

Резюмируя вышеизложенное, следует заключить, что независимо от способа сушки сырья, к моменту ее завершения происходит выраженное в разной степени относительное обеднение последнего следующими веществами: сахарозой (на 7-13%), фруктозой (на 31-62%), целлюлозой (на 29-34 %), а при обычном способе сушки также гидропектином (на 15%), при одновременном обогащении сырья глюкозой (на 59-77%) и протопектином (на 24-42%).

Установлено, что использование озонированного сушильного агента обеспечивает более высокий выход в лекарственном сырье корня валерианы, по сравнению с обычным способом сушки, растворимых сахаров - на 8,5%, в том числе сахарозы - на 7,5%, фруктозы - на 81, гидропектина - на 15, целлюлозы - на 7,7%. Вместе с тем наблюдалось некоторое отставание сырья, высушенного модифицированным способом, от его традиционного аналога в накоплении глюкозы (на 10,3%), протопектина (на 12,8%).

Таким образом, более раннее завершение процесса сушки корня валерианы озono-воздушной смесью, по сравнению с ее обычным способом, сочетающееся со значительным количеством позитивных сдвигов в его углеводном составе, указывает на целесообразность и перспективность использования испытывавшегося метода применительно к данному виду лекарственного сырья.

Литература

1. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического исследования растений. - М.: ВО Агропромиздат, 1987. - 430 с.
2. Завадская И.Г., Горбачева Г.И., Мамушина Н.С. Количественное определение углеводов резорциновым и анилинфталатным методами с помощью бумажной хроматографии // Методика количественной бумажной хроматографии сахаров, органических кислот и аминокислот у растений. М. - Л.: Изд-во АН СССР, 1962. - С. 17-26.
3. Лакин Г.Ф. Биометрия. - М.: Высш. шк., 1980. - 293 с.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НОВЫХ ГИБРИДНЫХ ФОРМ ЯГОДНЫХ РАСТЕНИЙ СЕМ. *ERICACEAE* ПО СОДЕРЖАНИЮ ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИХ ПИГМЕНТОВ В АССИМИЛИРУЮЩИХ ОРГАНАХ

Ж.А. Рупасова, О.В. Морозов, Р.Н. Рудаковская, Т.И. Василевская
ГНУ Центральный ботанический сад НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

По общепринятым представлениям основными методами создания новых сортов Брусничных являются внутривидовая и межвидовая гибридизация в сочетании с мутагенезом и полиплоидией, позволяющие совместить полезные качества родительских пар и получить в результате генотипы с заданными параметрами и новыми хозяйственно значимыми признаками. Созданные нами на этой основе отдаленные фертильные аллотетраплоидные гибриды сем. *Ericaceae* с участием брусники обыкновенной и голубики топяной F_1 *V. uliginosum* x *V. vitis idaea* не имеют аналогов в мировой практике селекции, что определяет наш интерес к ним как к новым потенциальным источникам пищевого и лекарственного сырья.

В качестве объектов исследований были выбраны семь 5-летних форм Г1-Г7 поколения F_1 бруснично-голубичного аллотетраплоида, выделяющихся из растений гибридного генофонда наиболее высокими показателями роста и развития, а также

исходные родительские виды – лесная экобиоморфа голубики топяной аборигенного происхождения (мать) и природная форма брусники обыкновенной из Магадана с удвоенным набором хромосом (отец).

Поскольку исследуемые гибриды получены в результате скрещивания брусники обыкновенной и голубики топяной, являющихся представителями одного ботанического семейства, то логично предположить наличие сходства в биохимическом составе ассимилирующих органов родительских видов и синтезированных растений. В данном случае, учитывая установленные нами преимущества последних относительно брусники обыкновенной по продуктивности надземной части, возможно также использование полученных гибридов в качестве новых источников ценного лекарственного сырья.

