

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 577.13; 547.97; 577.11; 57.087.1

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-1-7-15>

Поступила в редакцию 01.09.2021

Received 01.09.2021

**О. В. Чижик, А. М. Деева, В. Н. Решетников***Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь***БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПЛОДОВ И ЛИСТЬЕВ  
*VACCINIUM CORYMBOSUM* L.**

**Аннотация.** Изучено суммарное содержание фенольных соединений и антоцианов в их составе, а также определен уровень антирадикальной активности (АРА) в плодах и листьях различных сортов *Vaccinium corymbosum* L.

Максимальное содержание фенольных соединений в плодах отмечено у сортов Blueray, Bluerose, Caroline Blue, Herbert, Jersey, Nelson. В исследованных таксонах доля антоциановых пигментов в составе фенольных соединений составляла от 0,01 до 0,8 % в зеленых плодах и от 22 до 52 % в зрелых. Сорта Earlyblue, Duke, Bluecrop, Bluegold характеризовались наибольшим количеством фенольных соединений в листьях.

Зафиксировано наличие тесной положительной корреляционной связи между уровнем АРА и содержанием вторичных метаболитов фенольной природы. Выявлены отличия в уровне накопления фенольных веществ у сортов голубики, обусловленные способом получения посадочного материала – методом *in vivo* или *in vitro*.

Установлено, что для определения сортоотчетствия представителя рода *Vaccinaceae* наряду с генетическими паспортами можно использовать протеомный профиль растений голубики высокорослой.

**Ключевые слова:** *Vaccinium corymbosum* L., фенольные соединения, антоцианы, антирадикальная активность, вторичные метаболиты, *in vivo*, *in vitro*, протеомный профиль

Для цитирования: Чижик, О. В. Биологически активные соединения плодов и листьев *Vaccinium corymbosum* L. / О. В. Чижик, А. М. Деева, В. Н. Решетников // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2022. – Т. 67, № 1. – С. 7–15. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-1-7-15>

**Olga V. Chizhik, Alla M. Deeva, Vladimir N. Reshetnikov***Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus***BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS OF BERRIES AND LEAVES OF *VACCINIUM CORYMBOSUM* L.**

**Abstract.** Quantitative content of the sum of phenolic compounds and anthocyanins in their composition were study. The level of antiradical activity (ARA) in the berries and leaves of *Vaccinium corymbosum* L. was measured.

The maximum content of the sum of phenolic compounds was observed in Blueray, Bluerose, Caroline Blue, Herbert, Jersey, Nelson cultivars. In the cultivars which have been studied the quantity of anthocyanins in the composition of phenolic compounds ranged from 0.01 to 0.8 % in green berries, and from 22 to 52 % in mature ones. Earlyblue, Duke, Bluecrop, Bluegold cultivars were characterized by the greatest quantity of phenolic compounds in leaves.

The presence of a close positive correlation between the level of antiradical activity and the content of secondary metabolites of phenolic nature was determined. The differences in phenolic substances accumulation in blueberry cultivars obtained by *in vivo* and *in vitro* methods were revealed.

It was shown that the proteomic profile of the highbush blueberry plants together with genetic passports can being used to determine the cultivar's identity of *Vaccinium corymbosum* L.

**Keywords:** *Vaccinium corymbosum* L., phenolic compounds, anthocyanin, anti-radical activity, second metabolites, *in vivo*, *in vitro*, proteomic profile

**For citation:** Chizhik O. V., Deeva A. M., Reshetnikov V. N. Biologically active compounds of berries and leaves of *Vaccinium corymbosum* L. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2022, vol. 67, no. 1, pp. 7–15 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-1-7-15>

**Введение.** Одним из путей повышения качества питания является использование растительных культур с высокими вкусовыми и лечебно-профилактическими характеристиками, а также продуктов их переработки.

Для производства ценных биологически активных веществ (БАВ) важное значение имеет выбор растения-производителя. С учетом именно этого аспекта, а также перспектив интродукцион-

ного процесса внимание специалистов было обращено на растения из рода *Vaccinium*, в частности на голубику высокорослую (*Vaccinium corymbosum* L.), которая характеризуется значительным содержанием вторичных метаболитов.

Вторичные метаболиты растений – богатейший источник полезных для человека веществ, прежде всего медицинского назначения. Полифенольные соединения играют важную роль в физиологических процессах растения (энергетическом обмене, фотосинтезе, дыхании, защитных реакциях), являются активаторами/ингибиторами отдельных ферментов. К группе флавоноидов относятся и антоцианы, которые выполняют разнообразные функции в растениях, активно участвуя в окислительно-восстановительных процессах и в защите от абиотических и биотических стрессов [1, 2]. Антоцианы представляют интерес в первую очередь как вещества, обладающие антиоксидантными, противовоспалительными, антиканцерогенными, антидиабетическими свойствами и способствующие снижению когнитивных расстройств [3, 4], а кроме того, они представляют интерес и как естественные красители [4–6]. Наличие такого разнообразного набора функций антоцианов вызывает необходимость их сравнительного изучения у сортов *Vaccinium corymbosum* L.

