

<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4-1587>
УДК 54.061:54.062:615.322



Оригинальная статья / Research article

Флавоноиды из недотроги железистой (*Impatiens glandulifera*) и их антиоксидантная активность

А. К. Уэйли¹, Р. И. Лукашов², А. О. Уэйли¹✉, Е. В. Жохова¹, Н. С. Гурина², М. Ю. Гончаров¹,
Г. П. Яковлев¹, В. А. Терлецкая²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО СПбХФУ Минздрава России). 197022, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 14, лит. А

² Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет» (БГМУ). 220116, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Дзержинского, д. 83

✉ Контактное лицо: Уэйли Анастасия Олеговна. E-mail: anastasiya.ponkratova@yandex.ru

ORCID: А. К. Уэйли – <https://orcid.org/0000-0002-4847-5924>; Р. И. Лукашов – <https://orcid.org/0000-0001-9547-5372>; А. О. Уэйли – <https://orcid.org/0000-0003-4879-9336>;

Е. В. Жохова – <https://orcid.org/0000-0002-9763-096X>; Н. С. Гурина – <https://orcid.org/0009-0009-9150-5728>;

М. Ю. Гончаров – <https://orcid.org/0000-0002-9706-9850>; Г. П. Яковлев – <https://orcid.org/0009-0009-4570-2739>; В. А. Терлецкая – <https://orcid.org/0009-0000-8848-4617>.

Статья поступила: 27.06.2023

Статья принята в печать: 11.10.2023

Статья опубликована: 24.11.2023

Резюме

Введение. Род *Impatiens* L. включает около 850 видов, которые встречаются в основном в тропических и субтропических климатических зонах. Коренные народы Пакистана использовали пасты и экстракты *I. glandulifera* для лечения болей в суставах, беспокойства и кожных аллергий. Цветки *I. glandulifera* входят в состав цветочных средств Баха, которые используются для успокоения, расслабления и помогают сбалансировать эмоциональное состояние.

Цель. Выделение и установление структуры 11 фенольных соединений из надземных частей *I. glandulifera* и оценка их антиоксидантной активности.

Материалы и методы. Надземная часть *Impatiens glandulifera* Royle собрана в Ленинградской области вблизи поселка Орехово в 2021 году. Анализ фракций проводили методом аналитической высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе Prominence LC-20 (Shimadzu, Япония), оснащенном диодно-матричным детектором. Выделение индивидуальных соединений осуществлялось методом колоночной хроматографии на открытых стеклянных колонках с сорбентами с различной селективностью, а также методом препаративной ВЭЖХ на приборе Smartline (Knauer, Германия), оснащенном спектрофотометрическим детектором. Структура выделенных индивидуальных соединений устанавливалась методами 1D- и 2D-ЯМР-спектроскопии (Bruker Avance III 400 MHz, Германия). Для изучения антиоксидантной активности использовали растворы, полученные растворением выделенных веществ в смеси диметилсульфоксида и этанола; водный раствор витамина С и спиртовой раствор тролокса (Sigma-Aldrich, Япония).

Результаты и обсуждение. В результате фитохимического анализа наземной части недотроги железистой (*Impatiens glandulifera* Royle) выделено 11 полифенольных вторичных метаболитов (**1-11**) и установлена их структура, а также проведена оценка антиоксидантной активности всех выделенных соединений.

Заключение. Максимальные значения RAR эриодиктиола (**3**), кемпферола (**1**) и кверцетина (**2**) достоверно ($p = 0,585$) не отличались от таковых у препаратов сравнения: витамина С и тролокса, что указывает на антиоксидантное действие этих трех соединений, сравнимое с действием известных антиоксидантов. Однако полуживые концентрации этих веществ в два и более раза ниже ($p = 2,56 \cdot 10^{-4}$) по сравнению с витамином С.

Ключевые слова: *Impatiens glandulifera*, недотрога железистая, флавоноиды, вторичные метаболиты, антиоксидантная активность

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. А. О. Уэйли, Е. В. Жохова, М. Ю. Гончаров выполнили экспериментальную часть по выделению индивидуальных соединений. А. К. Уэйли, Г. П. Яковлев интерпретировали результаты ЯМР-спектроскопии. Р. И. Лукашов, Н. С. Гурина, В. А. Терлецкая выполнили экспериментальную часть по антиоксидантной активности. Все авторы участвовали в обсуждении результатов.

Финансирование. Результаты работы получены с использованием оборудования ЦКП «Аналитический центр ФГБОУ ВО СПбХФУ Минздрава России» в рамках соглашения № 075-15-2021-685 от 26 июля 2021 года при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Благодарность. Исследования проводились на оборудовании Центра химического анализа и материаловедения, Центра магнитно-резонансных исследований Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета.

Для цитирования: Уэйли А. К., Лукашов Р. И., Уэйли А. О., Жохова Е. В., Гурина Н. С., Гончаров М. Ю., Яковлев Г. П., Терлецкая В. А. Флавоноиды из недотроги железистой (*Impatiens glandulifera*) и их антиоксидантная активность. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2023;12(4):223–230. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4-1587>

Flavonoids from *Impatiens glandulifera* and Their Antioxidant Activity

Andrei K. Whaley¹, Raman I. Lukashov², Anastasiia O. Whaley¹✉, Elena V. Zhokhova¹,
Natalia S. Gurina², Mikhail U. Goncharov¹, Gennadi P. Yakovlev¹, Victoria A. Tsiarletskaia²

¹ Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University. 14A, Prof. Popova str., Saint-Petersburg, 197022, Russia

² Belarusian State Medical University. 83, Dzerzhinsky avenue, Minsk, 220116, Republic of Belarus

✉ Corresponding author: Anastasiia O. Whaley. E-mail: anastasiya.ponkratova@yandex.ru

© Уэйли А. К., Лукашов Р. И., Уэйли А. О., Жохова Е. В., Гурина Н. С., Гончаров М. Ю., Яковлев Г. П., Терлецкая В. А., 2023

© Whaley A. K., Lukashov R. I., Whaley A. O., Zhokhova E. V., Gurina N. S., Goncharov M. U., Yakovlev G. P., Tsiarletskaia V. A., 2023

ORCID: Andrei K. Whaley – <https://orcid.org/0000-0002-4847-5924>; Raman I. Lukashov – <https://orcid.org/0000-0001-9547-5372>;
Anastasiia O. Whaley – <https://orcid.org/0000-0003-4879-9336>; Elena V. Zhokhova – <https://orcid.org/0000-0002-9763-096X>;
Natalia S. Gurina – <https://orcid.org/0009-0009-9150-5728>; Mikhail U. Goncharov – <https://orcid.org/0000-0002-9706-9850>;
Gennadi P. Yakovlev – <https://orcid.org/0009-0009-4570-2739>; Victoria A. Tsiarletskaia – <https://orcid.org/0009-0000-8848-4617>.

Received: 27.06.2023 Revised: 11.10.2023 Published: 24.11.2023

Abstract

Introduction. The genus *Impatiens* L. includes about 850 species, which are found mainly in tropical and subtropical climate zones. The Indigenous people of Pakistan used pastes and extracts from *I. glandulifera* for the treatment of joint pain, anxiety and skin allergies [6]. Flowers of *I. glandulifera* are used in Bach flower remedies, which are used for sedation, relaxation and helping to balance emotional states.

