

УДК 634.74:582.976:581.192:631.563

ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ПЛОДОВ ЖИМОЛОСТИ СИНЕЙ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ В ОБЫЧНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ ПРИ НИЗКОЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Ж. А. РУПАСОВА, Н. Б. ПАВЛОВСКИЙ, П. Н. БЕЛЫЙ, А. С. САЯН,
А. В. УШАКОВА, С. Н. АВРАМЕНКО, А. Г. ПАВЛОВСКАЯ, А. В. РАЛЬЦЕВИЧ

ГНУ «Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларусь»,
ул. Сурганова, 2в, г. Минск, 220012, Беларусь,
e-mail: rupasova@basnet.by

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты сравнительного исследования особенностей трансформации биохимического состава плодов сортов жимолости синей – Aurora, Zojka, Wojtek, Indigo Gem, Honey Bee и Ленинградский великан в процессе 8-суточного хранения в условиях обычной газовой среды при температуре ($+4 \pm 1$) °C. Установлено их обеднение на 17–32 % свободными органическими, на 20–40 % аскорбиновой и на 16–50 % гидроксикоричными кислотами, на 3–14 % пектинами, на 19–34 % дубильными веществами, на 6–14 % антоциановыми пигментами, в том числе на 5–26 % собственно антоцианами, на 7–31 % лейкоантоцианами и на 3–6 % Р-витаминами при обогащении на 7–25 % катехинами, на 7–36 % флавонолами, на 8–29 % растворимыми сахарами и увеличении на 34–82 % показателя саха-рокислотного индекса. Показано, что направленность и степень выразительности выявленных тенденций определялись продолжительностью периода хранения, генотипом растений и химической природой органических соединений. У большинства таксонов жимолости наблюдалось снижение в 1,3–1,9 раза интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов по совокупности 14 биохимических характеристик, наименее значительное у сортов Indigo Gem и Honey Bee и наибольшее у сорта Wojtek, и лишь у сорта Zojka отмечено его увеличение в 1,2 раза.

Трансформация биохимического состава плодов сопровождалась ослаблением их антирадикальных свойств, наиболее выраженным на втором этапе хранения и обусловленным снижением антиоксидантной и ферментативной активности соответственно на 10–42 % и 9–73 % при наименьшей степени деградации антиоксидантного комплекса плодов у районированного сорта Ленинградский великан и наибольшей, превосходившей ее в 5,5 раза, – у сорта Honey Bee.

Ключевые слова: жимолость синяя, трансформация, хранение, биохимический состав, антиоксиданты.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы особой популярностью у населения республики пользуются плоды жимолости синей, являющиеся ценным пищевым и лечебно-профилактическим продуктом, в связи с чем особый научный и практический интерес обретают вопросы их хранения, кратковременность периода которого ограничивает возможности реализации и поставок ягодной продукции на внутренний и внешний рынки. Наиболее приемлемым в этом плане представляется хранение ягод жимолости в холодильных установках при низких положительных температурах. По нашим наблюдениям, его продолжительность в этих условиях не превышает 10–11 суток [1].

Вместе с тем продолжающиеся при этом процессы их жизнедеятельности приводят к обезвоживанию тканей и сопровождаются расходованием части накопленных органических соединений, обуславливающим изменение качества и органолептических свойств ягодной продукции. Однако в научной литературе практически отсутствует информация о происходящих при этом изменениях в их биохимическом составе, в связи с чем представляется целесообразным установление степени зависимости трансформации ее биохимического состава от генотипа растений и продолжительности периода хранения. С этой целью в 2024 г. проведен соответствующий лабораторный эксперимент по сравнительному исследованию изменений в содержании ряда органических кислот, углеводов и фенольных соединений в процессе хранения плодов пяти новых интродуцируемых сортов жимолости синей из коллекционного фонда Центрального ботанического сада НАН Беларусь – Aurora, Zojka, Wojtek, Indigo Gem, Honey Bee и районированного в Беларусь сорта Ленинградский великан в условиях обычной газовой среды при температуре ($+4 \pm 1$) °C.

ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выращивание опытных растений осуществляли в южной агроклиматической зоне республики на экспериментальном участке отраслевой лаборатории интродукции и технологии нетрадиционных ягодных растений ЦБС НАН Беларусь (Ганцевичский р-н Брестской обл.) на осушенной торфяно-болотной почве. По достижении плодами состояния съемной зрелости их собирали и закладывали на хранение. В качестве тары использовали одноразовые пищевые пластиковые контейнеры с отверстиями объемом 400 мл (Т 602 для ягод и фруктов с крышками Т 601). Образцы, сформированные только из внешне здоровых плодов, хранили в холодильнике при низких положительных температурах ($+4 \pm 1$) °C и относительной влажности воздуха 40–70 %. Исследование биохимического состава их усредненных проб осуществляли перед закладкой на хранение 30 мая, а также дважды за период хранения – 3 и 7 июня с интервалом в 4 дня. В дальнейшем, из-за утраты плодами потребительских свойств, эксперимент был прекращен.

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 [2]; аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [3], гидроксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую) – спектрофотометрическим методом [4]; растворимых сахаров – ускоренным полумикрометодом [5]; пектиновых веществ – кальциево-пектатным методом [3]; суммы антоциановых пигментов – по методу T. Swain, W. E. Hillis [6], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [7]; собственно антоцианов и суммы катехинов (с использованием ванилинового реагента) – фотоэлектроколориметрическим методом [8, 3]; суммы флавонолов (в пересчете на рутин) – спектрофотометрическим методом [3]; дубильных веществ (танинов) – титrimетрическим методом Левентала [9]. Сравнение опытных сортов жимолости по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов на разных этапах хранения осуществляли на основе авторского способа ранжирования объектов по совокупности анализируемых признаков, защищенного патентом [10]. Антиоксидантную активность этианольных экстрактов из свежих плодов (АОА) определяли с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (ДФПГ) [11, 12], активность пероксидазы – по методу А. Н. Бояркина [13]; полифенолоксидазы – с пирокатехином по методу [14]; каталазы – по методу А. Н. Баха и А. И. Опарина [15].

Все определения выполнены в трехкратной биологической и аналитической повторностях. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование биохимического состава плодов обозначенных выше таксонов жимолости перед закладкой на хранение выявило в нем заметные генотипические различия, подтверждаемые значительной шириной диапазонов варьирования в сортовом ряду большинства анализируемых признаков (табл. 1–3). Так, содержание сухих веществ в ягодной продукции изменялось в диапазоне 11,8–14,5 %, свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот – в интервалах 13,4–27,5 %, 295,3–402,3 и 441,7–560,1 мг/100 г соответственно, растворимых сахаров – 32,0–54,3 % при величине сахарокислотного индекса 1,31–3,42. Подобные диапазоны варьирования содержания пектиновых и дубильных веществ охватывали области значений 4,94–8,76 и 3,10–3,87 % соответственно, а биофлавоноидов – 10 665–27 776 мг/100 г, в том числе антоциановых пигментов – 7897–22 298 мг/100 г, из них собственно антоцианов и лейкоантонианов 4190–18 223 и 1745–5511 мг/100 г при изменении содержания катехинов и флавонолов в пределах 536–1357 и 1924–4121 мг/100 г соответственно.

Вместе с тем, несмотря на весьма непродолжительный период хранения плодов, ограниченный лишь 8 сутками, в их биохимическом составе обнаружены значительные изменения, характеризовавшиеся как наличием отчетливо выраженных общих закономерностей, так и индивидуальными для исследуемых объектов особенностями данного процесса (табл. 4).