Вместе с тем общеизвестно, что в фармакопейных целях используются только листья, собранные либо до цветения растений брусники, либо в осенний период года – при полном созревании плодов, поскольку именно в это время они отличаются наиболее высоким содержанием биологически активных соединений и в процессе сушки полностью сохраняют зеленую окраску. Листья, собранные в летний период года при активной жизнедеятельности растений, при сушке, напротив, буреют из-за гидролиза арбутина и последующего его окисления до хинона, взаимодействующего, в свою очередь, с другими веществами фенольной природы с образованием окрашенных продуктов, что приводит к резкому снижению качества лекарственного сырья [1,2]. В этой связи при исследовании пигментного фонда ассимилирующих органов растений, задействованных в гибридизационном процессе, мы также ориентировались на общепринятые в фармакопейной практике сроки заготовки листа.

В свежих усредненных пробах листьев родительских видов и гибридных форм растений определяли содержание хлорофиллов а и b по методу Т. Н. Годнева [3], β -каротина и суммы каротиноидов по методу Д. И. Сапожникова [4].

Все аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием указаний Г. Ф. Лакина [5].

Известно, что фотосинтетическая продуктивность растений в значительной степени определяется уровнем накопления в ассимилирующих частях пластидных пигментов [6]. По современным представлениям, фотосинтетические процессы в хлоропластах осуществляются при участии двух пигментных систем – ФС I и ФС II, включающих различные формы хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноиды. При этом скорости биосинтеза и распада, соотношением которых регулируется концентрация пигментов в каждый конкретный момент времени, определяются видовыми генетическими программами [7]. К сожалению, в научной литературе практически отсутствует информация об особенностях формирования фонда пластидных пигментов в ассимилирующих органах брусники. Имеются лишь фрагментарные сведения об уровне накопления в них зеленых и желтых пигментов в работе Г. А. Богдановой и Ю. М. Муратова [8].

Из более поздних работ следует отметить обстоятельные исследования пигментного фонда листьев представителей генофонда брусники обыкновенной из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси, включающего 35 форм и сортов местной флоры и интродуцированных из других регионов, выполненные Ж. А. Рупасовой с коллегами [9], на результаты которых мы и будем ориентироваться в настоящей работе.

Полученные нами экспериментальные данные показали, что концентрация фотосинтезирующих пигментов в листовой ткани родительских видов и синтезированных растений существенно различается и обладает при этом выраженной внутрисезонной изменчивостью (табл.1). Так, в начале летнего периода суммарное

содержание в ней хлорофиллов составляло 292,2-616,3 мг% сухой массы. При этом в листьях обоих родительских видов, особенно брусники обыкновенной, оно было значительно меньше, чем в листьях гибридных форм. Соответственно с этим и относительные различия последних с голубикой топяной по данному параметру выглядели менее контрастно, нежели с брусникой (табл. 2). Так, если в первом случае они составляли 4,7-65,7%, то во втором достигали 33,3-110,9%. Среди форм бруснично-голубичного гибрида наиболее высоким суммарным содержанием хлорофиллов отличались четыре – Г-3, Г-5, Г-6 и Г-7, при лидирующем положении Г-5. Поскольку существует прямая зависимость между активностью биопродукционного процесса и интенсивностью фотосинтеза, коррелирующей с свою очередь с накоплением хлорофилла в ассимилирующих органах [10,11], то становятся объяснимыми установленные нами наибольшие среди гибридных форм размерные параметры куста у формы Г-5.

Относительная доля хлорофилла а в комплексе зеленых пигментов ассимилирующих органов синтезированных растений оказалась существенно выше, чем у родительского вида – брусники обыкновенной, но при этом она была либо сопоставима с таковой у другого родителя – голубики топяной (Г-1, Г-2, Г-6, Г-7), либо заметно уступала ей (Г-3, Г-4, Г-5), на что указывает величина соотношения концентраций хлорофиллов а и b в листовой ткани исследуемых объектов (см. табл. 1).

Общее содержание в последней желтых пластидных пигментов в летний период года, по нашим оценкам, в 5,6-11,6 раза уступало таковому зеленых пигментов и составляло 40,9-82,6 мг % сухой массы (см. табл. 1). При этом, подобно хлорофиллам, у большинства гибридов оно было существенно выше, чем у обоих родительских видов, при относительных различиях с голубикой топяной в пределах 23-65,5% и с заметно уступавшей ей в их накоплении брусникой обыкновенной в пределах 29,2-94,3% (см. табл. 2). Наиболее значительными данные различия были у гибридных форм Г-1, Г-6, Г-7, но особенно у Г-5. Как видим, в накоплении не только зеленых, но и желтых пластидных пигментов, за тремя последними гибридами сохранялась лидирующая роль. Известно, что каротиноиды, поглощая часть энергии возбуждения хлорофилла и переходя в триплетное состояние, вовлекаются в первичные акты фотосинтеза и эффективно “погашают” при этом синглетный кислород, предохраняя тем самым светочувствительные хлорофиллы от фотоокислительных разрушений [12, 13, 14]. Если руководствоваться этим представлением, то становится вполне объяснимым сочетание высоких параметров накопления и зеленых, и желтых пигментов пластид в ассимилирующих органах указанных гибридов. Вместе с тем представляется трудно объяснимым с данной точки зрения наиболее низкий среди исследуемых объектов уровень содержания каротиноидов у сравнительно обеспеченной хлорофиллами формы Г-3. Причину этого несоответствия, очевидно, следует искать в особенностях окислительно-восстановительных процессов в пигментном аппарате последней. В данном случае высокий уровень накопления в листовой ткани хлорофиллов, скорее всего, обеспечивался активным биосинтезом восстановленной формы желтых пигментов - β-каротина, способной в большей степени, чем окисленная (ксантофиллы), к тушению синглетного кислорода, имеющего очень высокую реакционную активность в окислении разнообразных органических соединений, делающем их непригодными для выполнения предназначенной им роли в растительном организме [15]. Это подтверждается наиболее высоким среди исследуемых объектов участием β-каротина в комплексе желтых пигментов у формы Г-3, на что указывает установленный для нее максимальный размер соотношения в листовой ткани содержания β-каротина и ксантофиллов, тогда как низкохлорофилльные формы гибрида Г-2 и особенно Г-4, как и родительский вид - брусника обыкновенная, характеризовались минимальными значениями указанного соотношения (см. табл.1).

К концу летнего периода наблюдалось существенное обеднение пигментного комплекса пластид родительских видов и синтезированных форм бруснично-голубичного гибрида как зелеными, так и желтыми фотосинтезирующими пигментами, соответственно на 7-39 и 18-57% (табл. 3). Тем не менее, выявленные на предыдущем этапе различия в содержании хлорофиллов в листьях гибридов и родительских видов в основном сохранились и на данном этапе сезонного развития растений. По-прежнему наиболее выразительный характер указанных различий установлен между листьями гибридов и брусники обыкновенной, почти на 30% уступавшей голубике топяной в накоплении зеленых пластидных пигментов (см. табл. 2). При этом наиболее высоким содержанием последних в листовой ткани характеризовались гибридные формы Г-1, Г-3, Г-5 и Г-6.

У всех форм бруснично-голубичного гибрида, за исключением Г-3, к концу летнего периода произошло заметное возрастание соотношения зеленых и желтых пластидных пигментов, что однозначно свидетельствует о превышении на данном этапе темпов осенней деградации вторых относительно первых (см. табл.1). На это же указывает и заметное отставание ряда гибридных форм от обоих родительских видов в общем содержании каротиноидов, обусловленное более активным разрушением в их листовой ткани ксантофиллов, на фоне более высоких, чем у них, темпов биосинтеза β -каротина. Следствием этого явилось заметное расширение соотношения восстановленной и окисленной форм желтых пигментов в листьях всех исследуемых объектов, что указывает на наличие сдвигов в окислительно-восстановительных процессах в их фотосинтезирующей системе в сторону восстановительных реакций, способствующих биосинтезу разнообразных органических соединений. Подобное явление наблюдалось также Ж. А. Рупасовой и др. [9] при исследовании генофонда брусники обыкновенной.

