

УДК 634.737:581.19:522.4(476)

Ж. А. РУПАСОВА, И. К. ВОЛОДЬКО, Т. И. ВАСИЛЕВСКАЯ, Л. В. ГОНЧАРОВА,
В. Н. РЕШЕТНИКОВ, Т. В. КУРЛОВИЧ

ТРАНСФОРМАЦИЯ БИОФЛАВОНОИДНОГО КОМПЛЕКСА ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ ВЕЧНОЗЕЛЕННЫХ И ЛИСТОПАДНЫХ ВИДОВ *RHODODENDRON* В СЕЗОННОМ ЦИКЛЕ РАЗВИТИЯ В БЕЛАРУСИ

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

(Поступила в редакцию 23.05.2013)

Введение. Особый научный интерес в интродукционных исследованиях с малоизученными декоративными кустарниками рода *Rhododendron* L., являющимися потенциальными источниками лекарственного сырья, благодаря высокому содержанию в их надземных частях биофлавоноидов, представляет изучение изменений в содержании отдельных фракций этих Р-активных соединений в генеративных органах растений в процессе их сезонного развития. В этой связи в 2011–2013 гг. при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований сотрудниками Центрального ботанического сада НАН Беларуси были исследованы параметры накопления и соотношения отдельных компонентов биофлавоноидного комплекса в цветках, плодах и семенах наиболее перспективных по ростовым и биопродукционным характеристикам интродуцированных вечнозеленых и листопадных видов рододендронов.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования были привлечены следующие представители рода *Rhododendron* L.: 1 полувечнозеленый – *Rh. dauricum* L., 2 листопадных – *Rh. luteum* (L.) Sweet и *Rh. japonicum* (A. Gray) Suring, второй из которых был представлен тремя формами – Минской (из коллекции ЦБС НАН Беларуси), Ветчиновской и Марковской (отобранными близ соответствующих их названиям населенных пунктов в Гомельской обл.), и 4 вечнозеленых – *Rh. catawbiense* Michx., *Rh. brachycarpum* D. Don, *Rh. smirnowii* Trautv., *Rh. fortunei* Lindl.

При исследовании биофлавоноидного комплекса генеративных органов рододендронов в высушенных при температуре 65 °С усредненных пробах анализируемого материала определяли содержание суммы антоциановых пигментов – по методу Т. Swain, W. E. Hillis [8], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [6], собственно антоцианов – по методу Л. О. Шнайдмана и В. С. Афанасьевой [7], суммы флавонолов – фотоэлектроколориметрическим методом [1], суммы катехинов – фотометрическим методом с использованием ванилинового реактива [2]. Все аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Результаты и их обсуждение. В результате исследований было установлено, что рододендроны в условиях Беларуси обладают весьма выраженной способностью к накоплению биофлавоноидов, являющихся природными Р-витаминами, не только в ассимилирующих, но и в генеративных органах, общее содержание которых варьировалось в таксономическом ряду в их сухой массе в диапазоне от 6640,8 мг% у Минской формы *Rh. luteum* до 17468,9 мг% у *Rh. smirnowii* (табл. 1).

Обращает на себя внимание, что цветки вечнозеленых видов оказались намного богаче таких листопадных видов всеми фракциями биофлавоноидов. Так, если в первом случае их общее содержание составляло 10978,8–17468,9 мг%, то во втором оно не превышало 6640,8–8372,4 мг%,