Aim. Isolation and structural elucidation of 11 phenolic constituents from the aerial parts of *I. glandulifera* and the evaluation of their antioxidant activity.

Materials and methods. The aerial part of *Impatiens glandulifera* Royle was collected in the Leningrad region near the village of Orekhovo in 2021. Fractions were analyzed by analytical high performance liquid chromatography (HPLC) using a Prominence LC-20 (Shimadzu, Japan) equipped with a diode array detector. The isolation of individual compounds was carried out by column chromatography on open glass columns with sorbents of different selectivity, as well as by preparative HPLC using a Smartline (Knauer, Germany) equipped with a spectrophotometric detector. The structure of isolated individual compounds was established by 1D and 2D NMR spectroscopy (Bruker Avance III 400 MHz, Germany). To study the antioxidant activity, we used solutions obtained by dissolving the isolated substances in a mixture of dimethyl sulfoxide and ethanol; an aqueous solution of vitamin C and an alcoholic solution of Trolox (Sigma-Aldrich, Japan).

Result and discussion. Phytochemical analysis of the aerial parts of *Impatiens glandulifera* Royle. resulted in the isolation of 11 polyphenolic secondary metabolites (1-11) and their structures were elucidated. The antioxidant activity of all isolated compounds was evaluated.

Conclusion. The maximum RAP values of eriodyctiol (3), kaempferol (1), and quercetin (2) did not differ significantly ($p = 0.585$) from those of the comparator preparations: vitamin C and Trolox, which indicates that the antioxidant effect of these three isolated compounds is comparable to the well-known antioxidants. However, the semi-effective concentrations of these substances are two or more times lower ($p = 2.56 \cdot 10^{-4}$) compared with vitamin C.

Keywords: *Impatiens glandulifera*, flavonoids, secondary metabolites, antioxidant activity

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. Anastasiia O. Waley, Elena V. Zhokhova, Mikhail U. Goncharov performed the experimental part on the isolation of individual compounds. Sergey N. Smirnov performed the NMR experiment. Andrei K. Whaley, Gennadi P. Yakovlev performed processing of the NMR-experiments. Raman I. Lukashov, Natalia S. Gurina, Victoria A. Terletskaia performed the experimental part on antioxidant activity. All authors participated in the discussion of the results.

Funding. The results of the work were obtained using equipment the Core Shared Research Facilities "Analytical Center" of the Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2021-685; dated 26 July 2021 on the provision of the Federal budget grants).

Acknowledgment. The studies were carried out using the equipment of the Center for Chemical Analysis and Materials Research, Magnetic Resonance Research Centre of the Research Park of the Saint Petersburg State University.

For citation: Whaley A. K., Lukashov R. I., Whaley A. O., Zhokhova E. V., Gurina N. S., Goncharov M. U., Yakovlev G. P., Tsiarletskaia V. A. Flavonoids from *Impatiens glandulifera* and their antioxidant activity. *Drug development & registration*. 2023;12(4):223–230. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4-1587>

ВВЕДЕНИЕ

Род *Impatiens* L. включает около 850 видов, которые встречаются в основном в тропических и субтропических климатических зонах, таких как тропическая Африка, Индия, юг Китая, но некоторые виды встречаются также в Европе, России и Северной Америке [1–5]. *Impatiens glandulifera* Royle – однолетнее травянистое растение из семейства *Balsaminaceae* с гладким, обычно полым и членистым стеблем, достигающим 3 м высоты, и зигоморфными цветками, окраска которых варьируется от белой до розово-фиолетовой [6]. *I. glandulifera* произрастает в Западных Гималаях и в настоящее время широко распространена в странах Европы, иногда в виде инвазивного вида, и встречается в различных местообитаниях, особенно на берегах озер и морей, вдоль рек и

ручьев [7–9]. Коренные народы Пакистана использовали пасты и экстракты *I. glandulifera* для лечения болей в суставах, беспокойства и кожных аллергий [10]. Цветки *I. glandulifera* входят в состав цветочных средств Баха, которые используются для успокоения, расслабления и помогают сбалансировать эмоциональное состояние [11]. В предыдущих исследованиях в *I. glandulifera* были идентифицированы и выделены различные типы вторичных метаболитов, в том числе флавоноиды, фенольные кислоты [12, 13], производные нафталина и нафтохинона [14, 15], тритерпеноиды, жирные кислоты и стеролы [16], а также составляющие эфирного масла [1, 17]. Лекарственные растения представляют собой богатый источник биологически активных веществ, в связи с чем их исследование является актуальной задачей [18–20].

Целью настоящего исследования является выделение и установление структуры 11 фенольных соединений (рисунок 1) из надземных частей *I. gildulifera* и оценка их антиоксидантной активности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом исследования являлась надземная часть *Impatiens glandulifera* Royle, собранная в Ленинградской области вблизи поселка Орехово в августе 2021 года и идентифицированная доцентом кафедры фармакогнозии М. Ю. Гончаровым ВЭЖХ-хроматограммы вместе с УФ-спектрами получали на приборе Prominence LC-20 с диодно-матричным детектором SPD-M20A (Shimadzu corp., Япония) с колонкой Supelcosil LC18 (250 × 4,6, 5 мкм). Препаративную ВЭЖХ проводили с использованием системы Knauer Smartline со спектрофотометрическим детектором, снабженным колонкой Kromasil C18 (250 × 30 мм, 5 мкм) для препаративной ВЭЖХ. Для анализа ВЭЖХ и препаративной ВЭЖХ использовали растворители марки J.T. Baker класса ВЭЖХ. Хроматографию на открытых колонках (КК) проводили на сорбентах Sephadex LH-20 (Cytiva, Швеция). Спектры 1D- и 2D-ЯМР получены на ЯМР-спектрометре Bruker Avance III 400 (Bruker, Германия).

500 г высушенного на воздухе растительного материала *I. gildulifera* экстрагировали 96%-м этанолом путем исчерпывающей мацерации при комнатной температуре. После каждого цикла экстракции полученный экстракт фильтровали и концентрировали на

вакуумно-ротационном испарителе (Heidolph, Германия). Отогнанный растворитель возвращали в растительный материал для дальнейшей мацерации. Этот процесс повторяли несколько раз (×8) до тех пор, пока экстракт, полученный из сырья, не становился бледным по сравнению с экстрактом, полученным в ходе первого цикла экстракции. Полученный концентрированный 96%-й этанольный экстракт объемом 500 мл подвергали исчерпывающей жидкостно-жидкостной экстракции равным объемом *n*-гексана с получением *n*-гексановой фракции. К оставшемуся этанольному экстракту добавляли 200 мл воды, после чего его дополнительно подвергали исчерпывающей жидкостно-жидкостной экстракции дихлорметаном (ДХМ) с получением фракции ДХМ. К оставшейся этанольной фракции дополнительно добавляли 200 мл воды, после чего ее подвергали исчерпывающей жидкостно-жидкостной экстракции *n*-бутанолом с получением *n*-бутанольной фракции и оставшегося водно-этанольного экстракта.