Цель исследования – изучить изменение суммарного содержания фенольных соединений (в том числе антоцианов) и их состава в вегетативных и генеративных органах голубики высокорослой, уровня антирадикальной активности в процессе созревания плодов, дать первичную характеристику протеома таксонов голубики (*in vivo* и *in vitro*), отобранных по наибольшему содержанию биологически активных веществ.

**Объекты и методы исследования.** Образцы голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) были собраны на опытном участке отраслевой лаборатории интродукции и технологии ягодных растений ЦБС НАН Беларуси (г. Ганцевичи, южная агроклиматическая зона Республики Беларусь, заведующий лабораторией – кандидат биологических наук Н. Б. Павловский). Стабилизированные *in vitro* культуры голубики высокорослой были получены в отделе биохимии и биотехнологии растений ЦБС НАН Беларуси старшим научным сотрудником В. Л. Филипеней (заведующий лабораторией О. В. Чижик).

Образцы замораживали при температуре  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для проведения анализа отбирали среднюю пробу в 15–20 г образца каждого таксона, которые затем гомогенизировали. Для проведения экстракции использовали навеску в 3–5 г.

Количественное определение суммарного содержания антоциановых пигментов проводили методом рН-дифференциальной спектрофотометрии [7, 8]. Результаты выражали в миллиграмм-эквивалент цианидин-3-глюкозида в 100 г сухого веса (СВ). Суммарное содержание фенольных соединений в плодах и листьях оценивали, используя модифицированный метод Фолина–Чокальтеу [9]. Содержание антоциановых пигментов листьев определяли в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид (в %) согласно Фармакопее [10]. Антирадикальные свойства голубики оценивали в системе с катион-радикалами АБТС+• [11]. Белки из листовой ткани выделяли методом ТХУ/ацетоновой преципитации по Амме с соавт. [12] с нашими модификациями. Вертикальный электрофорез белков проводили по методике, приведенной в работе [13].

**Результаты и их обсуждение.** В результате анализа полученных данных было показано, что содержание всех биологически активных соединений фенольной природы в процессе созревания плодов голубики высокорослой повышается (рис. 1–3).

В зеленых плодах исследуемых сортов содержание фенольных соединений колебалось от  $629,0 \pm 42,6$  мг/100 г СВ (сорт Caroline Blue) до  $895,5 \pm 33,1$  мг/100 г СВ (сорт Nelson) (рис. 1), а суммарное содержание антоциановых пигментов в их составе было менее 10 мг/100 г СВ и составляло от 0,009 до 0,777 % (рис. 2). В зрелых плодах содержание фенольных соединений было в пределах от  $1403,2 \pm 47,0$  мг/100 г СВ (сорт Bluecrop) до  $2347,8 \pm 81,5$  мг/100 г СВ (сорт Herbert) (см. рис. 1), а содержание антоциановых пигментов составляло от  $278,3 \pm 5,0$  мг/100 г СВ (сорт Northland) до  $967,7 \pm 27,7$  мг/100 г СВ (сорт Herbert) (рис. 2).

Исходя из полученных данных, можно выделить группу сортов голубики высокорослой (Blueray, Bluerose, Caroline Blue, Herbert, Jersey, Nelson), в плодах которых уровень накопления антоцианов был весьма высоким и составлял на момент созревания более 600 мг/100 г СВ. Доля

