

Научная статья
УДК 634.1.054: 581.19
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-48-56



Состав и содержание антоцианов в плодах жимолости в условиях Томской области

Л. Н. Зибарева¹, Е. С. Филоненко¹, С. А. Сучкова¹, Н. В. Савенкова², А. И. Никитин³

¹ Сибирский ботанический сад Томского государственного университета, Томск, Россия

² ОГУП «Бакчарское», Томская область, Россия

³ ООО ТПК «САВА», Томск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лариса Николаевна Зибарева, zibareva.lara@yandex.ru

Актуальность изучения плодов жимолости обусловлена их высокой антиоксидантной активностью по сравнению с другими плодами и повышенным вниманием к антоцианам в качестве мощного профилактического средства при различных заболеваниях, в том числе широко распространенных в мире – онкологических, сердечно-сосудистых.

Материалы и методы. Плоды жимолости собраны в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета, Бакчарском питомнике и питомнике ООО «САВА». Анализ антоцианов в свежих и замороженных плодах проведен методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Результаты. В плодах сибирских сортов жимолости выявлены цианидин-3,5-ди-О-глюкозид, цианидин-3-О-глюкозид, в большинстве образцов – пеонидин-3-О-глюкозид, в некоторых – пеларгонидин-3-глюкозид. Показано, что изученные сорта содержат значительные уровни антоцианов, которые варьируют в интервале 199–843 мг/100 г. Учитывая низкую устойчивость плодов жимолости к хранению, для исследования брали материал до и после заморозки. Установлены особенности состава и содержания антоцианов в свежих и замороженных плодах. Проведено сравнение качественного и количественного состава антоцианов образцов Западно-Сибирского региона с литературными данными, полученными для плодов, выращенных в Белгородской области (Центрально-Черноземный район). При замораживании плодов жимолости уровень антоцианов в сортах сохраняется, а в некоторых сортах повышается.

Заключение. Результаты, полученные в данной работе, свидетельствуют о том, что плоды жимолости сортов Западно-Сибирского региона РФ являются перспективными источниками высокого содержания антоцианов.

Ключевые слова: плоды *Lonicera caerulea* L., антоцианы, сорта сибирской селекции, ВЭЖХ–ДМД

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2020-0019).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Зибарева Л.Н., Филоненко Е.С., Сучкова С.А., Савенкова Н.В., Никитин А.И. Состав и содержание антоцианов в плодах жимолости в условиях Томской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):48-56. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-48-56

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-48-56

Identification and quantification of anthocyanins in honeysuckle under the conditions of Tomsk Province

Larisa N. Zibareva¹, Elena S. Filonenko¹, Svetlana A. Suchkova¹, Nadezhda V. Savenkova², Andrey I. Nikitin³¹ Siberian Botanical Garden, Tomsk State University, Tomsk, Russia² Bakcharskoe State Enterprise, Tomsk Province, Russia³ SAVA Production Company, Tomsk, Russia**Corresponding author:** Larisa N. Zibareva, zibareva.lara@yandex.ru

Background. Honeysuckle is a promising berry crop for food and medical uses, which has recently become increasingly popular. Searching for sources with high content of bioactive substances to obtain new fruit cultivars with improved chemical composition continues to be relevant. Anthocyanin content and composition in honeysuckle cultivars depend on many factors, including plant reproduction conditions (temperature and humidity). Studying chemical composition of Siberian honeysuckle cultivars grown under the conditions of Western Siberia will make it possible to identify sources of high BAS content for various uses.

Materials and methods. The target materials of the study were fruits of 21 honeysuckle cultivars grown in Western Siberia before and after freezing. The qualitative and quantitative composition of anthocyanins was assessed in ethanol extracts of honeysuckle fruits using HPLC technique.

Results. The content of anthocyanins was higher in the fruits of honeysuckle grown in Western Siberia compared with the published data for the same cultivars reproduced in Belgorod Province (Central Black Earth Region). After freezing, the anthocyanin level in honeysuckle fruits remained the same and in some cases even increased.

Conclusions. The obtained data helped to ascertain that honeysuckle fruits reproduced in Western Siberia are valuable sources of such bioactive compounds as anthocyanins.

Keywords: fruit crops, *Lonicera caerulea* L., cultivars of Siberian breeding, anthocyanins, HPLC-DAD

Acknowledgements: the study was performed within the framework of the State Task delegated by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FSWM-2020-0019).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Zibareva L.N., Filonenko E.S., Suchkova S.A., Savenkova N.V., Nikitin A.I. Identification and quantification of anthocyanins in honeysuckle under the conditions of Tomsk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):48-56. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-48-56

Введение

Ценность плодов жимолости определяется не только содержанием витаминов А, С, Р, В, минералов, сахаров, но и содержанием продуктов вторичного метаболизма – флавоноидов, в том числе антоцианов. Эти фенольные гликозиды определяют окраску цветков, плодов, являются аттрактантами для насекомых и обуславливают их биологическую ценность. За последние десятилетия антоцианы плодов и ягод стали темой многочисленных исследований. Известно, что эти пигменты обладают высокой антиоксидантной активностью (Wang et al., 2016; Reshetnikov et al., 2017; Auzanneau et al., 2018; Molina et al., 2019), противовоспалительными, антимикробными, антиканцерогенными, гепатопротекторными свойствами (Fang, 2015; Molina et al., 2019).