С помощью ВЭЖХ-анализа было обнаружено во фракциях ДХМ и *n*-бутанола наибольшее качественное и количественное содержание вторичных метаболитов. ДХМ и *n*-бутанольную фракции концентрировали на вакуумно-ротационном испарителе до объемов 50 мл и подвергали повторной изократической колоночной хроматографии на сефадексе LH-20 с использованием 96%-го этанола в качестве подвижной фазы. Субфракции собирали из колонок в пробирки объемом до 25 мл, каждую из которых далее анализировали с помощью ТСХ с использова-

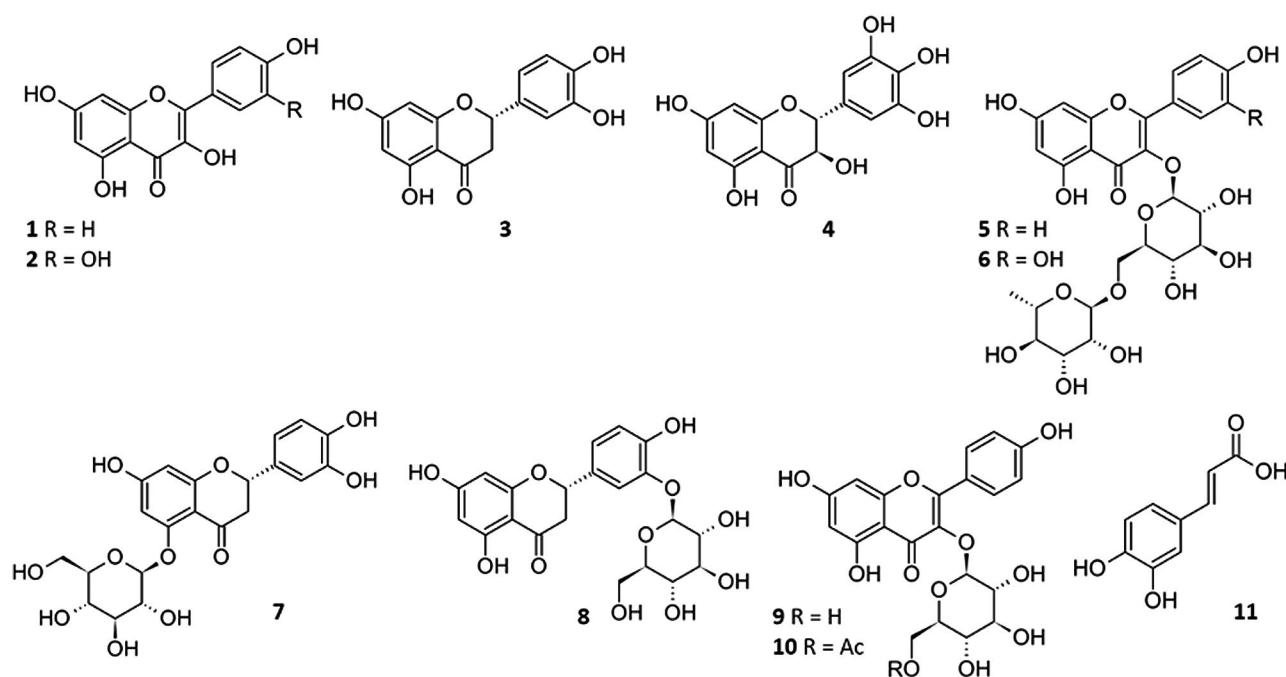


Рисунок 1. Структура соединений 1–11

Figure 1. Structures of compounds 1–11

нием системы подвижной фазы БУВ (*n*-бутанол:уксусная кислота:вода) в соотношении 4:1:2. Подфракции с аналогичными профилями ТСХ далее группировали и концентрировали до 10 мл.

Фракция DCM после первой колонки с Sephadex LH-20 разделялась на субфракции DCM-SbFr-1 1–3. Субфракции DCM-SbFr-1 1 и 2 объединяли и дополнительно подвергали колоночной хроматографии с Sephadex LH-20, получая DCM-SbFr-2 1–10. Полученные DCM-SbFr-2 5 и 6 объединяли и дополнительно подвергали колоночной хроматографии на Sephadex LH-20 с получением DCM-SbFr-3 1–6. Субфракции ДХМ, содержащие хорошо разделенные пики на хроматограммах ВЭЖХ, далее подвергали препаративной ВЭЖХ, в результате которой были выделены кемпферол (**1**), кверцетин (**2**) и эриодиктиол (**3**).

Фракция *n*-бутанола после первой колонки с Sephadex LH-20 разделялась на субфракции BuOH-SbFr-1 1–6. BuOH-SbFr-1 1–3 объединяли и дополнительно подвергали колоночной хроматографии с Sephadex LH-20, получая BuOH-SbFr-2 1–12. Полученные субфракции BuOH-SbFr-2 4–7 объединяли и дополнительно подвергали колоночной хроматографии на Sephadex LH-20 с получением BuOH-SbFr-3 1–7. Полученный BuOH-SbFr-3 3 и 4 снова подвергали колоночной хроматографии на Sephadex LH-20 с получением BuOH-SbFr-4 1–5. Субфракции BuOH, содержащие хорошо разделенные пики на хроматограммах ВЭЖХ, далее подвергали препаративной ВЭЖХ, в результате которой были выделены ампелопсин (**4**), никотифлорин (**5**), рутин (**6**), эриодиктиол-5-О-β-D-глюкопиранозид (**7**), эриодиктиол-3'-О-β-D-глюкопиранозид (**8**), астрагалин (**9**), 6''-ацетиластрагалин (**10**) и кофейная кислота (**11**).

Для изучения антиоксидантной активности использовали растворы, полученные растворением выделенных веществ (**1–11**) в смеси диметилсульфоксида и этанола; водный раствор витамина С и спиртовой раствор тролокса (Sigma-Aldrich, Япония).

Исходный раствор готовили с концентрацией каждого из испытуемых веществ 18,000 μмоль/л; для получения серии разбавленных растворов маточный раствор последовательно дважды разбавляли растворителями.

В качестве препаратов сравнения использовали известный природный антиоксидант витамин С и синтетический аналог витамина Е тролокс.

К 0,6 мл испытуемого раствора добавляли 4,2 мл 0,01%-го раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) (Sigma-Aldrich, Япония), приготовленного в том же растворителе, что и испытуемый раствор. Через 30 мин измеряли оптическую плотность при длине волны 517 нм. Предварительно измеряли оптическую плотность раствора DPPH: к 4,2 мл 0,01%-го раствора DPPH добавляли 0,6 мл растворителя, из которого готовили соответствующий испытуемый раствор. Растворитель использовали в качестве компенсационного раствора.

Процент поглощения радикалов (X, %) (RAP) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{(A_0 - A_1) \cdot 100}{A_0},$$

где A_0 – оптическая плотность раствора DPPH; A_1 – оптическая плотность раствора DPPH после добавления исследуемого раствора.