Таблица 1. Содержание сухих веществ и органических кислот (в сухой массе) в плодах интродуцируемых сортов *Lonicera caerulea* на разных этапах хранения в условиях обычной газовой среды при температуре ($+4 \pm 1$) °C

Срок	Сухие вещества, %		Органические кислоты					
			титруемые, %		аскорбиновая, мг/100 г		гидроксикоричные, мг/100 г	
	$X \pm st$	t_{Cr}	$X \pm st$	t_{Cr}	$X \pm st$	t_{Cr}	$X \pm st$	t_{Cr}
Ленинградский великан								
30 мая (начало хранения)	14,5 ± 0,3	—	15,9 ± 0,1	—	327,8 ± 6,8	—	524,6 ± 14,2	—
3 июня	14,7 ± 0,5	0,3	14,6 ± 0,1	-18,0*	293,4 ± 6,7	-3,6*	481,2 ± 3,9	-2,9*
7 июня	15,0 ± 0,3	1,2	12,9 ± 0,1	-40,3*	259,6 ± 4,3	-8,5*	437,8 ± 6,8	-5,5*
Aurora								
30 мая (начало хранения)	11,8 ± 0,1	—	20,7 ± 0,1	—	375,4 ± 2,9	—	453,6 ± 10,4	—
3 июня	12,1 ± 0,1	1,5	17,1 ± 0,1	-41,2*	344,2 ± 5,8	-4,8*	414,1 ± 6,8	-3,2*
7 июня	12,8 ± 0,1	5,5*	14,6 ± 0,1	-95,9*	296,6 ± 10,1	-7,5*	358,9 ± 3,9	-8,5*
Zojka								
30 мая (начало хранения)	14,2 ± 0,1	—	13,4 ± 0,1	—	314,5 ± 3,3	—	489,1 ± 10,4	—
3 июня	13,4 ± 0,2	-3,4*	10,4 ± 0,1	-25,9*	296,2 ± 3,4	-3,8*	343,1 ± 6,8	-11,7*
7 июня	13,3 ± 0,1	-6,0*	9,1 ± 0,2	-20,8*	250,6 ± 4,7	-11,1*	284,0 ± 6,8	-16,5*
Wojtek								
30 мая (начало хранения)	12,9 ± 0,3	—	27,5 ± 0,1	—	402,3 ± 7,6	—	441,7 ± 8,8	—
3 июня	13,4 ± 0,3	1,1	23,9 ± 0,1	-23,0*	343,6 ± 7,3	-5,6*	398,3 ± 10,4	-3,2*
7 июня	13,7 ± 0,3	1,8	22,3 ± 0,1	-35,6*	313,7 ± 7,2	-8,5*	362,9 ± 10,4	-5,8*
Indigo Gem								
30 мая (начало хранения)	13,8 ± 0,1	—	18,7 ± 0,1	—	295,3 ± 7,1	—	449,8 ± 18,2	—
3 июня	13,8 ± 0,3	-0,1	17,1 ± 0,1	-12,2*	223,7 ± 7,2	-7,1*	331,3 ± 13,7	-5,2*
7 июня	14,7 ± 0,2	3,3*	15,6 ± 0,1	-25,2*	177,3 ± 6,7	-12,1*	224,8 ± 6,9	-11,6*
Honey Bee								
30 мая (начало хранения)	12,8 ± 0,2	—	20,0 ± 0,1	—	357,6 ± 5,0	—	560,1 ± 10,4	—
3 июня	13,3 ± 0,2	2,0	16,0 ± 0,1	-42,2*	313,4 ± 7,4	-4,9*	500,9 ± 17,2	-2,9*
7 июня	14,0 ± 0,3	3,1*	13,5 ± 0,1	-59,5*	271,3 ± 4,6	-12,6*	461,5 ± 6,8	-7,9*

* Статистически значимые по t -критерию Стьюдента различия с исходным уровнем при $p < 0,05$.

Таблица 2. Содержание растворимых сахаров и пектиновых веществ в сухой массе плодов интродуцируемых сортов *Lonicera caerulea* на отдельных этапах хранения в условиях обычной газовой среды при температуре ($+4 \pm 1$) °C

Срок	Растворимые сахара, %		Сахарокислотный индекс		Пектиновые вещества, %	
	$X \pm st$	t_{Cr}	$X \pm st$	t_{Cr}	$X \pm st$	t_{Cr}
Ленинградский великан						
30 мая (начало хранения)	54,3 ± 0,7	—	3,42 ± 0,04	—	8,61 ± 0,09	—
3 июня	56,3 ± 0,7	2,1	3,87 ± 0,05	7,3*	8,68 ± 0,12	0,4
7 июня	59,0 ± 1,0	3,9*	4,57 ± 0,07	14,2*	8,33 ± 0,02	-3,1*
Aurora						
30 мая (начало хранения)	42,0 ± 1,0	—	2,03 ± 0,05	—	6,50 ± 0,05	—
3 июня	43,7 ± 0,3	1,6	2,56 ± 0,01	11,2*	6,55 ± 0,04	0,8
7 июня	45,3 ± 0,7	2,8*	3,10 ± 0,04	18,3*	6,24 ± 0,04	-4,3*
Zojka						
30 мая (начало хранения)	38,0 ± 1,0	—	2,83 ± 0,11	—	6,81 ± 0,06	—
3 июня	43,0 ± 1,0	3,5*	4,13 ± 0,12	12,6*	6,16 ± 0,09	-6,0*
7 июня	46,7 ± 0,7	7,2*	5,16 ± 0,21	14,6*	5,87 ± 0,11	-10,0*
Wojtek						
30 мая (начало хранения)	36,0 ± 0,1	—	1,31 ± 0,01	—	8,76 ± 0,10	—
3 июня	39,3 ± 0,9	3,8*	1,65 ± 0,4	8,2*	8,84 ± 0,10	0,5
7 июня	40,0 ± 1,0	4,0*	1,80 ± 0,05	10,3*	8,58 ± 0,09	-1,3

Окончание таблицы 2

Срок	Расторимые сахара, %		Сахарокислотный индекс		Пектиновые вещества, %	
	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}
Indigo Gem						
30 мая (начало хранения)	32,0 ± 0,1	—	1,71 ± 0,01	—	6,16 ± 0,01	—
3 июня	34,7 ± 0,7	4,0*	2,03 ± 0,02	9,4*	5,91 ± 0,04	-6,5*
7 июня	41,3 ± 1,5	6,4*	2,66 ± 0,11	10,0*	5,71 ± 0,09	-5,0*
Honey Bee						
30 мая (начало хранения)	37,0 ± 0,1	—	1,85 ± 0,01	—	4,94 ± 0,10	—
3 июня	39,7 ± 0,7	4,0*	2,48 ± 0,05	13,0*	5,04 ± 0,08	0,7
7 июня	40,7 ± 0,3	11,0*	3,01 ± 0,04	29,7*	4,86 ± 0,09	-0,6

* Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с исходным уровнем при $p < 0,05$.

