

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 634.739.3:736(476)

ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛОДОВ *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ В ОБЫЧНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ ПРИ НИЗКИХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ж. А. РУПАСОВА, С. Н. АВРАМЕНКО, А. В. УШАКОВА, А. С. САЯН,
Н. Б. ПАВЛОВСКИЙ, О. В. ДРОЗД, А. Г. ПАВЛОВСКАЯ,
Т. В. ШПИТАЛЬНАЯ, П. Н. БЕЛЫЙ

ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220012

(Поступила в редакцию 27.02.2025)

Приведены результаты сравнительного исследования генотипических особенностей трансформации биохимического состава плодов 6 новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой – раннеспелых – Chanticleer, Hannah's Choice, среднеспелых – Bluegold, Harrison и позднеспелых – Aurora, Rubel, а также соответствующих данным сортовым группам районированных сортов Weymouth, Bluecrop и Elliott из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси на двух этапах хранения с 10-суточным интервалом в обычной газовой среде при низких положительных температурах ($+4\pm 1$ °C). У всех обозначенных таксонов установлены сходные закономерности, аналогичные выявленным в подобном эксперименте с плодами жимолости синей и состоявшие в обеднении ягодной продукции свободными органическими, аскорбиновой и гидроксикоричными кислотами, пектиновыми веществами, антоциановыми пигментами, в том числе собственно антоцианами и лейкоантоцианами, при уменьшении общего количества Р-витаминов на фоне ее обогащения дубильными веществами, катехинами, флавонолами и растворимыми сахарами при увеличении показателя сахарокислотного индекса и содержания сухих веществ, что свидетельствовало об их общебиологической природе. Показано, что направленность и степень выразительности выявленных тенденций в изменении содержания органических соединений в значительной мере определялись их химической природой, генотипом опытных растений, а также сроками созревания и продолжительностью хранения плодов. Во всех сортовых рядах наибольшая степень трансформации биохимического состава плодов по совокупности 14 показателей выявлена у районированных сортов Weymouth, Bluecrop и Elliott, а наименьшая – у раннеспелого Chanticleer, среднеспелого Bluegold и позднеспелого Rubel, тогда как в общем сортовом ряду наиболее значительной она была у сорта Bluecrop, а наименьшей – у сорта Rubel. Установлено, что в отличие от жимолости синей, на завершающем этапе 20-суточного хранения плодов голубики наблюдалось не снижение, а, напротив, увеличение их питательной и витаминной ценности по совокупности 14 биохимических характеристик относительно исходного уровня, наиболее значительное у раннеспелых сортов, тогда как наименьшее, а в ряде случаев даже уступающее последнему, у позднеспелых сортов.

Ключевые слова: голубика высокорослая, сорта, плоды, хранение, низкие положительные температуры, этапы хранения, биохимический состав, сухие вещества, органические кислоты, углеводы, фенольные соединения.

The article presents the results of a comparative study of the genotypic features of the transformation of the biochemical composition of fruits of 6 new introduced varieties of highbush blueberry: early-ripening – Chanticleer, Hannah's Choice; mid-ripening – Bluegold, Harrison; and late-ripening – Aurora, Rubel, as well as the corresponding to these varietal groups zoned varieties Weymouth, Bluecrop and Elliott from the collection of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus at two stages of storage with a 10-day interval in a normal gas environment at low positive temperatures ($+4\pm 1$ °C). All the designated taxa showed similar patterns, similar to those revealed in a similar experiment with blue honeysuckle fruits, consisting in the depletion of berry products in free organic, ascorbic and hydroxycinnamic acids, pectin substances, anthocyanin pigments, including anthocyanins and leucoanthocyanins, with a decrease in the total amount of P-vitamins against the background of its enrichment with tannins, catechins, flavonols and soluble sugars with an increase in the sugar-acid index and dry matter content, which indicated their general biological nature. It was shown that the direction and degree of expressiveness of the identified trends in changing the content of organic compounds were largely determined by their chemical nature, the genotype of the experimental plants, as well as the ripening time and shelf life of the fruits. In all varietal series, the highest degree of transformation of the biochemical composition of fruits by a set of 14 indicators was found in the zoned varieties Weymouth, Bluecrop and Elliott, and the lowest – in the early-ripening Chanticleer, mid-season Bluegold and late-ripening Rubel, while in the general varietal series it was most significant in the Bluecrop variety, and the least – in the Rubel variety. It was found that, unlike blue honeysuckle, at the final stage of 20-day storage of blueberry fruits, there was no decrease, but, on the contrary, an increase in their nutritional and vitamin value by a set of 14 biochemical characteristics relative to the initial level, the most significant in early-ripening varieties, while the least, and in some cases even inferior to the latter, in late-ripening varieties.

