

СОДЕРЖАНИЕ АНТОЦИАНОВ В ЦВЕТКАХ СОРТОВ СИРЕНИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*SYRINGA VULGARIS* L.)

© 2022 г. А. М. Деева^а, **, П. С. Шабуня^б, С. А. Фатыхова^б,
А. В. Зубарев^а, В. Н. Решетников^а, Е. В. Спиридович^а, *

^аЦентральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

^бИнститут биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

*e-mail: a.spirydovich@gmail.com

**e-mail: alladzeeva@gmail.com

Поступила в редакцию 10.09.2021 г.

После доработки 10.10.2021 г.

Принята к публикации 11.10.2021 г.

Впервые методами высокоэффективной жидкостной хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией (HPLC-MS), и рН-дифференциальной спектрофотометрией проведено подробное изучение качественного и количественного состава антоцианового спектра цветков 14 сортов сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.), относящихся к разным цветовым группам интродуцированных образцов коллекции *in vitro* Центрального ботанического сада НАН Беларуси. На основании результатов хроматографических, спектральных анализов и сравнения их с аутентичными образцами, а также по литературным данным, антоцианы цветков сирени идентифицированы как кумарил-гексозиды или рутинозиды дельфинидина и цианидина. Все сорта условно можно поделить на три группы по наличию и содержанию производных дельфинидина и цианидина: не содержат (светлые цвета: белые, голубоватые); содержат только производные цианидина (темные цвета); содержат производные дельфинидина и цианидина (сложные цвета: розовато-лиловые, фиолетово-синие, лилово-фиолетовые). Установлено, что содержание антоцианов в зависимости от окраски варьирует, согласно HPLC, цветки либо совсем не содержат антоцианов, либо содержат их в пределах 0.32–3.80 мг/100 г сухого веса; согласно рН-дифференциальной спектрофотометрии, содержат антоциановые пигменты в количестве 0.03–3.71 мг/100 г сухого веса. Полученные данные пополняют информацию о документировании сортов сирени, их описание размещено в сеть Internet на страницах информационно-поисковой системы HBC-Info (<http://hbc.bas-net.by>).

Ключевые слова: *Syringa*, рН-дифференциальная спектрофотометрия, антоцианы, HPLC-MS, сирень, цветки

DOI: 10.31857/S001533032202004X

ВВЕДЕНИЕ

Представители рода сирень (*Syringa* L.) семейства Маслиновые (*Oleaceae*) широко распространены в различных регионах мира как декоративные растения [1]. Данные о количестве видов противоречивы: некоторые исследователи считают, что в Европе и в Азии распространено 40 видов сирени, по другим данным род *Syringa* L. включает 27 видов, 25 из которых происходят из Азии и только 2 (*Syringa vulgaris* L. и *Syringa josikaea* Jack.) – из юго-восточной Европы (Балкано-Карпатский регион) [2, 3].

Сокращения: HPLC-MS – высокоэффективная жидкостная хроматография, совмещенная с масс-спектрометрией, HPLC-UV-ESI-MS – высокоэффективная жидкостная хроматография с ультрафиолетовым детектором и масс-спектрометром с ионизацией электрораспылением, СВ – сухой вес.

В Европе и Северной Америке чаще всего выращивают листопадный кустарник сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.). Основная часть сортов (около трех тысяч по списку Международного общества сиреневодов) получена именно от этого вида. В коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси (ЦБС НАН Беларуси, Минск) собрано более 250 сортов. Сорта сирени отличаются между собой, прежде всего цветом, строением и размером цветков, а также другими морфологическими признаками. Условно все сирени делят на семь цветовых групп, в которые входят как темные, так и светлые тона одного и того же цвета: белые, фиолетовые, голубоватые, лиловые или сиреневые, розоватые, мажентовые, пурпурные сирени [4, 5]. Практически все сорта сирени отнесены к той или иной цветовой группе. Есть двуцветный сорт – “Сенсация”: у него по краям

пурпурных лепестков чисто-белая кайма. “Примроз” – настоящий желтый сорт.

Сирень широко используется в народной и традиционной медицине как противовоспалительное, адаптогенное и иммуномодулирующее средство, а также для лечения ревматоидного артрита, подагры, ревматизма и сахарного диабета [6–8]. Имеются данные, что цветки сирени используют в пищу [9]. В доступной литературе основное внимание уделяется фенольному профилю коры и листьев как источнику фармацевтического сырья [10–12], и, в то же время, в доступной литературе можно найти лишь несколько работ, описывающих химический состав цветков. Ученые из Венгрии и Румынии в своем исследовании впервые определили полифенольный состав цветков и плодов сирени. Было идентифицировано тридцать четыре фенольных соединения, включая восемнадцать секоиридоидов, семь фенилпропаноидов, четыре флавоноида и пять низкомолекулярных фенолов. В результате количественного анализа было подтверждено, что цветки содержат значительные количества фенилэтаноидов (актеозид, 2.48%; эхинакозид, 0.75%) и олеуропеин (0.95%), а в плодах секоиридоид олеуропеин (1.09%) и нуженид (0.42%) являются основными вторичными метаболитами [13]. Однако данное исследование не показало наличия антоциановых пигментов в цветках сирени, что было объяснено тем, что антоцианы накапливаются в цветках исключительно в клетках наружного эпидермального слоя лепестков, что приводит к очень низкому их содержанию в пересчете на массу цветка. Кроме того, антоцианы – это нестабильные соединения, которые могли деградировать при обработке образцов. В то же время авторами работы было высказано предположение, что антоцианы должны присутствовать в цветках из-за их характерного пурпурного цвета.