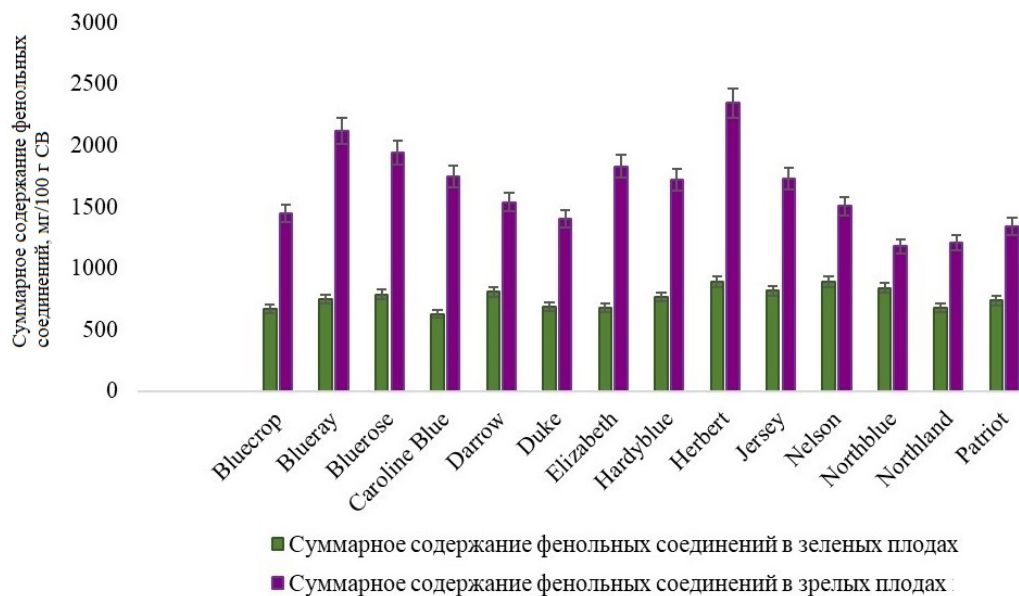


Рис. 1. Суммарное содержание фенольных соединений в зеленых и спелых плодах разных сортов *Vaccinium corymbosum* L., г

Fig. 1. Total content of phenolic compounds in green and ripe berries of different varieties of *Vaccinium corymbosum* L., g

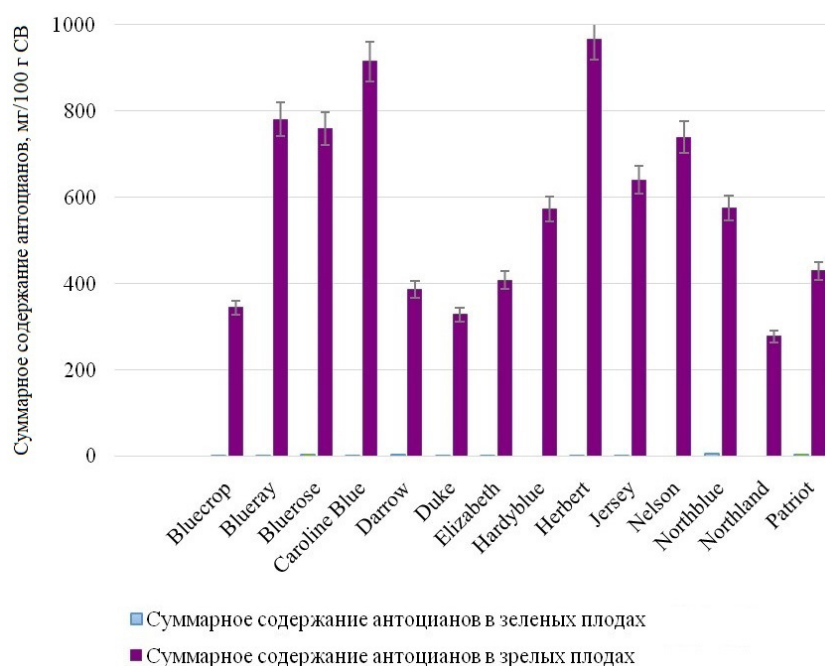


Рис. 2. Суммарное содержание антоциановых пигментов в зеленых и спелых плодах разных сортов *Vaccinium corymbosum* L.

Fig. 2. Total content of anthocyanin pigments in green and ripe berries of different varieties of *Vaccinium corymbosum* L.

антоциановых пигментов в составе фенольных соединений у исследованных образцов составляла от 22 до 52 % (см. рис. 1, 2).

Кроме того, установлено, что в процессе созревания плодов антирадикальная активность (АРА) в модельной системе с катион-радикалами АБТС<sup>++</sup> повышается в среднем в 1,4–4,7 раза (рис. 3).

