

Низкомолекулярные соединения

УДК 543.544.123:543.51:577.13

АНТОЦИАНЫ ЦВЕТКОВ СИРЕНИ *SYRINGA VULGARIS*

© *И.П. Блинова**, *В.И. Дейнека*, *Я.Ю. Саласина*, *Е.Ю. Олейниц*, *Л.А. Дейнека*

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, Белгород, 308015 (Россия),
e-mail: blinova@bsu.edu.ru*

Методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии исследованы антоцианы цветков сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) различных интенсивностей окраски и оттенков сиреневого цвета девяти образцов, приобретенных на рынке Белгорода. Для определения строения антоцианов использовали анализ электронных спектров поглощения, записанных в кювете диодно-матричного детектора и анализ масс-спектров, полученных при ионизации электрораспылением с частичной фрагментацией. В итоге было установлено, что во всех исследованных образцах основным компонентом был дельфинидин-3-рутинозид (84–90% по площадям пиков на хроматограмме). Уровень биосинтеза цианидин-3-рутинозида был существенно меньшим (6–19.6%). Среди минорных соединений найдены дельфинидин-3-глюкозид и петунидин-3-глюкозид. Из необычных соединений в ряде исследованных образцов обнаружен пираноантоциан, построенный на основе дельфинидин-3-рутинозида за счет конденсации с пировиноградной кислотой, но причины его появления пока не установлены. Общее содержание антоцианов невелико и составляет 0.020–0.120 г на 100 г свежего материала (в зависимости от интенсивности окраски исходного растительного материала) в пересчете на цианидин-3-глюкозид. При сушке цветков на срезанной ветке был получен воздушно-сухой материал, содержащий 0.100–0.300 г на 100 г антоцианов.

Ключевые слова: антоцианы, цветки, *Syringa vulgaris*, обращенно-фазовая ВЭЖХ, электронные спектры поглощения, масс-спектрометрия.

Введение

В обстоятельной работе [1] был определен фенольный состав цветков и плодов сирени (*Syringa vulgaris* L.), хотя авторы указали, что цветки могут быть окрашены антоцианами, которые по определенным причинам не были обнаружены в исследовании. Только в недавней работе [2] методом обращенно-фазовой ВЭЖХ с диодно-матричным и масс-спектрометрическим детектированием были исследованы антоцианы цветков большого числа сортов сирени. Однако у авторов возникли проблемы с определением основных соединений, поскольку рутинозиды и *para*-кумароилгликозиды имеют одинаковые молярные массы, но было установлено, что в зависимости от сорта в цветках накапливаются производные либо дельфинидина, либо цианидина. Антоцианы относятся к широкому классу флавоноидов, выделяющихся среди них высокой растворимостью в воде [3], наличием некоторых рН-зависимых форм в водном растворе и окрашивающей способностью [4, 5]. Низкая стабильность некоторых форм антоцианов [6] требует специальных процедур

обработки для извлечения растительного материала и очистки образцов, избегающих разрушения антоцианов, для последующего их определения надлежащими методами [4, 7]. Это может быть причиной отсутствия (насколько нам известно) в литературе достоверной информации об антоцианах цветков сирени, хотя имеется множество публикаций по определению других компонентов различных частей растения [8, 9].

Интерес к сирени обыкновенной, которая является традиционно используемым лекарственным растением в Европе, объясняется высоким уровнем

Блинова Ирина Петровна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры общей химии,
e-mail: blinova@bsu.edu.ru

Дейнека Виктор Иванович – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры общей химии,
e-mail: deineka@bsu.edu.ru

Саласина Ярослава Юрьевна – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры общей химии,
e-mail: salasina@bsu.edu.ru

Олейниц Елена Юрьевна – ассистент кафедры общей химии, e-mail: oleinits_e@bsu.edu.ru

Дейнека Людмила Александровна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры общей химии,
e-mail: deyneka@bsu.edu.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

биосинтеза фармакологически активных соединений в различных частях растения [9, 10]. Съедобные цветки сирени полезны для питания человека [11] благодаря высокому уровню биологически активных веществ, синтезируемых в лепестках, и антоцианы среди них являются мощными водорастворимыми антиоксидантами.

Цель настоящей работы – определение антоцианов в цветках сирени, как популярного в РФ и в нашем регионе декоративного растения.