Key words: *highbush blueberry, varieties, fruits, storage, low positive temperatures, storage stages, biochemical composition, dry matter, organic acids, carbohydrates, phenolic compounds.*

Введение

В связи с особой популярностью у населения республики плодов голубики высокорослой, являющихся ценным пищевым и лечебно-профилактическим продуктом, несомненный научный и практический интерес обретают вопросы их хранения, кратковременность периода которого ограничивает возможности реализации и поставок ягодной продукции на внутренний и внешний рынки. Широко распространенный за рубежом способ продления потребительских качеств плодов голубики путем замораживания с последующим хранением при низких отрицательных температурах обуславливает относительную стабильность их основных физико-химических характеристик [1, 2]. Однако при последующем размораживании он не обеспечивает сохранения ими товарного вида и эстетических качеств, что не позволяет использовать их в качестве столового продукта для розничной продажи и существенно актуализирует хранение голубики в холодильных установках при низких положительных температурах.

Вместе с тем в научной литературе практически отсутствует имеющая важное теоретическое и практическое значение информация о происходящей при этом трансформации биохимического состава плодов. Поскольку в настоящее время в рамках Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» осуществляется комплексная оценка адаптивного потенциала новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой, пополнивших коллекционный фонд Центрального ботанического сада НАН Беларуси, то представлялось целесообразным в период хранения их плодов провести исследование изменения содержания в них ряда биологически активных соединений, определяющих основную потребительскую ценность данной продукции – ряда органических кислот, углеводов и фенольных соединений, в том числе танинов (дубильных веществ) и биофлавоноидов, обладающих высокой Р-витаминной и антиоксидантной активностью и представленных преимущественно антоциановыми пигментами, в том числе собственно антоцианами и лейкоантоцианами, а также катехинами и флавонолами, оказывающими разностороннее позитивное действие на организм человека [3, 4]. С этой целью в 2024 г. проведен соответствующий лабораторный эксперимент по выявлению генотипических особенностей трансформации комплекса действующих веществ в плодах голубики высокорослой при хранении в условиях обычной газовой среды при температуре $+4\pm 1$ °C.

Объектами исследований являлись плоды 6 новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой – раннеспелых – *Chanticleer*, *Hannah's Choice*, среднеспелых – *Bluegold*, *Harrison* и позднеспелых – *Aurora*, *Rubel*, а также соответствующих данным группам спелости районированных сортов *Weymouth*, *Bluecrop* и *Elliott*. Опытные растения выращены на экспериментальном участке отраслевой лаборатории интродукции и технологии нетрадиционных ягодных растений ЦБС НАН Беларуси (Ганцевичский р-н Брестской обл.) на осушенной торфяно-болотной почве. Закладку плодов на хранение осуществляли по достижении ими состояния съемной зрелости. В качестве тары использовали одноразовые пищевые пластиковые контейнеры с отверстиями объемом 400 мл (Т 602 для ягод и фруктов с крышками Т 601). Образцы формировали только из внешне здоровых плодов и хранили их в лабораторном холодильнике при низких положительных температурах $+4\pm 1$ °C и относительной влажности воздуха 40–70 %. Закладка на хранение опытных образцов раннеспелых сортов осуществлена 17 июля с последующим отбором средних проб для проведения аналитических работ дважды за период хранения – 26 июля и 2 августа. У среднеспелых сортов аналогичные сроки отбора проб соответствовали датам 24 июля, 2 и 12 августа, а у позднеспелых – 20 августа, 2 и 12 сентября. При этом для всех сортовых групп интервал отбора проб составлял 10 дней. В дальнейшем, из-за утраты плодами эстетических качеств, эксперимент был завершен.

На обозначенных этапах хранения плодов определяли содержание в них органических соединений, относящихся к разным классам действующих веществ. При этом учитывали содержание сухих веществ – по ГОСТ 28561-90 [5]; аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом [6]; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [6], гидроксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую) – спектрофотометрическим методом [7]; растворимых сахаров – ускоренным полумикрометодом [8]; пектиновых веществ – кальциево-пектатным методом [6]; суммарное количество антоциановых пигментов – по методу T. Swain, W. E. Hillis [9], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [10]; содержание собственно антоцианов и катехинов (с использованием ванилинового реактива) – фотоэлектроколориметриче-

ским методом [11, 6]; а также флавонолов (в пересчете на рутин) – спектрофотометрическим методом [6] и дубильных веществ (танинов) – титрометрическим методом Левенталю [12]. Показатель сахарокислотного индекса плодов оценивался по соотношению количеств растворимых сахаров и свободных органических кислот. Сравнение опытных таксонов голубики по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов на отдельных этапах хранения осуществляли на основе авторского способа ранжирования объектов по совокупности анализируемых признаков, защищенного патентом [13]. Все аналитические определения выполнены в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторностях. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Основная часть