Статистическая обработка. Каждое исследование проводили трижды ($n = 3$). Результат представляли в виде среднего значения и полуширины доверительного интервала среднего значения.

Для характеристики антиоксидантной активности использовали максимальное значение RAP и полуэффективную концентрацию (EC_{50}). EC_{50} – концентрация, при которой значение RAP составляло половину от максимального. Его рассчитывали на основе уравнения зависимости значения RAP от концентрации с помощью Microsoft Office Excel 2016.

Для оценки значимости различий между изучаемыми параметрами использовали дисперсионный анализ. Значения различались статистически значимо при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Соединение **1** было выделено в виде светло-желтого кристаллического твердого вещества с двумя максимумами УФ-поглощения при $\lambda_{max} = 265, 365$ нм, характерными для флавонол-агликона кемпферола. 1H -ЯМР-спектр соединения **1** состоял из сигналов ароматических протонов H-6 (6,20 (1H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-8 (6,44 (1H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-2',6' (8,05 (1H, д, $J = 9,0$ Гц)) и H-3',5' (6,93 (1H, д, $J = 9,0$ Гц)) вместе с фенольными гидроксильными группами в положениях 3 (9,37 (1H, с)), 5 (12,48 (1H, с)), 7 (10,77 (1H, с)) и 4' (10,10 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **1** представляет собой кемпферол.

Соединение **2** было выделено в виде светло-желтого кристаллического твердого вещества с двумя максимумами УФ-поглощения при $\lambda_{max} = 254, 369$ нм, характерными для флавонол-агликона кверцетина. 1H -ЯМР-спектр соединения **2** состоял из сигналов ароматических протонов H-6 (6,20 (1H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-8 (6,41 (1H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-2' (7,68 (1H, д, $J = 2,1$ Гц)), H-5' (6,89 (1H, д, $J = 8,4$ Гц)) и H-6' (7,54 (1H, дд, $J = 8,4, 2,0$ Гц)) вместе с фенольными гидроксильными группами в положениях 3 (9,29 (1H, с)), 5 (12,49 (1H, с)), 7 (10,78 (1H, с)), 3' (9,34 (1H, с)) и 4' (9,57 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **2** является кверцетином.

Соединение **3** было выделено в виде белого кристаллического вещества с одним УФ-максимумом поглощения при $\lambda_{max} = 287$ нм, что характерно для флаванонов. 1H -ЯМР-спектр соединения **3** состоял из сигналов алифатических протонов H-2 (5,38 (1H, дд, $J = 12,4; 2,9$ Гц)), H-3a (3,18 (1H, дд, $J = 17,2; 12,4$ Гц)) и

H-3b (2,68 (1H, дд, $J = 17,2; 2,9$)); ароматических протонов H-6 (5,88 (1H, д, $J = 2,1$ Гц)), H-8 (5,89 (1H, д, $J = 2,1$ Гц)), H-2',5' (6,75 (2H, м)) и H-6' (6,88 (1H, м)) вместе с фенольными гидроксильными группами в положениях 5 (12,14 (1H, с)), 7 (10,77 (1H, с)), 3' (9,01 (1H, с)) и 4' (9,07 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **3** представляет собой эриодиктиол. Интересным в ¹H-ЯМР-спектре эриодиктиола является то, что сигналы H-2' и H-5' полностью перекрываются, а сигналы H-6 и H-8 сближены.

Соединение **4** было выделено в виде белого кристаллического вещества с одним УФ-максимумом поглощения при $\lambda_{\max} = 290$ нм, что характерно для флаванонов. ¹H-ЯМР-спектр соединения **4** состоит из сигналов алифатических протонов H-2 (4,90 (1H, д, $J = 10,8$ Гц)) и H-3 (4,41 (1H, д, $J = 10,8$ Гц)); ароматических протонов H-6 (5,58 (1H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-8 (5,90 (1H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-2',6' (6,40 (2H, с)) вместе с фенольными гидроксильными группами в положениях 5 (11,89 (1H, с)), 7 (10,82 (1H, с)), 3'+5' (8,88 (2H, с)) и 4' (8,20 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **4** представляет собой ампелопсин.

Соединение **5** было выделено в виде светло-желтого кристаллического твердого вещества с двумя максимумами УФ-поглощения при $\lambda_{\max} = 265, 347$ нм, характерными для 3-О-флавонолгликозидов кемпферола. ¹H-ЯМР-спектр соединения **5** состоял из сигналов протонов остатка β-D-глюкозы H-1'' (5,32 (1H, д, $J = 7,4$ Гц)), H-2''-6b'' (3,0–3,44 (5H, м)) и H-6b'' (3,69 (1H, д, $J = 9,7$ Гц)) и остатка α-L-рамнозы H-1''' (4,38 (1H, шир.с)), H-2'''-5''' (3,0–3,44 (4H, м)) и H-6''' (0,99 (3H, д, $J = 6,2$)). Дополнительно в спектре присутствовали ароматические протоны H-6 (6,21 (1H, д, $J = 2,1$ Гц)), H-8 (6,44 (1H, д, $J = 2,1$ Гц)), H-2',6' (7,99 (1H, д, $J = 8,9$ Гц)) и H-3',5' (6,88 (1H, д, $J = 8,9$ Гц)) вместе с фенольными гидроксильными группами в положениях 5 (12,56 (1H, с)), 7 (10,85 (1H, с)) и 4' (10,12 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **5** представляет собой кемпферол-3-О-рутинозид, или никотифлорин.

Соединение **6** выделено в виде светло-желтого кристаллического вещества с двумя максимумами УФ-поглощения при $\lambda_{\max} = 255, 352$ нм, характерными для 3-О-флавонолгликозидов кверцетина. ¹H-ЯМР-спектр соединения **6** состоял из сигналов протонов остатка β-D-глюкозы H-1'' (5,35 (1H, д, $J = 7,2$ Гц)), H-2''-6b'' (3,0–3,44 (5H, м)) и H-6b'' (3,71 (1H, д, $J = 10,4$ Гц)) и остатка α-L-рамнозы H-1''' (4,40 (1H, шир.с)), H-2'''-5''' (3,0–3,44 (4H, м)) и H-6''' (1,0 (3H, д, $J = 6,1$)). Дополнительно в спектре присутствовали ароматические протоны H-6 (6,20 (1H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-8 (6,39 (1H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-2' (7,54 (1H, м)), H-5' (6,86 (1H, г, $J = 8,9$ Гц)) и H-6' (7,55 (1H, м)) вместе с фенольными гидроксильными группами в положениях 5 (12,60 (1H, с)), 7 (10,83 (1H, с)), 3' (9,16 (1H, с)) и 4' (9,65 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **6** представляет собой кверцетин-3-О-рутинозид, или рутин.