Экспериментальная часть

Ветки цветущей сирени были срезаны с растений, выращенных в Белгороде. Экстракты из свежих и высушенных цветков получали настаиванием 0.5–1.0 г растительного материала в 50 мл 0.1 М водном растворе соляной кислоты. Для исчерпывающей экстракции антоцианов (до обесцвечивания цветков) достаточно использовать две-три последовательные экстракции в зависимости от интенсивности окраски – от темно сиренево-красной до светло сиреневой.

Для определения антоцианов использовали обращенно-фазовую ВЭЖХ на хроматографе Agilent 1200 Infinity: с диодно-матричным и масс-спектрометрическим детекторами, записывая хроматограммы при 520 нм в подвижной фазе 6 об.% ацетонитрила и 10 об.% муравьиной кислоты в воде, 0.8 мл/мин, колонка 150×4.6 мм Symmetry C18, 3.5 мкм с диодно-матричным детектированием и колонку 150×2.1 мм Диасфер 110-5C18 при масс-спектрометрическом детектировании. Хроматограммы записывали при длине волны 520 нм, а масс-спектрометрическое детектирование осуществляли с особенностями, предложенными в [12]. Использовали квадрупольный масс-спектрометр Agilent 6130 LC/MS в режиме ESI (ионизация распылением в электрическом поле) в позитивном режиме сканирования в диапазоне масс 250–1200. Напряжение на фрагменторе – 200 В. Ток на короне составлял 4 мкА. Давление газа-распылителя – 30 psi, скорость газа осушителя – 10 л/мин, температура газа осушителя – 350 °С, температура испарителя – 250 °С.

Все эксперименты проводили в изократическом режиме в подвижной фазе, содержащей 8.8 об.% ацетонитрила и 10 об.% муравьиной кислоты в воде. Для полного мониторинга антоцианового состава использовали и градиентный режим от 6 до 30 об.% ацетонитрила, 10 об.% муравьиной кислоты в воде.

Хроматограммы записывали, хранили и обрабатывали, используя ПО Agilent ChemStation.

Результаты и их обсуждение

Количественное определение антоцианов. Общее накопление антоцианов в цветках сирени определяли дифференциальным спектрофотометрическим методом [13], в результате был установлен уровень накопления антоцианов: 0.040–0.120 г на 100 г свежего материала в эквиваленте цианидин-3-глюкозид хлорид (для образцов с различной интенсивностью и оттенками окраски), что не так много по сравнению с иными растительными источниками. В полученных в работе высушенных цветках также было незначительным и составляло всего 0.100–0.300 г на 100 г массы материала (также в эквиваленте цианидин-3-глюкозида хлорида).

Определение видового состава антоцианов. При хроматографическом анализе был установлен одинаковый качественный состав антоцианов с небольшими вариациями в количественном соотношении между компонентами. Основным компонентом, судя по электронному спектру поглощения, записанному в кювете детектора (табл. 1), было производное дельфинидина, а в существенно меньших количествах в экстрактах обнаруживали производное цианидина (рис. 1). Образцов с преобладанием производных цианидина, как в работе [2], в настоящей работе не было обнаружено.

Определение строения антоцианов цветков не представляет особой сложности. По параметрам масс-спектра (табл. 1) основной компонент всех исследованных образцов (пик №2 на рис. 1) соответствует, во-первых, производному дельфинидина – по единственному продукту фрагментации ($M/z=303.1$), что подтверждается и положением максимума полосы абсорбции ($\lambda_{max}=525$ нм) (табл. 1). Отнесение этого антоциана к дельфинидин-3-рутинозиду (Dp3R) было выполнено по совпадению его удерживания с удерживанием дельфинилн-3-рутинозида в экстракте плодов черной смородины (рис. 2). Плоды черной смородины благодаря неизменности видового состава антоцианов плодов *Ribes nigrum* вне зависимости от сорта и условий выращивания мы предлагаем использовать как легкодоступный в течение всего года источник «стандартных» антоцианов [14]. Отметим, что такой экстракт легко приготовить и можно хранить в течение не менее трех лет для качественного (но не количественного) анализа, что было установлено записью хроматограмм после

соответствующих сроков хранения. При этом также легко идентифицируется (с подтверждением по масс-спектру и по электронному спектру поглощения) и пик №4 как цианидин-3-рутинозид (Су3R). Для надежности идентификации веществ в хроматографии антоцианов достаточно обнаружить совпадение времен удерживания в двух различных составах подвижных фаз, поскольку в одном составе подвижных фаз (по нашему опыту) возможно совпадение времен удерживания различных гликозидов.