В результате исследования генотипических особенностей биохимического состава плодов опытных сортов голубики высокорослой перед закладкой на хранение установлены следующие параметры накопления в них сухих веществ, варьировавшиеся в ряду раннеспелых сортов в диапазоне 11,5–16,6 %, среднеспелых – 11,2–13,0 % и позднеспелых – 14,5–18,0 %. При этом содержание органических кислот, в значительной мере определявшее вкусовые и полезные свойства плодов голубики, варьировалось в обозначенных сортовых рядах в довольно широких диапазонах значений, составлявших в сухой массе для титруемых кислот (в пересчете на лимонную кислоту, в %) – соответственно 5,4–11,9; 11,3–12,8 и 4,1–11,4; для аскорбиновой кислоты (в мг/100 г) – 261,4–402,3; 383,0–459,8 и 643,9–846,3; для гидроксикоричных кислот (в мг/100 г) – 1380,5–1632,9; 358,9–575,9 и 678,4–844,1. Вместе с тем плоды голубики характеризовались весьма высоким содержанием углеводов, в первую очередь, растворимых сахаров, суммарное содержание которых (в % сухой массы) изменялось в таксономических рядах в довольно близких диапазонах: у раннеспелых сортов – 44,7–49,0, среднеспелых – 42,0–50,0 и позднеспелых – 40,3–47,0 при изменении показателя сахарокислотного индекса соответственно 3,8–8,4; 3,6–4,0 и 3,8–9,9. Содержание пектиновых веществ (в % сухой массы) в анализируемых сортовых рядах изменялось также в сопоставимых диапазонах значений – 6,15–8,28, 5,92–7,03 и 6,19–8,25 при содержании дубильных веществ (танинов) 1,65–2,01 %; 1,77–2,19 и 2,10–2,55 % соответственно. Общее количество биофлавоноидов в плодах голубики (в мг/100 г сухой массы) варьировалось в следующих интервалах значений – у раннеспелых сортов – от 11676 до 13725; у среднеспелых – от 9495 до 13706 и у позднеспелых сортов – от 12730 до 18367. Доминирующее положение в составе Р-витаминного комплекса принадлежало антоциановым пигментам, при суммарном содержании которых в анализируемых таксономических рядах, соответствовавшем 8112–10088; 6786–10530 и 9464–14820 в мг/100 г сухой массы, их общая доля в нем составляла 69–73 % у раннеспелых сортов, 71–77 % у среднеспелых и 74–81 % у позднеспелых сортов. Превалирующей фракцией антоциановых пигментов являлись собственно антоцианы, содержание которых, составлявшее в данных рядах 3200–6020; 4500–6200 и 7760–9020 мг/100 г, в большинстве случаев превосходило таковое лейкоантоцианов в 1,4–2,0 раза при содержании последних соответственно 3080–6888; 2286–4330 и 1704–6120 мг/100 г. Долевое участие флавонолов в Р-витаминном комплексе плодов в анализируемых сортовых рядах голубики при содержании 2912–3287; 2010–2401 и 2316–2572 мг/100 г сухой массы составляло соответственно 23–25, 17–22 и 13–20 %, тогда как относительная доля катехинов при содержании 538–776; 686–775 и 694–1027 мг/100 г изменялась от 4 до 7 %.

В результате сравнительного исследования генотипических особенностей трансформации биохимического состава плодов исследуемых таксонов голубики на двух этапах хранения с 10-суточным интервалом в обычной газовой среде при низких положительных температурах ($+4 \pm 1$ °C), у всех опытных объектов установлены сходные закономерности, аналогичные выявленным в подобном эксперименте с плодами жимолости синей и свидетельствовавшие об их общебиологической природе [14]. Вместе с тем, как следует из табл. 1, направленность и степень выразительности выявленных тенденций в изменении содержания действующих веществ относительно исходного уровня в значительной мере были обусловлены их химической структурой, генотипом растений, а также сроками созревания и продолжительностью хранения плодов. При этом на завершающем этапе 20-суточного хранения показано их обеднение всеми определявшимися видами органических кислот, в том числе на 20–44 % титруемыми, на 8–48 % аскорбиновой и на 7–21 % гидроксикоричными, с наиболее существенным его проявлением у среднеспелых сортов, особенно у обоих новых интродуцентов *Bluegold* и *Harrison* и наименее значительным у районированного сорта *Bluecrop*. В таксономическом ряду позднеспелых сортов, уступающих по данному признаку среднеспелым в 1,2–2,0 раза, заметным сходством при наименьшей степени деградации органических кислот отличались оба тестируемых сорта *Aurora* и *Rubel* на фоне наиболее существенных изменений в их содержании у районированного сорта *Elliot*. Наименьшей же степенью деградации данных соединений, уступавшей в 1,5–2,3 раза

таковой у лидирующих по данному показателю среднеспелых сортов, характеризовались раннеспелые сорта голубики при наиболее высоких и практически одинаковых ее значениях у районированного сорта *Weymouth* и тестируемого таксона *Chanticleer* и наименьших у сорта *Hannah's Choice*.