Соединение **7** было выделено в виде белого кристаллического вещества с одним УФ-максимумом поглощения при $\lambda_{\max} = 283$ нм, что характерно для флаванонов. ¹H-ЯМР-спектр соединения **7** состоял из сигналов алифатических протонов H-2 (5,31 (1H, дд, $J = 12,9; 2,6$ Гц)), H-3a (2,98 (1H, дд, $J = 17,3; 12,9$ Гц)) и H-3b (2,68 (1H, дд, $J = 17,3; 2,6$)); протонов остатка β-D-глюкозы H-1'' (4,70 (1H, д, $J = 6,9$ Гц)), H-2''-6b'' (3,16–3,60 (5H, м)) и H-6a'' (3,74 (1H, д, $J = 11,5$ Гц)); ароматических протонов H-6 (6,09 (1H, д, $J = 2,1$ Гц)), H-8 (6,40 (1H, д, $J = 2,1$ Гц)), H-2',5' (6,74 (2H, м)) и H-6' (6,87 (1H, м)) вместе с фенольными гидроксильными группами в положениях 7 (10,77 (1H, с)), 3' (8,99 (1H, с)) и 4' (9,04 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **7** представляет собой эриодиктиол-5-О-β-D-глюкопиранозид. Интересно, что в ¹H-ЯМР-спектре эриодиктиол-5-О-β-D-глюкопиранозида сигналы H-2' и H-5' полностью перекрываются, а сигналы H-6 и H-8 больше не перекрываются, как в спектре эриодиктиола. Скорее всего, это связано с тем, что остаток глюкопиранозы в 5-м положении кольца А влияет на химические сдвиги ароматических протонов в H-6 и H-8.

Соединение **8** было выделено в виде белого кристаллического вещества с одним УФ-максимумом поглощения при $\lambda_{\max} = 286$ нм, что характерно для флаванонов. ¹H-ЯМР-спектр соединения **8** состоял из сигналов алифатических протонов H-2 (5,45 (1H, дд, $J = 12,3; 2,9$ Гц)), H-3a (3,20 (1H, м)) и H-3b (2,73 (1H, дд, $J = 17,0; 2,9$ Гц)); протонов остатка β-D-глюкозы H-1'' (4,71 (1H, д, $J = 7,2$ Гц)), H-2''-5'' (3,10–3,40 (4H, м)), H-6a'' (3,74 (1H, д, $J = 11,5$ Гц)) и H-6b'' (3,48 (1H, д, $J = 12,0; 5,9$ Гц)); ароматических протонов H-6 (5,89 (1H, д, $J = 2,1$ Гц)), H-8 (5,91 (1H, д, $J = 2,1$ Гц)), H-2' (6,97 (2H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-5' (7,14 (1H, д, $J = 8,4$ Гц)) и H-6' (6,87 (1H, д, $J = 8,4, 2,0$)) вместе с фенольными гидроксильными группами в положениях 5 (12,12 (1H, с)), 7 (10,80 (1H, шир.с)) и 4' (8,72 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **8** представляет собой эриодиктиол-3'-О-β-D-глюкопиранозид. Интересно, что в ¹H-ЯМР-спектре эриодиктиол-3'-О-β-D-глюкопиранозида сигналы H-2' и H-5' больше не перекрываются, в то время как сигналы H-6 и H-8 снова почти перекрываются, как в эриодиктиоле. Скорее всего, это связано с тем, что остаток глюкопиранозы в 3'-положении кольца В влияет на химические сдвиги ароматических протонов в положениях 2', 5' и 6'.

Соединение **9** было выделено в виде бледно-желтого кристаллического вещества с двумя максимумами УФ-поглощения при $\lambda_{\max} = 265, 346$ нм, характерными для 3-О-флавонолгликозидов кемпферола. ¹H-ЯМР-спектр соединения **9** состоял из сигналов протонов остатка β-D-глюкозы H-1'' (5,45 (1H, д, $J = 7,3$ Гц)), H-2''-5'' (3,05–3,25 (4H, м)), H-6a'' (3,57 (1H, д, $J = 11,5$)) и H-6b'' (3,33 (1H, м)). Дополнительно в спектре присутствовали ароматические протоны H-6 (6,21 (1H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-8 (6,44 (1H, д, $J = 2,0$ Гц)), H-2',6' (8,04

(1H, д, J = 8,9 Гц) и H-3',5' (6,89 (1H, д, J = 8,9 Гц)) вместе с фенольными гидроксильными группами в положениях 5 (12,62 (1H, с)), 7 (10,87 (1H, с)) и 4' (10,18 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **9** представляет собой кемпферол-3-O-β-D-глюкопиранозид, или астрагалин.

Соединение **10** было выделено в виде бледно-желтого кристаллического твердого вещества с двумя максимумами УФ-поглощения при $\lambda_{\max} = 265, 347$ нм, которые характерны для 3-O-флавонолгликозидов кемпферола. ¹H-ЯМР-спектр соединения **10** состоял из сигналов протонов остатка β-D-глюкозы H-1'' (5,39 (1H, д, J = 7,4 Гц)), H-2''-5'' (3,05–3,35 (4H, м)), H-6a'' (4,15 (1H, д, J = 11,7 Гц)) и H-6b'' (3,91 (1H, dd, J = 11,7; 6,6)) вместе с сигналами от ацетильной группы (3,32 (3H, с)). Дополнительно в спектре присутствовали ароматические протоны H-6 (6,21 (1H, д, J = 2,0 Гц)), H-8 (6,44 (1H, д, J = 2,0 Гц)), H-2',6' (8,0 (1H, д, J = 8,9 Гц)) и H-3',5' (6,87 (1H, д, J = 8,9 Гц)) вместе с фенольными гидроксильными группами в положениях 5 (12,57 (1H, с)), 7 (10,86 (1H, с)) и 4' (10,17 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **10** представляет собой кемпферол-3-O-β-D-6''-O-ацетилглюкопиранозид, или 6''-O-ацетиластрагалин. Интерес в ¹H-ЯМР-спектре 6''-O-ацетиластрагалина представляет собой сдвиг в слабое поле сигналов от протонов H-6a'' и H-6b'' по сравнению с астрагалином. Это связано с наличием у ацетоксигруппы большей электроотрицательности по сравнению с гидроксильной группой.

Соединение **11** было выделено в виде желтого кристаллического твердого вещества с одним УФ-максимумом поглощения при $\lambda_{\max} = 326$ нм, что характерно для оксикоричных кислот. ¹H-ЯМР-спектр соединения **11** состоял из сигналов ароматических протонов H-2 (7,05 (1H, д, J = 1,8)), H-5 (6,77 (1H, д, J = 8,2)) и H-6 (7,01 (1H, д, J = 8,2, 1,8)) вместе с сигналами олефиновых протонов H-β (6,26 (1H, д, J = 15,8 Гц)) и H-α (7,50 (1H, д, J = 15,8 Гц)). Дополнительно в спектре присутствовали фенольные гидроксигруппы в положениях 3 (9,14 (1H, с)) и 4 (9,59 (1H, с)). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что соединение **11** представляет собой кофейную кислоту.

При построении зависимостей RAP от концентрации исследуемые соединения были разделены на три группы (рисунки 2–4). В первую группу вошли кемпферол (**1**), кверцетин (**2**), эриодиктиол (**3**), для них RAP в максимальной концентрации составлял более 90 % (рисунок 2); во вторую – ампелопсин (**4**), никотифлорин (**5**), рутин (**6**), эриодиктиол-5-O-β-D-глюкопиранозид (**7**), кофейная кислота (**11**), для них RAP составлял от 80 до 90 % (рисунок 3); в третью группу – эриодиктиол-3'-O-β-D-глюкопиранозид (**8**), астрагалин (**9**), 6''-ацетиластрагалин (**10**), для них RAP был менее 80 % (рисунок 4).