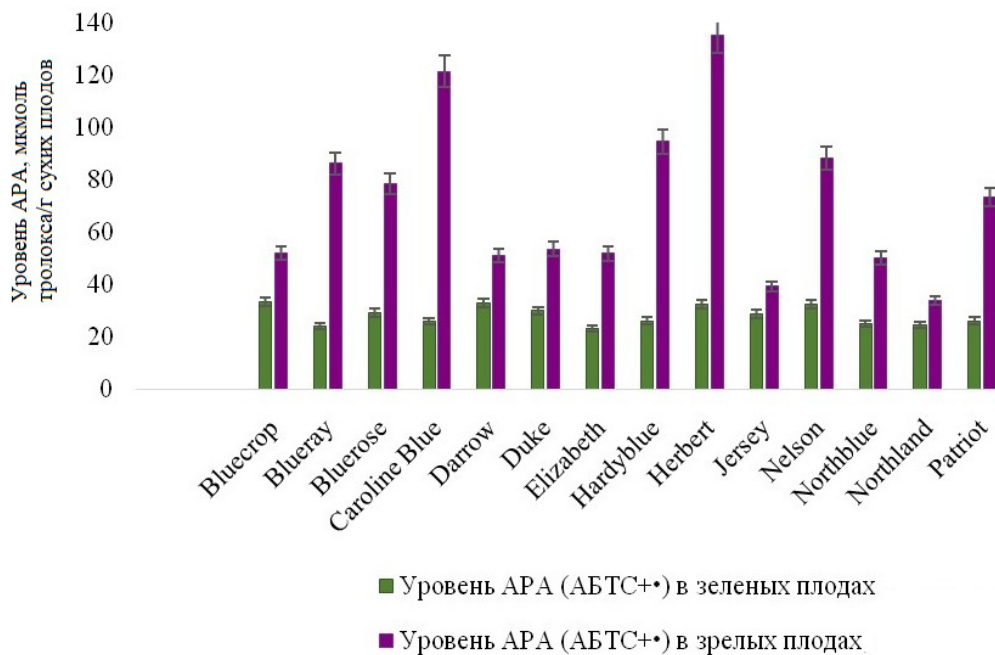


Рис. 3. Изменение уровня АРА в системе с катион-радикалами АБТС+• в зеленых и спелых плодах разных сортов *Vaccinium corymbosum* L.

Fig. 3. Change in the level of antiradical activity in the system with АБТС+• cation radicals in green and ripe berries of different varieties of *Vaccinium corymbosum* L.

Обнаружена значимая корреляционная связь между показателями АРА в модельных системах с АБТС+• катион-радикалами и содержанием фенольных соединений в зрелых ягодах голубики (рис. 4). Коэффициенты корреляции являлись значимыми на основании того, что расчетные значения критерия Стьюдента во всех корреляционных полях превышали табличные (количество степеней свободы 12 при уровне значимости  $p < 0,05$ ) [14].

Поскольку полифенольные соединения играют важную роль в физиологических процессах растения, включая стрессоустойчивость, проведен сравнительный анализ количественного содержания полифенольных соединений (в том числе антоцианов) и уровня АРА не только в плодах, но и в листьях голубики высокорослой, выращенной *in vivo* (маточник, г. Ганцевичи), а также в листьях укорененных растений, полученных методом *in vitro*.

В результате эксперимента установлено, что суммарное содержание антоциановых пигментов в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид колебалось в пределах от  $11,7 \pm 0,05$  % (сорт Elizabeth) до  $15,0 \pm 0,23$  % (сорт Bluegold).

Согласно полученным данным, доля антоцианов в осенних листьях выше, что может быть связано с процессами трансформации световой энергии антоцианами и увеличением эффективности фотосинтетических процессов в осенний период.

Установлено, что суммарное содержание фенольных соединений в листьях растений голубики высокорослой *in vivo* находилось в пределах от  $46,3 \pm 1,53$  до  $146,4 \pm 7,20$  –мг/г СВ в пересчете на галловую кислоту.

Следует также отметить, что сорта Earlyblue и Duke характеризовались наибольшим количеством фенольных соединений, сорт Denise Blue – наименьшим. Та же закономерность наблюдалась и при измерении АРА (табл. 1).

При построении корреляционных графиков зависимости АРА – содержание фенольных соединений коэффициенты корреляции через 1 и 6 мин проведения эксперимента составили 0,96 и 0,97 соответственно ( $T_{\text{крит. Стьюдента}} > 6; p < 0,05$ ), что свидетельствует о тесной взаимосвязи между данными показателями [14].