в том числе собственно антоцианов соответственно 1375,4–4323,3 и 0–445 мг%, лейкоантоцианов 4046,7–5904,6 и 2649,0–5217,5 мг%, катехинов 1161,3–2202,5 и 1122,2–1502,9 мг%, флавонолов 3438,8–7446,3 и 685,9–2942,9 мг%. При этом весьма выразительно проявились различия между вечнозелеными и листопадными рододендронами также в соотношении компонентов биофлавоноидного комплекса генеративных органов. Так, при доминирующем положении в нем антоциановых пигментов, доля которых в таксономическом ряду изменялась от 43 до 69 %, вечнозеленые виды, в том числе и полувечнозеленый *Rh. dauricum*, характеризовались более высоким, чем у листопадных видов, долевым участием в Р-витаминном комплексе собственно антоцианов, составлявшим 8–25 % общего количества биофлавоноидов, тогда как у листопадных видов оно было существенно ниже и не превышало 0–6 %. При этом относительная доля лейкоантоцианов в биофлавоноидном комплексе цветков вечнозеленых видов, напротив, была ниже таковой у листопадных видов и составляла 31–42 % против 37–69 %. Подобная этой картина наблюдалась и при сопоставлении у сравниваемых групп рододендронов относительной доли участия катехинов в биофлавоноидном комплексе цветков, составлявшей 9–13 % у вечнозеленых видов и 16–21% у листопадных, однако данный показатель для флавонолов оказался, напротив, выше в первом случае и составил 27–46 % против 10–41 % во втором.

Т а б л и ц а 1. Содержание биофлавоноидов в сухой массе генеративных органов интродуцированных видов *Rhododendron L.* в фазу цветения

Таксон	Антоцианы, мг %		Лейкоантоцианы, мг %		Сумма антоциановых пигментов, мг %		Катехины, мг %	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>
<i>Rh. dauricum</i>	3146,7±48,1		4046,7±53,5		7193,3±91,7		1161,3±9,3	
<i>Rh. catawbiense</i>	1665,0±8,7	–30,3*	4653,0±49,9	8,3*	6318,0±45,0	–8,6*	1222,0±16,8	3,2*
<i>Rh. smirnowii</i>	4323,3±59,5	15,4*	5904,6±41,2	27,5*	10227,8±58,5	27,9*	2202,5±14,6	60,0*
<i>Rh. brachycarpum</i>	2743,3±12,0	–8,1*	5510,6±71,2	16,4*	8254,0±82,4	8,6*	1518,4±13,5	21,8*
<i>Rh. fortunei</i>	1375,4±50,6	–25,4*	5758,6±86,5	16,8*	7134,0±36,5	–0,6	1806,3±31,6	19,6*
<i>Rh. japonicum</i>	445,0±21,8	–51,2*	2649,0±58,2	–17,7*	3094,0±46,9	–39,8*	1122,2±4,4	–3,8*
<i>Rh. luteum</i> , Минская	0±0	–65,5*	4576,9±90,6	5,0*	4576,9±90,6	–20,3*	1378,0±13,0	13,5*
<i>Rh. luteum</i> , Ветчиновская	0±0	–65,5*	5217,5±29,9	19,1*	5217,5±29,9	–20,5*	1495,0±13,0	20,8*
<i>Rh. luteum</i> , Марковская	0±0	–65,5*	4729,8±25,0	11,6*	4729,8±25,0	–25,9*	1502,9±42,0	7,9*
Таксон	Флавонолы, мг %		Флавонолы/Катехины		Сумма биофлавоноидов, мг %			
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>		
<i>Rh. dauricum</i>	4716,0±75,6		4,1±0,1		13070,7±128,8			
<i>Rh. catawbiense</i>	3438,8±56,7	–13,5*	2,8±0,1	–11,3*	10978,8±87,5	–13,4*		
<i>Rh. smirnowii</i>	5038,5±36,8	3,8*	2,3±0	–17,3*	17468,9±36,3	32,9*		
<i>Rh. brachycarpum</i>	3491,8±39,2	–14,4*	2,3±0	–17,1*	13264,2±109,2	1,1		
<i>Rh. fortunei</i>	7446,3±159,2	15,5*	4,1±0,1	0,4	16386,7±120,8	18,8*		
<i>Rh. japonicum</i>	2942,9±62,4	–18,1*	2,6±0,1	–12,5*	7159,1±15,3	–45,6*		
<i>Rh. luteum</i> , Минская	685,9±0,9	–53,3*	0,5±0	–36,4*	6640,8±103,2	–39,0*		
<i>Rh. luteum</i> , Ветчиновская	1660,0±46,1	–34,5*	1,1±0	–29,5*	8372,4±28,5	–35,6*		
<i>Rh. luteum</i> , Марковская	827,2±22,7	–49,2*	0,6±0	–34,3*	7059,9±39,0	–44,7*		

* Статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с эталонным видом при $p < 0,05$. То же для табл. 2, 3.

Таким образом, цветки вечнозеленых рододендронов были отмечены более высоким, чем у листопадных, содержанием всех фракций биофлавоноидов при большем, чем у них, долевым участии в их составе окисленных соединений – собственно антоцианов и флавонолов и меньшем восстановленных – лейкоантоцианов и катехинов.

Напомним, что в Р-витаминном комплексе молодых листьев прироста текущего года, сформировавшихся одновременно с цветками, доленое участие восстановленных фракций Р-витаминов у вечнозеленых видов, напротив, было выше, чем у листопадных [4]. Разумеется, выявлен-

ные различия в составе биофлавоноидного комплекса цветков сравниваемых групп рододендронов отчетливо проявились также в соотношении в них количеств флавонолов и катехинов, оказавшемся у вечнозеленых видов заметно шире, чем у листопадных (соответственно 2,3–4,1 против 0,5–2,6), тогда как в ассимилирующих частях оно было, напротив, уже.

Исследование биофлавоноидного комплекса генеративных органов рододендронов в фазу плодоношения, как и в период цветения, выявило наличие весьма выразительных различий между вечнозелеными и листопадными видами в общем накоплении биофлавоноидов, существенно превосходившем таковое в цветках – в среднем в 1,5 раза в первом случае и в 4,5 раза во втором, причем плоды листопадных видов оказались примерно в 1,5 раза богаче Р-витаминами, по сравнению с вечнозелеными, тогда как в цветках, напомним, наблюдалась противоположная этой картина. Так, если диапазон варьирования в таксономическом ряду вечнозеленых видов общего содержания в плодах биофлавоноидов охватывал область значений 18318,1–26793,5 мг% сухой массы, то у листопадных видов он составлял 21182,1–38668,1 мг%, в том числе лейкоантоцианов соответственно 6167,8–9706,7 и 8594,4–14479,1 мг%, катехинов 9929,1–14560,0 и 10030,2–21314,2 мг%, флавонолов 1273,6–2526,8 и 2557,4–3199,3 мг% (табл. 2). Столь значительное содержание данных соединений в плодах рододендронов в районе интродукции, в 4–6 раз превышавшее таковое в плодах других представителей сем. Ericaceae – голубики высокорослой, брусники обыкновенной и клюквы крупноплодной [5], свидетельствует о высокой их перспективности, как и молодых листьев в период активного вегетативного роста, в качестве природного источника Р-витаминов. Учитывая высокую урожайность плодов у ряда видов данного рода, в первую очередь у *Rh. catawbiense* и *Rh. japonicum*, представляется целесообразным рекомендовать их для пополнения отечественной базы лекарственного растительного сырья. Данное заключение согласуется с рекомендациями и наших иркутских коллег [3], исследовавших сезонную динамику флавонолов в побегах текущего года *Rh. dauricum* и показавших целесообразность использования их в качестве лекарственного растительного сырья во второй половине лета в период массового созревания плодов.