Наблюдалась типичная S-образная зависимость RAP от концентрации кемпферола (**1**), кверцетина (**2**), эриодиктиола (**3**), рутина (**6**) и кофейной кислоты (**11**) с тремя характерными участками на кривой: плато

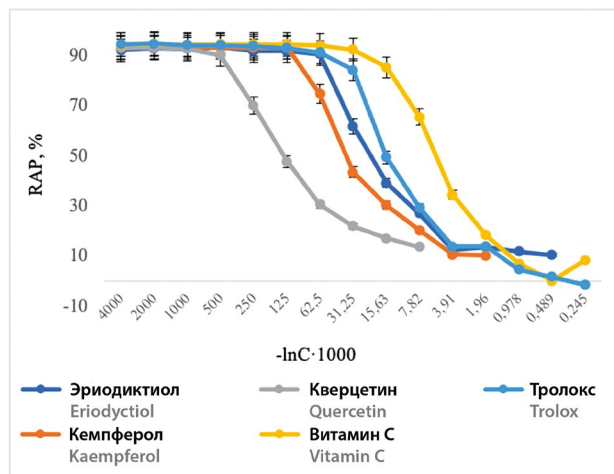


Рисунок 2. Зависимость RAP от концентрации кемпферола (1), кверцетина (2), эриодиктиола (3), витамина С и тролокса

Figure 2. Dependence of RAP from the concentration of kaempferol (1), quercetin (2), eriodictiols (3), vitamin C and Trolox

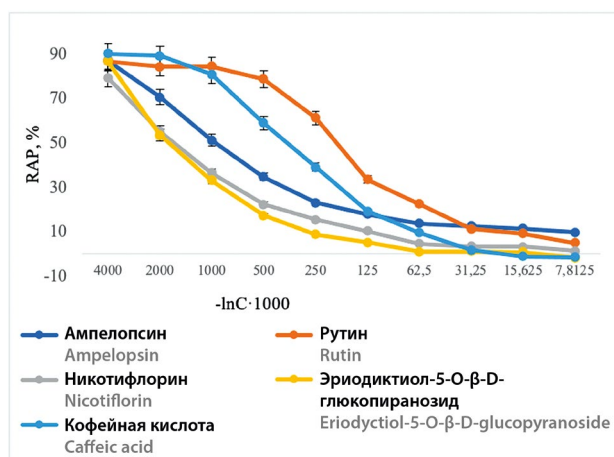


Рисунок 3. Зависимость RAP от концентрации ампелопсина (4), никотифлорина (5), рутина (6), эриодиктиол-5-O-β-D-глюкопиранозид (7) и кофейной кислоты (11)

Figure 3. Dependence of RAP from concentration of ampelopsin (4), nicotiflorin (5), rutin (6), eriodictiols-5-O-β-D-glucopyranoside (7) and caffeic acid (11)

максимума значения RAP (281.25–18.000 μмоль/л), резкое снижение RAP (35.156–1,125.0 μмоль/л) и плато минимальных значений RAP (2.1972–140.63 μмоль/л). Аналогичные зависимости отмечены для препаратов сравнения – витамина С и тролокса (три секции: 140.63–18.000 и 281.85–18.000; 17.578–70.313 и 35.156–140.63; 2.1973–8.7890 и 1.0986–17.578 μмоль/л соответственно).

Иной характер зависимости отмечен для ампелопсина (**4**), никотифлорина (**5**) и эриодиктиол-5-O-β-D-глюкопиранозид (**7**): снижение RAP при уменьшении концентрации (562.50–18.000 μмоль/л) с формированием плато минимальных значений RAP (35.156–281.25 μмоль/л).

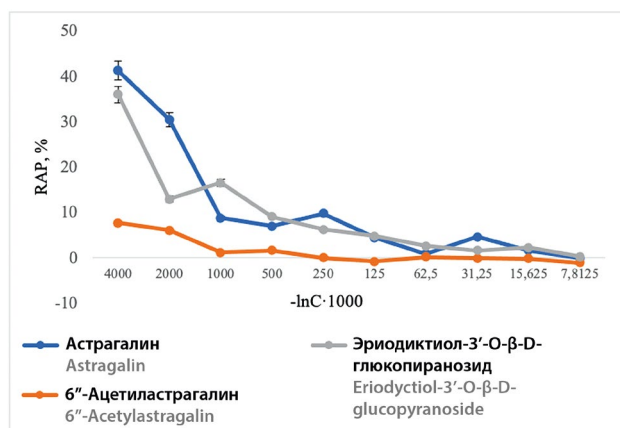


Рисунок 4. Зависимость RAP от концентрации эриодиктиол-3'-O-β-D-глюкопиранозид (8), астрагалина (9) и 6''-ацетиластрагалина (10)

Figure 4. Dependence of RAP from concentration of eriodyctiol-3'-O-β-D-glucopyranoside (8), astragaline (9) and 6''-acetylastragaline (10)

Отмечена слабая зависимость RAP от концентрации эриодиктиол-3'-O-β-D-глюкопиранозид (8), астрагалина (9), 6''-ацетиластрагалина (10) со стохастическими изменениями RAP в исследуемом диапазоне концентраций.

Для сравнения антиоксидантной активности тестируемых соединений друг с другом и с препаратами сравнения в таблице 1 приведены максимальные значения RAP и рассчитанные полуэффективные концентрации.

Максимальные значения RAP эриодиктиола (3), кемпферола (1) и кверцетина (2) достоверно ($p = 0,585$) не отличались от таковых у препаратов сравнения: витамина С и тролокса, что указывает на сравнимость антиоксидантного действия этих трех соединений с известными антиоксидантами. Однако полуэффективные концентрации этих веществ в два и более раза ниже ($p = 2,56 \cdot 10^{-4}$) по сравнению с витамином С, т. е. для того же антиоксидантного действия необходимо принимать изолированных веществ в два и более раза больше, чем витамина С; полуэффективная концентрация эриодиктиола (3) не отличалась от тролокса ($p = 0,273$).

При сравнении выделенных соединений по максимальным значениям RAP было установлено, что эриодиктиол (3), кемпферол (1), кверцетин (2) и кофейная кислота (11) практически не отличались друг от друга по этому показателю ($p = 0,348$), остальные вещества имели значительно ($p = 3,45 \cdot 10^{-6}$) более низкие значения RAP. При сравнении полуэффективных концентраций для эриодиктиола (3) отмечено наименьшее значение, остальные вещества имели значение EC_{50} в два и более раза больше ($p = 2,44 \cdot 10^{-5}$), поэтому среди выделенных соединений эриодиктиол (3) характеризуется наивысшей антиоксидантной активностью.