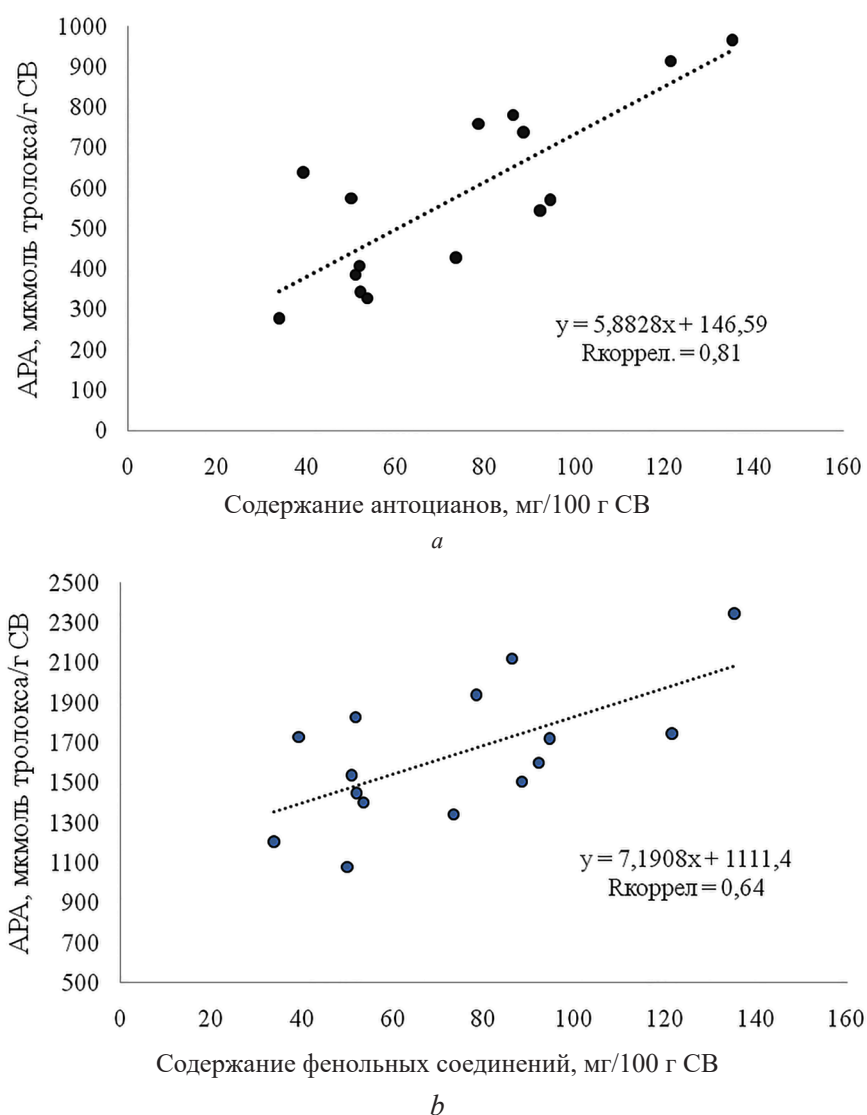


Рис. 4. Корреляционная связь между АРА разных сортов *Vaccinium corymbosum* L. и содержанием антоциановых пигментов (а) и фенольных соединений (b)

Fig. 4. Correlation between antiradical activity of different varieties of *Vaccinium corymbosum* L. and the content of anthocyanin pigments (a) and phenolic compounds (b)

Т а б л и ц а 1. АРА и суммарное содержание фенольных соединений в листьях растений *Vaccinium corymbosum* L. (in vivo)

T a b l e 1. ARA and the total content of phenolic compounds in leaves of *Vaccinium corymbosum* L. (in vivo)

С о р т	АРА, мкмоль тролокса/г СВ		Суммарное содержание фенольных соединений, мг/г СВ
	1 мин эксперимента	6 мин эксперимента	
Bluecrop	355,6	363,1	79,5 ± 2,63
Bluegold	331,2	343,3	78,3 ± 3,14
Bluetta	221,4	230,5	58,3 ± 2,52
Denise Blue	156,2	170,4	46,3 ± 1,53
Duke	455,6	463,1	101,1 ± 4,79
Earlyblue	589,5	597,3	146,4 ± 7,20
Northblue	302,7	317,5	68,6 ± 1,97

П р и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 2 относительная погрешность не превышала 5 %.



Определено также количественное содержание БАВ в листьях растений голубики высокорослой, полученной методом *in vitro* (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. АРА и суммарное содержание фенольных соединений в листьях растений *Vaccinium corymbosum* L. (*in vitro*)

T a b l e 2. ARA and the total content of phenolic compounds in leaves of *Vaccinium corymbosum* L. (*in vitro*)

Сорт	АРА, мкмоль тролокса/г СВ		Суммарное содержание фенольных соединений, мг/г СВ
	1 мин эксперимента	6 мин эксперимента	
Bluecrop	173,4	206,7	49,5 ± 0,84
Bluegold	223,0	245,9	56,3 ± 1,59
Bluetta	151,6	167,6	36,4 ± 0,87
Denise Blue	213,7	221,5	54,3 ± 1,73
Duke	266,5	282,1	62,7 ± 1,38
Earlyblue	206,1	225,3	51,4 ± 1,84
Northblue	165,4	185,5	34,9 ± 1,40

При построении корреляционных графиков коэффициенты корреляции содержания фенольных соединений и уровень АРА через 1 и 6 мин проведения эксперимента составили 0,90 и 0,93 соответственно ( $T_{\text{крит. Стьюдента}} > 6; p < 0,05$ ), что свидетельствует о тесной взаимосвязи между данными показателями [14].