Такой же масс-спектр, как для дельфинидин-3-рутинозида, имеет и дельфинидин-3-(6''-*nara*-кумароилглюкозид), поэтому необходимо подтверждение приведенного выше отнесения. На рисунке 3 приведены электронные спектры вещества №2 (Dp3R) из экстракта цветков сирени, а также мальвидин-3-глюкозида и мальвидин-3-(6''-*nara*-кумароилглюкозида) из экстракта плодов винограда вида *Vitis vinifera* (сорт «Одесский сувенир»). Видно, что переход к производным мальвидина приводит к небольшому батохромному сдвигу максимума абсорбции для 3-глюкозида (около 1 нм), тогда как при ацилировании *nara*-кумаровой кислотой батохромный сдвиг (на 7–10 нм) существенно заметнее из-за внутримолекулярного стэкинга (копигментации) [15]. Более того, в области 300–320 нм появляется характеристическая [16] полоса *nara*-кумароильного радикала.

Наконец, при ацилировании время удерживания (по сравнению с Dp3G) вследствие существенного роста параметра липофильности увеличивается более чем на порядок [17].

Аналогично определяется состав двух других антоцианов: дельфинидин-3-глюкозид (Dp3G, пик №1) и петунидин-3-рутинозид (Pt3R, пик №5) (рис. 4, табл. 2). Таким образом, вторым важным антоцианом, относительное содержание которого в некоторых образцах достигало 20 моль%, был Су3R.

Наконец, соединение №3 на рисунке 1 имеет необычные электронные спектры в видимой области, но вместе с данными масс-спектрометрии оно может быть определено как витизин, образующийся за счет конденсации Dp3R с пировиноградной кислотой [18]. Это предположение подтверждается наблюдением о том, что содержание этого соединения является наиболее нестабильным для всех исследованных образцов. Причина и условия образования этого компонента пока не выяснена.

Таблица 1. Параметры антоцианов цветков сирени

№*	Тип антоцианов и обозначение	t_R , мин**	λ_{max} , нм	M/z
1	дельфинидин-3-глюкозид, Dp3G	9.96	524	–
2	дельфинидин-3-рутинозид, Dp3R	11.30	525	611.1 (303.1)
3	пиранодельфинидин А, PyDp3R	12.09	512	679.1 (371.1)
4	цианидин-3-рутинозид, Су3R	15.00	517	595.0 (287.0)
5	петунидин-3-рутинозид, Pt3R	17.57	526	625.2 (317.1)

Примечание.* – нумерация как на рисунке 1; ** – время удерживания в подвижной фазе 6 об.% ацетонитрила и 10 об.% муравьиной кислоты в воде.

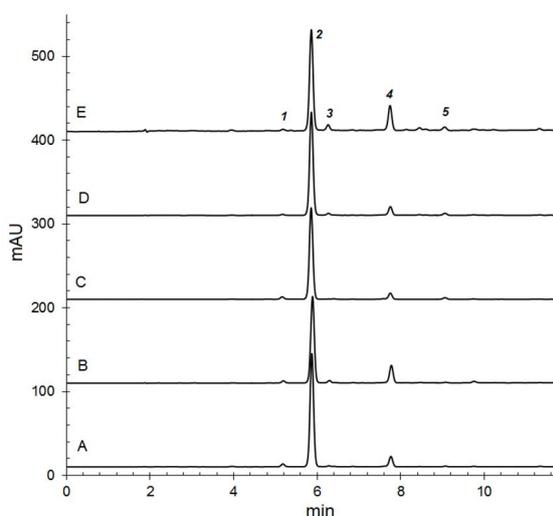


Рис. 1. Разделение антоцианов образцов цветков сирени

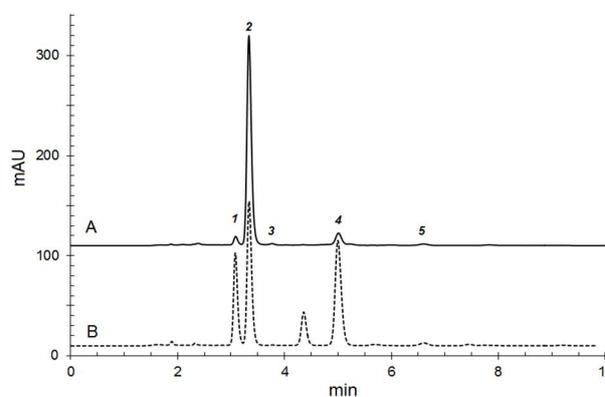


Рис. 2. Разделение антоцианов цветков сирени (А) на фоне разделения антоцианов плодов черной смородины (В)

