

УДК 634.737.075:581.192:631.563

ТРАНСФОРМАЦИЯ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛОДОВ ТАКСОНОВ РОДА *VACCINIUM* В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ ПРИ НИЗКИХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ж.А. Рупасова¹, В.Н. Решетников¹, Т.И. Василевская¹, Н.П. Варавина¹,
Н.Б. Криницкая¹, А.М. Бубнова¹, Н.Б. Павловский¹, А.Г. Павловская¹,
Т.В. Курлович¹, Ю.М. Пинчукова²

¹ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»,

ул. Сурганова, 2в, г. Минск, 220012, Беларусь,

e-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

²УО «Могилевский государственный университет продовольствия»,

пр. Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Беларусь,

e-mail: pinchykova@gmail.com

РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты сравнительного исследования степени трансформации биохимического состава плодов 3 интродуцированных в условиях Беларуси межвидовых гибридов *V. corymbosum* и *V. angustifolium* разных сроков созревания – раннеспелого *Collins*, среднераннеспелого *Hardyblue* и среднепозднеспелого *Denise Blue* из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси в процессе хранения в течение месяца при температуре +3...+4 °С. Установлено преимущественное обеднение плодов, относительно исходного уровня, свободными органическими и аскорбиновой кислотами, растворимыми сахарами, пектиновыми и дубильными веществами, антоциановыми пигментами и флавонолами, при увеличении содержания сухих веществ и сахарокислотного индекса, на фоне отсутствия изменений в содержании катехинов и неоднозначных изменений в содержании фенолкарбоновых кислот.

Выявлен индивидуальный характер ответной реакции исследуемых сортов голубики на разное по продолжительности воздействие низких положительных температур при наибольшей степени снижения интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов и ухудшения их потребительских свойств за период хранения у раннеспелого сорта *Collins* и в 2,3 и 6,9 раза меньшей его степени у среднераннеспелого *Hardyblue* и среднепозднеспелого *Denise Blue*.

Ключевые слова: *Vaccinium corymbosum*, голубика, плоды, биохимический состав, хранение, Беларусь.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с введением в промышленную культуру интродуцированного в Беларуси североамериканского вида – голубики высокорослой, особо важное значение обретают вопросы хранения его ягодной продукции. За рубежом наиболее распространенным способом продления потребительских качеств последней является замораживание с последующим хранением при низких отрицательных температурах. Результаты сравнительного изучения динамики биохимического состава свежих и замороженных плодов голубики, с исследованием антиоксидантных свойств их антоцианового комплекса, полученные нашими зарубежными коллегами [1-4], показали достаточно выраженную

стабильность данных показателей. В нашей стране исследованием потребительских свойств и физико-химических характеристик плодов голубики высокорослой при замораживании и хранении при низких отрицательных температурах занимаются сотрудники Могилевского государственного университета продовольствия [5]. Однако неизбежные потери товарного вида и эстетических качеств плодов голубики при последующем размораживании не позволяют использовать их в качестве столового продукта для розничной продажи, что делает весьма актуальным хранение данного продукта при низких положительных температурах в холодильных установках. К сожалению, известно немного работ по исследованию динамики потребительских свойств ягод голубики в процессе хранения в этих условиях [6]. Вместе с тем научная информация о происходящих при этом изменениях в содержании в них полезных веществ разной химической природы в литературе практически не представлена. В этой связи в 2013 г. в рамках выполнения задания «Выделить и передать в систему государственного испытания высокоурожайные сорта нетрадиционных плодовых и ягодных культур с высоким содержанием биологически активных веществ в плодах, в том числе пригодные для механизированной уборки урожая для закладки сырьевых насаждений республики» Государственной комплексной программы развития картофелеводства, овощеводства и плодоводства в 2011-2015 годах было проведено поэтапное исследование трансформации биохимического состава плодов трех интродуцированных сортов голубики высокорослой разных сроков созревания при хранении в бытовом холодильнике при температуре +3...+4 °С.

МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований были привлечены плоды 3 интродуцированных в условиях Беларуси межвидовых гибридов *V. corymbosum* и *V. angustifolium* – ранне-спелого *Collins*, среднераннеспелого *Hardyblue* и среднепозднеспелого *Denise Blue* из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси (Ганцевичская научно-экспериментальная база, Брестская обл.).

Комплексное исследование биохимического состава плодов голубики осуществляли трижды за месячный период хранения с 23 июля по 22 августа 2013 г. с интервалом в 10 дней, условно разделив его на 3 этапа.