Результаты эксперимента показали, что содержание фенольных соединений в листьях растений голубики высокорослой, полученных методом культуры *in vitro*, находится в пределах от  $34,6 \pm 1,64$  до  $62,7 \pm 1,38$  мг/г СВ в пересчете на галловую кислоту, что ниже количественных показателей у растений в культуре *in vivo* (на 24–60 %). Наибольшим количеством фенольных соединений характеризовались сорта Duke и Bluegold.

В листьях микроклонально размноженных растений голубики сорта Earlyblue наблюдалось снижение содержания фенольных соединений, однако у сорта Bluegold, наоборот, содержание фенольных соединений возросло. Изменение уровня биосинтеза полифенолов в *in vivo* и *in vitro* растениях может быть связано с перераспределением исходных продуктов их синтеза для создания резерва, обеспечивающего жизнедеятельность растения, а большая устойчивость к стресс-факторам *in vitro* растений – оздоровлением при подготовке посадочного материала, так как фенолы синтезируются в ответ на патогенную атаку и окислительный стресс [15–17].

Известно, что биосинтетические изменения напрямую или опосредованно связаны с ключевым этапом реализации наследственной информации – биосинтезом белков. Их гетерогенность и специфичность определяют ход метаболизма и онтогенетическое развитие организма на каждом из этапов жизненного цикла и зависят от условий внешней среды (стрессы разной природы, обеспеченность элементами питания, водный режим, регуляторные воздействия и т. п.). При использовании комбинации протеомных методов исследования с метаболомными может быть дана детальная характеристика биохимического статуса целого организма или отдельной ткани [18, 19]. Подобных исследований на настоящий момент проведено немного, единичные из них касаются культуры клеток и тканей *in vitro* сортов голубики высокорослой.

Для двух сортов голубики, характеризующихся высоким накоплением фенольных соединений как в системе *in vivo*, так и в системе *in vitro*, проведен скрининг протеома. Первичный протеомный анализ общего пула белков, выделенных из листовой ткани растений сортов Duke и Earlyblue, позволил выявить индивидуальные белки, претендующие на роль маркеров функционального состояния растений, а также сортоспецифичные белки. При анализе полученных протеомных карт обнаружены полипептиды с молекулярной массой от 224,7 до 17,2 кДа.

Белки с одинаковой молекулярной массой у образцов *in vivo* и *in vitro* у разных сортов значительно различались по интенсивности экспрессии. Так, в листовой ткани растений голубики сорта Duke *in vivo* было выявлено два полипептида, не экспрессирующихся у сорта Earlyblue (молекулярная масса 37,11 и 63,69 кДа), у которого, в свою очередь, детектируются белки с моле-

кулярной масой 53,67; 47,05 и 43,48 кДа, отсутствующие на электрофореграмме сорта Duke. Выявленные белки могут претендовать на роль маркеров сортоспецифичности голубики указанных сортов.

В ходе протеомных исследований определены также белки, характерные только для *in vivo* растений *Vaccinium corymbosum* L. Это белки с молекулярной массой 61,47; 54,24 и 45,54 кДа, претендующие на роль белков – маркеров функционального состояния растений голубики.

Полученные данные, наряду с молекулярно-генетическими паспортами, можно использовать при определении функционального состояния, сортосоответствия и степени оздоровления представителя рода *Vaccinaceae* – голубики высокорослой.

**Заключение.** В результате проведенных исследований определено суммарное содержание фенольных соединений и антоцианов в плодах и листьях различных сортов *Vaccinium corymbosum* L. Максимальное их содержание отмечено у сортов Blueray, Blueose, Caroline Blue, Herbert, Jersey, Nelson. В исследованных таксонах доля антоциановых пигментов в составе фенольных соединений составляла от 0,01 до 0,8 % в зеленых плодах и от 22 до 52 % в зрелых. Сорта Earlyblue, Duke, Bluescop, Bluegold характеризовались наибольшим количеством фенольных соединений в листьях. Определено наличие тесной положительной корреляционной связи между уровнем АРА и содержанием антоциановых пигментов в плодах и уровнем АРА и содержанием фенольных соединений в плодах и листьях, что может быть использовано для оценки биологической активности плодов и листьев голубики и создания фитопрепаратов на их основе. Определены отличия в накоплении фенольных веществ у сортов голубики, посадочный материал которых производился методами *in vivo* и *in vitro*.