Разнообразие антоцианов обусловлено количеством гидроксильных групп, природой и количеством присоединенных к молекуле сахаров, положением гликозирования, природой и количеством алифатических или ароматических кислот, присоединенных к сахарам. При всем их многообразии антоциановые соединения – производные лишь шести основных антоцианидинов: пеларгонидина, цианидина, пеонидина, дельфинидина, петунидина и мальвидина, которые отличаются боковыми радикалами.

Установлено, что антиоксидантная активность коррелирует с общим содержанием фенольных соединений, в том числе с антоцианами. Это весьма мощные антиоксиданты, обладающие большей эффективностью, чем, например, витамины С и Е (Lin et al., 2017; Bendokas et al., 2020). В ряде исследований показано, что умеренное потребление продукции с высоким содержанием антоцианов позволяет снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний (Lin et al., 2017; Grobelna et al., 2019). Высокая антиоксидантная активность плодов жимолости по сравнению с другими плодами – черники, ежевики, малины и красного винограда обуславливает повышенное к ним внимание в качестве мощного профилактического средства онкологических заболеваний, заболеваний сердечно-сосудистой системы (атеросклероза, инсульта, инфаркта и др.), болезни Альцгеймера, глазных болезней (глаукомы и катаракты) и др.

Известно, что на интенсивность синтеза антоцианов влияет широкий спектр стрессовых факторов окружающей среды (Makarevitch et al., 2010; Jaakola et al., 2004; Chalker-Scott, 2002). Стимулирование синтеза антоцианов связано с повышением устойчивости к охлаждению и замораживанию (Solecka, Casperska, 2003), загрязнению тяжелыми металлами (Hale et al., 2002), засухе (Fargant et al., 2003). Таким образом, суровые условия сибирского климата будут способствовать повышению содержания антоцианов в плодах жимолости по сравнению с плодами тех же сортов, выращенных в более южных регионах РФ.

В связи с тем, что плоды жимолости не подлежат длительному хранению и одним из способов сохранения полезных веществ является замораживание, нами в качестве материала для исследования были взяты свежие плоды жимолости и хранившиеся в течение трех месяцев при температуре -18°C с последующим сравнительным анализом полученных результатов.

Ранее показано, что уровень накопления антоцианов в 20 сортах жимолости, выращенных в Белгородской области (Россия), изменяется в пределах 188–445 мг на 100 г свежих плодов (Chulkov et al., 2011). Мажорным

компонентом является цианидин-3-гликозид, доля которого составляет от 75 до 91%. Согласно имеющимся данным (Chulkov et al., 2011; Wang et al., 2016), основными антоцианами, выявленными в плодах жимолости разных сортов, являются цианидин-3-гликозид, цианидин-3-рутинозид, пеларгонидин-3-гликозид, пеонидин-3-гликозид, цианидин-3,5-диглюкозид. Состав основных антоцианов, определенный А. Н. Чулковым с соавторами (Чулков А.Н.), совпадает с составом, установленным польскими исследователями (Grobelna et al., 2019), что указывает на сохранение постоянного качественного состава антоцианов для различных сортов жимолости.

Сделано предположение, что качественный состав и содержание антоцианов, являющихся растительными антистрессорами, в одних и тех же сортах жимолости будут меняться в более суровых условиях Сибири.

Цель – исследование состава и содержания антоцианов в свежих и замороженных плодах 21 сорта жимолости, произрастающих в Западной Сибири, и оценка влияния условий произрастания и хранения на их уровни.

Материалы и методы

Растительный материал

Плоды жимолости 21 сорта селекции НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко и Бакчарского опорного пункта Северного садоводства (Томская область) выращены и собраны в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета (ТГУ), Бакчарском питомнике и питомнике ООО «САВА». Анализ состава и содержания антоцианов проводили в свежих плодах жимолости сразу после сбора урожая и после хранения в течение трех месяцев при температуре -18°C .

Климат Томской области резко континентальный, характеризуется суровой продолжительной зимой, коротким, но теплым летом, поздними весенними и ранними осенними заморозками, ограничивающимися и без того короткий период вегетации растений. Погодные условия вегетационного периода 2019 г. (год сбора плодов жимолости) существенно отличались от средней многолетней нормы. Осадков выпало 240,9 мм, что меньше нормы на 26%. Активные температуры (выше $+10^{\circ}\text{C}$) составили $2042,6^{\circ}\text{C}$, что выше средней многолетней нормы на 23%, гидротермический коэффициент – 1,2.

Экстракция образцов

Образцы свежих и замороженных плодов жимолости (по 10 ягод) дважды экстрагировали 95-процентным этанолом. Плоды были предварительно измельчены. Экстракцию проводили настаиванием без нагрева в течение 2 суток. Полученные экстракты фильтровали и использовали для дальнейшего анализа. Отношение массы плодов к объему растворителя составляло 1 : 5.

Анализ антоцианов

Качественный состав и содержание антоцианов анализировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20AD (Япония) с диодно-матричным детектором, хроматографическая колонка Perfect Sil Target ODS – 3; $4,6 \times 250$ мм, размер зерна сорбента – 5 мкм. Элюент А: смесь ацетонитрила, изопропилового спирта (5 : 2 v/v), элюент В: 0,1% водный раствор трифторуксусной кислоты. Время анализа – 60 мин. Скорость элюирования – 1 мл/мин. Режим элюирования: градиент низкого давления; программа градиента: 0–40 мин 15–35% элюент А, 85–65% элюент В; 40–60 мин 35% элюент А, 65% элюент В. Объем пробы – 5 мкл. Аналитические дли-

ны волн $\lambda_{\max} = 270$ и 520 нм. Идентификацию сигналов на хроматограммах осуществляли сопоставлением времен удерживания и максимумов поглощения компонентов экстрактов и стандартных образцов антоцианов фирмы Sigma Aldrich (США, чистота $\geq 95\%$). Хроматографические и спектральные характеристики стандартов приведены в таблице 1.