Таким образом, сравнительное исследование пигментного фонда ассимилирующих органов семи форм бруснично-голубичного гибрида *F₁ V. uliginosum* x *V. vitis idaea* и родительских видов показало существенное влияние на него гибридизационного процесса.

Сопоставление параметров накопления фотосинтезирующих пигментов в листовой ткани синтезированных растений и родительских видов в начале летнего сезона выявило более высокое содержание у всех или абсолютного большинства гибридов, по сравнению с голубикой топяной и брусникой обыкновенной, соответственно: хлорофиллов – на 5-66 и 33-111%, при наиболее выраженных различиях у Г-3, Г-6, Г-7 и особенно Г-5; каротиноидов – на 23-66 и 29-94%, при наиболее выраженных различиях у Г-1, Г-6, Г-7 и особенно Г-5.

В течение летнего периода установлено выраженное обеднение листовой ткани всех или большинства исследуемых объектов хлорофиллами - на 7-39%; каротиноидами – на 18-57%.

Продолжение таблицы 1

Форма брусничных	Каротиноиды												
	сумма				β-каротин				ксантофиллы				
	$\bar{x} \pm s_x$	t ₁	t ₂	$\bar{x} \pm s_x$	t ₁	t ₂	$\bar{x} \pm s_x$	t ₁	t ₂	$\bar{x} \pm s_x$	t ₁	t ₂	
15 июня													
Голубика	49,9±1,3			22,2±0,5			27,7±1,8			0,8±0,1			
Брусника	42,5±0,2	-5,8*		14,4±0,1	-14,5*		28,1±0,3	0,2		0,5±0	-5,2*		
ГФ-1	69,2±1,7	9,2*	15,8*	29,9±2,0	3,6*	7,5*	39,3±3,7	2,8*	3,0*	0,8±0,1	0	2,6	
ГФ-2	54,9±2,7	1,7	4,6*	19,2±2,4	-1,2	2,0	35,6±5,1	1,5	1,5	0,6±0,2	-1,2	0,6	
ГФ-3	40,9±0,4	-6,7*	-3,5*	20,9±1,4	-0,9	4,8*	20,0±1,8	-3,1*	-4,5*	1,1±0,2	1,6	3,5	
ГФ-4	61,4±2,0	4,8*	9,4*	15,1±1,6	-4,1*	0,5	46,3±0,3	10,2*	36,9*	0,3±0	-7,0*	-	
ГФ-5	82,6±0,1	25,5*	160,8*	31,2±0,1	16,6*	81,8*	51,4±0	13,2*	67,3*	0,6±0	-3,5*	0,5	
ГФ-6	67,8±3,6	4,6*	6,9*	30,4±1,1	6,6*	14,1*	37,4±4,8	1,9	1,9	0,8±0,1	0,2	2,3	
ГФ-7	71,6±2,9	6,8*	9,9*	18,0±1,2	-3,3*	3,1*	53,6±4,1	5,8*	6,2*	0,3±0	-7,0*	-	
29 августа													
Голубика	39,6±0,2			18,4±0,3			21,2±0,1			0,9±0			
Брусника	34,6±0,4	-10,3*		16,2±0,5	-3,6*		18,4±0,9	-3,0*		0,9±0,1	0,5	0	
ГФ-1	50,7±1,1	10,0*	13,6*	24,0±0	16,0*	15,7*	26,7±1,1	5,2*	5,9*	0,9±0,1	0,5	14,5*	
ГФ-2	23,4±0,8	-20,1*	-12,6*	16,5±0,7	-2,4	0,3	6,9±0,1	-89,7*	-12,5*	2,4±0,1	16,6*	10,0*	
ГФ-3	38,6±2,6	-0,4	1,5	22,7±1,1	3,9*	5,5*	15,9±3,6	-1,5	-0,7	1,6±0,4	1,6	3,5*	
ГФ-4	39,5±0,4	-0,2	8,4*	24,1±0,4	10,7*	12,4*	15,4±0	-38,9*	-3,3*	1,6±0	14,8*	10,0*	
ГФ-5	37,1±0,7	-3,4*	3,0*	19,7±0,6	1,8	4,3*	17,4±0,1	-24,1*	-1,1	1,1±0	5,7*	3,5*	
ГФ-6	41,0±0,8	1,7	6,9*	19,3±0,1	2,4	6,1*	21,7±0,7	0,8	2,8*	0,9±0	0	-0,5	
ГФ-7	32,2±0,1	-29,4*	-5,3*	17,4±0,2	-2,4	2,1	14,8±0,1	-37,3*	-3,8*	1,2±0	6,4*	4,0*	