Показано, что для определения сортосоответствия представителя рода *Vaccinaceae* наряду с генетическими паспортами можно использовать протеомный профиль растений голубики высокорослой.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» (подпрограмма «Биоразнообразие, биоресурсы, экология», задание 06.02, 2021–2025 гг.).

**Acknowledgements.** This work was financially supported by the State Program of Scientific Research “Natural resources and the environment” (subprogram “Biodiversity, biological resources, ecology”, grant 06.02, 2021–2025).

#### Список использованных источников

- Holton, T. A. Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis / T. A. Holton, E. C. Cornish // *Plant Cell*. – 1995. – Vol. 7, N 7. – P. 1071–1083. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1071>
- Petroni, K. Recent advances on the regulation of anthocyanin synthesis in reproductive organs / K. Petroni, C. Tonelli // *Plant Sci*. – 2011. – Vol. 181, N 3. – P. 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.05.009>
- Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention / S. Zafra-Stone [et al.] // *Mol. Nutr. Food Res*. – 2007. – Vol. 51, N 6. – P. 675–683. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700002>
- He, J. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties / J. He, M. M. Giusti // *Ann. Rev. Food Sci. Technol*. – 2010. – Vol. 1, N 1. – P. 163–187. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100754>
- Tsuda, T. Dietary anthocyanin-rich plants: biochemical basis and recent progress in health benefits studies / T. Tsuda // *Mol. Nutr. Food Res*. – 2012. – Vol. 56, N 1. – P. 159–170. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100526>
- Wrolstada, R. E. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products / R. E. Wrolstada, R. W. Dursta, J. Leeb // *Trends Food Sci. Technol*. – 2005. – Vol. 16, N 9. – P. 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.019>
- Готтих, М. Б. Определение качественного и количественного состава антоцианиновых пигментов в составе биологически активных добавок с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) / М. Б. Готтих, В. Н. Ташлицкий // *РМЖ. Клин. офтальмология*. – 2007. – Т. 8, № 3. – С. 106–108.
- Anthocyanin content and antioxidant activity of various red fruit juice / L. Jakobek [et al.] // *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*. – 2007. – Vol. 103, N 2. – P. 58–64.
- Analysis of antioxidative phenolic compounds in artichoke (*Cynara scolymus* L.) / M. Wang [et al.] // *J. Agricult. Food Chem*. – 2003. – Vol. 51, N 3. – P. 601–608. <https://doi.org/10.1021/jf020792b>
- Государственная Фармакопея Республики Беларусь (ГФ РБ II). 2007. Т. 2, с. 1207 (С. 330).
- Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay / R. Re [et al.] // *Free Rad. Biol. Med*. – 1999. – Vol. 26, N 9/10. – P. 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Jackson, B. P. Herbal drugs and phytopharmaceuticals: A handbook for practice on a scientific basis, edited and translated from the second German edition by Norman Grainger Bisset, London; German edition edited by Max Wichtl, Marburg. With a foreword by J. David Phillipson, Medpharm Scientific Publishers, Stuttgart, 1994. No. of pages: xvi + 566, price DM 298. ISBN 3-88763-025-4 [Book Reviews] / B. P. Jackson // *Flavour Fragrance J*. – 1995. – Vol. 10, N 5. – P. 337–339. <https://doi.org/10.1002/ffj.2730100512>

13. Laemmli, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage / U. K. Laemmli // *Nature*. – 1970. – Vol. 227, N 5259. – P. 680–685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
14. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Вышэйш. шк., 1964. – 328 с.
15. Leaf anatomy and water stress of aseptically cultured “Pixy” plum grown under different environments / K. E. Brainerd [et al.] // *HortScience*. – 1981. – Vol. 16, N 2. – P. 173–175.
16. Principal phenolic phytochemicals and antioxidant activities of three chinese medicinal plants / H. Jang [et al.] // *Food Chem.* – 2007. – Vol. 103, N 3. – P. 749–756. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.026>
17. Душенков, В. Новая стратегия поиска природных биологически активных веществ / В. Душенков, И. Раскин // *Физиология растений*. – 2008. – Т. 55, № 4. – С. 624–628.
18. Vascular proteomics: linking proteomic and metabolomic changes / M. Mayr [et al.] // *Proteomics*. – 2004. – Vol. 4, N 12. – P. 3751–3761. <https://doi.org/10.1002/pmic.200400947>
19. Shoot differentiation from protocorm callus cultures of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae): proteomic and metabolic responses at early stage / T. L. Palama [et al.] // *BMC Plant Biol.* – 2010. – Vol. 10, N 1. – P. 82–101. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-82>