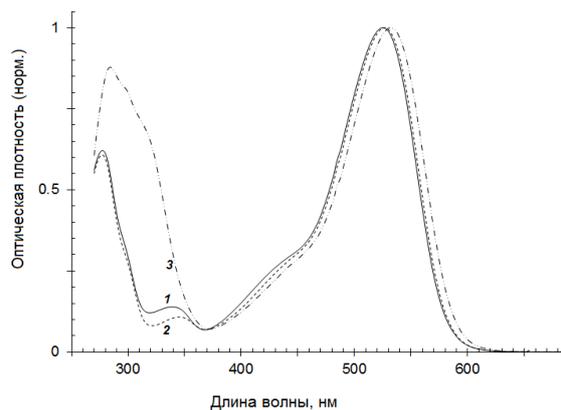


Рис. 3. Электронные спектры поглощения дельфинидин-3-рутинозида (1), мальвидин-3-глюкозида (2) и мальвидин-3-(6''-пара-кумаройлглюкозида) (3)

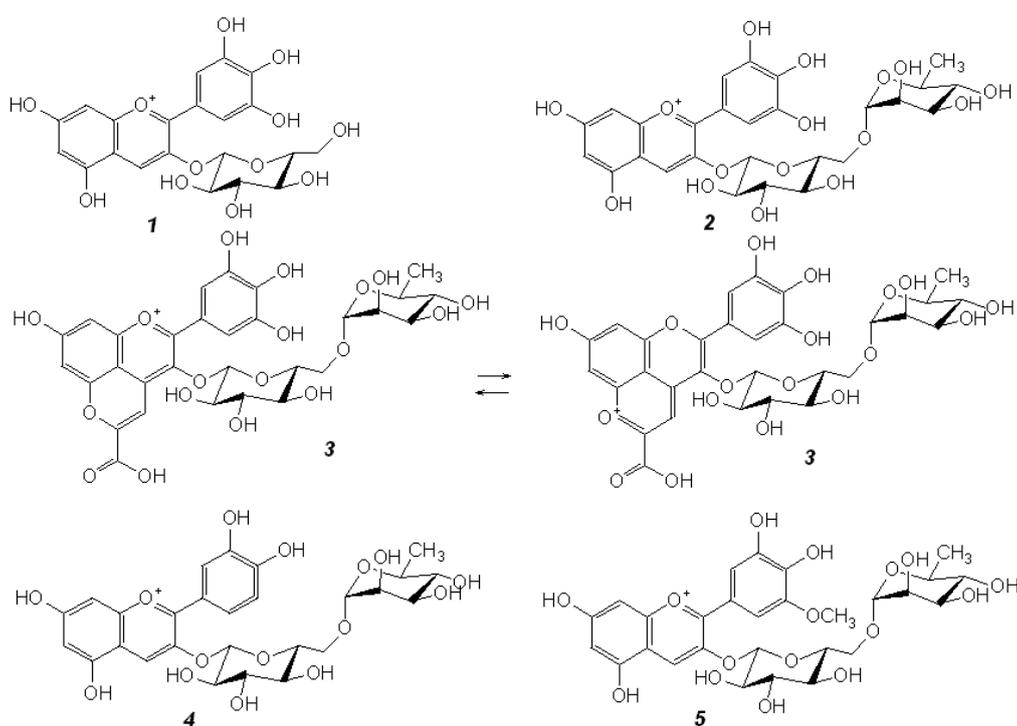


Рис. 4. Антоцианы экстрактов цветков сирени (номера соответствуют нумерации пиков на рисунках 1 и 2)