Таблица 3. Содержание фенольных соединений в сухой массе плодов интродуцируемых сортов *Lonicera caerulea* на отдельных этапах хранения в условиях обычной газовой среды при температуре (+4 ± 1) °C

Срок	Биофлавоноиды, мг/100 г							
	составленно антоцианы		лейкоантоцианы		сумма антоциановых пигментов		катехины	
	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}
Ленинградский великан								
30 мая (начало хранения)	4190,0 ± 185,2	—	3706,7 ± 106,8	—	7896,7 ± 109,9	—	844,0 ± 2,6	—
3 июня	4000,0 ± 40,0	-1,0	3410,0 ± 58,9	-2,4	7410,0 ± 90,1	-3,4*	899,6 ± 5,8	8,7*
7 июня	3620,0 ± 52,9	-3,0*	3166,0 ± 118,5	-3,4*	6786,0 ± 90,1	-7,8*	967,2 ± 9,0	13,1*
Aurora								
30 мая (начало хранения)	9413,3 ± 6,7	—	5511,3 ± 164,1	—	14924,7 ± 158,1	—	887,0 ± 11,6	—
3 июня	9233,3 ± 69,6	-2,6	5066,7 ± 194,0	-1,7	14300,0 ± 137,6	-3,0*	946,4 ± 13,8	3,3*
7 июня	8760,0 ± 124,9	-5,2*	4812,0 ± 43,3	-4,1*	13572,0 ± 90,1	-7,4*	988,0 ± 13,8	5,6*
Zojka								
30 мая (начало хранения)	7326,7 ± 24,0	—	1745,3 ± 50,9	—	9072,0 ± 36,3	—	803,0 ± 34,5	—
3 июня	6526,7 ± 17,6	-26,8*	2191,3 ± 52,6	6,1*	8718,0 ± 35,2	-7,0*	830,0 ± 30,6	0,6
7 июня	5436,7 ± 193,4	-9,7*	2776,0 ± 40,6	15,8*	8212,7 ± 184,2	-4,6*	1004,0 ± 5,0	5,8*
Wojtek								
30 мая (начало хранения)	9610,0 ± 92,9	—	3271,0 ± 43,6	—	12881,0 ± 136,3	—	681,7 ± 10,7	—
3 июня	9113,3 ± 63,6	-4,4*	3054,7 ± 26,8	-4,2*	12168,0 ± 90,1	-4,4*	686,4 ± 11,9	0,3
7 июня	8500,0 ± 105,8	-7,9*	3044,0 ± 59,6	-3,1*	11544,0 ± 119,1	-7,4*	728,0 ± 9,4	3,3*
Indigo Gem								
30 мая (начало хранения)	8872,0 ± 46,9	—	3309,0 ± 33,0	—	12181,0 ± 57,4	—	536,0 ± 2,0	—
3 июня	8770,0 ± 15,3	-2,1	2822,0 ± 30,4	-10,9*	11592,0 ± 45,0	-8,1*	587,3 ± 18,3	2,8*
7 июня	8407,7 ± 7,7	-9,8*	2282,3 ± 135,9	-7,3*	10690,0 ± 133,7	-10,2*	649,3 ± 26,3	4,3*
Honey Bee								
30 мая (начало хранения)	18223,3 ± 321,7	—	4074,7 ± 338,0	—	22298,0 ± 208,5	—	1357,0 ± 18,5	—
3 июня	17260,0 ± 117,2	-2,8*	4294,0 ± 240,0	0,5	21554,0 ± 137,6	-3,0*	1404,0 ± 9,0	2,3
7 июня	16020,0 ± 183,3	-6,0*	5014,0 ± 250,0	2,2	21034,0 ± 187,5	-4,5*	1445,6 ± 2,6	4,7*
Ленинградский великан								
30 мая (начало хранения)	1924,4 ± 15,4	—	10665,1 ± 112,9	—	2,28 ± 0,01	—	3,26 ± 0,01	—
3 июня	2043,6 ± 29,5	3,6*	10353,2 ± 55,8	-2,5	2,27 ± 0,02	-0,3	2,97 ± 0,03	-7,9*
7 июня	2299,0 ± 29,5	11,3*	10052,2 ± 105,7	-4,0*	2,38 ± 0,03	3,2*	2,43 ± 0,01	-50,8*

Окончание таблицы 3

Срок	Биофлавоноиды, мг/100 г							
	собственно антоцианы		лейкоантоцианы		сумма антоциановых пигментов		катехины	
	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}
Aurora								
30 мая (начало хранения)	3491,1 ± 45,1	—	19302,8 ± 144,7	—	3,94 ± 0,05	—	3,16 ± 0	—
3 июня	3610,4 ± 61,4	1,6	18856,8 ± 177,3	-1,9	3,82 ± 0,06	-1,4	3,06 ± 0,04	-2,8*
7 июня	3797,7 ± 17,0	6,4*	18357,7 ± 92,0	-5,5*	3,85 ± 0,07	-1,0	2,55 ± 0,01	-52,8*
Zojka								
30 мая (начало хранения)	2248,0 ± 1,2	—	12123,0 ± 45,3	—	2,81 ± 0,12	—	3,43 ± 0,01	—
3 июня	2418,3 ± 18,1	9,4*	11966,3 ± 49,1	-2,3	2,92 ± 0,10	0,7	2,89 ± 0,01	-33,1*
7 июня	2809,9 ± 59,0	9,5*	12026,6 ± 243,7	-0,4	2,80 ± 0,05	-0,1	2,60 ± 0,01	-50,8*
Wojtek								
30 мая (начало хранения)	2673,7 ± 17,1	—	16236,4 ± 109,9	—	3,92 ± 0,04	—	3,51 ± 0,01	—
3 июня	2827,2 ± 45,2	3,2*	15681,6 ± 79,3	-4,1*	4,12 ± 0,06	2,8*	2,91 ± 0,02	-23,2*
7 июня	2963,2 ± 59,0	4,7*	15235,2 ± 177,3	-4,8*	4,07 ± 0,06	2,1	2,31 ± 0,01	-73,5*
Indigo Gem								
30 мая (начало хранения)	2367,2 ± 61,4	—	15084,2 ± 112,7	—	4,42 ± 0,13	—	3,10 ± 0,01	—
3 июня	2997,3 ± 61,4	7,3*	15176,6 ± 27,9	0,8	5,11 ± 0,21	2,8*	2,79 ± 0,03	-11,0*
7 июня	3218,7 ± 59,0	10,0*	14558,0 ± 167,8	-2,8*	4,97 ± 0,22	2,2	2,37 ± 0,02	-28,3*
Honey Bee								
30 мая (начало хранения)	4121,3 ± 45,1	—	27776,3 ± 253,4	—	3,04 ± 0,04	—	3,87 ± 0,03	—
3 июня	4240,5 ± 78,1	1,3	27198,5 ± 138,9	-2,0	3,02 ± 0,06	-0,2	3,30 ± 0,01	-19,9*
7 июня	4410,8 ± 45,0	4,5*	26890,4 ± 144,5	-3,0*	3,05 ± 0,04	0,2	2,76 ± 0,01	-38,9*

* Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с исходным уровнем при $p < 0,05$.

Таблица 4. Относительные различия с исходным уровнем содержания действующих веществ в плодах интродуцируемых сортов *Lonicera caerulea* на отдельных этапах хранения в условиях обычной газовой среды при температуре (+4 ± 1) °C, %