симумы поглощения которых соответствуют антоцианам – 275–288 и 518–519 нм.

В экстрактах обнаружены и другие флавоноиды, характеризующиеся максимумами поглощения 254 и 352 нм, например рутин, время удерживания которого 19,4–19,7 мин. Содержание рутина в свежих плодах варьировало в интервале 0,01–0,04%.

Таблица 1. Хроматографические характеристики стандартов антоцианов

Table 1. Chromatographic characteristics of the anthocyanin standards

Антоцианы / Anthocyanins	Обозначение стандартов / Standard designation	Время удерживания, мин / Retention time, min	Максимумы поглощения, нм / Maximum absorption, nm
Цианидин-3,5-ди-О-глюкозид	Cy-3,5-dGly	5,518	278; 515
Цианидин-3-рутинозид	Cy-3-Rut	10,943	281; 520
Цианидин-3-О-глюкозид	Cy-3-Glu	11,010	280; 518
Пеларгонидин-3-глюкозид	Pg-3-Glu	13,579	270; 504
Пеонидин-3-О-глюкозид	Pn-3-Glu	13,970	280; 518

Расчет содержания проводили путем сравнения площадей и концентраций стандартов и компонентов экстрактов по формуле:

$$X = \frac{C_{ст} \cdot V \cdot S_x \cdot 100}{C_{с} \cdot m}, \text{ мг/100 г, где}$$

$C_{ст}$ – концентрация этанольного раствора стандарта антоциана, мг/мл;

V – объем экстракта, мл;

S_x – площадь пика определяемого компонента образца;

$C_{с}$ – площадь пика стандарта антоциана;

m – масса образца, г.

Статистический анализ

Анализ проводили в трех повторностях, расчеты проводили в программе Statistica, версия 13. Для оценки влияния замораживания плодов жимолости на концентрацию антоцианов использовали критерий Вилкоксона, зависимость содержания антоцианов от сорта оценивали с помощью критерия Краскела – Уоллиса.

Результаты и обсуждение

Определение состава и содержания индивидуальных антоцианов в свежих плодах жимолости

В этанольных экстрактах плодов жимолости всех изученных сортов обнаружены цианидин-3,5-ди-О-глюкозид, цианидин-3-О-глюкозид, в большинстве образцов – пеонидин-3-О-глюкозид, в некоторых – пеларгонидин-3-глюкозид.

Цианидин-3-рутинозид, присутствующий в сортах жимолости, выращиваемых в Центрально-Черноземном регионе (Белгородская область) (Chulkov et al., 2011; Deineka et al., 2014), не выявлен ни в одном из сортов, выращенных в Томской области. По всей вероятности, этот минорный антоциан не синтезируется в более суровых условиях Западной Сибири. Мажорным компонентом экстрактов плодов всех изученных сортов является цианидин-3-О-глюкозид. Кроме того, во многих изученных образцах – ‘Селена’, ‘Бакчарский великан’, ‘Роксана’, ‘Золушка’, ‘Лазурная’ – выявлены соединения цианидиновой природы с временем удерживания 8,067 и 12,164 мин, которые не удалось идентифицировать ввиду отсутствия соответствующих стандартов, но мак-

Согласно мнению авторов (Ershova, 2016; Lukuanchuk, Zhbanova, 2017), уровень антоцианов 300–400 мг/100 г свежих плодов относится к высоким концентрациям. По содержанию этих вторичных метаболитов плоды жимолости сортов, выращиваемых в Томской области, оказались довольно богатыми источниками биологически активных веществ, поскольку в плодах 13-ти из изученных сортов общее содержание антоцианов выше диапазона (табл. 2). Уровни антоцианов в плодах сортов жимолости, выращиваемых в Томской области, значительно выше, чем у тех же сортов, но выращиваемых в Белгородской области (Ershova, 2016; Lukuanchuk, Zhbanova, 2017): ‘Томичка’ – 843 и 188, ‘Камчадалка’ – 514 и 225 мг/100 г свежих плодов соответственно.

Уровни накопления антоцианов в плодах жимолости выше уровня, установленного для плодов черной смородины, земляники (Tikhonova, Shelenga, 2019; Akimov et al., 2020; Deineka et al., 2020), что дает основание отнести изученные нами образцы к ценным источникам природных пигментов. Как показал анализ экспериментальных данных (см. табл. 2), сортовое варьирование по содержанию антоцианов очень велико.

Наибольшее содержание мажорного компонента – цианидин-3-О-глюкозида отмечено в плодах сорта ‘Томичка’ (642 мг/100 г), высокое – в сортах ‘Васюганская’ (472 мг/100 г), ‘Парабельская’ (414 мг/100 г), ‘Камчадалка’ (382 мг/100 г). Следует подчеркнуть, что во всех образцах свежих плодов, за исключением сорта ‘Усульга’, присутствует самый полярный компонент цианидин-3,5-ди-О-глюкозид, время удерживания которого 5,518 мин; значения его колеблются в интервале от 38 (‘Услада’) до 130 мг/100 г (‘Селена’). Интересным является факт присутствия глюкозида пеонидина либо пеларгонидина в образцах плодов жимолости. В сортах ‘Васюганская’, ‘Нарымская’ и ‘Парабельская’ присутствует глюкозид пеларгонидина, тогда как в остальных, за исключением сорта ‘Бархат’, – глюкозид пеонидина. Отличие в структуре этих двух антоцианов заключается в наличии метокси-группы –OCH₃ в кольце В агликона пеонидина. Сравнительный анализ содержания антоцианов для каждого сорта жимолости показал следующие соотношения меж-

Таблица 2. Содержание антоцианов в свежих ягодах жимолости, мг/100 г сырого веса (Томск, 2020 г.)**Table 2. Anthocyanin content in fresh honeysuckle berries, mg/100 g RW (Tomsk, 2020)**

Сорт / Cultivar	Содержание антоцианов / Anthocyanin content				
	Cy-3,5-dGly	Cy-3-Rut	Cy-3-Glu	Pg-3-Glu	Pn-3-Glu
Золушка	65	–	209	–	27
Огненный опал	84	–	201	–	19
Селена	130	–	281	–	28
Лазурная	89	–	307	–	32
Бархат	50	–	149	–	–
Берель	113	–	356	–	28
Васюганская	100	–	471	70	–
Памяти Гидзюка	110	–	388	–	46
Нарымская	61	–	275	42	–
Роксана	45	–	187	–	18
Камчадалка	106	–	382	–	26
Томичка	117	–	642	–	84
Парабельская	112	–	414	64	–
Лавина	49	–	345	–	42
Бакчарский великан	65	–	388	–	14
Югана	85	–	268	–	21
Услада	38	–	227	–	31
Восторг	46	–	286	–	28
Стрежевчанка	62	–	360	–	37
Уссульга	–	–	316	–	56
Синий утес	54	–	327	–	43

Примечание: Cy-3,5-dGly – цианидин-3,5-ди-О-глюкозид; Cy-3-Rut – цианидин-3-рутинозид; Cy-3-Glu – цианидин-3-О-глюкозид; Pg-3-Glu – пеларгонидин-3-глюкозид; Pn-3-Glu – пеонидин-3-О-глюкозид; «–» – отсутствие антоциана

Note: Cy-3,5-dGly – cyanidin-3,5-di-O-glucoside; Cy-3-Rut – cyanidin-3-rutinoside; Cy-3-Glu – cyanidin-3-O-glucoside; Pg-3-Glu – pelargonidin-3-glucoside; Pn-3-Glu – peonidin-3-O-glucoside; “–” – absence of anthocyanin

ду компонентами: вклад антоцианов в комплекс уменьшается в следующем порядке: цианидин-3-О-глюкозид, цианидин-3,5-ди-О-глюкозид, пеларгонидин-3-глюкозид, пеонидин-3-О-глюкозид.

В сорте ‘Томичка’ селекции НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко, выращенном в Томской области, доля каждого компонента в комплексе антоцианов уменьшается следующим образом: цианидин-3-О-глюкозид, цианидин-3,5-ди-О-глюкозид, пеонидин-3-О-глюкозид и составляет 76,2, 13,8, 10,0% соответственно. Доля мажорного компонента в исследуемых нами образцах жимолости – цианидин-3-О-глюкозида в общем комплексе антоцианов варьирует в интервале 64–85%. Отсутствие цианидин-3-рутинозида в образцах сортов, культивируемых в Сибири, возможно, объясняется тем фактом, что в комплексе антоцианов плодов жимолости, выращенных в Белгородском регионе (Chulkov et al., 2011),

ему соответствует самое низкое содержание, а в условиях Западной Сибири он не синтезируется.

Определение состава и содержания индивидуальных антоцианов в замороженных плодах жимолости

Необходимость продления сроков хранения плодов жимолости обусловлена ценностью их биологически активных веществ и возможностью переработки на протяжении длительного времени.

Сравнение этанольных экстрактов свежих (см. табл. 2) и замороженных ягод (табл. 3) показало, что состав антоцианов сохраняется в сортах ‘Лавина’, ‘Памяти Гидзюка’, ‘Лазурная’, ‘Берель’ и др., тогда как в сортах ‘Томичка’, ‘Уссульга’, ‘Васюганская’, ‘Камчадалка’, ‘Нарымская’, ‘Парабельская’ и ‘Селена’ изменяется. В экстрактах замороженных плодов сортов ‘Томичка’, ‘Камчадалка’,

Таблица 3. Содержание антоцианов в замороженных ягодах жимолости, мг/100 г сырого веса (Томск, 2020 г.)
Table 3. The content of anthocyanins in frozen honeysuckle fruits, mg/100 g RW (Tomsk, 2020)

Сорт / Cultivar	Содержание антоцианов / Anthocyanin content				
	Cy-3,5-dGly	Cy-3-Rut	Cy-3-Glu	Pg-3-Glu	Pn-3-Glu
Золушка	68	-	263	-	24
Огненный опал	60	-	183	-	10
Селена	136	-	394	15	27
Лазурная	85	-	365	-	33
Бархат	48	-	127	-	-
Берель	107	-	465	-	37
Васюганская	90	-	491	40	23
Памяти Гидзюка	101	-	465	-	28
Нарымская	81	-	435	49	16
Роксана	72	-	347	-	25
Камчадалка	91	-	429	15	13
Томичка	74	-	646	21	37
Парабельская	95	-	438	17	20
Лавина	65	-	396	-	28
Бакчарский великан	55	-	487	-	31
Югана	62	-	349	-	8
Услада	49	-	311	-	16
Восторг	68	-	331	-	18
Стрежевчанка	100	-	525	-	22
Уссульга	98	-	440	-	56
Синий утес	70	-	387	-	34