У всех раннеспелых сортов и среднеспелого *Bluecrop* на обоих 10-дневных этапах хранения выявлены сходные темпы обеднения плодов органическими кислотами, свидетельствовавшие об относительно равномерной их деградации на всем протяжении эксперимента, тогда как у сортов *Harrison*, *Elliott* и *Aurora* она протекала более интенсивно на первом этапе хранения, а у сортов *Bluegold* и *Rubel* – на втором. Наряду с этим установлено обеднение ягодной продукции на 2–17 % пектиновыми веществами, а также на 8–14 % антоциановыми пигментами, в том числе на 5–19 % собственно антоцианами и на 7–29 % лейкоантоцианами, обусловившее, хотя и незначительное, не превышавшее 5 %, но все же снижение общего количества Р-витаминов (табл. 1).

Таблица 1. Относительные различия с исходным уровнем содержания действующих веществ в плодах интродуцируемых сортов *Vaccinium corymbosum* на отдельных этапах хранения в условиях обычной газовой среды при температуре $+4\pm 1$ °C, %

Показатель	1 / исх.	2 / исх.	1 / исх.	2 / исх.	1 / исх.	2 / исх.
	Раннеспелые сорта					
	<i>Weymouth (st)</i>		<i>Chanticleer</i>		<i>Hannah's Choice</i>	
Сухие вещества	+9,6	+11,3	+4,2	+9,0	+4,8	+12,1
Своб. органич. кисл.	-17,6	-35,3	-7,4	-20,4	-17,6	-23,1
Аскорбиновая кислота	-8,8	-17,1	-24,7	-32,2	-	-17,4
Гидроксикор. кислоты	-4,3	-7,5	-	-8,3	-3,7	-7,1
Растворимые сахара	-	+16,3	-	+6,6	-	+9,6
Сахарокисл. индекс	+23,7	+78,9	+14,3	+34,5	+26,7	+44,4
Пектиновые вещества	-10,4	-16,6	-6,8	-9,1	-9,5	-11,4
Собств.антоцианы	-4,4	-18,8	-4,0	-12,6	-8,8	-15,8
Лейкоантоцианы	-	-7,9	-	-	-	-
Сумма антоц. пигм.	-	-11,3	-	-8,0	-3,2	-9,9
Катехины	+33,9	+40,1	+38,0	+41,4	+33,2	+39,6
Флавонолы	+11,5	+16,5	+4,7	+17,6	+5,3	+19,3
Сумма биофлавонол.	+3,0	-3,0	-	-	-	-
Дубильные вещества	+4,0	+46,9	+32,1	+32,1	+26,4	+33,3
	Среднеспелые сорта					
	<i>Bluecrop (st)</i>		<i>Bluegold</i>		<i>Harrison</i>	
Сухие вещества	+10,7	+11,6	+9,4	+26,5	+20,0	+31,5
Своб. органич. кисл.	-15,5	-39,7	-15,9	-41,6	-32,8	-43,8
Аскорбиновая кислота	-17,9	-30,7	-15,6	-47,1	-18,8	-48,1
Гидроксикор. кислоты	-12,5	-16,7	-11,7	-15,8	-8,8	-15,4
Растворимые сахара	+5,5	+31,7	+9,6	+10,3	+17,4	+17,4
Сахарокисл. индекс	+25,0	+119,4	+30,0	+87,5	+74,4	+107,7
Пектиновые вещества	-4,4	-22,5	-5,4	-6,8	-	-3,7
Собств.антоцианы	-8,4	-15,1	-7,1	-11,9	-7,2	-13,9
Лейкоантоцианы	-	-11,2	-4,3	-8,7	-	-6,9
Сумма антоц. пигм.	-6,1	-13,8	-5,9	-10,6	-4,9	-11,1
Катехины	+5,6	+10,8	+3,0	+9,4	+5,7	+12,5
Флавонолы	+13,6	+26,3	+7,8	+17,7	+7,3	+16,9
Сумма биофлавонол.	-	-3,5	-3,0	-4,5	-	-4,1
Дубильные вещества	+10,0	+13,7	+5,3	+15,0	+4,5	+9,0
	Позднеспелые сорта					
	<i>Elliott (st)</i>		<i>Aurora</i>		<i>Rubel</i>	
Сухие вещества	+16,7	+18,0	-	+16,6	-	+6,1
Своб. органич. кисл.	-25,5	-39,4	-20,2	-28,1	-7,3	-22,0
Аскорбиновая кислота	-19,5	-22,6	-6,7	-20,3	-	-8,0
Гидроксикор. кислоты	-3,5	-9,3	-4,2	-8,9	-4,2	-21,2
Растворимые сахара	-	+9,1	+5,3	+8,6	+6,0	+11,7
Сахарокисл. индекс	+36,0	+80,0	+31,6	+50,0	+14,1	+40,4
Пектиновые вещества	-	-2,1	-	-4,2	-	-5,5
Собств.антоцианы	-2,2	-4,9	-	-5,7	-5,1	-7,1
Лейкоантоцианы	-15,5	-25,6	-20,4	-29,1	-5,8	-8,0
Сумма антоц. пигм.	-4,9	-9,0	-4,9	-9,9	-5,4	-7,5
Катехины	-	+5,7	+5,7	+9,4	-	+4,1
Флавонолы	+4,4	+8,8	+4,0	+8,6	-	+4,7
Сумма биофлавонол.	-3,0	-5,3	-2,6	-5,1	-4,0	-5,2
Дубильные вещества	+12,6	+24,8	+7,6	+19,9	+5,7	+13,8