Показатель	1 / исх.	2 / исх.	2 / 1	1 / исх.	2 / исх.	2 / 1	1 / исх.	2 / исх.	2 / 1
	Ленинградский великан				Aurora			Zojka	
Сухие вещества	—	—	—	—	+8,5	+5,8	-5,6	-6,3	—
Свободные органические кислоты	-8,2	-18,9	-11,6	-17,4	-29,5	-14,6	-22,4	-32,1	-12,5
Аскорбиновая кислота	-10,5	-20,8	-11,5	-8,3	-21,0	-13,8	-5,8	-20,3	-15,4
Гидроксикоричные кислоты	-8,3	-16,5	-9,0	-8,7	-20,9	-13,3	-29,9	-41,9	-17,2
Растворимые сахара	—	+8,7	+4,8	—	+7,9	+3,7	+13,2	+22,9	+8,6
Сахарокислотный индекс	+13,2	+33,6	+18,1	+26,1	+52,7	+21,1	+45,9	+82,3	+24,9
Пектиновые вещества	—	-3,3	-4,0	—	-4,0	-4,7	-9,5	-13,8	-4,7
Собственно антоцианы	—	-13,6	-9,5	—	-6,9	-5,1	-10,9	-25,8	-16,7
Лейкоантоцианы	—	-14,6	-7,2	—	-12,7	-5,0	+25,6	+59,1	+26,7
Сумма антоциановых пигментов	-6,2	-14,1	-8,4	-4,2	-9,1	-5,1	-3,9	-9,5	-5,8
Катехины	+6,6	+14,6	+7,5	+6,7	+11,4	+4,4	—	+25,0	+21,0
Флавонолы	+6,2	+19,5	+12,5	—	+8,8	+5,2	+7,6	+25,0	+16,2
Сумма биофлавоноидов	—	-5,7	-2,9	—	-4,9	-2,6	—	—	—
Дубильные вещества	-8,9	-25,5	-18,2	-3,2	-19,3	-16,7	-15,7	-24,2	-10,0
Wojtek				Indigo Gem			Honey Bee		
Сухие вещества	—	—	—	—	+6,5	+6,5	—	+9,4	+5,3
Свободные органические кислоты	-13,1	-18,9	-6,7	-8,6	-16,6	-8,8	-20,0	-32,5	-15,6

Окончание таблицы 4

Показатель	1 / исх.	2 / исх.	2 / 1	1 / исх.	2 / исх.	2 / 1	1 / исх.	2 / исх.	2 / 1
Аскорбиновая кислота	-14,6	-22,0	-8,7	-24,2	-40,0	-20,7	-12,4	-24,1	-13,4
Гидроксикоричные кислоты	-9,8	-17,8	-8,9	-26,3	-50,0	-32,1	-10,6	-17,6	-7,9
Растворимые сахара	+9,2	+11,1	+1,8	+8,4	+29,1	+19,0	+7,3	+10,0	+2,5
Сахарокислотный индекс	+26,0	+37,4	+9,1	+18,7	+55,6	+31,0	+34,1	+62,7	+21,4
Пектиновые вещества	—	—	—	-4,1	-7,3	-3,4	—	—	—
Собственно антоцианы	-5,2	-11,6	-6,7	—	-5,2	-4,1	-5,3	-12,1	-7,2
Лейкоантоцианы	-6,6	-6,9	—	-14,7	-31,0	-19,1	—	—	—
Сумма антоциановых пигментов	-5,5	-10,4	-5,1	-4,8	-12,2	-7,8	-3,3	-5,7	-2,4
Катехины	—	+6,8	+6,1	+9,6	+21,1	+10,6	—	+6,5	+3,0
Флавонолы	+5,7	+10,8	+4,8	+26,6	+36,0	+7,4	—	+7,0	+4,0
Сумма биофлавоноидов	-3,4	-6,2	-2,8	—	-3,5	-4,1	—	-3,2	-1,1
Дубильные вещества	-17,1	-34,2	-20,6	-10,0	-23,5	-15,1	-14,7	-28,7	-16,4

Примечание. 1 / исх. и 2 / исх. – величина изменения показателя от начала хранения; 2 / 1 – величина изменения показателя от срока к сроку; прочерк означает отсутствие статистически значимых различий по *t*-критерию Стьюдента с исходным уровнем при *p* < 0,05.

Так, на протяжении периода хранения только у сортов Wojtek и Ленинградский великан не выявлено достоверных изменений в содержании сухих веществ, тогда как в остальных случаях наблюдалось незначительное (на 6–9 %) увеличение данного показателя, обусловленное потерями влаги, и лишь у сорта Zojka отмечено его снижение на 6 %. Наряду с этим у всех таксонов жимолости произошло заметное обеднение плодов органическими кислотами по сравнению с исходным уровнем, в том числе титруемыми – на 17–32 %, аскорбиновой – на 20–40 % и гидроксикоричными – на 16–50 %. При этом наименее выраженным в первом случае оно было у сорта Indigo Gem, во втором – у сортов Ленинградский великан, Aurora и особенно Zojka, а в третьем – у сорта Ленинградский великан, тогда как наиболее заметное расходование запасов свободных органических и гидроксикоричных кислот выявлено у сортов Zojka и Honey Bee, а аскорбиновой – у сорта Indigo Gem. Подобные результаты получены нами ранее при исследовании в аналогичных условиях хранения трансформации биохимического состава плодов голубики высокорослой [16]. По мнению ряда ученых [17, 18], столь выраженное снижение запасов органических кислот обусловлено интенсивным расходованием в дыхательном процессе в качестве основного энергетического и трофического ресурса. При этом значительная скорость утилизации данных соединений указывала на чрезвычайно высокую активность метаболизма в плодах жимолости даже при хранении в условиях пониженных температур (табл. 4).

Заметно меньшее участие в их дыхательном газообмене в качестве запасного энергетического материала принимали продукты распада пектиновых веществ [14], поскольку снижение их содержания относительно исходного уровня у большинства таксонов не превышало 3–14 %, а у сортов Wojtek и Honey Bee подобных изменений не выявлено вовсе.

На этом фоне к окончанию эксперимента у всех исследуемых сортов жимолости отмечено существенное обогащение плодов растворимыми сахарами, обусловленное показанной выше частичной деструкцией пектинов и особенно органических кислот с образованием моно- и дисахаридов [19]. При этом в большинстве случаев относительные размеры превышения исходного уровня их содержания не превышали 8–11 % и лишь у сортов Zojka и Indigo Gem они достигали 23 и 29 % соответственно. Активизация биосинтеза растворимых сахаров при ингибировании такового органических кислот способствовала улучшению вкусовых свойств плодов в процессе хранения, что подтверждалось соответствующим увеличением показателя их сахарокислотного индекса на 34–82 %, наименьшим – у сортов Ленинградский великан и Wojtek и наиболее значительным – у сорта Zojka.

Особый интерес в настоящих исследованиях представляло выявление генотипических особенностей трансформации биофлавоноидного комплекса плодов жимолости, обладающего зна-

чительной Р-витаминной и антиоксидантной активностью и определяющей их основную потребительскую ценность. Как следует из табл. 4, в период их хранения установлены неоднозначные изменения в содержании основных компонентов данного комплекса, обусловленные, по мнению В. В. Арасимовича [20], специфическим действием каждого из них на процессы окислительного фосфорилирования и дыхания.

К окончанию эксперимента у всех исследуемых таксонов жимолости выявлено достоверное обогащение плодов флавонолами на 7–36 % относительно исходного уровня, наименьшее – у сортов Aurora и особенно Honey Bee и наиболее значительное – у сорта Indigo Gem. Поскольку для данных соединений характерно взаимодействие со свободными радикалами, перекисями и металлами с образованием стабильных хелатов, сдерживающее окисление антоцианов и катехинов, то это должно способствовать их сохранению, что подтверждалось выявленной в процессе хранения плодов активизацией накопления последних на 7–25 %, наименьшей – у сортов Wojtek и Honey Bee и наибольшей – у сортов Indigo Gem и особенно Zojka, для которого, в отличие от остальных таксонов, показано усиление накопления близких им по химической природе лейкоантоцианов почти на 60 % относительно исходного уровня (табл. 4).

Что касается доминирующих в составе биофлавоноидного комплекса плодов антоциановых пигментов, то в процессе хранения плодов наблюдалось снижение их содержания на 5–26 % при минимальных различиях с исходным уровнем у сортов Aurora и Indigo Gem и максимальных у сорта Zojka.

На наш взгляд, в трансформации антоцианового комплекса плодов данного таксона, скорее всего, доминировали взаимопревращения собственно антоцианов и лейкоантоцианов, на что указывали прямо противоположные тенденции в изменении содержания данных соединений, тогда как у остальных опытных объектов в динамике лейкоантоцианов прослеживались тенденции, аналогичные выявленным для собственно антоцианов, со снижением их содержания на 7–31 %, минимальным – у сорта Wojtek и максимальным – у Indigo Gem. При этом в плодах сорта Honey Bee содержание данных соединений на протяжении периода хранения оставалось неизменным.