Таблица 2. Видовой состав антоцианов экстракта цветков девяти образцов сирени

Номер образца	Доля среди антоцианов*, моль %, ± 0.1 %				
	Dp3G	Dp3R	Dp-пуг	Cy3R	Pt3R
1	2.4	87.7	1.0	8.9	<0.2
2	0.9	87.4	1.7	8.1	2.0
3	<0.2	80.3	<0.2	19.6	<0.2
4	2.7	88.9	<0.2	6.7	1.8
5	1.7	90.0	0.5	6.3	1.4
6	2.6	86.5	0.5	6.8	1.1
7	2.2	90.3	<0.1	6.1	1.4
8	3.5	84.0	0.4	8.6	1.5
9	2.9	88.3	0.6	6.0	1.3

* – рассчитано по площадям пиков на хроматограммах.

Выводы

Таким образом, в работе впервые показано и доказано, что основным антоцианом цветков сирени в исследованных в работе образцах является дельфинидин-3-рутинозид; в меньших количествах цветки содержат цианидин-3-рутинозид и дельфинидин-3-глюкозид, и также могут содержать петунидин-3-рутинозид и пираноантоциан на основе производного дельфинидина.

Список литературы

1. Tóth G., Barabás C., Tóth A., Kéry Á., Béni S., Boldizsár I., Varga E., Noszál B. Characterization of antioxidant phenolics in *Syringa vulgaris* L. flowers and fruits by HPLC-DAD-ESI-MS // *Biomed. Chromatogr.* 2016. Vol. 30. Pp. 923–932. DOI: 10.1002/bmc.3630.
2. Деева А.М., Шабуня П.С., Фатыхова С.А., Зубарев А.В., Решетников В.Н., Спиридович Е.В. Содержание антоцианов в цветках сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) // *Физиология растений.* 2022. Т. 69. №2. С. 161–170. DOI: 10.31857/S001533032202004X.
3. Deineka V.I., Sidorov A.N., Deineka L.A., Kostenko M.O., Blinova I.P. Estimating the Solubility of Anthocyanins Using Cartridges for Solid-Phase Extraction // *Russ. J. Phys. Chem. A.* 2016. Vol. 90. N4. Pp. 861–863. DOI: 10.1134/S0036024416040075.
4. Welch C.R., Wu Q., Simon J.E. Recent Advances in Anthocyanin Analysis and Characterization // *Curr. Anal. Chem.* 2008. Vol. 4. Pp. 75–101. DOI: 10.2174/157341108784587795.
5. Khoo H.E., Azlan A., Tang S.T., Lim S.M. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits // *Food Nutr. Res.* 2017. Vol. 61. Article 1361779. DOI: 10.1080/16546628.2017.1361779.
6. Fossen T., Cabrita L., Andersen Ø.M. Colour and stability of pure anthocyanins influenced by pH including the alkaline region // *Food Chem.* 1998. Vol. 63. N4. Pp. 435–440. DOI: 10.1016/S0308-8146(98)00065-X.
7. Castañeda-Ovando A., Pacheco-Hernández M., Páez-Hernández M.E., Rodríguez J.A., Galán-Vidal C.A. Chemical studies of anthocyanins: A review. // *Food Chem.* 2009. Vol. 113. Pp. 859–871. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.09.001
8. Deng R.-X., Yuan H., Liu P., Yin W.-P., Wang X.-S., Zhao T.-Z. Chemical constituents from *Syringa pubescens* Turcz // *Biochem. System. Ecol.* 2010. Vol. 38. Pp. 813–815. DOI: 10.1016/j.bse.2010.08.004.
9. Su G., Cao Y., Li C., Yu X., Gao X., Tu P., Chai X. Phytochemical and pharmacological progress on the genus *Syringa* // *Chem. Central J.* 2015. Vol. 9. Article 2. DOI: 10.1186/s13065-015-0079-2.
10. Woźniak M., Michalak B., Wyszomierska J., Dudek M.K., Kiss A.K. Effects of Phytochemically Characterized Extracts From *Syringa vulgaris* and Isolated Secoiridoids on Mediators of Inflammation in a Human Neutrophil Model // *Front Pharmacol.* 2018. Vol. 9. Article 349. DOI: 10.3389/fphar.2018.00349.
11. Mlecek J., Rop O. Fresh edible flowers of ornamental plants e A new source of nutraceutical foods // *Trends Food Sci. Technol.* 2011. Vol. 22. Pp. 561–569. DOI: 10.1016/j.tifs.2011.04.006
12. Deineka V.I., Sidorov A.N., Chulkov A.N., Deineka L.A. Peculiarities of the Mass Spectrometric Detection of Anthocyanins in High-Performance Liquid Chromatograph // *J. Anal. Chem.* 2017. Vol. 72. N14. Pp. 1441–1445. DOI: 10.1134/S1061934817140040.
13. Giusti M.M., Wrolstad R.E. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy // *Curr. Prot. Food Anal. Chem.* 2001. Pp. F1.2.1–F1.2.13. DOI: 10.1002/0471142913.faf0102s00.
14. Дейнека Л.А., Шапошник Е.И., Гостищев Д.А., Дейнека В.И., Сорокопудов В.Н., Селеменев В.Ф. ВЭЖХ в контроле антоцианового состава плодов черной смородины // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2009. Т. 9. №4. С. 529–536.
15. Zhao Xu., He X.-M., Liud F., Duan C.-Q., He F. Intramolecular copigmentation in malvidin-3-O-(6-O-p-coumaryl)-glucoside: Insights from experimental and theoretical study // *Food Chem.* 2022. Vol. 391. Article 133255. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133255.
16. Harborne J.B. Spectral Methods of Characterizing Anthocyanins // *Biochem. J.* 1958. Vol. 70. Pp. 22–28. DOI: 10.1042/bj0700022.
17. Дейнека В.И., Саласина Я.Ю., Блинова И.П., Дейнека Л.А., Варушкина С.М., Чулков А.Н., Селеменев В.Ф. Определение влияния ацилирования антоцианов яблочной кислотой на удерживание в условиях обращенно-фазовой хроматографии // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2021. Т. 21. №2. С. 187–195. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3353.
18. He F., Liang N.-N., Mu L., Pan Q.-H., Wang J., Reeves M.J., Duan C.-Q. Anthocyanins and Their Variation in Red Wines II. Anthocyanin Derived Pigments and Their Color Evolution // *Molecules.* 2012. Vol. 17. Pp. 1483–1519. DOI: 10.3390/molecules17021483.