Примечание: Cy-3,5-dGly – цианидин-3,5-ди-О-глюкозид; Cy-3-Rut – цианидин-3-рутинозид; Cy-3-Glu – цианидин-3-О-глюкозид; Pg-3-Glu – пеларгонидин-3-глюкозид; Pn-3-Glu – пеонидин-3-О-глюкозид; «-» – отсутствие антоциана

Note: Cy-3,5-dGly – cyanidin-3,5-di-O-glucoside; Cy-3-Rut – cyanidin-3-rutinoside; Cy-3-Glu – cyanidin-3-O-glucoside; Pg-3-Glu – pelargonidin-3-glucoside; Pn-3-Glu – peonidin-3-O-glucoside; “-” – absence of anthocyanin

‘Селена’, наряду с пеонидин-3-О-глюкозидом, который присутствовал и в свежих плодах, в замороженных дополнительно выявлен пеларгонидин-3-глюкозид. Для сортов ‘Васюганская’, ‘Нарымская’, ‘Парабельская’, кроме пеларгонидин-3-глюкозида (свежие ягоды) в замороженных плодах идентифицирован пеонидин-3-О-глюкозид. Время удерживания этих антоцианов на хроматограммах располагается близко: $t_r = 13,579$ и $t_r = 13,970$ мин, тогда как спектры поглощения сильно отличаются – пеларгонидин-3-глюкозид имеет λ_{max} 270 и 504 нм, пеонидин-3-О-глюкозид – 280 и 519 нм, вследствие чего они безошибочно идентифицируются. В замороженных плодах сорта ‘Уссульга’ определено присутствие цианидин-3,5-ди-О-глюкозида, тогда как в свежих плодах это соединение не идентифицировано.

В замороженных плодах наблюдается изменение состава и соотношения антоцианов между собой. Известно, что антоцианы могут либо постоянно присутствовать в клетке, либо появляться на определенной стадии развития растений или под воздействием стресса. Последнее обстоятельство позволило подтвердить, что данные соединения нужны не только для окраски цветов и плодов, привлекая насекомых-опылителей и распространителей семян, но и для борьбы с различными типами стрессов (Kovnich et al., 2015). По всей вероятности, появление других антоцианов является следствием хранения жимолости при низкой температуре.

Общее содержание антоцианов в свежих плодах сортов (рисунок) варьирует в интервале 199–843 мг/100 г. Максимальная концентрация антоцианов определена

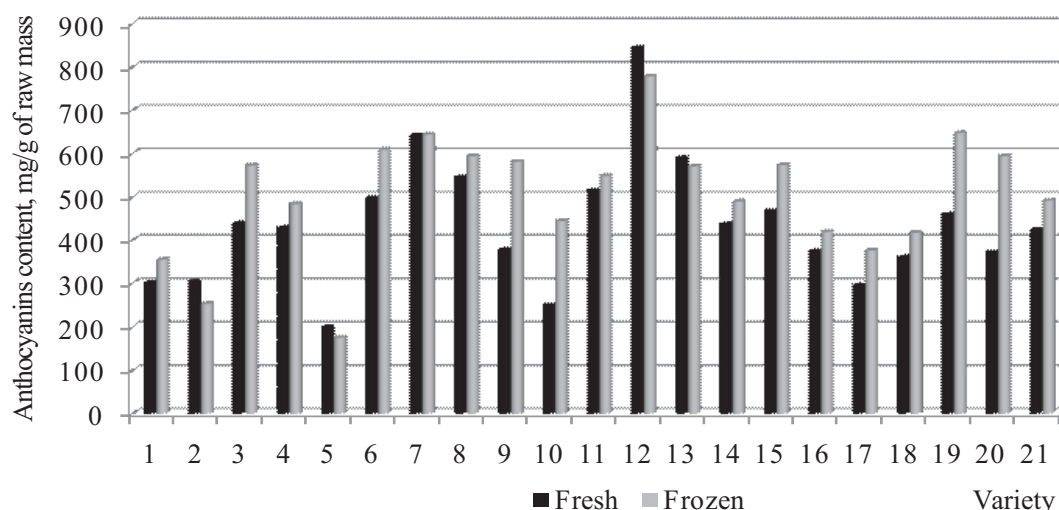


Рисунок. Общее содержание антоцианов в свежих и замороженных плодах жимолости, мг/100 г сырого веса: 1 – Золушка, 2 – Огненный опал, 3 – Селена, 4 – Лазурная, 5 – Бархат, 6 – Берель, 7 – Васюганская, 8 – Памяти Гидзюка, 9 – Нарымская, 10 – Роксана, 11 – Камчадалка, 12 – Томичка, 13 – Парабельская, 14 – Лавина, 15 – Бакчарский великан, 16 – Югана, 17 – Услава, 18 – Восторг, 19 – Стрежевчанка, 20 – Уссульга, 21 – Синий утес (Томск, 2020 г.)