Целью нашей работы было исследование антоцианового спектра 14 сортов сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.), относящихся к разным цветовым группам, методами HPLC-MS и pH-дифференциальной спектрофотометрии.

В настоящее время исследование антоцианового комплекса хозяйственно-ценных растений приобретает важную значимость в свете значительного прогресса в селекции растений с использованием методов геномной инженерии, что позволит прогнозировать и получать новые высокодекоративные сорта разной окраски [14, 15]. В связи со спросом на культуру сирени как декоративного и лекарственного растения, наряду с молекулярно-генетическими методами документирования коллекционного материала, необходима разработка надежных биохимических методов классификации сирени на основе исследований антоцианового спектра для установления чистосортности, обнаружения фальсификации и др.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы цветков 14 сортов сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) коллекции *in vitro* ЦБС НАН Беларуси, относящихся к разным цветовым группам, были собраны в центральной агроклиматической зоне республики в июне 2020 г. (рис. 1). Собранные гербарные образцы приведенных в статье сортов сирени обыкновенной депонированы в гербарии Центрального ботанического сада НАН Беларуси (MSKH). Эксперименты выполняли в пяти аналитических повторностях.

Подготовка проб для HPLC-UV-ESI-MS анализа. Для проведения анализа было отобрано по 100 г свежих цветков сирени каждого сорта, из них для экстракции отбирались навески по 5 г, которые экстрагировали 50 мл экстрагента (этиловый спирт – вода в соотношении по объему 4 : 1). Экстракцию проводили в течение 30 минут ультразвуком (SONOPULS HD 2200). Затем пробы оставляли на 16 часов при температуре +4°C. Полученные экстракты центрифугировали при 5500 g в течение 10 минут (центрифуга Sigma 3–18k) и сохраняли при температуре +4°C до проведения измерений.

Аликвоты (5 мл) каждого экстракта перед анализом были упарены в токе азота досуха. Затем осадки были растворены в смеси (500 мкл метанола + 200 мкл воды деионизованной). Полученные растворы фильтровали в хроматографические вials через шприцевой фильтр из регенерированной целлюлозы (Econofilter, Германия) с размером пор 0.45 мкм и использовали для анализа.

HPLC-UV-ESI-MS. Анализ проводили на хроматографе Agilent 1200 (Agilent, США), оснащенном тандемным масс-спектрометром Agilent 6410 Triple Quad (Agilent, США) и UV-детектором Agilent G1315C (Agilent, США). Пробу в объеме 5 мкл наносили на колонку Agilent Zorbax Eclipse Plus C18 (3.0 × 100 мм, 1.8 мкм; Agilent, США). Температура колонки составляла 25°C, объемная скорость потока подвижной фазы – 0.25 мл/мин. В качестве подвижной фазы использовали 5% (по объему) раствор муравьиной кислоты в воде (растворитель А) и 100% ацетонитрил (растворитель Б). В процессе анализа состав подвижной фазы менялся следующим образом (Б, % по объему): 0–20 мин. – 6 → 23.5%, 20–25 мин. – 23.5%, 25–30 мин. – 23.5 → 45%, 30–32 мин. – 45%, 32–35 мин. – 45 → 75%. Анализ осуществляли в режиме детектирования положительных и отрицательных ионов (диапазон m/z 100–2000). Параметры источника ионизации: температура осушающего газа +350°C; скорость потока осушающего газа 9 л/мин; давление на распылителе 30 psi; напряжение на капилляре 3000 вольт. В режиме сканирования общего ионного тока напряжение на фрагменторе составило 150 вольт (положительные ионы) и 220 вольт (отрицательные ионы).



Рис. 1. Сорты сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris*) разных цветковых групп: а – “Флора”, б – “Радж Капур”, в – “Сумерки”.

Для установления предполагаемой структуры антоцианов использовали режим получения дочерних ионов при напряжении на фрагменторе 150 вольт и энергии в ячейке соударений 20 вольт. Обработку полученных результатов производили с помощью программ Agilent Mass Hunter Workstation Software version B.01.03 и Agilent ChemStation (Agilent Technologies Inc., USA).

Для количественного анализа антоцианов использовали хроматограммы, зарегистрированные при длине волны 510 нм. Сток-растворы стандартов дельфинидин-3-галактозида ($\geq 95\%$ HPLC, Extrasynthese, Франция) и цианидин-3-О-глюкозид хлорида ($\geq 96\%$ HPLC, Extrasynthese, Франция) готовили в концентрациях 2 мг/мл в метаноле. Концентрации градуировочных растворов были в диапазоне от 5 до 20 мкг/мл. Полученные калибровочные прямые были линейны в указанном диапазоне концентраций (коэффициенты корреля-

ции > 0.99). Производные дельфинидина обесчистывали по калибровке дельфинидин-3-галактозида, производные цианидина – цианидин-3-О-глюкозид хлорида [16].

