo M., M Kangara M., Chacha, M., Chilongola J., Kideghesho J. Potential of natural phenolic antioxidant compounds from Bersama abyssinica (Meliathacea) for treatment of chronic diseases // Saudi journal of biological sciences. 2022. Vol. 29. P. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.03.023>
25. Zhanga, J., Zhang Z., Wang Y., Zuo Y., Cai C. Environmental impact on the variability in quality of Gentiana rigescens, a medicinal plant in southwest China // Global ecology and conservation. 2020. Vol. 24. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01374>
26. Zhou D., Hou Q., Si Q., Liu J., Yang H. Concentrations of the active constituents of the Tibetan folk medicine Qinjiao (Gentiana sect. cruciata) within and between taxonomic species across the Qinghai-Tibetan plateau // Biochemistry&biodiversity. 2010. Vol. 7(8). P. 2088-2094. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200900420>

References

1. Bovina N. V. Environmental assessment of the impact of the use of various fertilizer systems on the humus state of soddy-podzolic soils in long-term stationary experiments. Moscow, 2020, 142 p. http://www.old.timacad.ru/catalog/disser/kd/bovina/kd_bovina.pdf
2. Marchishi S. M., Stoyko L. I., Dakhim I. S. Determination of the qualitative composition and quantitative content of hydroxycinnamic acids in cruciform gentian (Gentiana cruciatal.). *Farmatsevtichnyi zhurnal*, 2016, no. 3-4, pp. 76-81.
3. Rudakova Yu.G. Pharmacognostic study of white dubrovník (Teucrium polium L.) of the flora of the North Caucasus. Dissertation for the degree of candidate of pharmacological sciences. Pyatigorsk, 2015, 166 p.
4. Ryabinina E.I., Zotova E.E., Vetrova E.N., Ponomareva N.I., Ilyushina T.N. A new approach to assessing the antioxidant activity of plant raw materials in the study of the process of adrenaline autoxidation. *Chemistry of vegetable raw materials*, 2011, no. 3, pp. 117–121.
5. Salimzyanova I. N. Agrochemical assessment of soils of the Kama region of the Republic of Tatarstan. Kazan, 2004, 158 p.
6. Khusnetdinova L.Z., Akulov A.N., Dubrovnaya S.A. Study of the spectrum of biologically active flavonoids of the herb Hypericum perforatum of the flora of the Republic of Tatarstan by high performance liquid chromatography. *Chemistry of vegetable raw materials*, 2017, no. 4, pp. 175-179. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017041841>

7. Badakhshan M. P., Subramanion L. J., Lachimanan Y. L., Yeng C., Sreenivasan S. Antioxidant activity of methanol extracts of different parts of *Lantana camara*. *Asian pac j trop biomed.*, 2012, vol. 2(12), pp 960-965. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60007-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60007-6)
8. Budniak L., Slobodianiuk L., Marchyshyn S., Basaraba R., Banadyga A. The antibacterial and antifungal activities of the extract of *Gentiana cruciata* L. herb. *Phol.*, 2021, vol. 2, pp. 188-197. https://pharmacologyonline.silae.it/files/archives/2021/vol2/PhOL_2021_2_A022_Budniak.pdf
9. Ismail N. Z., Arsad H., Samian M. R., Hamdan M. R. Determination of phenolic and flavonoid contents, antioxidant activities and GC-MS analysis of *Clinacanthus nutans* (Acanthaceae) in different locations. *Agrivita journal of agricultural science*, 2017, vol. 39(3), pp. 335–344. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v39i3.1076>
10. Jin M., Feng H., Wang Y., Yan S., Shen B., Li Z., Haiyan Qin H., Wang Q., Li J., Liu G. Gentiopicroside ameliorates oxidative stress and lipid accumulation through nuclear factor erythroid 2-related factor 2 activation. *Hindawi. Oxidative medicine and cellular longevity*, 2020, vol. 2020, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/2940746>
11. Kaur R., Yadav P., Sharma A., Kumar T. A., Kumar V., Kaur K. S., Bhardwaj R. Castasterone and citric acid treatment restores photosynthetic attributes in *Brassica juncea* L. under Cd (II) toxicity. *Ecotoxicol. Environ. saf.*, 2017, vol. 145, pp. 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.067>
12. Khusnetdinova, L. Z., Salmin E. M. The content of phenolic compounds in *Gentiana cruciata* L. growing in the territory of the Republic of the Tatarstan. *J res med dent sci.*, 2020, vol. 8 (7), pp. 109-112.
13. Liu W., Yin D., Li N., Hou X., Wang D., Li D., Liu J. Influence of Environmental Factors on the Active Substance production and antioxidant activity in *Potentilla fruticosa* L. and its quality assessment. *Scientific reports*, 2016, vol. 6, 28591, pp. 1-18. <https://doi.org/10.1038/srep28591>
14. Mirzaee, F., Hosseini A., Jouybari H.B., Davoodi A., Azadbakht M. Medicinal, biological and phytochemical properties of *Gentiana* species. *Journal of traditional and complementary medicine*, 2017, vol. 7(4), pp. 400–408. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.12.013>
15. Quiroz-González B., García-Mateos R., Corrales-García J.J.E., Colinas-León M.T. Pitaya (*Stenocereus* spp.): an under-utilized fruit. *JPACD*, 2018, vol. 20, pp. 82-100. <https://www.jpacd.org/jpacd/article/view/30>
16. Rezende W.P., Leonardo L Borges L.L., Santos L. D., Alves M. N., Paula R.J. Effect of environmental factors on phenolic compounds in leaves of *Syzygi-*