Поступила в редакцию 6 июля 2022 г.

После переработки 12 августа 2022 г.

Принята к публикации 28 марта 2023 г.

Для цитирования: Блинова И.П., Дейнека В.И., Саласина Я.Ю., Олейниц Е.Ю., Дейнека Л.А. Антоцианы цветков сирени *Syringa vulgaris* // *Химия растительного сырья.* 2023. №3. С. 127–132. DOI: 10.14258/jcprm.20230311638.

Blinova I.P.*, Deyneka V.I., Salasiina Ya.Yu., Oleynits Ye.Yu., Deyneka L.A. ANTHOCYANINS IN LILAC FLOWERS *SYRINGA VULGARIS*

Belgorod State National Research University, ul. Pobedy, 85, Belgorod, 308015 (Russia), e-mail: blinova@bsu.edu.ru

Anthocyanins from flowers of common lilac (*Syringa vulgaris* L.) of various color intensities and shades of lilac color from nine samples purchased at the Belgorod market were studied using reverse-phase high-performance liquid chromatography. To determine the structure of anthocyanins, we used the analysis of electronic absorption spectra recorded in the cuvette of a diode array detector and the analysis of mass spectra obtained by electrospray ionization with partial fragmentation. As a result, it was found that in all the studied samples the main component was delphinidin-3-rutinoside (84–90% by peak areas in the chromatogram). The level of cyanidin-3-rutinoside biosynthesis was significantly lower (6–19.6%). Among the minor compounds, delphinidin-3-glucoside and petunidin-3-glucoside were found. Among the unusual compounds, pyranoanthocyanin, built on the basis of delphinidin-3-rutinoside due to condensation with pyruvic acid, was found in a number of studied samples, but the reasons for its appearance have not yet been established. The total content of anthocyanins is low and amounts to 0.020–0.120 g per 100 g of fresh material (depending on the color intensity of the original plant material) in terms of cyanidin-3-glucoside. By drying flowers on a cut branch, air-dried material was obtained containing 0.100–0.300 g per 100 g of anthocyanins.

Keywords: anthocyanins, flowers, *Syringa vulgaris*, reversed-phase HPLC, electronic absorption spectra, mass spectrometry.