Figure. Total content of anthocyanins in fresh and frozen honeysuckle fruits, mg/100 g RW:

1 – Zolushka, 2 – Ognenny Opal, 3 – Selena, 4 – Lazurnaya, 5 – Barkhat, 6 – Berel, 7 – Vasyuganskaya, 8 – Pamyati Gidzyuka, 9 – Narymskaya, 10 – Roksana, 11 – Kamchadalka, 12 – Tomichka, 13 – Parabelskaya, 14 – Lavina, 15 – Bakcharskiy Velikan, 16 – Yugana, 17 – Uslada, 18 – Vostorg, 19 – Strezhevchanka, 20 – Ussulga, 21 – Siniy Utes (Tomsk, 2020)

для сорта 'Томичка' (843 мг/100 г), высокие значения – для сортов 'Васюганская', 'Парабельская', 'Памяти Гидзюка', 'Камчадалка' и 'Берель' (497–641 мг/100 г), низкие – для сортов 'Бархат', 'Роксана', 'Огненный опал', 'Золушка', 'Услава' (199–304 мг/100 г).

Из данных таблицы 3, рисунка видно, что при замораживании в ягодах жимолости сортов 'Васюганская', 'Камчадалка', 'Парабельская' общее содержание антоцианов не изменяется, незначительно уменьшается в сортах 'Огненный опал' и 'Бархат', увеличивается в сортах 'Берель', 'Селен', 'Нарымская', 'Роксана', 'Стрежевчанка', 'Уссульга', в основном за счет повышения уровня цианидин-3-О-глюкозида. Пересчет на сухое вещество не изменил соотношения результатов между собой. Полученные данные согласуются с мнением авторов работы (Tikhonova, Shelenga, 2019), которые сообщили, что в плодах некоторых сортов черной смородины также наблюдалось повышение содержания антоцианов при замораживании.

Важно отметить факт, что при хранении ягод жимолости в течение трех месяцев при температуре -18°C соотношение значений антоцианов в основном остается тем же или даже повышается, что является аргументом, подтверждающим сохранность ценных качеств плодов жимолости при замораживании. Общее содержание антоцианов ($p = 0,004$) и цианидин-3-О-глюкозида ($p = 0,0001$) до и после хранения плодов имеет статистически значимые различия (критерий Вилкоксона, $p < 0,05$). С помощью критерия Краскела – Уоллиса зависимость показателя антоцианов от сорта жимолости не подтвердилась.

Сорта жимолости, выращенные в Сибири, являются перспективными источниками не только по высокому содержанию антоцианов, но и по биомассе плодов. Средняя масса плодов у сортов 'Стрежевчанка', 'Бакчарский великан', 'Восторг', 'Лавина' и 'Услава' колеблется в интервале 1,7–1,8 г. Масса одной ягоды большинства взятых в исследование сортов варьирует в интервале 1,1–1,6 г.

Сравнение данных текущего исследования с литературными свидетельствует о значительном превышении массы ягод у сортов, выращенных в Сибири. Так, масса ягод сортов 'Элитная форма № 50', 'Память Силаеву' и др. сортов составляет 1,0–1,6 г (Golovunin, 2018), тогда как средний показатель массы плодов сортов селекции ГНУ ВНИИС им. И.В. Мичурина колебался от 0,44 до 1,05 г (Bocharova, Bryksin, 2012).

Заключение

Во всех изученных образцах плодов жимолости сортов, выращиваемых в Западной Сибири, выявлены цианидин-3,5-ди-О-глюкозид, цианидин-3-О-глюкозид, у большинства – пеонидин-3-О-глюкозид, в некоторых – пеларгонидин-3-глюкозид. Цианидин-3-рутинозид, встречающийся в составе антоцианов у репродукции Центрально-Черноземного района (Белгородская область), в текущем исследовании идентифицирован не был.

Анализ антоцианов в этанольных экстрактах плодов различных сортов жимолости показал, что значения у большинства исследуемых сортов соответствуют высокому уровню содержания, пределы изменчивости показателей в свежих ягодах жимолости – от 199 до 843 мг/100 г в зависимости от сорта.

Максимальными уровнями антоцианов отличаются сорта 'Томичка', 'Васюганская', 'Парабельская', 'Камчадалка', 'Памяти Гидзюка'.

Замораживание плодов жимолости при температуре -18°C обеспечивает не только сохранение уровня антоцианов, но и в ряде случаев его увеличение.

Сорта с наибольшим содержанием антоцианов: 'Томичка', 'Васюганская', 'Парабельская' могут быть рекомендованы для включения в диету с целью профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.