Т а б л и ц а 2. Содержание биофлавоноидов в сухой массе генеративных органов интродуцированных видов *Rhododendron* L. в фазу плодоношения

Таксон	Антоцианы, мг %		Лейкоантоцианы, мг %		Сумма антоциановых пигментов, мг %		Катехины, мг %	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>
<i>Rh. dauricum</i>	0		7886,7±160,5		7886,7±160,5		10111,1±72,9	
<i>Rh. catawbiense</i>	0	0	6875,6±40,4	-6,1*	6875,6±40,4	-6,1*	10596,4±20,2	6,4*
<i>Rh. smirnowii</i>	0	0	9706,7±140,1	8,5*	9706,7±140,1	8,5*	14560,0±70,0	44,0*
<i>Rh. brachycarpum</i>	0	0	9221,3±70,1	7,6*	9221,3±70,1	7,6*	13832,0±70,0	36,8*
<i>Rh. fortunei</i>	0	0	6167,8±157,9	-7,6*	6167,8±157,9	-7,6*	9929,1±53,5	-2,0
<i>Rh. japonicum</i>	0	0	8594,4±107,0	3,7*	8594,4±107,0	3,7*	10030,2±99,0	-1,2
<i>Rh. luteum</i> , Минская	0	0	13144,4±107,0	27,3*	13144,4±107,0	27,3*	18321,3±70,1	81,2*
<i>Rh. luteum</i> , Ветчиновская	0	0	14479,1±157,9	29,3*	14479,1±157,9	29,3*	21314,2±80,9	102,9*
<i>Rh. luteum</i> , Марковская.	0	0	12376,0±350,3	11,7*	12376,0±350,3	11,7*	21071,6±99,0	84,6*
Таксон	Флавонолы, мг %		Флавонолы/Катехины		Сумма биофлавоноидов, мг %			
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>		
<i>Rh. dauricum</i>	1273,6±50,9		0,13±0		19271,4±82,2			
<i>Rh. catawbiense</i>	2343,4±27,0	18,6*	0,22±0	18,9*	19815,4±56,5	3,6*		
<i>Rh. smirnowii</i>	2526,8±44,4	18,5*	0,17±0	8,7*	26793,5±187,1	22,2*		
<i>Rh. brachycarpum</i>	2160,0±20,4	16,2*	0,16±0	6,5*	25213,4±112,5	19,6*		
<i>Rh. fortunei</i>	2221,2±44,4	14,0*	0,22±0	18,5*	18318,1±66,0	-3,3*		
<i>Rh. japonicum</i>	2557,4±71,3	14,6*	0,26±0,01	13,2*	21182,1±204,4	5,5*		
<i>Rh. luteum</i> , Минская	3199,3±79,6	20,4*	0,17±0	7,8*	34665,1±91,5	51,9*		
<i>Rh. luteum</i> , Ветчиновская	2874,7±64,7	19,4*	0,13±0	1,8	38668,1±141,7	61,4*		
<i>Rh. luteum</i> , Марковская	2924,2±90,6	15,9*	0,14±0	2,0	36371,8±335,9	39,0*		

Исследование Р-витаминного комплекса семян рододендронов, результаты которого приведены в табл. 3, показало, что общее содержание в них биофлавоноидов уступало таковому в плодах у большинства видов в 7–26 раз, при наиболее выразительных различиях у *Rh. smirnowii* и *Rh. fortunei* и наименьших (в 2 раза) у *Rh. dauricum*, и варьировалось в таксономическом ряду от 860,6 до 9840,5 мг% сухой массы. Столь же выразительно проявились различия между цельными плодами и семенами рододендронов также в содержании восстановленных фракций биофлавоноидов – лейкоантоцианов и катехинов, тогда как в содержании их более окисленных фракций – флавонолов они не превышали 2–5-кратной величины.

Т а б л и ц а 3. Содержание биофлавоноидов в сухой массе семян интродуцированных видов *Rhododendron L.* в фазу плодоношения, мг%

Таксон	Антоцианы		Лейкоантоцианы		Катехины	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>
<i>Rh. dauricum</i>	0		4595,5±26,3		4595,5±26,3	
<i>Rh. catawbiense</i>	0	0	834,2±40,1	-78,4*	470,2±15,2	-136,0*
<i>Rh. smirnowii</i>	0	0	182,0±22,8	-127,0*	310,9±7,6	-156,7*
<i>Rh. brachycarpum</i>	0	0	432,3±13,1	-141,8*	379,2±7,6	-154,2*
<i>Rh. fortunei</i>	0	0	121,3±15,2	-147,5*	257,8±15,2	-143,0*
<i>Rh. japonicum</i>	0	0	902,4±7,6	-135,1*	432,3±13,1	-141,8*
<i>Rh. luteum</i> , Минская	0	0	1387,8±13,1	-109,2*	2115,8±34,8	-56,9*

Таксон	Флавонолы		Флавонолы:Катехины		Сумма биофлавоноидов	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>
<i>Rh. dauricum</i>	649,5±38,2		0,14±0,01		9840,5±65,0	
<i>Rh. catawbiense</i>	534,9±38,2	-2,8*	1,14±0,07	13,6*	1839,3±85,7	-74,4*
<i>Rh. smirnowii</i>	534,9±38,2	-2,8*	1,72±0,08	18,9*	1027,8±68,5	-93,3*
<i>Rh. brachycarpum</i>	534,9±38,2	-2,8*	1,41±0,12	10,8*	1346,3±23,0	-123,2*
<i>Rh. fortunei</i>	481,4±47,7	-2,8*	1,90±0,31	5,7*	860,6±38,3	-119,1*
<i>Rh. japonicum</i>	710,7±22,9	1,4	1,65±0,07	21,1*	2045,3±20,2	-114,6*
<i>Rh. luteum</i> , Минская	1161,5±15,3	12,4*	0,55±0,02	22,1*	4665,0±15,1	-77,6*

Обращает на себя внимание, что в плодах всех исследуемых таксонов рододендрона наблюдалось усиление, по сравнению с цветками, долевого участия катехинов в составе биофлавоноидного комплекса до 47–58 %, при одновременном ослаблении такового флавонолов до 7–12 %, а у листопадных видов также и лейкоантоцианов до 34–41 %, тогда как у вечнозеленых видов относительная доля последних оставалась такой же, как и в период цветения (табл. 4).

Т а б л и ц а 4. Соотношение компонентов биофлавоноидного комплекса цветков, плодов и семян вечнозеленых и листопадных интродуцированных видов *Rhododendron L.*, %

Объект исследования	Виды рододендронов	Собств. антоцианы	Лейкоантоцианы	Катехины	Флавонолы
Соцветия	Вечнозеленые	18,6±3,3	36,6±4,3	11,0±2,5	33,8±6,9
	Листопадные	1,5±0,3	58,8±19,4	19,0±5,5	20,8±5,4
Плоды	Вечнозеленые	0	36,6±8,3	53,6±16,8	10,0±2,5
	Листопадные	0	37,5±8,8	53,3±16,6	9,0±3,5
Семена	Вечнозеленые	0	31,0±5,5	32,2±6,1	36,8±8,4
	Листопадные	0	37,0±6,5	33,0±6,5	30,0±5,0

Вместе с тем ни у одного исследуемого таксона не было обнаружено присутствия в Р-витаминном комплексе плодов собственно антоцианов. В результате столь заметной трансформации биофлавоноидного комплекса генеративных органов рододендронов в период плодоношения, по сравнению с фазой цветения, произошло практически полное нивелирование различий между вечнозелеными и листопадными видами в соотношении его отдельных компонентов (см. табл. 4), что, на наш взгляд, обусловлено необходимостью сохранения в плодах генетически детермини-

рованной структуры пула данных соединений, свойственной родовому комплексу *Rhododendron* L. Данное предположение нашло свое подтверждение также в выраженном сходстве соотношения компонентов биофлавоноидного комплекса не только плодов, но и семенного материала вечнозеленых и листопадных рододендронов, на фоне увеличения у тех и у других долевого участия в их Р-витаминном комплексе флавонолов при уменьшении такового катехинов, по сравнению с плодами (см. табл. 4).

Заключение. В результате исследования сезонной динамики накопления биофлавоноидов в генеративных органах вечнозеленых и листопадных видов *Rhododendron* L. установлены отчетливые внутрисезонные и генотипические различия в содержании данных соединений. Показано, что доминирующее положение в биофлавоноидном комплексе цветков рододендрона принадлежало лейкоантоцианам и в меньшей степени флавонолам. При этом цветки вечнозеленых видов отмечены более высоким, чем у листопадных видов, содержанием всех фракций биофлавоноидов при большем долевого участия в их составе окисленных соединений – собственно антоцианов и флавонолов и меньшем восстановленных – лейкоантоцианов и катехинов.

Содержание биофлавоноидов в плодах рододендрона (коробочки с семенами) превышало таковое в цветках в среднем в 1,5–4,5 раза при максимальных значениях, достигавших почти 40 % сухой массы, у листопадного вида *Rh. luteum*. При этом в их составе не обнаружено присутствия собственно антоцианов, на фоне заметного усиления, по сравнению с цветками, долевого участия катехинов и ослабления такового флавонолов, а у листопадных видов также и лейкоантоцианов, что сопровождалось практически полным нивелированием различий между вечнозелеными и листопадными видами в соотношении основных фракций полифенолов не только в плодах, но и в семенном материале, характеризовавшемся у представителей обеих групп рододендронов увеличением, по сравнению с цельными плодами, долевого участия в Р-витаминном комплексе флавонолов при уменьшении такового катехинов. На наш взгляд, нивелирование указанных различий в таксономических рядах сравниваемых групп рододендронов обусловлено необходимостью сохранения в их плодах генетически детерминированной структуры пула данных соединений, свойственной родовому комплексу *Rhododendron* L.

Литература

1. Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений. М., 1987.
2. Запроматов М. Н. Биохимия катехинов. М., 1964.
3. Минович В. М. // Бюл. Восточно-Сибирского НЦ СО РАМН. 2005. № 6. С. 149–151.
4. Рупасова Ж. А. // Сб. материалов 2-й междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов». Минск, 22–26 октября 2012 г. Мн., 2012. С 306–308.
5. Рупасова Ж. А. Формирование биохимического состава плодов видов сем. Ericaceae при интродукции в условиях Беларуси. Мн., 2011.
6. Скорикова Ю. Г. // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. Свердловск, 1968. С. 451–461.
7. Шнайман Л. О. // 9-й Менделеевский съезд по общ. и прикл. химии: реф. докл. и сообщ. 1965. № 8. С. 79–80.
8. Swain T. // J. Sci. Food Agric. 1959. Vol. 10, N 1. P. 63–68.

ZH. A. RUPASOVA, I. K. VOLODKO, T. I. VASILEUSKAYA, L. V. GONCHAROVA,
V. N. RESHETNIKOV, T. V. KURLOVICH

TRANSFORMATION OF BIOFLAVONOID COMPLEX OF EVERGREEN AND DECIDUOUS *RHODODENDRON* GENERATIVE ORGANS' IN THE SEASONAL CYCLE DEVELOPMENT IN BELARUS

Summary

Profiling trends in the transformation of bioflavonoid complex generative organs of evergreen and deciduous species of *Rhododendron* L. in the seasonal cycle of development in Belarus were installed. It is shown that the flowers of evergreen species are characterized by higher than deciduous species, the content of all fractions of bioflavonoids with a significant participation in their composition of oxygenated compounds as anthocyanins and flavonols and less recovered, such as leucanthocyanins and catechins. The leveling of differences between evergreen and deciduous species in the ratio of the major polyphenol fractions in the fruiting period, not only in the fruit, but also on the seed, because of the need to preserve the generative organs of genetically determined structures of the data pool connections, typical for *Rhododendron* L. genus were observed.