Соответственно в конце 1-й, 2-й и 3-й десятидневок в свежих усредненных пробах хранящихся плодов голубики определяли содержание: сухих веществ – по ГОСТу 28561-90 [7], аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом [8], титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [8], растворимых сахаров – ускоренным полумикрометодом [9], пектиновых веществ (водорастворимого пектина и протопектина) – карбазольным методом [8], суммы антоциановых пигментов – по методу Т. Swain, W.E. Hillis [10] с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю.Г. Скориковой и Э.А. Шафтан [11], собственно антоцианов – по методу Л.О. Шнайдемана и В.С. Афанасьевой [12], суммы флавонолов – фотоэлектроколориметрическим методом [8], суммы катехинов – фотометрическим методом с использованием ванилинового реактива [13], фенолкарбоновых кислот (в пересчете на хлорогеновую) – методом нисходящей хроматографии на бумаге [14], дубильных веществ – титрометрическим методом Левенталя [15]. Все аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По нашим оценкам, приведенным в таблицах 1-3, исследуемые объекты заметно различались по накоплению в плодах большинства определявшихся соединений, варьиравшемуся в следующих диапазонах значений: для содержания в сухой массе сухих веществ – 12,5-15,4 %, свободных органических кислот – 3,18-5,70 %, аскорбиновой кислоты – 332,1-428,5 мг/100 г, фенолкарбоновых кислот – 970,2-1458,3 мг/100 г, растворимых сахаров – 56-63 % при значениях сахарокислотного индекса 9,8-19,8, пектиновых веществ – 4,48-5,61 %, в том числе гидропектина – 1,35-1,77 %, протопектина – 3,04-4,09 %, биофлавоноидов – 7008,7-9760,5 мг/100 г, в том числе антоциановых пигментов – 4682,0-6981,0 мг/100 г, из них собственно антоцианов 2030,0-3330,0 мг/100 г, лейкоантоцианов – 2652,0-3987,0 мг/100 г, катехинов – 559,0-663,0 мг/100 г, флавонолов – 1408,3-2220,5 мг/100 г, дубильных веществ – 1,87-2,29 %. Значительная ширина приведенных диапазонов свидетельствует о выраженных генотипических различиях питательной и витаминной ценности плодов исследуемых таксонов голубики.

В течение всего периода хранения плодов была установлена весьма существенная трансформация их биохимического состава. В течение первых 10 дней от начала хранения у всех объектов не было выявлено сколь-либо значимых изменений в содержании сухих веществ (таблица 1). При этом было показано незначительное (в пределах 9-10 %) снижение содержания свободных органических кислот в плодах среднераннеспелого сорта *Hardibluе* и аскорбиновой кислоты в плодах среднепозднеспелого сорта *Denise Blue*. К концу периода хранения у всех сортов голубики отмечено увеличение в плодах содержания сухих веществ, обусловленное потерями влаги. Наименее существенным (на 14 %) оно было у сорта *Collins* и происходило скачкообразно, поскольку незначительное изменение данного показателя во второй десятидневке не нашло статистического подтверждения. В отличие от него, у других таксонов увеличение содержания в плодах сухих веществ проявилось более выразительно, особенно у сорта *Hardibluе*, для которого к окончанию эксперимента было показано увеличение данного показателя на 30 %, в том числе к окончанию второй десятидневки на 17 %, что свидетельствует о более раннем, чем у сорта *Collins*, снижении степени оводненности тканей его плодов. Обращает на себя внимание, что на втором этапе хранения темпы снижения данного показателя были несколько выше, чем на последнем этапе. Несмотря на то, что у сорта *Denise Blue* через 20 дней от начала хранения содержание в плодах сухих веществ оказалось достоверно на 5 % выше исходного уровня, основное увеличение данного показателя (на 14 %), как и у сорта *Collins*, пришлось на третью десятидневку.

К концу периода хранения в плодах исследуемых таксонов голубики наблюдалось существенное снижение содержания и свободных органических, и аскорбиновой кислот. При этом у сортов *Collins* и *Denise Blue*, характеризовавшихся сходными потерями титруемых кислот – в пределах 16 %, наиболее выразительные изменения их содержания пришлось на вторую десятидневку. В отличие от данных таксонов, у сорта *Hardibluе* обеднение плодов титруемыми кислотами происходило на протяжении всего периода хранения и особенно активизировалось в третьей десятидневке, в результате чего их потери превысили 40 %.

Что касается аскорбиновой кислоты, то к концу периода хранения у всех объектов наблюдалось практически одинаковое (в пределах 42-45 %) снижение ее содержания, причем у сортов *Collins* и *Hardibluе* оно происходило, начиная со второго этапа хранения, при наиболее высоких темпах снижения С-витаминной ценности плодов у первого таксона во второй десятидневке, у второго – в третьей.