References / Литература

- Akimov M.Yu., Luk'yanchuk I.V., Zhanova E.V., Lyzhin A.S. Strawberry fruit (*Fragaria × Ananassa* Duch.) as a valuable source of nutritional and biologically active substances (review). *Chemistry of Plant Raw Material*. 2020;(1):5-18. [in Russian] (Акимов М.Ю., Лукъянчук И.В., Жбанова Е.В., Лыжин А.С. Плоды земляники садовой (*Fragaria × Ananassa* Duch.) как ценный источник пищевых и биологически активных веществ (обзор). *Химия растительного сырья*. 2020;(1):5-18). DOI: 10.14258/jcpr.m.2020015511
- Auzanneau N., Weber P., Kosińska-Cagnazzo A., Andlauer W. Bioactive compounds and antioxidant capacity of *Lonicera caerulea* berries: Comparison of seven cultivars over three harvesting years. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2018;66:81-89. DOI: 10.1016/j.jfca.2017.12.006
- Bendokas V., Skemiene K., Trumbeckaite S., Stanys V., Passamonti S., Borutaite V. et al. Anthocyanins: From plant pigments to health benefits at mitochondrial level. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020;60(19):3352-3365. DOI: 10.1080/10408398.2019.1687421
- Bocharova T.E., Bryksin D.M. Comparative estimation of perspective honeysuckle varieties of selection All-Russian Scientific Research Institute I.V. Michurina conditions. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences*. 2012;21-1(140):92-95. [in Russian] (Бочарова Т.Е., Брыксин Д.М. Сравнительная оценка качества плодов перспективных сортообразцов жимолости селекции ГНУ ВНИИС им. И.В. Мичурина. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: естественные науки*. 2012;21-1(140):92-95).
- Chalker-Scott L. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? In: K.S. Gould, D.W. Lee (eds). *Advances in Botanical Research*. Vol. 37. Amsterdam: Academic Press; 2002. p.103-127. DOI: 10.1016/S0065-2296(02)37046-0
- Chulkov A.N., Gostishchev D.A., Deineka L.A., Pisarev D.I., Sorokopudov V.N., Sazonov S.A. Blue honeysuckle fruits as a source of anthocyanins (Plody zhimolosti sineplodnoy kak istochnik antotsianov). *Chemistry of Plant Raw Material*. 2011;(4):173-176. [in Russian] (Чулков А.Н., Гостищев Д.А., Дейнека Л.А., Писарев Д.И., Сорокопудов В.Н., Сазонов С.А. Плоды жимолости синеплодной как источник антоцианов. *Химия растительного сырья*. 2011;(4):173-176).
- Deineka V.I., Deineka L.A., Zhandarmova P.A., Makarevitch S.L. Antocyanins structure influence upon antioxidant activity: cyanidin-3-rutinoside with OH-group at number 6 carbon atom. *Belgorod State University Scientific bulletin. Series: Medicine, Pharmacy*. 2014;24-28(195):221-225. [in Russian] (Дейнека В.И., Дейнека Л.А., Жандармова П.А., Макаревич С.Л. Влияние строения антоцианов на их антиоксидантную активность: цианидин-3-рутинозид с гидроксильной группой в положении 6. *Научные ведомости белгородского государственного университета. Серия: медицина, фармация*. 2014;24-28(195):221-225).
- Deineka V.I., Oleinits E.Yu., Pavlov A.A., Mikheev A.Yu., Shелепова О.В., Volkova O.D. et al. Determination of anthocyanins of fruits of some plants of the genus *Ribes* by reversed-phase HPLC and hydrophilic interaction chromatography (HILIC). *Chemistry of Plant Raw Material*. 2020;(1):81-88. [in Russian] (Дейнека В.И., Олейниц Е.Ю., Павлов А.А., Михеев А.Ю., Шелепова О.В., Волкова О.Д. и др. Определение антоцианов плодов некоторых растений рода *Ribes* методами обращенно-фазовой ВЭЖХ и гидрофильной хроматографии. *Химия растительного сырья*. 2020;(1):81-88). DOI: 10.14258/jcpr.m.2020016331
- Ershova I.V. Content of biologically active phenolic compounds in Siberian fruits and berries. *Achievements of science and technology of AIC*. 2016;30(9):44-47. [in Russian] (Ершова И.В. Содержание биологически активных фенольных соединений в сибирских плодах и ягодах. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(9):44-47).
- Fang J. Classification of fruits based on anthocyanin types and relevance to their health effects. *Nutrition*. 2015;31(11-12):1301-1306. DOI: 10.1016/j.nut.2015.04.015
- Farrant J.M., Vander Willigen C., Loffell D., Bartsch S., Whitaker A. An investigation into the role of light during desiccation of three angiosperm resurrection plants. *Plant, Cell and Environment*. 2003;26(8):1275-1286. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2003.01052.x
- Golovunin V.P. Expansion of the range of blue honeysuckle in soil and climatic conditions of the republic of Mari El. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2018;4(2-14):25-31. [in Russian] (Головунин В.П. Расширение ассортимента жимолости синей в почвенно-климатических условиях республики Марий Эл. *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. 2018;4(2-14):25-31). DOI: 10.30914/2411-9687-2018-4-2-25-30
- Grobelna A., Kalisz S., Kieliszek M. Effect of processing methods and storage time on the content of bioactive compounds in blue honeysuckle berry purees. *Agronomy*. 2019;9(12):860. DOI: 10.3390/agronomy9120860
- Hale K.L., Tufan H.A., Pickering I.J., George G.N., Terry N., Pilon M. et al. Anthocyanins facilitate tungsten accumulation in *Brassica*. *Physiologia Plantarum*. 2002;116(3):351-358. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2002.1160310.x
- Jaakola L., Määttä-Riihinen K., Kärenlampi S., Hohtola A. Activation of flavonoid biosynthesis by solar radiation in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L) leaves. *Planta*. 2004;218(5):721-728. DOI: 10.1007/s00425-003-1161-x
- Kovinich N., Kayanja G., Chanoca A., Otegui M., Grotewold E. Abiotic stresses induce different localizations of anthocyanins in *Arabidopsis*. *Plant Signaling and Behavior*. 2015;10(7):e1027850. DOI: 10.1080/15592324.2015.1027850
- Lin B.W., Gong C.C., Song H.F., Cui Y.Y. Effects of anthocyanins on the prevention and treatment of cancer. *British Journal of Pharmacology*. 2017;174(11):1226-1243. DOI: 10.1111/bph.13627
- Lukyanchuk I.V., Zhanova E.V. Estimation of genetic collection for anthocyanin content in strawberry fruits. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;(38):134-148. [in Russian] (Лукъянчук И.В., Жбанова Е.В. Оценка генетической коллекции земляники по содержанию в плодах антоцианов. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2017;(38):134-148). DOI: 10.17223/19988591/38/8
- Makarevitch A.M., Shutova A.G., Spiridovich E.V., Reshetnikov V.N. Functions and properties of anthocyanins of vegetable raw materials (Funktsii i svoystva antotsianov rastitel'nogo syrya). *Trudy Byelorusskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Byelorussian State University*. 2010;4(2):1-11. [in Russian] (Макаревич А.М., Шутова А.Г., Спиридович Е.В., Решетников В.Н. Функции и свойства антоцианов растительного сырья.