Примечание: 1 / исх. и 2 / исх. – величина изменения показателя от начала хранения. Прочерк означает отсутствие статистически значимых различий по t-критерию Стьюдента с исходным уровнем при $p < 0,05$.

Вместе с тем обозначенные выше негативные изменения в биохимическом составе плодов опытных таксонов голубики в процессе хранения сопровождались рядом позитивных, связанных, в том числе, с увеличением содержания в них сухих веществ, обусловленным потерями влаги, наиболее значительным – на 12–32 % у среднеспелых сортов против 9–12 % у раннеспелых и 6–18 % у позднеспелых, а также с их обогащением на 7–32 % растворимыми сахарами и увеличением показателя сахарокислотного индекса на 35–119 %, свидетельствовавшим об улучшении вкусовых свойств. Заметим, что наиболее высокой степенью трансформации углеводного комплекса плодов по совокупности обозначенных признаков характеризовались среднеспелые сорта, особенно *Bluecrop* и *Harrison*, а наименьшей – раннеспелые, особенно, сорт *Chanticleer*. При этом у большинства таксонов голубики наиболее высокие темпы изменения углеводного состава плодов выявлены на втором этапе хранения и лишь у сортов *Harrison* и *Aurora* – на первом при относительной их сопоставимости на обоих этапах у сорта *Rubel*.

Позитивные же изменения в биохимическом составе плодов голубики при заданных условиях хранения обеспечивались также активизацией биосинтеза в них на 9–47 % дубильных веществ, на 4–41 % катехинов и на 5–26 % флавонолов.

Показано, что самым заметным обогащением фенольного комплекса плодов характеризовались раннеспелые сорта, особенно *Chanticleer*, и на порядок меньшим среднеспелые, особенно сорт *Harrison*, что свидетельствовало о существенном замедлении у данных таксонов темпов взаимопревращений основных компонентов данного комплекса, способствовавшим определенной стабилизации его состава, тогда как у позднеспелых сортов, напротив, наблюдалось усиление деградации фенольных соединений, особенно у сорта *Aurora*, обусловленное наиболее значительной в сортовом ряду деструкцией лейкоформ антоциановых пигментов. При этом основная трансформация фенольного комплекса плодов голубики наблюдалась преимущественно на первом этапе их хранения (табл. 1).

На наш взгляд, выявленные тенденции в изменении содержания органических соединений, имевшие общий характер для представителей всех сортовых групп голубики и в большинстве случаев совпадавшие с таковыми в аналогичных исследованиях с плодами жимолости синей [14], указывали на их общебиологическую природу и скорее всего, могли оказать выраженное влияние не только на качественный состав ягодной продукции, но и на интегральный уровень ее питательной и витаминной ценности по совокупности исследуемых показателей. Более того, на фоне значительной активизации биосинтеза в ней ряда физиологически активных соединений, в том числе танинов, катехинов, флавонолов, растворимых сахаров и увеличения сахарокислотного индекса, перекрывавших отрицательные эффекты от деградации органических кислот, пектинов и антоциановых пигментов, следовало ожидать не только поддержания, но даже определенного положительного влияния на данный показатель.

При этом с целью определения степени трансформации биохимического состава плодов голубики в процессе хранения, в зависимости от генотипа растений и сроков их созревания, а также от продолжительности хранения, был использован тот же, что и в исследованиях с плодами жимолости синей, методический прием, основанный на сопоставлении у тестируемых объектов на отдельных этапах хранения относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных положительных и отрицательных отклонений от исходного уровня исследуемых 14 биохимических характеристик [13]. По величине суммарной амплитуды выявленных отклонений, независимо от их знака, можно судить о выразительности различий тестируемых объектов с исходным уровнем по совокупности всех исследуемых признаков на каждом этапе хранения, что позволяло осуществить их ранжирование в порядке снижения степени данных различий. Соотношение же относительных размеров совокупностей положительных и отрицательных различий биохимических характеристик плодов с исходными показателями являлось критерием изменения интегрального уровня их питательной и витаминной ценности у тестируемых сортов на отдельных этапах хранения.

Представленные в табл. 2 данные, характеризовавшие направленность и степень выразительности сдвигов в биохимическом составе плодов испытываемых сортов голубики по совокупности 14 показателей на каждом этапе хранения выявили заметные генотипические и временные различия в направленности и величине вышеуказанных сдвигов, свидетельствовавшие о специфических особенностях ответной реакции опытных объектов на разное по продолжительности воздействие низких положительных температур. При этом, судя по величине амплитуды разноориентированных сдвигов в биохимическом составе плодов всех сортов голубики, следовало заключить, что наименьшие расхождения с исходным уровнем содержания в них полезных веществ, как и у жимолости синей [14], установлены на первом этапе их хранения.

Таблица 2. Относительные размеры, амплитуды и соотношения разноориентированных различий с исходными показателями совокупности биохимических характеристик плодов интродуцируемых сортов *Vaccinium corymbosum* на отдельных этапах хранения при температуре +4±1 °С, %

Этап хранения	Относительные размеры сдвигов, %			
	положит.	отрицат.	амплитуда	положит. / отрицат.
Раннеспелые сорта				
<i>Weymouth</i>				
1	85,7	45,5	131,2	1,9
2	210,0	117,5	327,5	1,8
<i>Chanticleer</i>				
1	93,3	42,9	136,2	2,2
2	141,2	90,6	231,8	1,6
<i>Hannah,s Choice</i>				
1	96,4	42,8	139,2	2,3
2	158,3	84,7	243,0	1,9
Среднеспелые сорта				
<i>Bluecrop</i>				
1	70,4	64,8	135,2	1,1
2	213,5	153,2	366,7	1,4
<i>Bluegold</i>				
1	65,1	68,9	134,0	1,0
2	166,4	147,0	313,4	1,1
<i>Harrison</i>				
1	129,3	72,5	201,8	1,8
2	195,0	147,0	342,0	1,3
Позднеспелые сорта				
<i>Elliott</i>				
1	69,7	74,1	143,8	0,9
2	146,4	118,2	264,6	1,2
<i>Aurora</i>				
1	48,5	64,7	113,2	0,8
2	113,1	111,3	224,4	1,0
<i>Rubel</i>				
1	25,8	31,8	57,6	0,8
2	80,8	84,5	165,3	1,0

Суммарная величина данных расхождений у всех раннеспелых и двух среднеспелых (*Bluecrop* и *Bluegold*) сортов варьировалась в чрезвычайно узком диапазоне 131,2–139,2 %, что указывало на сходство степени трансформации биохимического состава их плодов, и лишь у сорта *Harrison* она возрастала до 201,8 %. Но наиболее выразительные таксономические различия по данному признаку выявлены у позднеспелых сортов, у которых при минимальной в общем сортовом ряду амплитуде его изменений, соответствовавшей области значений 57,6–143,8 %, наименьшей она была у сорта *Rubel*, а наибольшей – у районированного сорта *Elliott*. Вместе с тем в процессе хранения плодов у всех таксонов голубики, как и у жимолости синей, наблюдалось последовательное увеличение амплитуды расхождений с исходным содержанием исследуемых соединений в 1,7–2,9 раза, указывавшее на усиление трансформации их биохимического состава (табл. 2). В результате этого к завершению эксперимента наибольшими значениями данного показателя (в пределах 313,4–366,7 %) были отмечены среднеспелые сорта голубики, характеризовавшиеся показанными выше наиболее выразительными в общем таксономическом ряду изменениями в биохимическом составе плодов. Несколько уступали им в этом плане раннеспелые сорта с варьированием амплитуды анализируемых сдвигов от 231,8 % до 327,5 %, тогда как минимальными ее значениями – 165,3–264,6 % обладали позднеспелые сорта.

Вместе с тем весьма значительная ширина приведенных диапазонов варьирования в сортовых рядах голубики амплитуды разноориентированных сдвигов в биохимическом составе плодов свидетельствовала о весьма выразительных генотипических различиях в степени его трансформации в процессе их хранения, в порядке ослабления которой на его завершающем этапе были обозначены соответствующие последовательности таксонов, с расхождениями крайних позиций в 1,4; 1,2 и 1,6 раза:

- раннеспелые сорта: *Weymouth* > *Hannah,s Choice* > *Chanticleer*
- среднеспелые сорта: *Bluecrop* > *Harrison* > *Bluegold*
- позднеспелые сорта: *Elliott* > *Aurora* > *Rubel*