Количественное определение суммарного содержания антоциановых пигментов было проведено методом рН-дифференциальной спектрофотометрии [17]. Готовили по два разбавления каждого экстракта с использованием буферных растворов № 1 и № 2. Раствор № 1: рН 1.0 (0.405 мг хлорида калия и 1.238 мл концентрированной соляной кислоты доводят до 100 мл дистиллированной водой). Раствор № 2: рН 4.5 (1.64 г натрия ацетата растворяют в 100 мл дистиллированной воды и доводят рН до 4.5 концентрированной соляной кислотой). Оптическую плотность полученных растворов измеряли при 510 и 700 нм на спектрофотометре Agilent 8453. Расчет суммы антоцианов (S) проводили по формуле:

$$S = \frac{[(A_{510 \text{ pH}1.0} - A_{700 \text{ pH}1.0}) - (A_{510 \text{ pH}4.5} - A_{700 \text{ pH}4.5})]MMF}{EIC} \times 100$$

где $A_{510 \text{ pH}1.0}$; $A_{700 \text{ pH}1.0}$ – оптические плотности разбавленных экстрактов в растворе 1; $A_{510 \text{ pH}4.5}$;

$A_{700 \text{ pH}4.5}$ – оптические плотности разбавленных экстрактов в растворе 2; MM – молекулярная масса

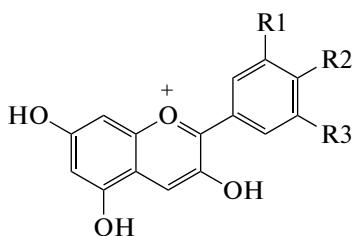


Рис. 2. Химическая структура антоцианидинов.

цианидин-3-глюкозида (449.2); F – коэффициент разведения; E – коэффициент молярной экстинкции для цианидин-3-глюкозида (26900); l – длина оптического пути, см; C – концентрация приготовленного раствора образца в пересчете на сухую массу цветков сирени (содержание влаги в цветках в среднем – 15.2%).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Разнообразие цветочной окраски обусловлено наличием различных пигментов. Цветочные пигменты варьируют у разных видов растений в зависимости от состава вторичных метаболитов, таких как флавоноиды, каротиноиды и хромоалкалоиды – бета-лаины, из которых флавоноиды являются доминирующими соединениями [16]. Антоцианидины (включая пеларгонидин, цианидин, дельфинидин, пеонидин, петунидин и мальвидин) в органах цветков растений являются основными флавоноидами, определяющими окраску цветка (рис. 2, табл. 1) [18].

Экстракт цветков каждого сорта был проанализирован методом HPLC с масс-спектрометрическим и диодно-матричным детекторами для обнаружения и идентификации антоцианов. Для поиска веществ антоциановой природы были записаны хроматограммы при длине волны 510 нм, которая входит в специфичную область поглощения антоцианов (510–530 нм). На хроматограммах различных сортов сирени было обнаружено

Таблица 1. Химические структуры и молекулярные массы антоцианидинов*

Антоцианидин	*R1	R2	R3	Молекулярная масса, г/моль
Цианидин	H	ОН	H	287
Пеонидин	OCH ₃	ОН	H	301
Дельфинидин	ОН	ОН	ОН	303
Петунидин	OCH ₃	ОН	ОН	317
Мальвидин	OCH ₃	ОН	OCH ₃	331
Пеларгонидин	H	ОН	H	271

Примечание: *R – функциональная группа (см. рис. 2).

два пика с UV-спектрами, где основной максимум поглощения находится в области 510 нм, что позволяет отнести эти вещества к группе антоцианов. При этом следует отметить, что различные сорта сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) характеризовались либо наличием обоих компонентов в разных соотношениях, либо отсутствием одного или обоих компонентов (рис. 3).

Для определения молекулярной массы найденных веществ экстракты были проанализированы с помощью HPLC-MS в режимах генерации положительных и отрицательных ионов. Анализ масс-спектров показал, что вещество с временем удерживания около 13.7 минут имеет молекулярную массу 610 Да: в масс-спектрах при положительной ионизации присутствует ион протонированная молекула $[M + H]^+$ с m/z 611, в отрицательных – депротонированный молекулярный ион $[M - H]^-$ с m/z 609. Вещество с временем удерживания около 16.4 минут имеет молекулярную массу 594 Да: в масс-спектрах при ионизации в положительных ионах присутствует ион с m/z 595, в отрицательных – 593 (рис. 4).

Для идентификации обнаруженных антоцианов были записаны хроматограммы в режиме получения дочерних ионов из m/z 611 и 595 Да. При анализе полученных масс-спектров (рис. 5) отмечено появление ионов, обусловленных следующей фрагментацией исходных молекул: $[M + H - 146]^+$ и $[M + H - 146 - 162]^+$. Последний фрагмент по величине m/z соответствует остатку агликона: ион с массой 303 Да – остаток агликона дельфинидин, с массой 287 Да – агликона цианидин. Потеря фрагмента 162 Да характерна при отщеплении дегидратированной гексозы. Фрагмент молекулы с нейтральной потерей 146 Да может образовываться при отщеплении либо дегидратированной рамнозы, либо дегидратированного остатка кумаровой кислоты.

Для гликозидов антоцианов на колонках C18 характерен определенный порядок выхода в зависимости от количества и строения сахаров в углеводной части [19]. Тригликозиды выходят раньше, чем дигликозиды, а дигликозиды элюируются раньше, чем моногликозиды. Также отмечено, что рутинозиды (углеводная часть состоит из глюкозы и рамнозы) и ацилированные формы гликозидов имеют большее время удерживания, чем моноглюкозиды [20]. Анализируемые нами экстракты сравнивали со стандартами моногексозидов дельфинидина и цианидина. Обнаруженные в экстрактах антоцианы имели более позднее время удерживания по сравнению со стандартами. Принадлежность обнаруженных веществ к ацилированным формам можно установить по характерным особенностям спектров поглощения, но присутствие в экстракте большого количества других веществ и низкие концентрации антоциа-

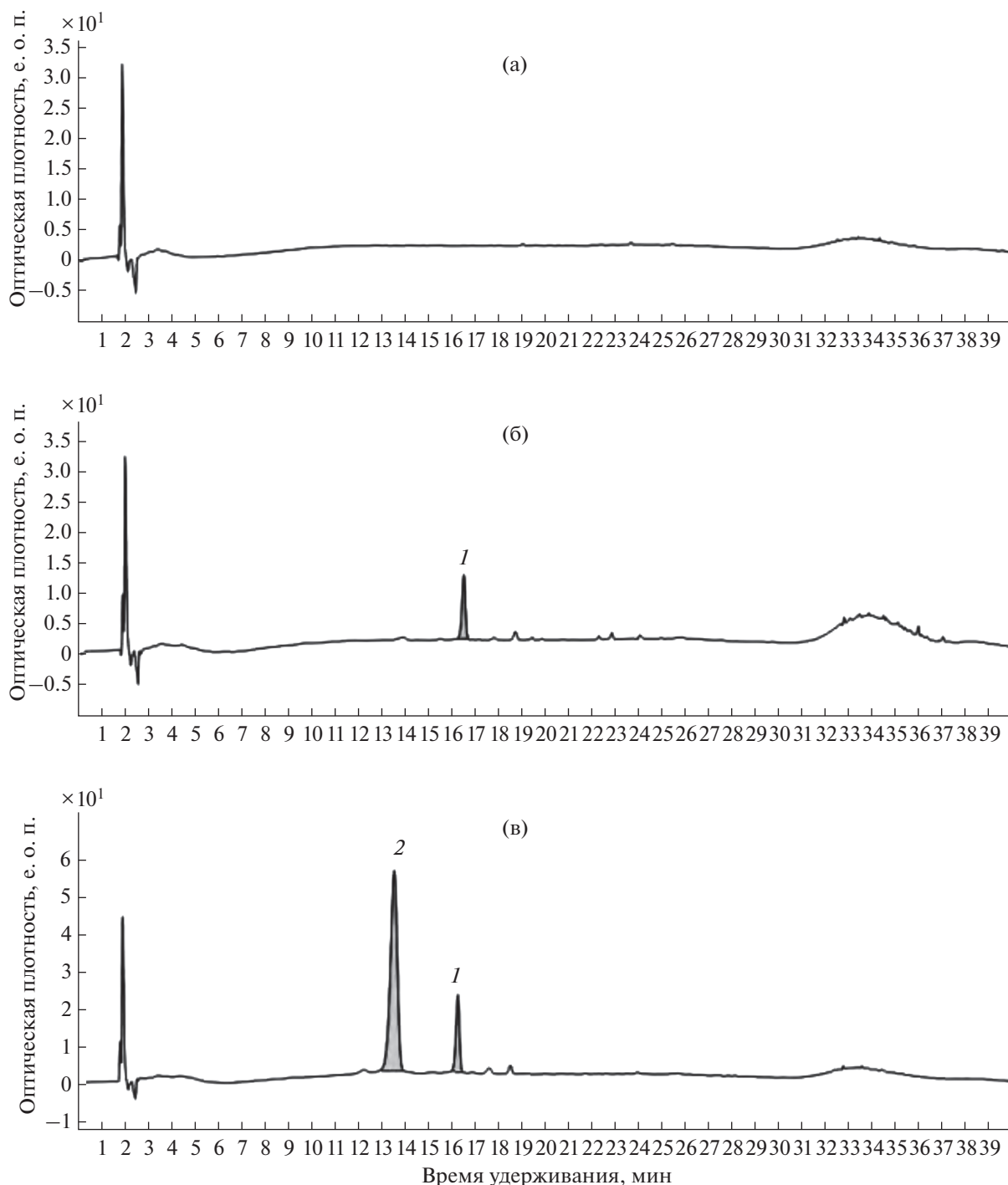


Рис. 3. HPLC-UV хроматограммы экстрактов цветков различных сортов *Syringa vulgaris* ($\lambda = 510$ нм): а – сорт “Флора”; б – сорт “Никитская”; в – сорт “Перлес Пинк”. 1 – производное цианидина (время удерживания около 16.4 мин), 2 – производное дельфинидина (время удерживания около 13.7 мин).

нов не позволили получить чистый спектр. Таким образом, обнаруженные антоцианы могут относиться либо к рутинозидам, либо к кумарил-гексозидам дельфинидина и цианидина.

Параллельно было рассчитано общее количество антоцианов путем суммирования концен-

траций отдельных веществ, вычисленных по методу внешней калибровки при HPLC-анализе в пересчете на цианидин-3-О-глюкозид хлорид и дельфинидин-3-галактозид (табл. 2). Установлено, что коэффициент корреляции между содержанием антоциановых пигментов, измеренных

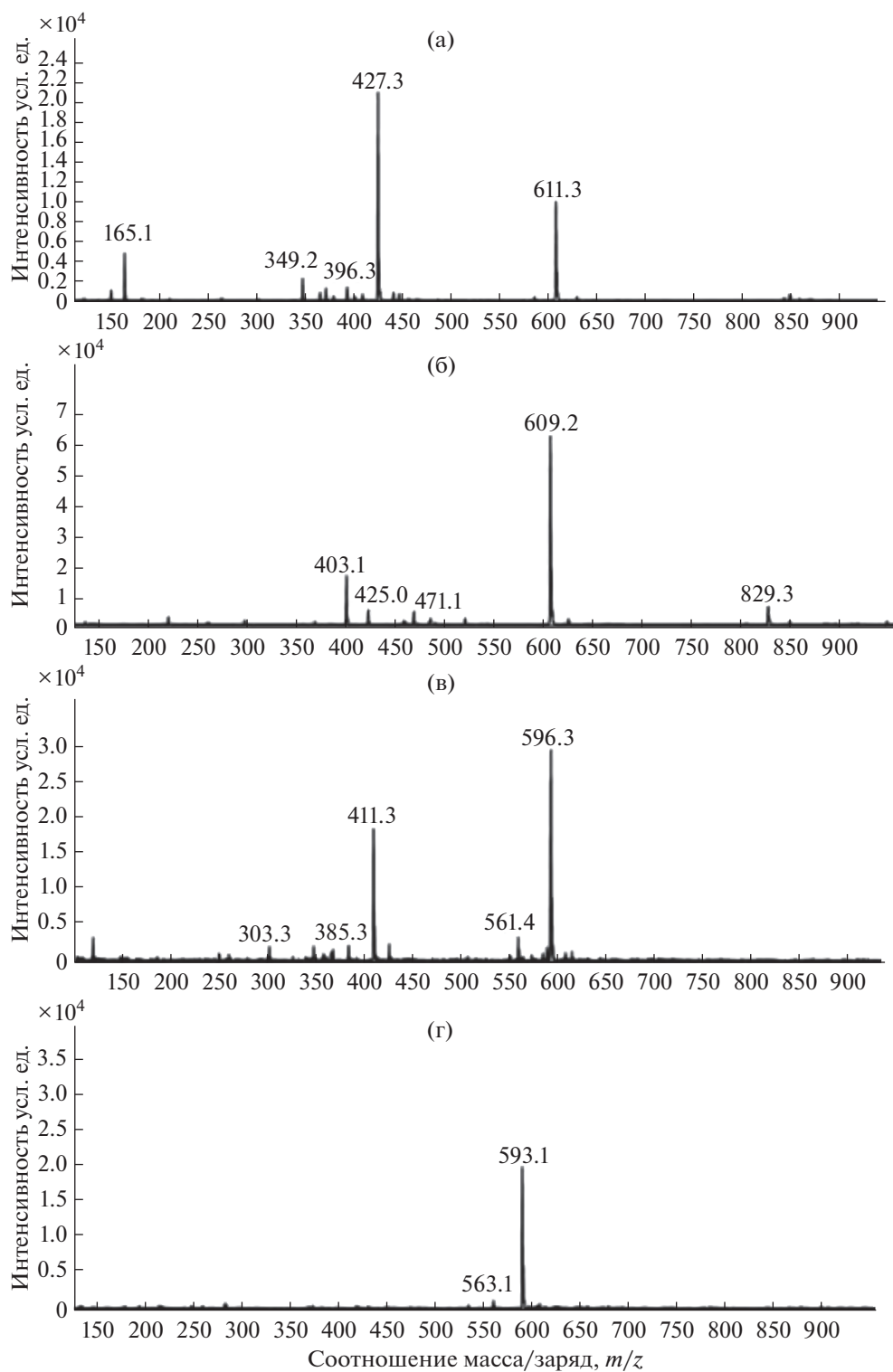


Рис. 4. Масс-спектры для веществ с молекулярной массой 610 (а, б) и 594 (в, г) Да на примере сорта “Перлес Пинк”. а, в – масс-спектры в режиме положительной ионизации (ионы с m/z 611 и 595 соответствуют $[M + H]^+$); б, г – масс-спектры в режиме отрицательной ионизации (ионы с m/z 609 и 593 соответствуют $[M - H]^-$).

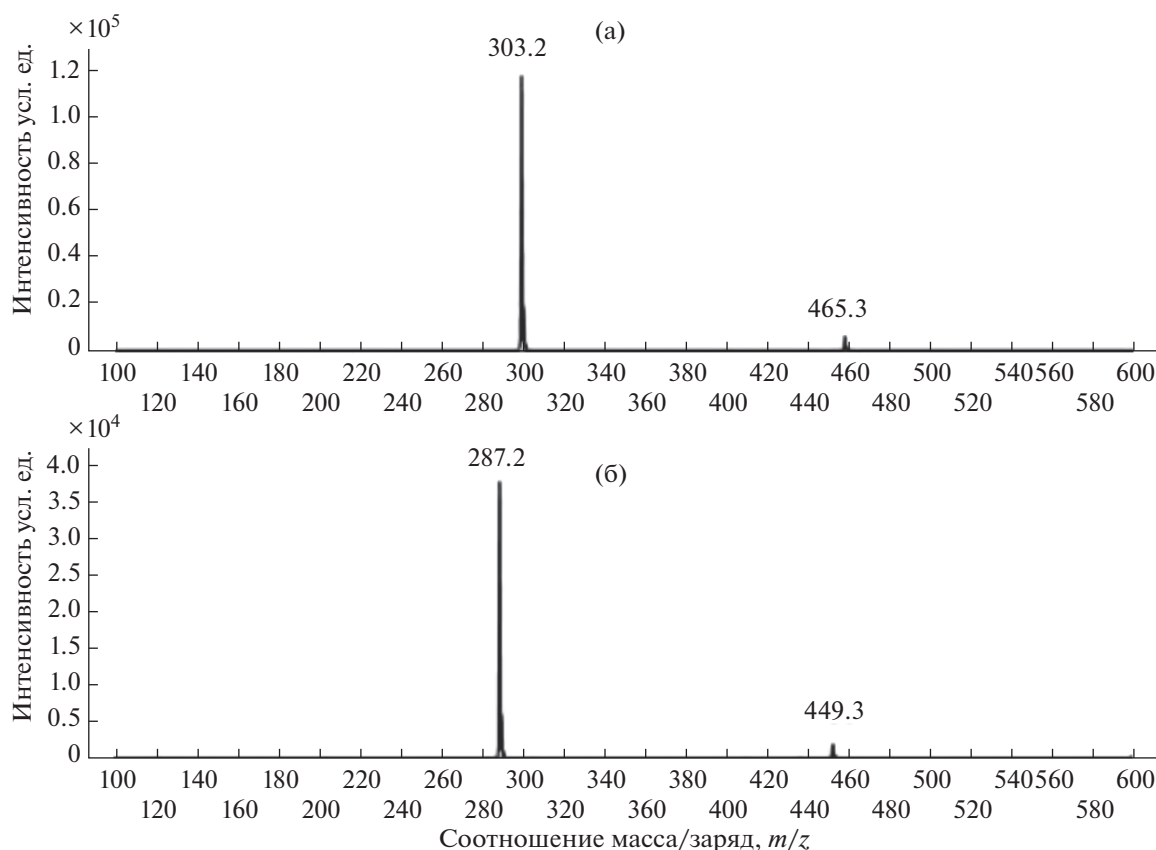


Рис. 5. Масс-спектры в режиме получения дочерних ионов из m/z 611 (А) и 595 (Б) на примере сорта “Перлес Пинк”. Ионы с m/z 303.2 соответствуют фрагменту $[M + H - 146 - 162]^+$; с m/z 465.3 – $[M + H - 146]^+$; с m/z 287.2 – $[M + H - 146 - 162]^+$; с m/z 449.3 – $[M + H - 146]^+$.

методом HPLC с UV-детектором и содержанием антоцианов, определенных методом рН-дифференциальной спектрофотометрии в пересчете на цианидин-3-глюкозид, составляет 0.99, что достоверно при данном количестве сравниваемых пар значений с уровнем значимости $P < 0.05$. Была проведена статистическая обработка результатов – ошибка среднего для всех средних значений концентраций не превышала 5%. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования метода рН-дифференциальной спектрофотометрии в качестве достоверной оценки общего содержания антоцианов в цветках сирени.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные позволяют все изученные сорта сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) условно поделить на три группы по наличию и соотношению производных дельфинидина и цианидина (табл. 2). Сорта “Флора”, “Ами Шотт”, “Жемчужина”, “Андрюша Громов”, “Абель Карьер”, “Петр Кончаловский” можно выделить в I группу, характеризующуюся очень низким суммарным содержанием антоцианов от 0.03 (сорт

“Флора”) до 0.29 (сорт “Петр Кончаловский”) мг/100 г СВ, определяемым методом рН-дифференциальной спектрофотометрии, которое коррелирует с интенсивностью окраски от белой до голубовато-лиловой. Сорта 2 группы: “Никитская”, “Поль Арно”, “Франк Петерсон”, “Радж Капур” отличаются наличием производных только цианидина с суммарным содержанием антоцианов в пределах от 0.42 (“Никитская”) до 1.19 (“Радж Капур”) мг/100 г СВ (по методу рН-дифференциальной спектрофотометрии), соответствующие окраске от лиловой до фиолетово-пурпурной. В экстрактах цветков сортов 3 группы (“Михаил Шолохов”, “Сумерки”, “Перлес Пинк”, “Павлинка”) были обнаружены производные как цианидина, так и дельфинидина, при этом суммарное содержание антоцианов в сортах с фиолетово-синей окраской цветков достигало значения 3.71 мг/100 г СВ (сорт “Павлинка”). Надо отметить, что в отличие от метода HPLC-MS метод дифференциальной рН-спектрофотометрии позволил определить даже незначительные количества антоцианов в экстрактах цветков первой группы. Это можно объяснить тем, что в данном случае определяется суммарное содержание всех антоциановых пигментов, а не ин-

Таблица 2. Содержание антоцианов в экстрактах цветков сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) исследуемых сортов, мг/100 г СВ

Окраска цветков	Название сорта	Содержание в экстракте, определенное методом HPLC			Содержание в экстракте, определенное методом рН-дифференциальной спектрофотометрии	
		производное дельфинидина	производное цианидина	суммарное		
Светлые цвета: от зеленовато-белого до голубого	“Флора”	–	–	–	0.03–min	Группа 1
	“Ами Шотт”	–	–	–	0.11	
	от лилово-розового до розовато-белого	–	–	–	0.17	
	От нежно голубоватого тона с лиловыми тенями	–	–	–	0.22	
	до голубовато-лилового	–	–	–	0.27	
	“Петр Кончаловский”	–	–	–	0.29	
Темные цвета: От лилового	“Никитская”	–	0.31	0.31–min	0.42	Группа 2
	“Поль Арно”	–	0.43	0.43	0.57	
	До фиолетово-пурпурного	–	0.97	0.97	1.07	
		“Радж Капур”	–	1.04	1.04	
Сложные цвета: от розовато-лилового до фиолетово-синего	“Михаил Шолохов”	0.67	0.41	1.09	1.31	Группа 3
	“Сумерки”	1.78	1.03	2.79	3.00	
	“Перлес Пинк”	2.66	0.56	3.22	3.41	
	“Павлинка”	2.29	1.50	3.79–max	3.71–max	

дивидуальных веществ. Тогда как методом HPLC-MS рассчитывается отдельно содержание двух индивидуальных компонентов. При сопоставлении экспериментальных данных (табл. 2) обнаруживаются следующие тенденции: исследованные сорта были разделены условно на три группы по доле вклада обнаруженных антоцианов дельфинидинового или цианидинового ряда: **группа 1** – низко антоциановая – незначительное количество антоцианов обнаружено методом рН-дифференциальной спектрофотометрии; **группа 2** – полностью цианидиновая; **группа 3** – высокоантоциановая, в цветках обнаружены антоцианы обоих рядов с преобладанием компонентов дельфинидинового ряда над компонентами цианидинового ряда. Подобное исследование проведено в работе по винограду, где на основе анализа схем биосинтеза антоцианов предложено несколько критериев для дифференциации сортов и видов винограда по набору антоцианов, накапливающихся в плодах растений. Первый критерий оценивает активность флаваноид-гидроксидаз (F3'H и/или F3'S'H), разделяя все антоцианы на два ряда – дельфинидиновый и ци-

анидиновый; второй критерий оценивает активность метилтрансфераз, соответствия степени метилирования антоцианов [21].

Таким образом, в настоящей работе впервые проведено подробное хромато-масс-спектрометрическое и спектрофотометрическое изучение антоцианов в цветках 14 сортов сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.), относящихся к разным цветовым группам и интродуцированных на территории Беларуси. Проведено сравнение результатов, полученных методами HPLC-MS и рН-дифференциальной спектрофотометрии. Антоцианы цветков сирени идентифицированы как рутинозиды, либо как кумарил-гексозиды дельфинидина и цианидина. Наличие антоцианов обуславливает интенсивность окраски. Обнаруженные соединения антоцианов достаточно широко распространены среди разных таксонов растительного биоразнообразия [22–24], однако сообщений об их присутствии у сортов сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) в доступной литературе обнаружить не удалось. Изложенные результаты согласуются с известными в литерату-

ре данными об окраске цветков каллистифуса китайского или астры китайской (*S. Chinensis* (L.) Nees) – от красной до синей, что обусловлено биосинтезом антоцианов. Фиолетовая окраска цветков астр китайских обычно связана с биосинтезом производных дельфинидинового ряда и, действительно, в лепестках цветков сортов фиолетового цвета антоциановый состав определяется производными цианидина, к которым добавляются производные дельфинидина, либо производные дельфинидина становятся доминирующими антоцианами [21]. Исследование антоцианового комплекса современного растительного материала имеет большое значение в свете значительного прогресса в селекции растений, в т.ч. методами генной инженерии, что позволит прогнозировать и получать новые высокодекоративные сорта разной окраски. В связи с высокой актуальностью культуры сирени как декоративного растения, а также высокой востребованностью и эффективностью фармакологических субстанций из растительного сырья сирени, стоит задача строгой сертификации сортности коллекционного и посадочного материала и коллекций *in vitro* на основе современных генетических и биохимических методов. Создание паспорта сорта является стратегической необходимостью при оценке качества растительного материала: подтверждения сортности, стабильности генотипа при микроклональном размножении и количественное содержание антоцианов цветков сортов сирени может существенно дополнить этот раздел.

Работа выполнена при финансовой поддержке задания 06.02 ГПНИ “Природные ресурсы и окружающая среда”, подпрограмма “Биоразнообразие, биоресурсы, экология” на 2021–2025 годы.

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lendvay B., Pedryc A., Höhn M. Characterization of nuclear microsatellite markers for the narrow endemic *Syringa josikaea* Jacq. fil. ex Rchb // Not Bot Horti Agrobot Cluj Napoca. 2013. V. 41. P. 301.
2. Kim K.J., Jansen R.K. A chloroplast DNA phylogeny of lilacs (*Syringa*, *Oleaceae*): plastome groups show a strong correlation with crossing groups // Am. J. Bot. 1998. V. 85. P. 1338.
3. Li J., Goldman-Huertas B., DeYoung J., Alexander J. Phylogenetics and diversification of *Syringa* inferred from nuclear and plastid DNA sequences // Castanea. 2012. V. 77. P. 82.
4. Шуваева К.Н. Принципы идентификации и классификации сортов *Syringa vulgaris* L. по признакам строения венчика. Дис. ... канд. биол. наук. Москва: Гл. ботан. сад им. Н. В. Цицина РАН, 2012. 135 с.
5. Полякова Н.В. Оценка декоративности сирени (*Syringa* L.) / Н.В. Полякова, В.П. Путенихин // Аграрная Россия. 2013. С. 14.
6. Fedoseeva A., Lebedkova O., Kanibolotskaya L., Shendrik A., Dudzinskaya V., Tkachenko L., Shineva N. Composition and antiradical activity of lilac extracts // Pharm. Chem. J. 2011. V. 45. P. 91.
7. Berbecaru-Iovan A., Stanciulescu E.C., Berbecaru-Iovan S., Andrei A.M., Ceausu I., Pisoschi C.G. Study regarding the antioxidant and antidiabetic activity of *Syringae vulgaris* flos f. *Violacea* tincture in experimental diabetes // Farmacia. 2014. V. 62. P. 1072.
8. Su G., Cao Y., Li C., Yu X., Gao X., Tu P., Chai X. Phytochemical and pharmacological progress on the genus *Syringa* // Chem. Cent. J. 2015. V. 9 (1). P. 2.
9. Mlcek J., Rop O. Fresh edible flowers of ornamental plants – a new source of nutraceutical foods // Trends Food Sci Technol. 2011. V. 22. P. 561.
10. Kurkin V., Grinenko N., Zapesochnaya G., Dubichev A., Vorontsov E. TLC and HPLC analysis of syringin in *Syringa vulgaris* // Chem Nat Compd. 1992. V. 28. P. 36.
11. Damtoft S., Franzzyk H., Jensen S.R. Biosynthesis of iridoids in *Syringa* and *Fraxinus*: secoiridoid precursors // Phytochemistry. 1995. V. 40. P. 773.
12. Ahmad M., Rizwani G.H., Aftab K., Ahmad V.U., Gilani A.H., Ahmad S.P. Acteoside: a new antihypertensive drug // Phytother Res. 1995. V. 9. P. 525.
13. Toth G., Barabas C., Toth A., Kery A., Beni S., Boldizsar I., Varga E., Noszal B. Characterization of antioxidant phenolics in *Syringa vulgaris* L. flowers and fruits by HPLC-DAD-ESI-MS // Biomed. Chromatogr. 2016. V. 30. P. 923.
14. Раткин А.В., Тарасов В.А. Генетический контроль биосинтеза антоцианов в цветках горошка душистого (*Lathyrus odoratus* L.) // Генетика. 2010. Т. 46. С. 488.
15. Passeri V., Koes R., Quattrocchio F.M. New challenges for the design of high value plant products: stabilization of anthocyanins in plant vacuoles // Front. Plant Sci. 2016. P. 1. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00153>
16. Huang J.X., Wang L.S., Li X.M., Lu Y.Q. Advances in molecular basis and evolution of floral color variation // Chin Bull Bot. 2006. V. 23. P. 321.
17. Гомтух М.Б., Таулицкий В.Н. Определение качественного и количественного состава антоциановых пигментов в составе биологически активных добавок с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) // Рус. мед. журн. 2007. Т. 8. http://www.rmj.ru/articles_5604.htm
18. Martin C., Prescott A., Mackay S., Bartlett J., Vrijlandt E. Control of anthocyanin biosynthesis in flowers of *Antirrhinum majus* // Plant J. 1991. V. 1. P. 37.
19. Zheng J., Hu Z., Guan X., Dou D., Bai G., Wang Y., Guo Y., Li W., Leng P. Transcriptome analysis of *Syringa oblata* Lindl. inflorescence identifies genes associated with pigment biosynthesis and scent metabolism // PLoS ONE. 2015. V. 10. P. 20.
20. Durst R.W., Wrolstad W.E. Separation and characterization of anthocyanins by HPLC // <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0103s00>

21. Дейнека Л.А., Литвин Ю.Ю., Дейнека В.И. Критерии для классификации винограда по антоциановому комплексу плодов // Региональные геосистемы. 2008. Т. 47: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-dlya-klassifikatsii-vinograda-po-antotsianovomu-kompleksu-plodov>.
22. Кульченко Я.Ю., Дейнека В.И., Чулков А.Н., Сидоров А.Н., Дейнека Л.А., Селеменов В.Ф. Определение антоцианов лепестков астр китайских, *Callistephus chinensis*, методом обращенно-фазовой ВЭЖХ// Сорбционные и хроматографические процессы. 2018. Т. 18. С. 588.
23. Дейнека В.И., Кульченко Я.Ю., Олейниц Е.Ю., Дейнека Л.А., Варушкина С.М., Чулков А.Н., Селеменов В.Ф. Использование ВЭЖХ при определении антоцианов цветков растений семейства *Malvaceae* // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. Т. 20. С. 150. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2020.20/2769>
24. Тыняная И.И. Разделение, концентрирование и анализ антоцианов и бетацианинов в экстрактах растительного сырья с применением оптических и хроматографических методов. Дис. ... канд. хим. наук. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2016. 135 с.