Таблица 1. Максимальные значения RAP (E_{max} , %) и полуэффективные концентрации (EC_{50} , μмоль/л) исследуемых соединений и препаратов сравнения

Table 1. Maximum RAP values (E_{max} , %) and semi-effective concentrations (EC_{50} , μmol/l) of the test compounds and comparator preparations

| Наименование Substances name | E_{max} , % | EC_{50} , μмоль/л EC_{50} , μmol/l |
|---|---------------|---|
| Эриодиктиол (3) Eriodyctiol (3) | 92,1 ± 1,2 | 145,0 ± 7,8 |
| Кемпферол (1) Kaempferol (1) | 93,2 ± 3,3 | 281,5 ± 10,2 |
| Кверцетин (2) Quercetin (2) | 93,0 ± 1,9 | 1050 ± 23 |
| Рутин (6) Rutin (6) | 86,7 ± 2,1 | 398,2 ± 12,1 |
| Кофейная кислота (11) Caffeic acid (11) | 90,0 ± 1,7 | 2290 ± 19 |
| Ампелопсин (4) Ampelopsin (4) | 87,1 ± 1,1 | 4300 ± 38 |
| Никотифлорин (5) Nicotiflorin (5) | 79,2 ± 2,2 | 3450 ± 49 |
| Эриодиктиол-5-O-β-D-глюкопиранозид Eriodyctiol-5-O-β-D-glucopyranoside | 86,6 ± 2,1 | 6490 ± 37 |
| Астрагалин (9) Astragaline (9) | 41,3 ± 1,1 | 7660 ± 43 |
| Эриодиктиол-3'-O-β-D-глюкопиранозид (8) Eriodyctiol-3'-O-β-D-glucopyranoside (8) | 36,0 ± 2,0 | 7750 ± 98 |
| 6''-Ацетиластрагалин (10) 6''-Acetylastragaline (10) | 7,8 ± 1,0 | 7170 ± 104 |
| Витамин С Vitamic C | 94,3 ± 2,5 | 78,45 ± 8,9 |
| Тролокс Trolox | 94,5 ± 3,1 | 148,4 ± 7,9 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате настоящего исследования из надземной части *I. grandulifera* выделено и установлено структура 11 индивидуальных соединений полифенольной природы. По результатам исследования эриодиктиол (3), кемпферол (1) и кверцетин (2) проявляли наиболее выраженную антиоксидантную активность, достоверно не отличающуюся от таковой у препаратов сравнения – витамина С и тролокса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Szweczyk K., Kalembe D., Komsta L., Nowak R. Comparison of the essential oil composition of selected *Impatiens* species and its antioxidant activities. *Molecules*. 2016;21(9):1162.
2. Richard P. S. S., Karuppusamy S., Ravichandran V. *Impatiens godfreyi* (Balsaminaceae), a new species of Balsam from the southern Western Ghats, India. *Journal of Asia-Pacific Diversity*. 2022;15(1):138–144.
3. Song Y., Peng S., Cong Y., Zheng Y. *Impatiens rapiformis*, a new species of *Impatiens* with root tuber from Yunnan, China. *Nordic Journal of Botany*. 2021;39(5):e03151.
4. De O Pires E. Jr., Pereira E., Pereira C., Dias M. I., Calheta R. C., Ćirić A., Soković M., Hassemmer G., Garcia C. C., Caleja C., Barros L., Ferreira I. C. F. R. Chemical Composition and Bioactive Characterisation of *Impatiens walleriana*. *Molecules*. 2021;26(5):1347. DOI: 10.3390/molecules26051347.