Как видим, во всех сортовых рядах наибольшая степень трансформации биохимического состава плодов выявлена у районированных сортов *Weymouth*, *Bluecrop* и *Elliott*, а наименьшая – у представителей этих сортовых групп – соответственно *Chanticleer*, *Bluegold* и *Rubel*. При этом в общем сорто-

вом ряду наиболее значительной она оказалась у среднеспелого районированного сорта *Bluecrop*, а наименьшая – у позднеспелого *Rubel*. Заметим также, что ряд таксонов голубики из исследуемых сортовых групп – *Hannah,s Choice*, *Chanticleer*, *Elliott* и *Aurora* характеризовались довольно близкой между собой степенью изменения качественного состава плодов в процессе хранения. Подобным сходством по этому признаку, но выраженном заметно сильнее, характеризовались также сорта *Weymouth*, *Bluecrop*, *Bluegold* и *Harrison*.

Тем не менее независимо от продолжительности хранения плодов голубики, и несмотря на показанные выше значительные изменения их биохимического состава, у большинства таксонов, в отличие от жимолости синей [14], наблюдалось не снижение, а напротив, повышение интегрального уровня их питательной и витаминной ценности по совокупности 14 биохимических характеристик, оцениваемого величиной кратного размера соотношения суммарных значений разноориентированных сдвигов данных характеристик по сравнению с исходным уровнем, условно принятым за 1. Мы это связываем с тем, что наряду с экспериментально обоснованным расходом ряда действующих веществ в качестве дыхательных субстратов, обусловившим снижение их содержания, имело место и накопление некоторых соединений, что согласуется с данными табл. 1. Кроме того, активизации их биосинтеза также могли способствовать процессы деструкции органических соединений, не охваченных настоящими исследованиями, в частности, крахмала, целлюлозы, терпеноидов и др. Заметим, что с аналогичным явлением мы сталкивались ранее в подобных исследованиях с плодами ряда таксонов жимолости синей и других интродуцированных сортов голубики высокорослой [14, 15].

Как следует из табл. 2, наиболее контрастно это проявилось у раннеспелых сортов голубики, особенно на первом этапе хранения плодов, отмеченном превышением суммарной величины положительных сдвигов в их биохимическом составе относительно таковой отрицательных в 1,9–2,3 раза против 1,6–1,9 раза на втором этапе. Менее выразительно улучшение качества плодов проявилось у среднеспелых сортов, у которых размер данного соотношения только на втором этапе хранения превышал исходный уровень у всех таксонов, варьируясь в диапазоне 1,1–1,4 раза, тогда как на первом этапе у сорта *Bluecrop* он составил лишь 1,1, а у сорта *Bluegold* и вовсе незначительно уступал 1, что свидетельствовало об определенном снижении качества его плодов относительно исходного уровня. При этом для всех позднеспелых сортов голубики, характеризовавшихся наименее выраженной в общем сортовом ряду трансформацией биохимического состава плодов в процессе хранения, уже на первом его этапе показано доминирование отрицательных тенденций в изменении их качественных характеристик, что подтверждалось уступающей 1 величиной соотношения совокупностей позитивных и негативных сдвигов в содержании действующих веществ относительно исходного уровня, составившей лишь 0,8–0,9 раза, а у сорта *Rubel* это прослеживалось и на втором этапе хранения плодов.

При этом на завершающей стадии эксперимента были обозначены следующие ряды исследуемых сортов голубики в порядке снижения интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов относительно исходного уровня:

- раннеспелые сорта: *Hannah,s Choice* = *Weymouth* > *Chanticleer*;
- среднеспелые сорта: *Bluecrop* = *Harrison* > *Bluegold*;
- позднеспелые сорта: *Elliott* > *Aurora* > *Rubel*;

в которых расхождения между крайними позициями существенно уступали таковым в аналогичных исследованиях с плодами жимолости синей [14] и не превышали 1,2–1,3-кратной величины и которые, как и у жимолости, полностью дублировали приведенные выше аналогичные ряды для степени трансформации их биохимического состава.

Таким образом, в процессе хранения плодов голубики высокорослой на протяжении 20-суточного периода в обычной газовой среде при низких положительных температурах происходила существенная трансформация их биохимического состава, наибольшая у среднеспелых и наименьшая у позднеспелых сортов, сопровождавшаяся повышением в 1,2–1,3 раза питательной и витаминной ценности ягодной продукции относительно исходного уровня по совокупности 14 показателей, включавших ряд органических кислот, углеводов и фенольных соединений, наиболее значительным у раннеспелых и наименьшим у позднеспелых сортов. При этом наибольшей степенью трансформации биохимического состава и максимальным улучшением качества плодов в процессе хранения в обозначенных сортовых рядах характеризовались районированные сорта голубики.