- Труды Белорусского государственного университета.* 2010;4(2):1-11).
- Molina A.K., Vega E.N., Pereira C., Dias M.I., Heleno S.A., Rodrigues P. et al. Promising antioxidant and antimicrobial food colourants from *Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica*. *Antioxidants*. 2019;8(9):394. DOI: 10.3390/antiox8090394
- Reshetnikov V.N., Kolbas N.Yu., Chizhik O.V., Deeva A.M., Voitsehovskaya E.A. Antioxidant activity and anthocyanins of Rosaceae and Ericaceae families fruits. In: *The role of botanical gardens and arboreturns in conservation, studying and sustainable utilization of the plant world diversity (Pt 2); June 06–08, 2017; Minsk, Belarus (Rol botanicheskikh sadov i dendrariyev v sokhranenii, izuchenii i ustoychivom ispolzovanii raznoobraziya rastitel'nogo mira (Ch. 2); 2017 Iyun 05–08; Minsk, Belarus)*. Minsk: Medisont; 2017. p.106-108. [in Russian] (Решетников В.Н., Колбас Н.Ю., Чижик О.В., Деева А.М., Войцеховская Е.А. Антоцианы плодов представителей растений семейства Rosaceae и Ericaceae и их антиоксидантная активность. В кн.: *Роль ботанических садов и дендрариев в сохранении, изучении и устойчивом использовании разнообразия растительного мира (Ч. 2); июнь 06–08, 2017; Минск, Беларусь.* Минск: Медисонт; 2017. С.106-108). URL: <http://hbc.bas-net.by/hbcinfo/books/Reshetnikov2017.pdf> [дата обращения: 20.01.2021].
- Solecka D., Kacperska A. Phenylpropanoid deficiency affects the course of plant acclimation to cold. *Physiologia Plantarum*. 2003;119(2):253-262. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2003.00181.x
- Tikhonova O.A., Shelenga T.V. Bioactive substances of black currant berries in the conditions of Northwestern Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(3):50-58. [in Russian] (Тихонова О.А., Шеленга Т.В. Биологически активные вещества ягод черной смородины в условиях Северо-Запада России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(3):50-58). DOI:10.30901/2227-8834-2019-3-50-58
- Wang Y., Zhu J., Meng X., Liu S., Mu J., Ning C. Comparison of polyphenol, anthocyanin and antioxidant capacity in four varieties of *Lonicera caerulea* berry extracts. *Food Chemistry*. 2016;197(Pt A):522-529. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.11.006

Информация об авторах

Лариса Николаевна Зибарева, доктор химических наук, старший научный сотрудник, Сибирский ботанический сад Томского государственного университета, 634050 Россия, Томск, пр. Ленина, 36, zibareva.lara@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4417-8340>

Елена Сергеевна Филоненко, инженер-исследователь, Сибирский ботанический сад Томского государственного университета, 634050 Россия, Томск, пр. Ленина, 36, filonenkoelenaserg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4287-8327>

Светлана Александровна Сучкова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский ботанический сад Томского государственного университета, 634050 Россия, Томск, пр. Ленина, 36, suchkova.s.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4079-3389>

Надежда Викторовна Савенкова, научный сотрудник, ОГУП «Бакчарское», 636200 Россия, Томская область, с. Бакчар, пер. Садовый, 1, bakcharopss@ Rambler.ru

Андрей Иванович Никитин, директор, ООО ТПК «САВА», 634067 Россия, Томск, Кузовлевское тепличное хозяйство, стр. 7, sava@tpksava.ru

Information about the authors

Larisa N. Zibareva, Dr. Sci. (Chemistry), Senior Researcher, Siberian Botanical Garden, Tomsk State University, 36 Lenina Ave., Tomsk 634050 Russia, zibareva.lara@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4417-8340>

Elena S. Filonenko, Research Engineer, Siberian Botanical Garden, Tomsk State University, 36 Lenina Ave., Tomsk 634050 Russia, filonenkoelenaserg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4287-8327>

Svetlana A. Suchkova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Siberian Botanical Garden, Tomsk State University, 36 Lenina Ave., Tomsk 634050 Russia, suchkova.s.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4079-3389>

Nadezhda V. Savenkova, Researcher, Bakcharskoe State Enterprise, 1 Sadovy Alley, Bachkar, Tomsk Province 636200, Russia, bakcharopss@ Rambler.ru

Andrey I. Nikitin, Director, SAVA Production Company, Bldg. 7 Kuzovlevskoye Greenhouse Farm, Tomsk 634067, Russia, sava@tpksava.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 03.02.2021; одобрена после рецензирования 20.02.2022; принята к публикации 28.02.2022.

The article was submitted on 03.02.2021; approved after reviewing on 20.02.2022; accepted for publication on 28.02.2022.