- um jambos (L.) Alston (Myrtaceae). *Mod Chem appl.*, 2015, vol. 3(2), pp. 1-6. <https://doi.org/10.4172/2329-6798.1000157>
17. Sadia S., Aftab B., Tariq A., Zhang J., Razaq A. Gentiopictin and swertiamarin contents in *Gentiana macrophylla* pall. roots along elevation gradient in Donglingshan meadow, Beijing, China. *Pak. J. Bot.*, 2018, vol. 52(1), pp. 1-7. [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-1\(31\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-1(31))
 18. Sharma A., Shahzad B., Rehman A., Bhardwaj R., Landi M., Zheng B. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 2019, vol. 24, pp. 1-22. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>
 19. Soto-Hernández M., Palma-Tenango M., García-Mateos M. R. Phenolic compound. Biological activity. Croatia: Intech., 2017, 227 p. <https://doi.org/10.5772/63693>
 20. Wang Z., Cuiming T., Dai F., Xiao G., Luo G. HPLC determination of phenolic compounds in different solvent extracts of mulberry leaves and antioxidant capacity of extracts. *International journal of food properties*, 2021, vol. 24, pp. 544-552. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1904980>
 21. Yao T., Cuia Q., Liua Z., Wanga C., Zhanga Q., Wang G. Metabolomic evidence for the therapeutic effect of gentiopicroside in a corticosterone-induced model of depression. *Biomedicine & pharmacotherapy*, 2019, vol. 120, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109549>
 22. Yuanyuan Z., Ping C., Guanghui C., Yongqiang Z. A brief review of phenolic compounds identified from plants: Their extraction, analysis and biological activity. *Natural product communications*, 2022, vol. 17(1), pp. 1-14. <https://doi.org/10.1177/1934578X211069721>
 23. Zahra Z., Mansureh G., Gianluigi B., Ali T. Effects of ecological factors on the antioxidant potential and total phenol content of *Scrophularia striata* Boiss. *Scientific reports*, 2019, vol. 9(16021), pp. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52605-8>
 24. Zekeya N., Ibrahim M., Mamiro B., Ndossi H., Kilonzo M., M Kangara M., Chacha, M., Chilongola J., Kideghesho J. Potential of natural phenolic antioxidant compounds from *Bersama abyssinica* (Meliathacea) for treatment of chronic diseases. *Saudi journal of biological sciences*, 2022, vol. 29, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.03.023>
 25. Zhanga, J., Zhang Z., Wang Y., Zuo Y., Cai C. Environmental impact on the variability in quality of *Gentiana rigescens*, a medicinal plant in southwest China. *Global ecology and conservation*, 2020, vol. 24, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01374>

26. Zhou D., Hou Q., Si Q., Liu J., Yang H. Concentrations of the active constituents of the Tibetan folk medicine Qinjiao (*Gentiana sect. cruciata*) within and between taxonomic species across the Qinghai-Tibetan plateau. *Biochemistry&biodiversity*, 2010, vol. 7(8), pp. 2088-2094. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200900420>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Бименьиндавыи Эстелла, аспирант, кафедра ботаники и физиологии растений, институт фундаментальной медицины и биологии
Казанский федеральный университет
ул. Кремлевская 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
efredence@gmail.com

Тимофеева Ольга Арнольдовна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой ботаники и физиологии растений, институт фундаментальной медицины и биологии
Казанский федеральный университет
ул. Кремлевская 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
otimofeeva2008@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Estella Bimenyindavyyi, PhD. Student, Department of Botany, Plant Physiology and Biochemistry Institute of Fundamental Medicine and Biology
Kazan Federal University
18, Kremlyovskaya Str., Kazan, Tatarstan, 420008, Russian Federation
efredence@gmail.com

Olga A. Timofeeva, Dr. of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Botany, Plant Physiology and Biochemistry, Institute of Fundamental Medicine and Biology
Kazan Federal University
18, Kremlyovskaya Str., Kazan, Tatarstan, 420008, Russian Federation
otimofeeva2008@mail.ru

Поступила 25.09.2022

После рецензирования 06.10.2022

Принята 18.10.2022

Received 25.09.2022

Revised 06.10.2022

Accepted 18.10.2022