Таблица 1 – Содержание сухих веществ и органических кислот в плодах таксонов рода *Vaccinium* в зависимости от сроков хранения

Срок отбора проб	Сухие вещества			Свободные органические кислоты			Аскорбиновая кислота			Фенолкарбоновые кислоты		
	%			%			мг/100 г			мг/100 г		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Collins</i>												
23 июля	13,5			5,70			428,5			1458,3		
2 августа	13,5	-	-	5,62	-	-	409,9	-	-	1433,3	-	-
12 августа	14,1	-	-	5,09	-10,7	-9,4	294,5	-31,3	-28,2	1225,0	-16,0	-14,5
22 августа	15,4	+14,1	+9,2	4,82	-15,4	-	249,2	-41,8	-15,4	1325,0	-9,1	-
НСР	1,3			0,35			35,2			132,3		
<i>Hardibluе</i>												
23 июля	15,4			3,18			362,7			999,5		
2 августа	15,9	-	-	2,87	-9,7	-9,7	346,7	-	-	1281,1	+28,2	+28,2
12 августа	18,0	+16,9	+13,2	2,52	-20,8	-12,2	280,4	-22,7	-19,1	1107,0	+10,8	-13,6
22 августа	19,7	+27,9	+9,4	1,89	-40,6	-25,0	200,8	-44,6	-28,4	1007,5	-	-
НСР	0,7			0,13			24,7			129,0		
<i>Denise Blue</i>												
7 августа	12,5			4,77			332,1			970,2		
17 августа	12,8	-	-	4,77	-	-	301,2	-9,3	-9,3	1318,4	+35,9	+35,9
27 августа	13,1	+4,8	-	4,08	-14,5	-14,5	268,7	-19,1	-10,8	1031,7	-	-21,7
6 сентября	14,9	+19,2	+13,7	4,01	-15,9	-	192,5	-42,0	-28,4	1135,0	+17,0	+10,0
НСР	0,6			0,32			25,0			101,7		

Примечание: Здесь и в таблицах 2, 3 – прочерк (-) означает отсутствие статистически достоверных изменений признака при $p \leq 0,05$;

1 – среднее значение показателя; 2 – величина изменения показателя от начала хранения, %; 3 – величина изменения показателя от срока к сроку, %.

Таблица 2 – Содержание растворимых сахаров и пектиновых веществ в сухой массе плодов таксонов рода *Vaccinium* в зависимости от сроков хранения

Срок отбора проб	Растворимые сахара									Гидропектин									Протопектин									Сумма пектиновых веществ									Сахарокислотный индекс		
	1			2			3			1			2			3			1			2			3			1	2	3									
	%																																						
<i>Collins</i>																																							
23 июля	56,0			1,44						3,04										4,48									9,8										
2 августа	55,0	-		1,28	-11,1					2,76	-9,2									4,04	-9,8							9,8	-										
12 августа	53,7	-4,1		1,22	-15,3	-4,7				2,66	-12,5	-								3,88	-13,4	-					11,2	+14,3											
22 августа	52,3	-6,6		1,18	-18,1	-				2,47	-18,8	-7,1								3,65	-18,5	-5,9					10,3	+5,1	-8,0										
НСР	2,2			0,05						0,19										0,23							0,7												
<i>Hardibblue</i>																																							
23 июля	63,0			1,77						3,84										5,61							19,8												
2 августа	59,3	-5,9		1,64	-7,3	-7,3				3,51	-8,6	-8,6								5,15	-8,2						23,6	+19,2											
12 августа	53,7	-14,8		1,46	-17,5	-11,0				3,09	-19,5	-12,0								4,52	-19,4	-12,2					18,7	-	-20,8										
22 августа	52,3	-17,0		1,42	-19,8	-				3,07	-20,1	-								4,52	-19,4	-					27,6	+39,4	+47,6										
НСР	2,4			0,06						0,19										0,23							1,6												
<i>Denise Blue</i>																																							
7 августа	57,0			1,35						4,09										5,44							12,0												
17 августа	53,7	-5,8		1,26	-6,7	-6,7				3,60	-12,0	-12,0								4,86	-10,7	-10,7					11,3	-	-										
27 августа	53,0	-7,0		1,19	-11,9	-				3,59	-12,2	-								4,79	-11,9	-					13,2	+10,0	+16,8										
6 сентября	53,0	-7,0		0,97	-28,1	-18,5				3,51	-14,2	-								4,48	-17,6	-6,5					10,9	-9,2	-17,4										
НСР	1,9			0,08						0,16										0,22							1,1												

Таблица 3 – Содержание фенольных соединений в сухой массе плодов таксонов рода *Vaccinium* в зависимости от сроков хранения

Срок отбора проб	Антоцианы			Лейкоантоцианы			Сумма антоциановых пигментов						Катехины		
							мг/100 г								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Collins</i>															
23 июля	2370,0			3987,0			6357,0				663,0				
2 августа	2320,0	-	-	3659,0	-8,2	-8,2	5979,0	-5,9	-5,9		663,0	-5,9			
12 августа	2100,0	-11,4	-9,5	3608,0	-9,5	-	5708,0	-10,2	-4,5		634,5	-4,5			
22 августа	1990,0	-16,0	-5,2	3119,0	-21,8	-13,6	5109,0	-19,6	-10,5		624,5	-10,5			
НСР	90,5			153,6			115,8				56,9				
<i>Hardibluе</i>															
23 июля	3330,0			3651,0			6981,0				559,0				
2 августа	2760,0	-17,1	-17,1	3070,5	-15,9	-15,9	5830,5	-16,5	-16,5		533,0	-16,5		-4,7	-4,7
12 августа	2340,0	-29,7	-15,2	2925,0	-19,9	-4,7	5265,0	-24,6	-9,7		520,0	-9,7		-7,0	-
22 августа	1950,0	-41,4	-16,7	2574,0	-29,5	-12,0	4524,0	-35,2	-14,1		513,5	-14,1		-8,1	-
НСР	55,4			116,9			90,0				20,8				
<i>Denise Blue</i>															
7 августа	2030,0			2652,0			4682,0				663,0				
17 августа	2090,0	+3,0	+3,0	2448,0	-7,7	-7,7	4528,0	-3,3	-3,3		637,0	-3,3		-	-
27 августа	2310,0	+13,8	+10,5	1987,0	-25,1	-18,8	4297,0	-8,2	-5,1		611,0	-5,1		-	-
6 сентября	2520,0	+24,1	+9,1	2212,0	-16,6	+11,3	4732,0	-	+10,1		604,5	+10,1		-	-
НСР	53,1			105,3			100,8				71,3				

Окончание таблицы 3

Срок отбора проб	Флавонолы			Сумма биофлавоноидов мг/100 г			Флавонолы/Катехины			Дубильные вещества %		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	<i>Collins</i>											
23 июля	1408,3			8428,3			2,3			2,29		
2 августа	1355,9	-3,7	-3,7	7997,9	-5,1	-5,1	2,0	-13,0	-13,0	2,24	-	-
12 августа	1349,3	-4,2	-	7691,8	-8,7	-3,8	2,2	-4,3	+10,0	2,04	-10,9	-8,9
22 августа	1349,3	-4,2	-	7082,8	-16,0	-7,9	2,0	-13,0	-9,1	1,91	-16,6	-6,4
НСР	44,5			187,1			0,1			0,06		
<i>Hardibblue</i>												
23 июля	2220,5			9760,5			4,0			2,20		
2 августа	2305,6	-	-	8669,1	-11,2	-11,2	4,3	-	-	2,20	-	-
12 августа	1899,5	-14,5	-17,6	7684,5	-21,3	-11,4	3,7	-	-14,0	2,12	-3,6	-3,6
22 августа	1932,3	-13,0	-	6969,8	-28,6	-9,3	3,8	-	-	2,04	-7,3	-3,8
НСР	92,5			72,9			0,4			0,07		
<i>Denise Blue</i>												
7 августа	1663,7			7008,7			2,6			1,87		
17 августа	1709,6	+2,8	+2,8	6874,6	-1,9	-1,9	2,7	-	-	1,81	-3,2	-3,2
27 августа	1762,0	+5,9	+3,1	6670,0	-4,8	-3,0	2,8	-	-	1,91	-	+5,5
6 сентября	1919,2	+15,4	+8,9	7255,7	+3,5	+8,8	3,2	+23,1	+14,3	2,12	+13,4	+11,0
НСР	36,3			95,1			0,4			0,06		

В отличие от более ранних сортов, у среднепозднеспелого сорта *Denise Blue* деградация аскорбиновой кислоты в плодах наблюдалась на протяжении всего периода хранения, примерно с равной интенсивностью на первом и втором его этапах, приблизительно втрое уступавшей таковой на третьем этапе.

Если для свободных органических и аскорбиновой кислот в период хранения плодов голубики было характерно снижение их содержания, то картина изменений параметров накопления в них фенолкарбоновых кислот была не столь однозначной. Так, для сорта *Collins* только на втором этапе хранения было показано достоверное снижение содержания данных соединений более чем 14 %, приведшее к обеднению ими плодов к окончанию эксперимента на 9 % относительно исходного уровня. Что касается сортов *Hardiblu* и *Denise Blue*, то в обоих случаях в первой десятидневке от начала хранения наблюдалась весьма заметная активизация в их плодах биосинтеза фенолокислот, приведшая к увеличению содержания последних на 28 и 36 % (таблица 1). Однако во второй десятидневке, напротив, имело место обеднение их плодов данными соединениями до исходного уровня. Отсутствие последующих изменений в накоплении фенолкарбоновых кислот в плодах сорта *Hardiblu* привело к нивелированию различий в их содержании в начале и конце эксперимента. При этом у сорта *Denise Blue* на третьем этапе хранения наблюдалась повторная активизация накопления в плодах фенолкарбоновых кислот, обусловившая к завершению эксперимента превышение их исходного уровня на 17 %.

Как следует из таблицы 2, за период хранения плодов голубики произошла заметная трансформация их углеводного комплекса. В большинстве случаев она носила однотипный характер у всех опытных объектов. Так, к окончанию эксперимента наблюдалось снижение в плодах содержания растворимых сахаров, наиболее выраженное (на 17 %) у сорта *Hardiblu* и менее существенное (не более чем на 7 %) – у сортов *Collins* и *Denise Blue*. При этом весьма незначительное обеднение сахарами плодов сорта *Collins* протекало настолько равномерно, что изменения в их содержании от срока к сроку даже не нашли статистического подтверждения, тогда как у сорта *Denise Blue* основные потери данных углеводов отмечены в первой десятидневке, а у сорта *Hardiblu*, характеризовавшегося наиболее значительным расходом растворимых сахаров, наблюдалась его заметная активизация на втором этапе хранения.

В процессе хранения плодов голубики происходили также изменения сахарокислотного индекса, соответствовавшие направленности и степени изменений содержания в них растворимых сахаров и титруемых кислот. Показанное выше более выразительное расходование вторых, по сравнению с первыми, обусловило усиление сладости плодов к окончанию эксперимента, проявившееся в разной степени на отдельных его этапах. В частности, у сорта *Hardiblu* достоверное увеличение сахарокислотного индекса плодов почти на 20 % наблюдалось уже к концу первой десятидневки, тогда как у сортов *Collins* и *Denise Blue* подобное увеличение на 10-14 % произошло только в конце второй десятидневки. Вместе с тем на завершающем этапе хранения у всех таксонов голубики наблюдалось существенное ухудшение органолептических свойств плодов, по сравнению с предыдущим этапом, в результате чего к окончанию эксперимента у сорта *Collins* сахарокислотный индекс превышал таковой в начале эксперимента всего лишь на 5 %, а у сорта *Denise Blue* и вовсе уступал ему на 9 %. Лишь у сорта *Hardiblu*, характеризовавшегося существенным увеличением данного показателя уже в первой десятидневке, отмечено его снижение на втором этапе хранения, сменившееся повторным, причем весьма значительным увеличением, относительно начала эксперимента (на 40 %).

Исследование трансформации пектинового комплекса плодов в процессе хранения также выявило заметные потери (в пределах 18-19 %) этих весьма ценных в физиологическом плане соединений, оказавшиеся примерно равными у всех исследуемых таксонов голубики (таблица 2). При этом основное снижение общего количества пектиновых веществ у сортов *Collins* и *Denise Blue* происходило в первой и в меньшей степени третьей десятидневках, тогда как во второй оно было столь незначительным, что даже не нашло статистического подтверждения. В отличие от данных таксонов, у сорта *Hardibluе* снижение общего количества пектинов происходило с нарастающей интенсивностью в первые две десятидневки, сойдя на нет на третьем этапе хранения. При этом у раннего и среднераннего сортов *Collins* и *Hardibluе* обеднение плодов гидро- и протопектином происходило сравнительно равномерно, тогда как у среднепозднего *Denise Blue* относительные потери гидропектина за период хранения вдвое превысили таковые протопектина (28 % против 14 %). При этом достоверное обеднение плодов растворимым пектином у раннего и среднераннего сортов отмечено в первые двадцать дней от начала хранения, тогда как у среднепозднего *Denise Blue* – в первой и особенно в третьей десятидневках. Что касается протопектина, то основные его потери у сорта *Collins* приходились на первую и третью десятидневки, у сорта *Hardibluе*, как и гидропектина – на первую и вторую десятидневки, тогда как у сорта *Denise Blue* достоверное обеднение плодов нерастворимым пектином ограничивалось только первой десятидневкой.

Особый интерес в данных исследованиях представляет трансформация биофлавоноидного комплекса плодов голубики, обладающего выраженной Р-витаминной и антиоксидантной активностью, определяющей их основную потребительскую ценность. Как следует из таблицы 3, за период хранения плодов в них произошли заметные потери полифенолов, величина которых определялась сортовой принадлежностью опытных объектов. Наиболее значительными, составившими почти 30 % от исходного уровня, они оказались у сорта *Hardibluе*. Примерно вдвое меньшими (в пределах 16 %) они были у сорта *Collins*. При этом обеднение плодов сортовой голубики полифенолами происходило относительно равномерно на протяжении всего периода хранения. В отличие от более ранних сортов, у среднепозднего *Denise Blue* крайне незначительное (на 2-3 %), но все же достоверное снижение в плодах общего содержания биофлавоноидов наблюдалось только на двух первых этапах хранения, тогда как на завершающем этапе отмечена активизация их накопления почти на 9 %, относительно предыдущего этапа, что обусловило к окончанию эксперимента увеличение их общего количества на 3,5 %, по сравнению с исходным уровнем.

Обращает на себя внимание, что среди основных групп полифенолов наиболее выраженные изменения в содержании в плодах были характерны для антоциановых пигментов, тогда как наименьшие – для катехинов. Так, суммарное содержание первых за период хранения плодов у сорта *Hardibluе* снизилось более чем на 35 %, у сорта *Collins* почти на 20 %, и лишь у среднепозднего сорта *Denise Blue* осталось без изменений, что было обусловлено активизацией их накопления на 10 % на завершающем этапе хранения. Заметим, что у обоих более ранних сортов на протяжении всего периода хранения происходило снижение содержания в плодах как собственно антоцианов, так и лейкоантоцианов, для которых наиболее низкие темпы данного снижения были отмечены во второй десятидневке. В отличие от раннего и среднераннего сортов голубик, у среднепозднего *Denise Blue* в трансформации антоцианового комплекса плодов в первые двадцать дней от начала хранения, скорее всего, доминировали взаимопревращения собственно антоцианов и лейкоантоцианов, на что указывали прямо противо-

положительные тенденции в изменении содержания данных соединений, при более выразительной, чем у вышеобозначенных сортов, его динамике. Это обусловило достоверное снижение их суммарного количества на 8 % относительно исходного уровня. Однако на завершающем этапе хранения наблюдалась сопряженная активизация накопления в плодах данного сорта и собственно антоцианов, и лейкоантоцианов, способствовавшая восстановлению их общего количества до исходного уровня.

Обращает на себя внимание сходство тенденций в изменении содержания собственно антоцианов и флавонолов в плодах исследуемых таксонов голубики в процессе хранения. Вместе с тем у флавонолов они носили менее выразительный характер, на что указывала меньшая, чем у собственно антоцианов, величина относительных различий в их содержании на отдельных этапах эксперимента. Наибольшими потерями данных соединений за период хранения (на 13 %) характеризовались плоды сорта *Hardiblu*, тогда как у сорта *Collins* они составили чуть более 4 %. Но в отличие от сортов с более ранними сроками созревания, для среднепозднеспелого *Denise Blue* была показана прямо противоположная этой картина – активизация накопления в плодах флавонолов при нарастании ее темпов в процессе хранения, что в конечном итоге привело к увеличению содержания данных соединений более чем на 15 % относительно исходного уровня. Что касается катехинов, то достоверных изменений их содержания в процессе хранения плодов сортов *Collins* и *Denise Blue* выявлено не было. В отличие от данных таксонов, у сорта *Hardiblu* за период хранения было выявлено незначительное, но статистически достоверное снижение их содержания в плодах на 8 % относительно исходного уровня.

Поскольку дубильные вещества являются продуктами полимеризации фенольных соединений, то в изменении их содержания в плодах голубики в процессе хранения отчетливо проявились тенденции, установленные для антоциановых пигментов и флавонолов. У более ранних сортов *Collins* и *Hardiblu*, начиная со второго этапа хранения, наблюдалось устойчивое снижение содержания танинов, более выраженное в первом случае (таблица 3). В отличие от данных таксонов, у среднепозднеспелого сорта *Denise Blue* обеднение плодов дубильными веществами было весьма незначительным (не более чем на 3 %) и ограничивалось первой десятидневкой. Начиная со второго этапа хранения, происходило прогрессирующее обогащение их данными соединениями, приведшее к увеличению содержания к окончанию эксперимента более чем на 13 %, по сравнению с исходным уровнем.

Как видим, в процессе хранения плодов исследуемых таксонов голубики происходила существенная трансформация их биохимического состава, сопровождавшаяся преимущественным обеднением свободными органическими и аскорбиновой кислотами, растворимыми сахарами, пектиновыми и дубильными веществами, антоциановыми пигментами и флавонолами при увеличении содержания сухих веществ и сахарокислотного индекса, на фоне отсутствия заметных изменений в содержании катехинов и незначительных изменений в содержании фенолкарбоновых кислот. Вместе с тем направленность и степень выразительности выявленных тенденций в значительной мере определялись сортовой принадлежностью опытных растений.

С целью выявления таксона голубики с наименьшими потерями полезных веществ в процессе хранения плодов при температуре +3...+4 °С, а также для установления этапа хранения, обеспечивающего наибольшую сохранность интегрального уровня их питательной и витаминной ценности, нами был использован предложенный Ж.А. Рупасовой [16] оригинальный 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 характеристик биохимического состава плодов. По величине суммарной амплитуды выявленных отклонений, независимо от их знака, можно было судить о выразительности различий с исходным уровнем каждого тестируемого объекта на каждом этапе хранения по совокупности всех исследуемых признаков, что позволяло провести их ранжирование в порядке снижения степени данных различий. Соотношение же относительных размеров совокупностей положительных и отрицательных различий содержания в плодах полезных веществ с исходными показателями являлось критерием сохранности интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов каждого тестируемого объекта на отдельных этапах хранения.

Представленные в таблице 4 данные, характеризующие направленность и степень выразительности сдвигов в биохимическом составе плодов тестируемых сортов голубики на отдельных этапах хранения относительно исходного уровня, показали наличие заметных генотипических и временных различий в направленности и величине вышеуказанных сдвигов, свидетельствующих о неидентичности сортовой ответной реакции опытных объектов на разное по продолжительности воздействие низких положительных температур. Так, на фоне последовательного нарастания в процессе хранения плодов степени различий с исходным уровнем содержания в них полезных веществ, ее наименьшими, причем сходными относительными величинами – от 54,0 до 241,7 % и от 102,3 до 243,2 %, характеризовались сорта *Collins* и *Denise Blue*, тогда как наибольшей ее величиной – от 152,5 до 391,9 % был отмечен сорт *Hardibluе*, что свидетельствовало о наиболее выраженной трансформации биохимического состава его плодов в процессе хранения. Вместе с тем, как было показано выше, наряду с расходом ряда соединений в качестве дыхательных субстратов, обусловившим снижение их содержания, по сравнению с исходным уровнем, имело место и их накопление, связанное с взаимопревращениями органических соединений, совокупный относительный эффект от которого на разных этапах хранения составлял от 1,0 до 19,2 % у сорта *Collins*, от 27,7 до 67,3 % у сорта *Hardibluе* и от 34,5 до 92,6 % у сорта *Denise Blue*, причем у двух последних таксонов минимальные значения данного показателя были отмечены на втором этапе хранения, тогда как максимальные, как и у сорта *Collins*, на третьем.

Таблица 4 – Относительные размеры, амплитуды и соотношения разноориентированных различий с исходным уровнем содержания полезных веществ в плодах модельных сортов голубики на отдельных этапах хранения

Сорт	Этап хранения	Относительные размеры сдвигов, %			
		положительных	отрицательных	амплитуда	отношение положительных к отрицательным
<i>Collins</i>	1	1,0	53,0	54,0	0,02
	2	14,3	158,2	172,5	0,09
	3	19,2	222,5	241,7	0,09
<i>Hardibluе</i>	1	47,4	105,1	152,5	0,45
	2	27,7	235,3	263,0	0,12
	3	67,3	324,6	391,9	0,21
<i>Denise Blue</i>	1	41,7	60,6	102,3	0,69
	2	34,5	114,7	149,2	0,30
	3	92,6	150,6	243,2	0,62

Наиболее же объективное представление о степени трансформации биохимического состава плодов голубики в процессе хранения может дать кратный размер соотношения относительных величин сумм положительных и отрицательных отклонений от исходной величины совокупности анализируемых признаков. При этом оказалось, что у всех таксонов на всех этапах хранения он существенно уступал 1,0, что свидетельствовало о преобладании негативных, нежели позитивных, изменений в качестве плодов голубики. Вместе с тем на всех этапах их хранения минимальной величиной данного соотношения был отмечен сорт *Collins*, тогда как максимальной – сорт *Denise Blue* при промежуточном положении сорта *Hardiblu*. Это указывает на то, что наиболее значительным превышением потерь полезных веществ над их накоплением в процессе хранения характеризовался раннеспелый сорт *Collins*, наименьшим – среднепозднеспелый сорт *Denise Blue*, при максимальном проявлении данного эффекта у сортов *Hardiblu* и *Denise Blue* в конце второго этапа хранения и его заметном ослаблении в конце эксперимента, особенно у последнего объекта.

На основании сопоставления величины рассматриваемого соотношения в пределах таксономического ряда рода *Vaccinium* была дана количественная оценка степени снижения интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов, а следовательно, ухудшения их потребительских свойств за месячный период хранения. Оказалось, что наибольшей она была у сорта *Collins*, тогда как у сортов *Hardiblu* и *Denise Blue* она оказалась соответственно в 2,3 и 6,9 раза ниже. Нетрудно убедиться в выраженной зависимости данного показателя от сроков созревания плодов, свидетельствующей о лучшей их сохранности в процессе хранения при низких положительных температурах при увеличении последних.

ВЫВОДЫ

На основании поэтапного исследования степени трансформации биохимического состава плодов 3 интродуцированных в условиях Беларуси межвидовых гибридов *V. corymbosum* и *V. angustifolium* – раннеспелого *Collins*, среднераннеспелого *Hardyblue* и среднепозднеспелого *Denise Blue* в процессе хранения в течение месяца при температуре +3...+4 °С установлено преимущественное их обеднение, относительно исходного уровня, свободными органическими и аскорбиновой кислотами (на 15-41 % и 42-45 % соответственно), растворимыми сахарами (на 7-17 %), пектиновыми и дубильными веществами (на 18-20 % и 7-17 % соответственно), антоциановыми пигментами и флавонолами (на 20-35 % и 4-13 % соответственно) при увеличении содержания сухих веществ и сахарокислотного индекса (на 14-28 % и 5-40 % соответственно), на фоне отсутствия заметных изменений в содержании катехинов и неоднозначных изменений в содержании фенолкарбоновых кислот.

Выявлены заметные сортовые и временные различия в направленности и величине сдвигов в биохимическом составе плодов, свидетельствующие о неидентичности ответной реакции сортов голубики на разное по продолжительности воздействие низких положительных температур при наибольшей степени снижения интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов и ухудшения их потребительских свойств за период хранения у раннеспелого сорта *Collins* и в 2,3 и 6,9 раза меньшей его степени у среднераннеспелого *Hardyblue* и среднепозднеспелого *Denise Blue*.

Литература

1. Kalt, W. Oxygen Radical Absorbing Capacity, Anthocyanin and Phenolic Content of Highbush Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during Ripening and Storage / W. Kalt [et al.] // J. Amer. Soc. Hort. Sci. – 2003. – № 128 (6). – P. 917-923.
2. Lohachoopol, V. The Change of Total Anthocyanins in Blueberries and Their Antioxidant Effect After Drying and Freezing / V. Lohachoopol, G. Srzednicki, J. Craske // Journal of Biomedicine and Biotechnology. – 2004. – № 5. – P. 248-252.
3. Skupien, K. Evaluation of chemical composition of fresh and frozen blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L.) / K. Skupien // Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus. – 2006. – № 5 (1). – P. 19-25.
4. 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.
5. Масанский, С.Л. Изменение потребительских свойств голубики садовой при замораживании и хранении в замороженном виде / С.Л. Масанский, Ю.М. Пинчукова // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. – 2008. – № 2. – С. 19-23.
6. Павловский, Н.Б. Оценка сохраняемости плодов голубики высокорослой разных сортов, интродуцированных в Беларуси / Н.Б. Павловский // Голубиководство в Беларуси: итоги и перспективы: материалы Респ. науч.-практ. конф., Минск, 17 авг. 2012 г. / ЦБС НАН Беларуси; редкол.: В.В. Титок [и др.]. – Минск, 2012. – С. 40-45.
7. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ и влаги: ГОСТ 28561–90. – Введ. 01.07.91. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.
8. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Ленинград, 1987. – 430 с.
9. Плешков, Б.П. Практикум по биохимии растений / Б.П. Плешков. – М.: Колос, 1985. – С. 110-112.
10. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus Domenstica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. Hillis // J. Sci. Food Agric. – 1959. – Vol. 10, № 1. – P. 63-68.
11. Скорикова, Ю.Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю.Г. Скорикова, Э.А. Шафтан // Тр. 3-го Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. – Свердловск, 1968. – С. 451-461.
12. Шнайдман, Л.О. Методика определения антоциановых веществ / Л.О. Шнайдман, В.С. Афанасьева // 9-й Менделеевский съезд по общ. и прикл. химии: реф. докл. и сообщ. – М., 1965. – № 8. – С. 79-80.
13. Запрометов, М.Н. Биохимия катехинов / М.Н. Запрометов. – М.: Наука, 1964. – 325 с.
14. Мжаванадзе, В.В. Количественное определение хлорогеновой кислоты в листьях черники кавказской (*V. arctostaphylos* L.) / В.В. Мжаванадзе, И.Л. Таргамадзе, Л.И. Драник // Сообщ. АН Груз ССР. – 1971. – Т. 63, вып. 1. – С. 205-210.
15. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Государственная фармакопея СССР. – М.: Медицина, 1987. – Вып. 1: Общие методы анализа. – С. 286-287.
16. Рупасова, Ж.А. Способ ранжирования таксонов растения / Ж.А. Рупасова, В.Н. Решетников, А.П. Яковлев / Мн.: Патент на изобретение № 17648 от 08.07.2013.

**TRANSFORMATION OF FRUIT BIOCHEMICAL COMPOSITION
OF TAXA OF THE GENUS *VACCINIUM* DURING STORAGE
AT LOW POSITIVE TEMPERATURES**

Zh.A. Rupasova, V.N. Reshetnikov, T.I. Vasilevskaya, N.P. Varavina,
N.B. Krinitskaya, A.M. Bubnova, N.B. Pavlovski, A.G. Pavlovskaya,
T.V. Kurlovich, Yu.M. Pinchukova

ABSTRACT

The article presents the results of a comparative study of the transformation degree of fruits biochemical composition during their storage at +3...+4 °C for one month. These fruits are the fruits of three interspecific hybrids introduced in Belarus *V. corymbosum* and *V. angustifolium* of different ripening time such as *Collins*, *Hardyblue* and *Denise Blue*. It was found that fruits after storage showed the decline in free organic acid and ascorbic acid, soluble sugars, pectin and tannins, flavonols and anthocyanin pigments. It was showed an increase in dry matter content and sugar-acid index and no change in the content of catechins and phenol carbonic acids.

It was identified notable genotypic and temporal differences in the direction and magnitude of changes in the biochemical composition of fruits, indicating that different varietal response to different blueberry duration exposure to low positive temperatures.

Key words: *Vaccinium corymbosum*, blueberries, fruits, biochemical composition, storage, Belarus.

Дата поступления статьи в редакцию 11.03.2014