- De O Pires E. Jr., Pereira E., Carochi M., Pereira C., Dias M. I., Calhelha R. C., Ćirić A., Soković M., Garcia C. C., Ferreira I. C. F. R., Caleja C., Barros L. Study on the potential application of *Impatiens balsamina* L. flowers extract as a natural colouring ingredient in a pastry product. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(17):9062. DOI: 10.3390/ijerph18179062.
- Coakley S., Petti C. Impacts of the invasive *Impatiens glandulifera*: Lessons learned from one of Europe's top invasive species. *Biology*. 2021;10(7):619. DOI: 10.3390/biology10070619.
- Qian H., Wang B., Ma J., Li C., Zhang Q., Zhao Y. *Impatiens balsamina*: An updated review on the ethnobotanical uses, phytochemistry, and pharmacological activity. *Journal of Ethnopharmacology*. 2023;303:115956. DOI: 10.1016/j.jep.2022.115956.
- Szewczyk K. Phytochemistry of the genus *Impatiens* (Balsaminaceae): A review. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2018;80:94–121.
- Helmisaari H. NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Impatiens glandulifera*. – From: Online Database of the European Network on Invasive Alien Species – NOBANIS. Available at: www.nobanis.org.
- Ahmad K. S., Hamid A., Nawaz F., Hameed M., Ahmad F., Deng J., Akhtar N., Wazarat A., Mahroof S. Ethnopharmacological studies of indigenous plants in Kel village, Neelum Valley, Azad Kashmir, Pakistan. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 2017;13(1):1–16. DOI: 10.1186/s13002-017-0196-1.
- Thaler K., Kaminski A., Chapman A., Langley T., Gartlehner G. Bach flower remedies for psychological problems and pain: a systematic review. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2009;9:16. DOI: 10.1186/1472-6882-9-16.
- Dos Santos Szewczyk K., Zidorn C., Biernasiuk A., Komsta L., Granica S. Polyphenols from *Impatiens* (Balsaminaceae) and their antioxidant and antimicrobial activities. *Industrial Crops and Products*. 2016;86:262–272. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.03.053.
- Vieira M. N., Winterhalter P., Jerz G. Flavonoids from the flowers of *Impatiens glandulifera* Royle isolated by high performance countercurrent chromatography. *Phytochemical Analysis*. 2016;27(2):116–125. DOI: 10.1002/PCA.2606.
- Triska J., Vrchotová N., Sýkora J., Moos M. Separation and Identification of 1,2,4-Trihydroxynaphthalene-1-O-glucoside in *Impatiens glandulifera* Royle. *Molecules*. 2013;18(7):8429–8439. DOI: 10.3390/molecules18078429.
- Ruckli R., Hesse K., Glauser G., Rusterholz H.-P., Baur B. Inhibitory potential of naphthoquinones leached from leaves and exuded from roots of the invasive plant *Impatiens glandulifera*. *Journal of Chemical Ecology*. 2014;40:371–378. DOI: 10.1007/s10886-014-0421-5.
- Dos Santos Szewczyk K., Bonikowski R., Agnieszka M.-K., Abramek J., Bogucka-Kocka A. Lipophilic components and evaluation of the cytotoxic and antioxidant activities of *Impatiens glandulifera* Royle and *Impatiens noli-tangere* L. (Balsaminaceae). *Grass and Acetes*. 2018;69(3):e270. DOI: 10.3989/gya.0234181.
- Куклина А. Г., Цыбулько Н. С. Характеристика некоторых видов *Impatiens* (Balsaminaceae) по содержанию флавоноидов и аскорбиновой кислоты. *Химия растительного сырья*. 2022;2:211–219. DOI: 10.14258/jcprm.2022029682.
- Лужанин В. Г., Уэйли А. К., Понкратова А. О., Новикова В. В., Безверхняя Е. А. Противомикробная активность соединений полифенольной природы. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2022;11(2):65–72. DOI: 10.33380/2305-2066-2022-11-2-65-72.
- Богутдинова А. М., Уэйли А. К., Понкратова А. О., Орлова А. А., Гончаров М. Ю., Шпакова В. С., Фарманова Н. Т., Нуруллаева Д. Х., Шарипов А. Т., Гамбарян С. П., Повыдыш М. Н. Выделение формонетин-7-О-β-D-глюкопиранозиды из травы стальника полевого (*Ononis arvensis* L.) и оценка его влияния на индуцированную активацию тромбоцитов. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2021;10(4-1):14–19. DOI: 10.33380/2305-2066-2021-10-4(1)-14-19.
- Whaley A. K., Minakov D. N., Orlova A. A., Ponkratova A. O., Fock E., Rukoyatkina N., Gambaryan S., Luzhanin V. G. Analysis of *Empetrum nigrum* L. lipophilic secondary metabolites, their metabolomic profiles and antioxidant activity. *Journal of Essential Oil Research*. 2023;35(3):310–323. DOI: 10.1080/10412905.2023.2169377.
- Song Y., Peng S., Cong Y., Zheng Y. *Impatiens rapiformis*, a new species of *Impatiens* with root tuber from Yunnan, China. *Nordic Journal of Botany*. 2021;39(5):e03151.
- De O Pires E. Jr., Pereira E., Pereira C., Dias M. I., Calhelha R. C., Ćirić A., Soković M., Hassemmer G., Garcia C. C., Caleja C., Barros L., Ferreira I. C. F. R. Chemical Composition and Bioactive Characterisation of *Impatiens walleriana*. *Molecules*. 2021;26(5):1347. DOI: 10.3390/molecules26051347.
- De O Pires E. Jr., Pereira E., Carochi M., Pereira C., Dias M. I., Calhelha R. C., Ćirić A., Soković M., Garcia C. C., Ferreira I. C. F. R., Caleja C., Barros L. Study on the potential application of *Impatiens balsamina* L. flowers extract as a natural colouring ingredient in a pastry product. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(17):9062. DOI: 10.3390/ijerph18179062.
- Coakley S., Petti C. Impacts of the invasive *Impatiens glandulifera*: Lessons learned from one of Europe's top invasive species. *Biology*. 2021;10(7):619. DOI: 10.3390/biology10070619.
- Qian H., Wang B., Ma J., Li C., Zhang Q., Zhao Y. *Impatiens balsamina*: An updated review on the ethnobotanical uses, phytochemistry, and pharmacological activity. *Journal of Ethnopharmacology*. 2023;303:115956. DOI: 10.1016/j.jep.2022.115956.
- Szewczyk K. Phytochemistry of the genus *Impatiens* (Balsaminaceae): A review. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2018;80:94–121.
- Helmisaari H. NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Impatiens glandulifera*. – From: Online Database of the European Network on Invasive Alien Species – NOBANIS. Available at: www.nobanis.org.
- Ahmad K. S., Hamid A., Nawaz F., Hameed M., Ahmad F., Deng J., Akhtar N., Wazarat A., Mahroof S. Ethnopharmacological studies of indigenous plants in Kel village, Neelum Valley, Azad Kashmir, Pakistan. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 2017;13(1):1–16. DOI: 10.1186/s13002-017-0196-1.
- Thaler K., Kaminski A., Chapman A., Langley T., Gartlehner G. Bach flower remedies for psychological problems and pain: a systematic review. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2009;9:16. DOI: 10.1186/1472-6882-9-16.
- Dos Santos Szewczyk K., Zidorn C., Biernasiuk A., Komsta L., Granica S. Polyphenols from *Impatiens* (Balsaminaceae) and their antioxidant and antimicrobial activities. *Industrial Crops and Products*. 2016;86:262–272. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.03.053.
- Vieira M. N., Winterhalter P., Jerz G. Flavonoids from the flowers of *Impatiens glandulifera* Royle isolated by high performance countercurrent chromatography. *Phytochemical Analysis*. 2016;27(2):116–125. DOI: 10.1002/PCA.2606.
- Triska J., Vrchotová N., Sýkora J., Moos M. Separation and Identification of 1,2,4-Trihydroxynaphthalene-1-O-glucoside in *Impatiens glandulifera* Royle. *Molecules*. 2013;18(7):8429–8439. DOI: 10.3390/molecules18078429.
- Ruckli R., Hesse K., Glauser G., Rusterholz H.-P., Baur B. Inhibitory potential of naphthoquinones leached from leaves and exuded from roots of the invasive plant *Impatiens glandulifera*. *Journal of Chemical Ecology*. 2014;40:371–378. DOI: 10.1007/s10886-014-0421-5.
- Dos Santos Szewczyk K., Bonikowski R., Agnieszka M.-K., Abramek J., Bogucka-Kocka A. Lipophilic components and evaluation of the cytotoxic and antioxidant activities of *Impatiens glandulifera* Royle and *Impatiens noli-tangere* L. (Balsaminaceae). *Grass and Acetes*. 2018;69(3):e270. DOI: 10.3989/gya.0234181.
- Kuklina A. G., Tsybulko N. S. Characteristics of some *Impatiens* (Balsaminaceae) species by the content of flavonoids and ascorbic acid. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2022;2:211–219. (In Russ.) DOI: 10.14258/jcprm.2022029682.
- Luzhanin V. G., Whaley A. K., Ponkratova A. O., Novikova V. V., Bezverkhniaia E. A. Antimicrobial activity of polyphenolic compounds. *Drug development & registration*. 2022;11(2):65–72. (In Russ.) DOI: 10.33380/2305-2066-2022-11-2-65-72.
- Bogutdinova A. M., Whaley A. K., Ponkratova A. O., Orlova A. A., Goncharo M. Yu., Shpakova V. S., Farmanova N. T., Nurullaeva D. Kh., Sharipov A. T., Gambaryan S. P., Povydysh M. N. Isolation of formononetin-7-O-β-D-glucopyranoside from the grass of *Ononis arvensis* L. and the assessment of its effect on induced platelet activation. *Drug development & registration*. 2021;10(4-1):14–19. (In Russ.) DOI: 10.33380/2305-2066-2021-10-4(1)-14-19.
- Whaley A. K., Minakov D. N., Orlova A. A., Ponkratova A. O., Fock E., Rukoyatkina N., Gambaryan S., Luzhanin V. G. Analysis of *Empetrum nigrum* L. lipophilic secondary metabolites, their metabolomic profiles and antioxidant activity. *Journal of Essential Oil Research*. 2023;35(3):310–323. DOI: 10.1080/10412905.2023.2169377.

REFERENCES

- Szewczyk K., Kalembe D., Komsta L., Nowak R. Comparison of the essential oil composition of selected *Impatiens* species and its antioxidant activities. *Molecules*. 2016;21(9):1162.
- Richard P. S. S., Karuppusamy S., Ravichandran V. *Impatiens godfreyi* (Balsaminaceae), a new species of Balsam from the southern Western Ghats, India. *Journal of Asia-Pacific Diversity*. 2022;15(1):138–144.