References

1. Tóth G., Barabás C., Tóth A., Kéry Á., Béni S., Boldizsár I., Varga E., Noszál B. *Biomed. Chromatogr.*, 2016, vol. 30, pp. 923–932. DOI: 10.1002/bmc.3630.
2. Deeva A.M., Shabunya P.S., Fatykhova S.A., Zubarev A.V., Reshetnikov V.N., Spiridovich E.V. *Fiziologiya rasteniy*, 2022, vol. 69, no. 2, pp. 161–170. DOI: 10.31857/S001533032202004X. (in Russ.).
3. Deineka V.I., Sidorov A.N., Deineka L.A., Kostenko M.O., Blinova I.P. *Russ. J. Phys. Chem. A*, 2016, vol. 90, no. 4, pp. 861–863. DOI: 10.1134/S0036024416040075.
4. Welch C.R., Wu Q., Simon J.E. *Curr. Anal. Chem.*, 2008, vol. 4, pp. 75–101. DOI: 10.2174/157341108784587795.
5. Khoo H.E., Azlan A., Tang S.T., Lim S.M. *Food Nutr. Res.*, 2017, vol. 61, article 1361779. DOI: 10.1080/16546628.2017.1361779.
6. Fossen T., Cabrita L., Andersen Ø.M. *Food Chem.*, 1998, vol. 63, no. 4, pp. 435–440. DOI: 10.1016/S0308-8146(98)00065-X.
7. Castañeda-Ovando A., Pacheco-Hernández M., Páez-Hernández M.E., Rodríguez J.A., Galán-Vidal C.A. *Food Chem.*, 2009, vol. 113, pp. 859–871. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.09.001
8. Deng R.-X., Yuan H., Liu P., Yin W.-P., Wang X.-S., Zhao T.-Z. *Biochem. System. Ecol.*, 2010, vol. 38, pp. 813–815. DOI: 10.1016/j.bse.2010.08.004.
9. Su G., Cao Y., Li C., Yu X., Gao X., Tu P., Chai X. *Chem. Central J.*, 2015, vol. 9, article 2. DOI: 10.1186/s13065-015-0079-2.
10. Woźniak M., Michalak B., Wyszomierska J., Dudek M.K., Kiss A.K. *Front Pharmacol.*, 2018, vol. 9, article 349. DOI: 10.3389/fphar.2018.00349.
11. Mlcek J., Rop O. *Trends Food Sci. Technol.*, 2011, vol. 22, pp. 561–569. DOI: 10.1016/j.tifs.2011.04.006
12. Deineka V.I., Sidorov A.N., Chulkov A.N., Deineka L.A. *J. Anal. Chem.*, 2017, vol. 72, no. 14, pp. 1441–1445. DOI: 10.1134/S1061934817140040.
13. Giusti M.M., Wrolstad R.E. *Curr. Prot. Food Anal. Chem.*, 2001, pp. F1.2.1–F1.2.13. DOI: 10.1002/0471142913.faf0102s00.
14. Deyneka L.A., Shaposhnik Ye.I., Gostishchev D.A., Deyneka V.I., Sorokopudov V.N., Selemenev V.F. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2009, vol. 9, no. 4, pp. 529–536. (in Russ.).
15. Zhao Xu, He X.-M., Liud F., Duan C.-Q., He F. *Food Chem.*, 2022, vol. 391, article 133255. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133255.
16. Harborne J.B. *Biochem. J.*, 1958, vol. 70, pp. 22–28. DOI: 10.1042/bj0700022.
17. Deyneka V.I., Salasina Ya.Yu., Blinova I.P., Deyneka L.A., Varushkina S.M., Chulkov A.N., Selemenev V.F. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2021, vol. 21, vol. 2, pp. 187–195. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3353. (in Russ.).
18. He F., Liang N.-N., Mu L., Pan Q.-H., Wang J., Reeves M.J., Duan C.-Q. *Molecules*, 2012, vol. 17, pp. 1483–1519. DOI: 10.3390/molecules17021483.

Received July 6, 2022

Revised August 12, 2022

Accepted March 28, 2023

For citing: Blinova I.P., Deyneka V.I., Salasiina Ya.Yu., Oleynits Ye.Yu., Deyneka L.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 3, pp. 127–132. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpr.20230311638.

* Corresponding author.