Сходство динамики обеих групп антоциановых пигментов у большинства сортов жимолости обусловило снижение их суммарного количества к окончанию эксперимента на 6–14 % относительно исходного уровня. Тем не менее, несмотря на показанные выше весьма выразительные изменения в содержании отдельных компонентов биофлавоноидного комплекса, для общего выхода Р-витаминов не выявлено существенных различий с его исходным уровнем. Так, к окончанию эксперимента снижение суммарного содержания в плодах данных соединений не превышало 3–6 % при отсутствии значимых различий с ним по данному признаку у сорта Zojka, что свидетельствовало всё же о частичной деградации биофлавоноидного комплекса плодов в процессе хранения. Вместе с тем для дубильных веществ, являющихся продуктами полимеризации фенольных соединений, показано снижение содержания на 19–34 %, наименьшее – у сорта Aurora и наибольшее – у Wojtek (табл. 4). Поскольку танины обладают многосторонним позитивным физиологическим действием на организм человека, в том числе антиоксидантным, то столь выраженную их деградацию следует рассматривать как негативное явление.

Вместе с тем нельзя не обратить внимания на сортовые различия темпов выявленных изменений в содержании органических соединений на отдельных этапах хранения плодов. Так, если у большинства таксонов жимолости темпы данных изменений в содержании органических кислот, антоциановых пигментов и катехинов были сравнительно равномерными на протяжении эксперимента, то для остальных соединений на втором этапе хранения они заметно превышали таковые на первом, особенно у сортов Ленинградский великан, Aurora и Indigo Gem.

Как видим, несмотря на сравнительно непродолжительный период хранения плодов жимолости синей при низких положительных температурах, ограниченный всего 8 сутками, наблюдалась существенная трансформация их биохимического состава, в которой у исследуемых таксонов обозначились сходные тенденции. Они состояли в обеднении ягодной продукции свободными органическими, аскорбиновой и гидроксикоричными кислотами, пектинами, антоциановыми пигментами, дубильными веществами и биофлавоноидами в целом на фоне ее

обогащения катехинами, флавонолами, растворимыми сахарами при увеличении показателя сахарокислотного индекса и неоднозначных изменений в содержании сухих веществ и лейкоантоцианов.

Вместе с тем направленность и степень выразительности выявленных тенденций в значительной мере определялись химической природой органических соединений, продолжительностью хранения и генотипом опытных растений.

С целью определения степени трансформации биохимического состава плодов жимолости в процессе хранения и выявления таксона с наименьшими потерями действующих веществ, а также для установления этапа хранения, обеспечившего наибольшую сохранность интегрального уровня их питательной и витаминной ценности по совокупности 14 показателей, был использован методический прием, основанный на сопоставлении у testируемых объектов на отдельных этапах хранения относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных положительных и отрицательных отклонений от исходного уровня исследуемых биохимических характеристик [10].

По величине суммарной амплитуды выявленных отклонений, независимо от их знака, можно судить о выразительности различий testируемых 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 testируемых сортов на отдельных этапах хранения.

Представленные в табл. 5 данные, характеризующие направленность и степень выразительности сдвигов в биохимическом составе плодов опытных таксонов жимолости по 14 показателям на отдельных этапах хранения относительно исходного уровня выявили заметные генотипические и временные различия в направленности и величине вышеуказанных сдвигов, свидетельствовавшие о специфических особенностях их ответной реакции на разное по продолжительности воздействие низких положительных температур.

Таблица 5. Относительные размеры, амплитуды и соотношения разноориентированных различий с исходными показателями биохимических характеристик плодов интродуцируемых сортов *Lonicera caerulea* на отдельных этапах хранения при температуре (+4 ± 1) °C, %

Этап	Относительные размеры сдвигов				
	положит.	отрицат.	амплитуда	положит./отрицат.	отрицат. /положит.
Ленинградский великан					
Первый	26,0	42,1	68,1	0,62	1,62
Второй	76,4	133,0	209,4	0,58	1,74
Aurora					
Первый	32,8	41,8	74,6	0,78	1,28
Второй	89,3	128,3	217,6	0,70	1,44
Zojka					
Первый	92,3	103,7	196,0	0,89	1,12
Второй	214,3	173,9	388,2	1,23	0,81
Wojtek					
Первый	40,9	75,3	116,2	0,54	1,84
Второй	66,1	128,0	194,1	0,52	1,94
Indigo Gem					
Первый	63,3	92,7	156,0	0,68	1,46
Второй	148,3	189,3	337,6	0,78	1,28
Honey Bee					
Первый	41,4	66,3	107,7	0,62	1,60
Второй	95,6	123,9	219,5	0,77	1,30

Судя по величине амплитуды данных сдвигов, можно заключить, что в процессе хранения плодов у всех таксонов жимолости наблюдалось последовательное увеличение расхождений с исходным уровнем содержания в них полезных веществ, указывавшее на усиление трансформации их биохимического состава. При этом на первом этапе хранения суммарная величина разноориентированных сдвигов варьировалась в сортовом ряду в диапазоне 68,1–196,0 % при наименьшем показателе у сорта Ленинградский великан и наибольшем – у сорта Zojka, тогда как на втором этапе наблюдалось расширение обозначенного диапазона до 194,1–388,2 % при наименьшей величине у сорта Wojtek и наибольшей – опять-таки у сорта Zojka, что свидетельствовало о наиболее существенной в сортовом ряду трансформации биохимического состава его плодов в процессе хранения.

Вместе с тем столь значительная ширина приведенных диапазонов варьирования амплитуды разноориентированных сдвигов в биохимическом составе плодов свидетельствовала о весьма выразительных генотипических различиях в степени его трансформации, в порядке ослабления которой на завершающем этапе хранения был построен следующий ряд исследуемых таксонов жимолости:

Zojka > Indigo Gem > Honey Bee = Aurora > Ленинградский великан > Wojtek, в котором расхождения крайних позиций достигали 2-кратной величины. При этом большинство сортов характеризовалось довольно близкой между собой степенью трансформации биохимического состава плодов в процессе хранения.

При этом установлено снижение интегрального уровня их питательной и витаминной ценности по совокупности 14 биохимических характеристик, оцениваемой величиной кратного разноотношения суммарных значений разноориентированных сдвигов биохимических характеристик относительно исходного уровня, условно принятого за 1. Как следует из табл. 5, процесс хранения плодов сопровождался снижением данного показателя в 1,3–1,9 раза, наименее выраженным у сортов Indigo Gem и Honey Bee и наиболее значительным у сорта Wojtek. Исключением в этом плане стал сорт Zojka, который уже на первом этапе хранения был отмечен наименьшим в сортовом ряду снижением качества плодов – лишь в 1,1 раза, тогда как на втором этапе выявлено уже не снижение, а напротив, его увеличение в 1,2 раза. На наш взгляд, это обусловлено тем, что наряду с расходованием ряда исследуемых органических соединений в качестве дыхательных субстратов, обусловившем снижение их содержания по сравнению с исходным уровнем, имело место и накопление некоторых веществ, связанное с взаимопревращениями органических соединений, наиболее выраженное у сорта Zojka, что согласуется с данными табл. 4. Наряду с этим активизации их биосинтеза могли способствовать также 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 голубики высокорослой [16].

При этом на завершающей стадии эксперимента был обозначен следующий ряд исследуемых сортов жимолости в порядке снижения интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов:

Zojka > Indigo Gem > Honey Bee = Aurora > Ленинградский великан > Wojtek, в котором расхождения между крайними позициями достигали – 2,4-кратной величины и который полностью дублировал приведенный выше аналогичный ряд для степени трансформации их биохимического состава.

Поскольку плоды жимолости синей характеризуются весьма высоким содержанием биофлавоноидов, особенно антоциановых пигментов, обладающих высоким уровнем Р-витаминной и антиоксидантной активности [21], то особый интерес в данной работе представляло исследование изменений их антирадикальных свойств в процессе хранения при низких положительных температурах. Вместе с тем при оценке изменения уровня АОА значительное внимание в этом исследовании было уделено также изменению активности основных ферментов окислительно-восстановительного цикла – каталазы (КАТ), пероксидазы (ПО) и полифенолоксидазы (ПФО), играющих важнейшую роль в обеспечении защиты растительных клеток от кислородных интермедиантов и обезвреживающих супероксидные радикалы и перекисные соединения в клетках. Логично предположить, что при показанных выше существенных генотипических разли-

чиях в трансформации биохимического состава плодов в сортовом ряду жимолости в процессе хранения должны проявиться не менее выразительные различия в изменении уровней их антиоксидантной и ферментативной активности. В пользу данного предположения свидетельствуют результаты аналогичных более ранних исследований авторов с плодами клюквы крупноплодной и голубики высокорослой, показавшие отчетливую зависимость их антиоксидантного комплекса от генотипа растений [22].

По нашим оценкам, приведенным в табл. 6, исходный уровень АОА этанольных экстрактов из плодов исследуемых таксонов жимолости при 30-минутной экспозиции варировался в сортовом ряду в диапазоне 70,1–103,0 мкмоль экв. тролокса/г сухого вещества при наименьших, причем одинаковых значениях у сортов *Zojka*, *Wojtek* и *Indigo Gem* и наибольших – у сортов Ленинградский великан и особенно *Honey Bee*. Результаты определения активности основных окислительно-восстановительных ферментов в сухом веществе плодов показали, что исходный уровень активности КАТ менялся в сравнительно узком диапазоне, охватывавшем область значений 10,9–16,5 мкмоль $H_2O_2/(g \cdot \text{мин})$: минимальное – у сорта *Honey Bee* и максимальное – у *Wojtek* при сопоставимых показателях у сортов Ленинградский великан, *Aurora* и *Zojka*. Весьма узким диапазоном варирования в таксономическом ряду в пределах 2,9–6,2 ед. опт. плотн./($g \cdot \text{мин}$) характеризовалась также активность ПО при наименьших, причем одинаковых, показателях у сортов Ленинградский великан и *Wojtek* и наибольшем – у сорта *Zojka*. При этом наиболее широким диапазоном изменений в сортовом ряду в пределах 290,4–624,4 ед. опт. плотн./($g \cdot \text{мин}$) отмечена активность ПФО: наименьшая – у сорта *Wojtek* и наибольшая – у *Aurora*.

Вместе с тем показанное выше обеднение плодов жимолости в процессе хранения большинством биологически активных соединений объясняет наличие связанных с ним негативных изменений в их антирадикальном комплексе, подтвержденных в наших исследованиях. Как следует из табл. 7, уже спустя 4 суток от начала эксперимента у всех таксонов установлено снижение АОА относительно исходного уровня на 4–26 %, наименьшее – у сортов *Aurora* и Ленинградский великан и наиболее значительное – у сортов *Wojtek*, *Honey Bee* и особенно *Indigo Gem*. Заметим, что к окончанию эксперимента снижение уровня АОА составляло уже 10–42 % при минимальном значении у сорта *Zojka* и максимальном – у *Honey Bee*, для которого, как и для сорта *Wojtek*, показано постепенное ослабление антиоксидантной активности на протяжении всего периода хранения плодов, тогда как у сортов *Zojka* и *Indigo Gem* наиболее интенсивным оно было на его первом этапе, а у сортов *Aurora* и Ленинградский великан – на втором. Подобный характер динамики данного показателя обусловлен показанной выше деструкцией значительного количества органических соединений, являющихся источниками антиоксидантной активности плодов.

В связи с этим представляется вполне обоснованным заметное ослабление в них также ферментативной активности при сохранении выявленных для уровня АОА сортовых различий в степени данных изменений и наибольшем проявлении последних у активности полифенолоксидазы и особенно пероксидазы (табл. 7). При этом к окончанию эксперимента снижение активности каталазы относительно исходного уровня варьировалось в таксономическом ряду в весьма узком диапазоне сравнительно невысоких значений – от 9 % у сорта Ленинградский великан до 18 % у сорта *Indigo Gem*, и лишь у сорта *Honey Bee*, характеризовавшегося наиболее существенным падением антиоксидантной активности, оно достигало 43 %.

Наряду с этим у данного таксона жимолости выявлено также наиболее значительное снижение (на 73 %) активности пероксидазы, катализирующей многие реакции окисления органических и неорганических соединений с использованием пероксида водорода в качестве акцепторов электронов [23], тогда как у остальных сортов оно составляло 10–58 % при минимальных значениях у сортов Ленинградский великан и *Aurora*, в чем прослеживалась отчетливая корреляция со снижением у них уровня АОА. Заметим, что только у этих двух таксонов жимолости не обнаружено достоверных изменений активности ПФО на протяжении всего периода хранения плодов, тогда как у остальных объектов это наблюдалось лишь на его первом этапе, а на втором происходило ее снижение на 27–39 % по сравнению с исходным уровнем. Заметим, что у большинства сортов жимолости основное ингибирование активности окислительно-восстановительных ферментов происходило только на втором этапе хранения плодов.

Таблица 6. Антиоксидантная и ферментативная активность плодов интродуцируемых сортов *Lonicera caerulea* на отдельных этапах хранения в условиях обычной газовой среды при температуре (+4 ± 1) °C (в пересчете на сухое вещество)

Срок	АОА (ДФПГ) мкмоль экв. тролокса/г		Активность КАТ, мкмоль H ₂ O ₂ /г·мин		Активность ПО, ед. опт. плотн./г·мин		Активность ПФО, ед. опт. плотн./г · мин	
	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}	X ± st	t _{Ct}
Ленинградский великан								
30 мая (начало хранения)	95,1 ± 0,1	—	12,2 ± 0,1	—	3,0 ± 0,1	—	452,1 ± 2,0	—
3 июня	91,7 ± 1,0	-3,5*	12,5 ± 0,1	2,0	2,8 ± 0,1	-4,2*	457,7 ± 4,6	1,1
7 июня	80,5 ± 0,2	-63,9*	11,1 ± 0,1	-7,8*	2,7 ± 0,1	-4,9*	450,4 ± 0,1	-0,8
Aurora								
30 мая (начало хранения)	81,9 ± 0,7	—	12,8 ± 0	—	4,2 ± 0,1	—	624,4 ± 1,2	—
3 июня	79,0 ± 0,5	-2,9*	13,2 ± 0,1	3,5*	3,8 ± 0,1	-2,8*	632,3 ± 0,1	2,1
7 июня	70,2 ± 0,2	-11,2*	10,7 ± 0,1	-17,4*	3,6 ± 0,1	-5,4*	632,0 ± 0,5	1,2
Zojka								
30 мая (начало хранения)	70,8 ± 0,4	—	12,1 ± 0,1	—	6,2 ± 0,1	—	400,4 ± 0,1	—
3 июня	64,0 ± 1,6	-4,2*	12,7 ± 0,1	4,8*	5,4 ± 0,1	-4,9*	400,8 ± 0,8	0,5
7 июня	63,5 ± 0,2	-16,6*	10,4 ± 0,2	-6,8*	4,0 ± 0,1	-14,3*	288,3 ± 0,2	-57,0*
Wojtek								
30 мая (начало хранения)	70,8 ± 0,4	—	16,5 ± 0,2	—	2,9 ± 0,1	—	290,4 ± 0,3	—
3 июня	65,8 ± 2,8	-5,6*	16,9 ± 0,1	2,5	2,5 ± 0,1	-7,1*	293,5 ± 3,4	0,9
7 июня	60,5 ± 0,3	-34,7*	14,4 ± 0,2	-7,1*	1,9 ± 0,1	-21,2*	211,8 ± 1,2	-62,7*
Indigo Gem								
30 мая (начало хранения)	70,1 ± 0,2	—	11,5 ± 0,2	—	4,1 ± 0,1	—	351,8 ± 0,6	—
3 июня	52,2 ± 1,5	-12,2*	12,3 ± 0,1	4,3*	3,5 ± 0,1	-5,3*	360,2 ± 1,5	2,0
7 июня	48,7 ± 0,9	-22,2*	9,4 ± 0,1	-9,8*	1,7 ± 0,1	-20,2*	213,5 ± 1,3	-96,2*
Honey Bee								
30 мая (начало хранения)	103,0 ± 1,2	—	10,9 ± 0,1	—	4,1 ± 0,1	—	455,0 ± 2,8	—
3 июня	80,1 ± 0,1	-18,9*	11,0 ± 0,1	2,0	2,9 ± 0,1	-16,1*	502,2 ± 1,2	15,5*
7 июня	60,3 ± 0,3	-34,2*	6,2 ± 0,1	-39,4*	1,1 ± 0,1	-40,2*	307,1 ± 1,2	-48,2*

* Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с исходным уровнем при $p < 0,05$.

Таблица 7. Относительные различия с исходным уровнем антиоксидантной и ферментативной активности плодов интродуцируемых сортов *Lonicera caerulea* на отдельных этапах хранения в условиях обычной газовой среды при температуре (+4 ± 1) °C, %

Показатель	1 / исх.	2 / исх.	2 / 1	1 / исх.	2 / исх.	2 / 1	1 / исх.	2 / исх.	2 / 1
Ленинградский великан				Aurora				Zojka	
АОА	-3,6	-15,4	-12,2	-3,5	-14,3	-11,1	-9,6	-10,3	—
Активность КАТ	—	-9,0	-11,2	+3,1	-16,4	-18,9	+5,0	-14,1	-18,1
Активность ПО	-6,7	-10,0	-3,6	-9,5	-14,3	-5,3	-12,9	-35,5	-25,9
Активность ПФО	—	—	—	—	—	—	—	-28,0	-28,1
Совокупный эффект	-10,3	-34,4	-27,0	-9,9	-45,0	-35,3	-17,5	-87,9	-72,1
Wojtek				Indigo Gem				Honey Bee	
АОА	-7,1	-14,5	-8,1	-25,5	-30,5	-6,7	-22,2	-41,5	-24,7
Активность КАТ	—	-12,7	-14,8	+7,0	-18,3	-23,6	—	-43,1	-43,6
Активность ПО	-13,8	-34,5	-24,0	-14,6	-58,5	-51,4	-29,3	-73,2	-62,1
Активность ПФО	—	-27,1	-27,8	—	-39,3	-40,7	+10,4	-32,5	-38,8
Совокупный эффект	-20,9	-88,8	-74,7	-33,1	-146,6	-122,4	-41,1	-190,3	-169,2

П р и м е ч а н и е. 1 / исх. и 2 / исх. – величина изменения показателя от начала хранения; 2 / 1 – величина изменения показателя от срока к сроку. Прочерк означает отсутствие статистически значимых различий по t-критерию Стьюдента с исходным уровнем при $p < 0,05$.

Вместе с тем нельзя не заметить, что на фоне негативных изменений в антиоксидантном комплексе плодов в процессе хранения, обусловленных показанным выше обеднением их большинством биологически активных соединений, тем не менее на его первом этапе у сортов Aurora, Zojka и Indigo Gem наблюдалось хотя и незначительное, но все же достоверное увеличение на 3–7 % по сравнению с исходным уровнем активности каталазы, а у сорта Honey Bee – активности полифенолоксидазы, сменяющее их снижением на втором этапе хранения.

С целью определения таксона жимолости с наименее выраженным снижением общего уровня антиоксидантной и ферментативной активности плодов в период хранения и установления его этапа, обеспечившего наибольшую сохранность их антирадикальных свойств, были определены суммарные значения достоверных различий исследуемых показателей с исходным уровнем, с учетом их знака, характеризующие своеобразный «совокупный эффект» (табл. 7).

Нетрудно убедиться, что у всех исследуемых сортов жимолости наблюдалось его заметное снижение на фоне существенных генотипических различий степени данного снижения, проявившегося на втором этапе хранения плодов в 4–5 раз более выразительно, чем на первом (табл. 7). При этом в соответствии с усилением деградации антиоксидантного и ферментативного комплекса плодов к окончанию эксперимента сорта жимолости расположились в следующей последовательности:

Ленинградский великан > Aurora > Zojka = Wojtek > Indigo Gem > Honey Bee, в которой расхождения между крайними позициями достигали 5,5-кратной величины и которая заметно отличалась от приведенного выше аналогичного ряда, построенного в соответствии со степенью снижения интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов.

На наш взгляд, эти различия обусловлены генотипическими особенностями трансформации их биохимического состава в процессе хранения у разных таксонов жимолости, обусловившие соответствующие изменения в содержании органических соединений, являющихся источниками антиоксидантной и ферментативной активности. Очевидно, у районированного сорта Ленинградский великан, отмеченного при этом весьма значительными потерями действующих веществ, наименьшей деградации были подвергнуты соединения с наиболее высоким уровнем антирадикальной активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнительного исследования особенностей трансформации биохимического состава плодов шести сортов жимолости синей – Aurora, Zojka, Wojtek, Indigo Gem, Honey Bee и Ленинградский великан из коллекционного фонда Центрального ботанического сада НАН Беларуси в процессе 8-суточного хранения в условиях обычной газовой среды при температуре ($+4 \pm 1$) °C выявлен ряд общих закономерностей в изменении содержания большинства органических соединений относительно исходного уровня на фоне генотипических различий в степени его проявления.

В сортовом ряду опытных растений установлено обеднение ягодной продукции на 17–32 % свободными органическими, на 20–40 % аскорбиновой и на 16–50 % гидроксикоричными кислотами, на 3–14 % пектинами, на 19–34 % дубильными веществами, на 6–14 % антоциановыми пигментами, в том числе на 5–26 % собственно антоцианами, на 7–31 % лейкоантоцианами и на 3–6 % биофлавоноидами в целом при ее обогащении на 7–25 % катехинами, на 7–36 % флавонолами, на 8–29 % растворимыми сахарами и увеличении на 34–82 % показателя сахарокислотного индекса.

При этом направленность и степень выразительности выявленных тенденций определялись продолжительностью периода хранения, генотипом опытных растений и химической природой органических соединений.

У большинства таксонов жимолости наблюдалось снижение в 1,3–1,9 раза интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов по совокупности 14 биохимических характеристик, наименее выраженное у сортов Indigo Gem и Honey Bee и наиболее значительное у сорта Wojtek, и лишь у сорта Zojka отмечено его увеличение в 1,2 раза.

Трансформация биохимического состава плодов сопровождалась ослаблением их антирадикальных свойств, наиболее выраженным на втором этапе хранения и обусловленным снижением антиоксидантной и ферментативной активности соответственно на 10–42 % и 9–73 %, при наименьшей степени деградации антиоксидантного комплекса плодов у районированного сорта Ленинградский великан и наибольшей, превосходившей ее в 5,5 раза, – у сорта Honey Bee.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Влияние генотипа растений жимолости синей (*Lonicera edulis* Turcz. ex Freyn) и погодных условий вегетационного периода на лежкospособность плодов при низкой положительной и комнатной температурах / Н. Б. Павловский, Ж. А. Рупасова, А. В. Ральцевич [и др.] // Вестник БРФФИ. – 2024. – № 2. – С. 153–161.
2. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги : ГОСТ 28561-90. – Взамен ГОСТ 8756.2-82 в части разд. 1, 2, 3 (кроме консервов из рыбы и морепродуктов), ГОСТ 13340.3-77 ; введ. 01.07.1991. – М. : Стандартинформ, 2011. – 10 с.
3. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, Н. П. Ярош [и др.] ; под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Агропромиздат. Л. отд-ние, 1987. – 430 с.
4. Марсов, Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники : дис. ... канд. фармацевт. наук : 15.00.02 / Марсов Николай Григорьевич ; Яросл. гос. мед. акад. – Пермь, 2006. – Л. 99–101.
5. Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы : учеб. пособие. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т ; сост. М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова. – Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012. – 148 с.
6. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. Hillis // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1959. – Vol. 10, № 1. – P. 63–68.
7. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э. А. Шафтан // Тр. III Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод / М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР, Уральский лесотехн. ин-т. – Свердловск, 1968. – С. 451–461.
8. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной / В. Ю. Андреева, Г. И. Калинкина, Н. Э. Коломиец, Н. В. Исаикина // Фармация. – 2013. – № 3. – С. 19–21.
9. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье. Общие методы анализа // Государственная фармакопея Союза Советских Социалистических Республик / М-во здравоохранения СССР. – М., 1987. – С. 286–287.
10. Патент BY 17648 C1 2013.10.30. Способ ранжирования таксонов растения : № а 20101502 : заявлено 20.10.2010 : опубл. 30.10.2013 / Рупасова Ж. А., Решетников В. Н., Яковлев А. П. ; заявитель Центр. ботан. сад НАН Беларуси. – URL: <https://by.patents.su/7-17648-sposob-ranzhirovaniya-taksonov-rasteniya.html> (дата обращения: 09.12.2024).
11. Антиоксидантная активность белков отдельных видов дикорастущих растений Беларуси и Монголии / В. И. Домаш, О. А. Иванов, Т. П. Шарпио [и др.] // Ботаника (исследования) : сб. науч. тр. / Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси ; редкол.: Н. А. Ламан [и др.]. – Минск, 2017. – Вып. 46. – С. 190–199.
12. Dung, N. T. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx operculatus* (Roxb.) Merr and Perry buds / N. T. Dung, J. M. Kim, S. C. Kang // Food and chemical toxicology. – 2008. – Vol. 46, № 12. – P. 3632–3639.
13. Физиологические и биохимические методы анализа растений : практикум / Калининград. гос. ун-т ; авт.-сост. Г. Н. Чупахина. – Калининград : Калининград. гос. ун-т, 2000. – 59 с.
14. Кинетические, биохимические и биологические методы анализа. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине специализации «Кинетические, биохимические и биологические методы анализа» для студентов специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» / Курганский гос. ун-т, каф. «Физическая и прикладная химия» ; сост. Л. В. Мосталыгина. – Курган, 2016. – 30 с.
15. Воскресенская, О. Л. Большой практикум по биоэкологии. Ч. 1 : учеб. пособие / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2006. – 107 с.
16. Интродукция малораспространенных культур плодоводства в условиях Беларусь (клюква крупноплодная, голубика высокорослая, актинидия аргута, актинидия коломикта, актинидия полигамная) / Ж. А. Рупасова, И. М. Гаранович, Т. В. Шпитальная [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2019. – 209 с.
17. Арасимович, В. В. Обмен углеводов при созревании и хранении плодов яблони / В. В. Арасимович, Н. П. Пономарева. – Кишинев : Штиинца, 1976. – 106 с.
18. Грушева, Т. П. Изменение химического состава плодов колонновидных сортов яблони при хранении / Т. П. Грушева, И. Н. Остапчук // Плодоводство : сб. науч. тр. / НАН Беларусь, Ин-т плодоводства ; редкол.: В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.]. – 2015. – Т. 27. – С. 286–293.
19. Банташ, В. Г. Формирование пектинового и фенольного комплексов яблок в условиях интенсивной культуры и обработки кальцием в связи с качеством плодов : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.04 / Банташ Валентина Григорьевна ; Ин-т физиологии и биохимии растений АН Молдовы. – Кишинев, 1984. – 178 л.
20. Арасимович, В. В. Биохимия созревания плодов / В. В. Арасимович // Физиология сельскохозяйственных растений. – 1968. – Т. 10. – С. 62–82.
21. Карабанов, И. А. Флавоноиды в мире растений / И. А. Карабанов. – Минск : Ураджай, 1981. – 80 с.

22. Возделывание голубики на торфяных выработках Припятского Полесья: (физиолого-биохимические аспекты развития) / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев, В. Н. Решетников [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2016. – 242 с.

23. Рубин, Б. А. Об изоферментах пероксидазы в клубнях картофеля / Б. А. Рубин, Е. В. Будилова // Доклады Академии наук СССР. – 1970. – Т. 190. – № 3. – 722 с.

**GENOTYPIC FEATURES OF BIOCHEMICAL COMPOSITION AND ANTIOXIDANT COMPLEX
TRANSFORMATION IN BLUE HONEYSUCKLE BERRIES DURING STORAGE UNDER LOW POSITIVE
TEMPERATURE IN NORMAL ATMOSPHERIC CONDITIONS**

ZH. A. RUPASOVA, N. B. PAVLOVSKY, P. N. BELY, A. S. SAYAN, A. V. USHAKOVA,
S. N. AVRAMENKO, A. G. PAVLOVSKAYA, A. V. RALTSEVICH

Abstract

This paper presents the results of a comparative study on the transformation of the biochemical composition in berries of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea*) cultivars Aurora, Zojka, Wojtek, Indigo Gem, Honey Bee, and Leningradsky Velikan during 8 days of storage under normal atmospheric conditions at a temperature of $(+4 \pm 1)$ °C. It was found that berry contents decreased by 17–32% in free organic acids, 20–40 % in ascorbic acid, 16–50% in hydroxycinnamic acids, 3–14 % in pectins, 19–34 % in tannins, 6–14 % in anthocyanin pigments (including 5–26 % in anthocyanins proper, 7–31 % in leucoanthocyanins, and 3–6 % in vitamin P compounds), while increasing by 7–25 % in catechins, 7–36 % in flavonols, 8–29 % in soluble sugars, and showing a 34–82 % rise in the sugar-to-acid ratio. The direction and magnitude of these trends were determined by storage duration, plant genotype, and the chemical nature of the organic compounds. In most honeysuckle taxa, the overall nutritional and vitamin value – assessed using 14 biochemical indicators – decreased by 1.3–1.9 times. The smallest decline was observed in Indigo Gem and Honey Bee, while the greatest loss occurred in Wojtek. Notably, Zojka berries exhibited a 1.2-fold increase in integrated value.

The transformation of the biochemical composition was accompanied by a weakening of antiradical properties, especially during the second stage of storage. This was due to a reduction in antioxidant and enzymatic activity by 10–42 % and 9–73 %, respectively. The least degradation of the antioxidant complex was observed in the zoned cultivar Leningradsky Velikan, and the greatest – 5.5 times higher – was recorded in Honey Bee.

Keywords: blue honeysuckle, transformation, storage, biochemical composition, antioxidants.

Поступила в редакцию 25.02.2025