## References

1. Holton T. A., Cornish E. C. Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis. *Plant Cell*, 1995, vol. 7, no. 7, pp. 1071–1083. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1071>
2. Petroni K., Tonelli C. Recent advances on the regulation of anthocyanin synthesis in reproductive organs. *Plant Science*, 2011, vol. 181, no. 3, pp. 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.05.009>
3. Zafra-Stone S., Yasmin T., Bagchi M., Chatterjee A., Vinson J. A., Bagchi D. Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention. *Molecular Nutrition and Food Research*, 2007, vol. 51, no. 6, pp. 675–683. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700002>
4. He J., Giusti M. M. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 163–187. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100754>
5. Tsuda T. Dietary anthocyanin-rich plants: biochemical basis and recent progress in health benefits studies. *Molecular Nutrition and Food Research*, 2012, vol. 56, no. 1, pp. 159–170. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100526>
6. Wrolstada R. E., Dursta R. W., Leeb J. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science and Technology*, 2005, vol. 16, no. 9, pp. 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.019>
7. Gottikh M. B., Tashlitskii V. N. Determination of the qualitative and quantitative composition of anthocyanin pigments in biologically active additives using high performance liquid chromatography (HPLC). *RMZh. Klinicheskaya oftal'mologiya* [RMJ. Clinical ophthalmology], 2007, vol. 8, no. 3, pp. 106–108 (in Russian).
8. Jakobek L., Šeruga M., Medvidović-Kosanović M. Anthocyanin content and antioxidant activity of various red fruit juice. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 2007, vol. 103, no. 2, pp. 58–64.
9. Wang M., Simon J. E., Aviles I. F., He K., Zheng Q.-Y., Tadmor Y. Analysis of antioxidative phenolic compounds in artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, vol. 51, no. 3, pp. 601–608. <https://doi.org/10.1021/jf020792b>
10. State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus (SF RB II), 2007, vol. 2, p. 1207 (P. 330).
11. Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 1999, vol. 26, no. 9/10, pp. 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
12. Jackson B. P. Herbal drugs and phytopharmaceuticals: A handbook for practice on a scientific basis, edited and translated from the second German edition by Norman Grainger Bisset, London; German edition edited by Max Wichtl, Marburg. With a foreword by J. David Phillipson, Medpharm Scientific Publishers, Stuttgart, 1994. No. of pages: xvi + 566, price DM 298. ISBN 3-88763-025-4 [Book Reviews]. *Flavour and Fragrance Journal*, 1995, vol. 10, no. 5, pp. 337–339. <https://doi.org/10.1002/ffj.2730100512>
13. Laemmli U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage. *Nature*, 1970, vol. 227, no. 5259, pp. 680–685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
14. Rokitskii P. F. *Biological statistics*. Minsk, Vysheishaya shkola Publ., 1964. 328 p. (in Russian).
15. Brainerd K. E., Fuchigami L.H., Kwiatkowski S., Clark C. S. Leaf anatomy and water stress of aseptically cultured “Pixy” plum grown under different environments. *HortScience*, 1981, vol. 16, no. 2, pp. 173–175.
16. Jang H.-D., Chang K.-S., Huang Y.-S., Hsu C.-L., Lee S.-H., Su M.-S. Principal phenolic phytochemicals and antioxidant activities of three chinese medicinal plants. *Food Chemistry*, 2007, vol. 103, no. 3, pp. 749–756. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.026>
17. Dushenkov V., Raskin I. A new search strategy for natural biologically active substances. *Fiziologiya rastenii* [Plant physiology], 2008, vol. 55, no. 4, pp. 624–628 (in Russian).
18. Mayr M., Mayr U., Chung Y.-L., Yin X., Griffiths J. R., Xu Q. Vascular proteomics: linking proteomic and metabolomic changes. *Proteomics*, 2004, vol. 4, no. 12, pp. 3751–3761. <https://doi.org/10.1002/pmic.200400947>
19. Palama T. L., Menard P., Fock I., Choi Y. H., Bourdon E., Govinden-Soulange J., Bahut M., Payet B., Verpoorte R., Kodja H. Shoot differentiation from protocorm callus cultures of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae): proteomic and metabolic responses at early stage. *BMC Plant Biology*, 2010, vol. 10, no. 1, pp. 82–101. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-82>



### Информация об авторах

*Чижик Ольга Владимировна* – канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь).

*Деева Алла Михайловна* – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: alladzeeva@gmail.com

*Решетников Владимир Николаевич* – академик, д-р биол. наук, профессор, заведующий отделом. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь).

### Information about the authors

*Olga V. Chizhik* – Ph. D. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus).

*Alla M. Deeva* – Ph. D. (Biol.), Senior Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alladzeeva@gmail.com

*Vladimir N. Reshetnikov* – Academician, D. Sc. (Biol.), Professor, Head of the Department. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus).