

УДК 634.737:581. 5: 581. 522.4(476)

Ж. А. РУПАСОВА¹, И. М. ГАРАНОВИЧ¹, Т. В. ШПИТАЛЬНАЯ¹, Т. И. ВАСИЛЕВСКАЯ¹,
Н. П. КРИНИЦКАЯ¹, Л. В. ЛЕГКАЯ², Л. А. МУРАШКЕВИЧ²

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В БЕЛАРУСИ СОРТОВ АРОНИИ ЧЕРНОПЛОДНОЙ (*ARONIA MELANOCARPA*)

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, e-mail: J.Rupasova@cbg.org.by,

²Институт плодоводства, аг. Самохваловичи

(Поступила в редакцию 10.04.2014)

Введение. Черноплодная арония (рябина) *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliot занимает особое место в ряду растений, богатых биологически активными веществами разной химической природы, а по содержанию биофлавоноидов ей нет равных среди дикорастущих и культивируемых плодовых и ягодных растений [14]. Благодаря своим пищевым и технологическим достоинствам в сочетании с ценными хозяйственно-биологическими свойствами (высокой и стабильной продуктивностью, зимостойкостью, устойчивостью к заболеваниям), данный вид районирован и широко распространен в России и в странах Прибалтики [8]. Несмотря на то что интродукция аронии черноплодной в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси проводится еще с 1937 г., она не получила широкого распространения на территории республики, а исследованием химического состава ее плодов начали заниматься лишь в 70-е годы прошлого столетия [7, 13, 14].

Результаты этих исследований показали, что плоды аронии характеризуются довольно высоким содержанием сахаров, умеренной или невысокой кислотностью, низкой или средней С-витаминной активностью и значительным содержанием биофлавоноидов, представленных преимущественно антоциановыми пигментами и катехинами. Следует заметить, что данные исследования были выполнены на плодах природной дикорастущей формы данного вида. Вместе с тем в Институте плодоводства НАН Беларуси уже получены новые сорта аронии собственной селекции – Венисса и Надзея, пополнившие в настоящее время и коллекционный фонд Центрального ботанического сада. Поскольку селекционный процесс, как правило, вносит существенные коррективы в биохимический состав растений, то задачей наших исследований являлась сравнительная оценка питательной и витаминной ценности плодов природной формы и сортового материала аронии черноплодной по широкому спектру показателей.

Объекты и методы исследования. Исследования выполнены в 2012–2013 гг. на объектах коллекционного фонда ЦБС НАН Беларуси, в качестве которых были привлечены 3 таксона аронии черноплодной – природная форма, распространенная в Беларуси и принятая за эталон сравнения, а также сорта Венисса и Надзея. Исследование биохимического состава плодов обозначенных таксонов рябины осуществляли с помощью общепринятых методов получения аналитической информации [1, 2, 4–6, 10, 15, 16]. Все определения выполнены в 3-кратной биологической и аналитической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы *Excel*.

Результаты и их обсуждение. По нашим оценкам, приведенным в табл. 1, исследуемые таксоны аронии черноплодной характеризовались довольно близкими параметрами накопления в плодах как сухих веществ, так и свободных органических и фенолкарбоновых кислот, варьировавшимися в таксономическом ряду в весьма узких диапазонах значений в пределах 19,8–21,7 %, 2,12–2,67 % и 1733,3–1995,8 мг% сухой массы соответственно. Если содержание титруемых, как

Т а б л и ц а 1. Содержание сухих веществ и органических кислот (в сухой массе) в плодах интродуцированных таксонов *Aronia melanocarpa*

Таксон	Сухие вещества, %		Органические кислоты					
			титруемые, %		аскорбиновая, мг /%		фенолкарбоновые, мг%	
	M±m	t _k	M±m	t _k	M±m	t _k	M±m	t _k
Природная форма	20,7±0,2		2,67±0,05		156,2±4,8		1995,8±34,1	
Венисса	21,7±0,3	3,1*	2,47±0,05	-3,1*	161,2±6,0	0,6	1891,7±19,2	-2,8*
Надзея	19,8±0,3	-3,0*	2,12±0,05	-7,9*	240,0±3,3	14,4*	1733,3±22,0	-6,5*

и фенолкарбоновых кислот, в плодах аронии в несколько раз уступало таковому в плодах рябины обыкновенной [3], то по содержанию в них аскорбиновой кислоты, составлявшему в первом случае 156,2–240,0 мг%, существенных межвидовых различий выявлено не было.

Несмотря на сравнительную узость приведенных диапазонов варьирования анализируемых признаков, различия по ним между интродуцентами и природной формой исследуемого вида проявились весьма отчетливо. Как следует из табл. 2, наиболее выразительными они оказались у сорта Надзея, характеризовавшегося отставанием от эталонного объекта в содержании в плодах фенолкарбоновых кислот на 13 %, а титруемых на 21 % при более активном (с превышением на 54 %) накоплении аскорбиновой кислоты.

Т а б л и ц а 2. Относительные различия с природной формой содержания сухих веществ и органических кислот (в сухой массе) в плодах интродуцированных сортов *Aronia melanocarpa*, %

Сорт	Сухие вещества	Органические кислоты		
		титруемые	аскорбиновая	фенолкарбоновые
Венисса	+4,8	-7,5	–	-5,2
Надзея	-4,3	-20,6	+53,7	-13,2

П р и м е ч а н и е. Прочерк означает отсутствие статистически достоверных по *t*-критерию Стьюдента различий с природной формой при $p < 0,05$. То же для табл. 4, 6.

Для сорта Венисса были показаны сходные с природной формой параметры накопления последней при весьма незначительном (в пределах 5–8 %) отставании в содержании титруемых и фенолкарбоновых кислот. Плоды рябины черноплодной оказались несколько богаче таковых рябины обыкновенной растворимыми сахарами [3], содержание которых в их сухой массе изменялось от 29 до 37 % (табл. 3). Вместе с тем, из-за существенно меньшего содержания в них свободных органических кислот, значения сахарокислотного индекса плодов данного вида оказались в несколько раз выше, чем у рябины обыкновенной, и варьировались от 10,9 у природной формы до 15,0 у сорта Венисса, что свидетельствовало об их лучших вкусовых свойствах. При этом, как следует из табл. 4, у обоих тестируемых сортов аронии, особенно у сорта Венисса, характеризовавшегося на 28 % более высоким, чем у природной формы, содержанием в плодах растворимых сахаров, данный показатель превосходил таковой последней на 26–38 %.

Т а б л и ц а 3. Содержание растворимых сахаров и пектиновых веществ в сухой массе плодов интродуцированных таксонов *Aronia melanocarpa*, %

Таксон	Растворимые сахара		Сахарокислотный индекс		Гидропектин		Протопектин		Сумма пектиновых веществ		Протопектин/ гидропектин	
	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}
Природная форма	29,0±1,0		10,9±0,5		1,25±0,01		4,56±0,06		5,81±0,07		3,7±0,01	
Венисса	37,0±1,0	5,7*	15,0±0,5	5,7*	1,10±0,04	-3,6*	4,18±0,03	-6,2*	5,28±0,06	-5,6*	3,8±0,11	1,3
Надзея	29,0±1,0	0	13,7±0,3	4,7*	1,18±0,02	-2,4	4,08±0,10	-4,3*	5,26±0,07	-5,4*	3,5±0,15	-1,3

П р и м е ч а н и е. Звездочка (*) – статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с природной формой при $p < 0,05$. То же для табл. 5.

Т а б л и ц а 4. Относительные различия с природной формой содержания растворимых сахаров и пектиновых веществ в плодах интродуцированных таксонов *Aronia melanocarpa*, %

Сорт	Растворимые сахара	Сахарокислотный индекс	Гидропектин	Протопектин	Сумма пектиновых веществ	Протопектин/ гидропектин
Венисса	+27,6	+37,6	-12,0	-8,3	-9,1	–
Надзея	–	+25,7	–	-10,5	-9,5	–

Исследуемые таксоны аронии характеризовались сходным с рябиной обыкновенной содержанием в плодах пектиновых веществ [3], варьирующимся в диапазоне 5,26–5,81 % сухой массы, в том числе гидропектина 1,10–1,25 % и протопектина 4,08–4,56 % (см. табл. 3). Вместе с тем оба тестируемых сорта в равной степени (примерно на 10 %) уступали природной форме в общем накоплении в плодах данных соединений, причем у сорта Венисса этот разрыв был обусловлен отставанием от нее в содержании и гидро-, и протопектина, тогда как у сорта Надзея – только протопектина (см. табл. 4).

Для плодов рябины черноплодной характерно чрезвычайно высокое содержание биофлавоноидов, в 6–8 раз превышавшее установленное в плодах рябины обыкновенной и примерно вдвое превышавшее таковое в плодах наиболее богатых Р-витаминами видов сем. *Ericaceae* [12]. По нашим оценкам, приведенным в табл. 5, суммарное количество данных соединений в сухой массе плодов данного вида варьировалось в таксономическом ряду в диапазоне значений от 14409,5 до 17210,0 мг%. Доминирующее положение в составе их биофлавоноидного комплекса принадлежало антоциановым пигментам, на долю которых приходилось от 70 % общего количества Р-витаминов у природной формы рябины до 74–75 % у сортового материала. При этом в первом случае содержание лейкоантоцианов в 1,7 раза превышало таковое собственно антоцианов, тогда как у сортового материала участие данных соединений в составе антоцианового комплекса было примерно одинаковым. Антоцианы плодов аронии в основном представлены цианидином и его гликозидированными формами – цианидин-3-глюкозидом и цианидин-3,5-диглюкозидом, из лейкоантоцианов же превалирует лейкоцианидин [14]. Исследуемые таксоны аронии характеризовались сходным долевым участием катехинов в составе Р-витаминного комплекса плодов, составлявшим 17–19 %. Доля же флавонолов в нем у природной формы оказалась несколько выше, чем у обоих сортов, и составляла 12 % против 8 %. Катехинный комплекс плодов аронии представлен преимущественно эпикатехином (–) и катехином (+). По имеющейся информации флавонолы представлены кверцетином и отчасти кемпферолом и изорамнетином, а также их гликозидированными формами [13]. Вместе с тем для плодов аронии черноплодной, особенно ее природной формы, нами было показано весьма высокое содержание дубильных веществ, составлявшее 6,44–7,28 % сухой массы (см. табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Содержание фенольных соединений в сухой массе плодов интродуцированных таксонов *Aronia melanocarpa*

Таксон	Биофлавоноиды, мг%							
	собственно антоцианы		лейкоантоцианы		сумма антоциановых пигментов		катехины	
	X±st	t _{cr}	X±st	t _{cr}	X±st	t _{cr}	X±st	t _{cr}
Природная форма	3815,0±20,2		6331,5±40,4		10146,5±26,3		2563,2±40,1	
Венисса	6265,0±20,2	85,7*	6611,5±65,0	3,7*	12876,5±52,5	46,5*	2896,8±40,1	5,9*
Надзея	5950,0±40,4	47,3*	5864,8±77,1	-5,4*	11814,8±80,3	19,8*	3003,0±52,5	6,7*
Таксон	Биофлавоноиды, мг%				Флавонолы/ катехины		Дубильные вещества,%	
	флавонолы		сумма					
	X±st	t _{cr}	X±st	t _{cr}	X±st	t _{cr}	X±st	t _{cr}
Природная форма	1699,8±19,5		14409,5±52,7		0,7±0		7,28±0,03	
Венисса	1436,6±33,3	-6,8*	17210,0±117,0	21,8*	0,5±0	-11,8*	6,44±0,02	-24,0*
Надзея	1207,4±33,3	-12,8*	16025,2±13,2	29,7*	0,4±0	-20,9*	6,61±0,02	-19,2*

Плоды тестируемых сортов, особенно сорта Венисса, оказались на 11–19 % богаче ее природной формы биофлавоноидами (табл. 6), что свидетельствовало о позитивном влиянии селекционного процесса на накопление в них Р-витаминов. Подобные различия, достигавшие 56–64 %, наиболее выразительно проявились в отношении содержания самых ценных в физиологическом плане соединений – собственно антоцианов с их высокой антиоксидантной активностью, тогда как для содержания лейкоантоцианов у тестируемых сортов они были не только разноориентированными, но и маловыразительными, не превышавшими 5–7 %, что при весьма значительном участии данных соединений в составе Р-витаминного комплекса плодов данного вида обусловило заметное нивелирование различий интродуцентов с его природной формой в общем накоплении в них антоциановых пигментов до 16–27 %.

Т а б л и ц а 6. Относительные различия с природной формой содержания фенольных соединений в плодах интродуцированных таксонов *Aronia melanocarpa*,%

Сорт	Собственно антоцианы	Лейкоантоцианы	Сумма атоциановых пигментов	Катехины	Флавонолы	Сумма биофлавоноидов	Дубильные вещества
Венисса	+64,2	+4,4	+26,9	+13,0	-15,5	+19,4	-11,5
Надзья	+56,0	-7,4	+16,4	+17,2	-29,0	+11,2	-9,2

Оба сорта рябины черноплодной превосходили природную форму по содержанию в плодах катехинов на 13–17 % при более выраженном превышении эталонного уровня у сорта Надзья. В отличие от антоциановых пигментов и катехинов, для флавонолов было показано весьма существенное (в пределах 16–29 %) отставание сортового материала от эталонного уровня в их содержании в плодах, более выраженное у сорта Надзья. При этом оба тестируемых сорта рябины уступали ее природной форме в содержании в плодах дубильных веществ на 9–12 %.

Нетрудно убедиться в наличии весьма существенных различий между сортовой аронией и ее природной формой в биохимическом составе плодов, величина которых определялась как химической природой анализируемых соединений, так и генотипом растений. Для установления генотипических различий в интегральном уровне питательной и витаминной ценности плодов был использован разработанный нами оригинальный методический прием [11], основанный на сопоставлении у тестируемых объектов количеств, относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных положительных и отрицательных отклонений от эталонных значений усредненных в двухлетнем цикле наблюдений характеристик биохимического состава плодов, приведенных в табл. 7.

Т а б л и ц а 7. Значения количеств, относительных размеров, амплитуд и соотношений разноориентированных различий тестируемых таксонов *Aronia melanocarpa* с природной формой в биохимическом составе плодов (по двухлетним данным)

Сорт	Количество сдвигов, шт.			Относительные размеры сдвигов, %			
	полож.	отриц.	полож/отриц.	полож.	отриц.	амплитуда	полож/отриц.
Венисса	8	7	1,1	197,9	69,1	267,0	2,9
Надзья	6	8	0,8	180,2	103,7	283,9	1,7

При этом величина соотношения количеств положительных и отрицательных различий, превышавшая 1, указывала на преобладание у исследуемых таксонов частоты проявления положительных различий с эталонным объектом, тогда как его величина, уступавшая 1, указывала на преобладание таковой отрицательных различий с ним. По величине суммарной амплитуды выявленных отклонений, независимо от их знака, можно было судить о выразительности различий каждого сорта аронии с природной формой по совокупности всех исследуемых признаков. Соотношение же относительных размеров совокупностей положительных и отрицательных различий с ней являлось критерием наличия либо отсутствия преимуществ каждого тестируемого объекта, по сравнению с эталонным, в биохимическом составе плодов в целом. Соответственно значения данного соотношения, превышавшие 1, свидетельствовали о наличии

указанных преимуществ, тогда как значения, уступавшие 1, напротив, позволяли сделать вывод об их отсутствии.

Обращает на себя внимание, что для сорта Венисса было показано незначительное превышение количества положительных различий с природной формой аронии в биохимическом составе плодов, тогда как для сорта Надзея, напротив, отрицательных. При этом амплитуда относительных величин выявленных различий по совокупности анализируемых признаков, независимо от ориентации, была примерно одинаковой у обоих сортов и составляла 267,0–283,9 %, что указывало на сходную степень их выразительности. Величина же кратного размера соотношения относительных величин совокупностей положительных и отрицательных сдвигов в биохимическом составе плодов тестируемых сортов аронии относительно ее природной формы, являющаяся критерием их преимуществ в этом плане, в обоих случаях превышала 1,0, что свидетельствовало о том, что оба сорта превосходили природную форму по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов при лидирующем положении сорта Венисса, который можно рассматривать как наиболее перспективный для районирования и селекции по содержанию в плодах полезных веществ. Вместе с тем оба тестируемых сорта аронии представляют интерес в качестве природных источников, в первую очередь, антоциановых пигментов с их выраженной Р-витаминной и антиоксидантной активностью, а также катехинов.

Заключение. На основании сравнительной оценки биохимического состава плодов 3 таксонов аронии черноплодной – природной формы, широко распространенной на территории Беларуси, и двух сортов селекции Института плодоводства – Венисса и Надзея – установлено, что селекционный процесс способствовал обеднению плодов флавонолами, свободными органическими и фенолкарбонными кислотами, пектиновыми и дубильными веществами, на фоне их обогащения собственно антоцианами и катехинами, а также растворимыми сахарами (у сорта Венисса) и аскорбиновой кислотой (у сорта Надзея) при существенном улучшении органолептических свойств. Показано, что оба сорта превосходили природную форму по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов при лидирующем положении сорта Венисса, который можно рассматривать как наиболее перспективный для районирования и селекции по содержанию в плодах полезных веществ. Вместе с тем оба тестируемых сорта аронии представляют интерес в качестве природных источников, в первую очередь, антоциановых пигментов с их выраженной Р-витаминной и антиоксидантной активностью, а также катехинов.

Литература

1. ГОСТ 8756.2-82. Методы определения сухих веществ. М., 1982.
2. *Запрометов М. Н.* Биохимия катехинов. М., 1964.
3. Малораспространенные культуры плодоводства в Беларуси / Ж. А. Рупасова, И. М. Гаранович, Т. В. Шпитальная // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Saarbruecken, Germany, 2013.
4. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков [и др.]. М., 1987.
5. *Мжаванадзе В. В.* // Сообщ. АН Груз ССР. 1971. Т. 63. Вып. 1. С. 205–210.
6. *Плешков Б. П.* Практикум по биохимии растений. М., 1985. С. 110–112.
7. *Попов В. И., Шапиро Д. К., Данусевич И. К.* Лекарственные растения. Мн., 1984.
8. *Проценко В. И.* Черноплодная рябина – новая садовая культура. Томск, 1971.
9. *Сарапуу Л. П., Мийдла Х.* // Уч. Зап. Тарт. Гос. ун-та. 1971. Вып. 256. С. 111–113.
10. *Скорикова Ю. Г., Шафтан Э. А.* // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. Свердловск, 1968. С. 451–461.
11. Способ ранжирования таксонов растений: пат. 17648 Респ. Беларусь, МПК А 01Н 1/04, А 01G 1/00 / Ж. А. Рупасова, В. Н. Решетников, А. П. Яковлев; заявитель ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» – № а 20101502, заявл. 20.01.2010, опубл. 08.07.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013. № 5. С. 61–62.
12. Формирование биохимического состава плодов видов семейства *Ericaceae* (*Вересковые*) при интродукции в условиях Беларуси / Ж. А. Рупасова и др.; под ред. акад. В. И. Парфенова. Мн., 2011.
13. *Чекалинская И. И., Довнар Т. В.* // Биохимия (межвед. сб.). Вып. 2. Мн., 1974. С. 131.
14. *Шапиро Д. К.* Новые плодовые культуры в БССР. Мн., 1980.
15. *Шнайдман Л. О., Афанасьева В. С.* Методика определения антоциановых веществ // 9-й Менделеевский съезд по общ. и прикл. химии: реф. докл. и сообщ. М., 1965. № 8. С. 79–80.
16. *Swain T., Hillis W.* // J.Sci. Food Agric. 1959. Vol. 10. № 1. P. 63–68.

*Zh. A. RUPASOVA, I. M. GARANOVICH, T. V. SHPITALNAYA, T. I. VASILYEVSKAYA, N. P. KRINITSKAYA,
L. V. LYEGKAYA, L. A. MURASHKYEVICH*

**BIOCHEMICAL COMPOSITION OF INTRODUCED VARIETIES OF BLACK CHOKEBERRY IN BELARUS
(*ARONIA MELANOCARPA*)**

Summary

Genotypic differences in biochemical composition of fruits such as natural form of black chokeberry and varieties Venissa and Nadzeja of Institute of Horticulture were established. It is shown, the selection process contributed to the impoverishment flavonols, organic free and phenol carbonic acids, pectin and tannins in berries, and their enrichment of anthocyanins, catechins and soluble sugars (cultivar Venissa) and ascorbic acid (cultivar Nadzeja) with substantial improvement organoleptic properties.