Заключение

В результате сравнительного исследования генотипических особенностей трансформации биохимического состава плодов 6 новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой – раннеспелых – *Chanticleer*, *Hannah's Choice*, среднеспелых – *Bluegold*, *Harrison* и позднеспелых – *Aurora*, *Rubel*, а

также соответствующих данным сортовым группам районированных сортов *Weymouth*, *Bluecrop* и *Elliott* из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси на двух этапах хранения с 10-суточным интервалом в обычной газовой среде при низких положительных температурах ($+4\pm 1$ °C), у всех обозначенных таксонов установлены сходные закономерности, аналогичные выявленным в подобном эксперименте с плодами жимолости синей и свидетельствовавшие об их общебиологической природе. Они состояли в обеднении ягодной продукции на 20–44 % свободными органическими, на 8–48 % аскорбиновой и на 7–21 % гидроксикоричными кислотами, на 4–17 % пектиновыми веществами, на 8–14 % антоциановыми пигментами, в том числе на 5–19 % собственно антоцианами и на 7–29 % лейкоантоцианами при уменьшении общего количества Р-витаминов на 5 %, на фоне ее обогащения на 9–47 % дубильными веществами, на 4–41 % катехинами, на 5–26 % флавонолами и на 7–32 % растворимыми сахарами при увеличении на 35–119 % показателя сахарокислотного индекса и на 6–32 % содержания сухих веществ, причем направленность и степень выразительности выявленных тенденций в изменении содержания органических соединений в значительной мере определялись их химической природой, генотипом опытных растений, а также сроками созревания и продолжительностью хранения плодов.

Во всех сортовых рядах наибольшая степень трансформации биохимического состава плодов по совокупности 14 показателей выявлена у районированных сортов *Weymouth*, *Bluecrop* и *Elliott*, а наименьшая – у раннеспелого *Chanticleer*, среднеспелого *Bluegold* и позднеспелого *Rubel*, тогда как в общем сортовом ряду наиболее значительной она была у среднеспелого районированного сорта *Bluecrop*, а наименьшей – у позднеспелого *Rubel*. Установлено, что в отличие от жимолости синей, на завершающем этапе хранения плодов голубики наблюдалось не снижение, а напротив, повышение интегрального уровня их питательной и витаминной ценности по совокупности 14 биохимических характеристик, наиболее значительное – в 1,6–1,9 раза у раннеспелых, менее существенное – в 1,1–1,4 раза у среднеспелых и наименьшее, не превышавшее 1,2 раза, – у позднеспелых сортов, причем максимальным улучшением качества плодов в процессе хранения характеризовались районированные сорта голубики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Modified atmosphere packaging in blueberries: effect of harvest time and moment of bag sealing / C. Moggia [et al.], 2014. // *Acta Hort.* – 2014. – Vol. 1, №1017. – P. 153–158.
2. Scibisz, I. The changes of antioxidant properties in highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during freezing and long-term frozen storage / I. Scibisz, M. Mitek // *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 2007 – 6 (4). – P. 75–82.
3. Карабанов, И. А. Флавоноиды в мире растений. / И. А. Карабанов. – Минск: Ураджай, 1981. – 80 с.
4. Шмерко, Е. П. Лечение и профилактика растительными средствами / Е. П. Шмерко, И. Ф. Мазан. – Баку: Азербайджан, 1992. – 316 с.
5. Методы определения сухих веществ: ГОСТ 8756.2-82. – Введен 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.
6. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград, 1987. – 430 с.
7. Марсов, Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники: дисс. канд. фармацевт. наук / Н. Г. Марсов. – Пермь, 2006. – С. 99–101.
8. Большой практикум «Биохимия» Лабораторные работы: учеб. пособие / сост. М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. – 148 с.
9. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus Domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. Hillis // *J.Sci. Food Agric.* – 1959. – Vol. 10, № 1. – P. 63–68.
10. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э. А. Шафтан // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. – Свердловск, 1968. – С. 451–461.
11. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной / В. Ю. Андреев [и др.] // *Фармация.* – 2013. – № 3. – С. 19–21.
12. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье. Общие методы анализа // Государственная фармакопея СССР. – Медицина. – 1987. – С. 286–287.
13. Способ ранжирования таксонов растения / Ж. А. Рупасова [и др.] / Мн.: Патент на изобретение №17648 от 08.07.2013.
14. Трансформация биохимического состава плодов жимолости синей в процессе хранения в обычной газовой среде при низкой положительной температуре / Ж. А. Рупасова [и др.] // *Ботанический сад.* – 2024. – № 3. – С. 36–41.
15. Интродукция малораспространенных культур плодовоговодства в условиях Беларуси (клюква крупноплодная, голубика высокорослая, актинидия аргута, актинидия коломикта, актинидия полигамная) Ж. А. Рупасова [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2019. – 295 с.