Окончание таблицы 1

Форма брусничных	Хлорофиллы : каротиноиды		
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t_1	t_2
<i>15 июня</i>			
Голубика	7,4±0,2		
Брусника	6,9±0,2	-2,0	
ГФ-1	5,6±0,1	-7,2*	-4,9*
ГФ-2	7,3±0,2	-0,5	1,6
ГФ-3	11,6±0,3	11,1*	12,6*
ГФ-4	6,4±0,1	-4,0*	-1,7
ГФ-5	7,5±0,1	0,1	2,4
ГФ-6	7,7±0,3	0,8	2,4
ГФ-7	6,9±0,2	-1,7	0,2
<i>29 августа</i>			
Голубика	7,2±0,4		
Брусника	6,0±0,1	-3,0*	
ГФ-1	7,1±0,1	-0,1	6,9*
ГФ-2	10,5±0,6	4,3*	7,0*
ГФ-3	10,6±0,1	8,3*	37,4*
ГФ-4	7,8±0,3	1,3	6,8*
ГФ-5	10,7±0,2	7,8*	21,6*
ГФ-6	8,6±0,3	2,8*	8,1*
ГФ-7	10,4±0,3	6,0*	12,4*

*) Примечание – статистически значимые различия при $p < 0,05$
 t_1 – с голубикой топяной, t_2 - с брусникой обыкновенной

Таблица 3 - Относительные различия в содержании пластидных пигментов в ассимилирующих органах родительских видов и форм бруснично-голубичного гибрида *F1 V. uliginosum* × *V. vitis-idaea* в зависимости от стадии сезонного развития растений, % 2005 г.

Форма брусничных	Хлорофиллы						Каротиноиды					
	а		b		а + b		сумма		β-каротин		ксантофиллы	
	%	t _{2/1}	%	t _{2/1}	%	t _{2/1}	%	t _{2/1}	%	t _{2/1}	%	t _{2/1}
Голубика	-25,3	-8,84*	-18,9	-2,95*	-23,6	-5,07*	-20,6	-8,03	-17,1	-6,08*	-23,5	-3,64*
Брусника	-	-2,22	-44,7	-11,39*	-29,3	-8,28*	-18,6	-16,37*	+12,5	3,65*	-34,5	-9,83*
ГФ-1	-	-2,55	-	-0,84	-7,1	-39,65*	-26,7	-9,22*	-19,7	-2,88*	-32,1	-3,24*
ГФ-2	-48,7	-17,2*	-	-0,98	-39,0	-12,99*	-57,4	-11,27	-	-1,08	-80,6	-5,67*
ГФ-3	-	-1,12	-22,8	-3,50*	-	-2,21	-	-0,90	-	1,03	-	-1,03
ГФ-4	-18,6	-15,51*	-27,2	-6,82*	-21,4	-10,30*	-35,7	-10,80*	+59,6	5,29*	-66,7	-88,29*
ГФ-5	-37,8	-11,16*	-30,3	-10,18*	-35,3	-23,56*	-55,1	-64,23*	-36,9	-17,60*	-66,1	-588,9*
ГФ-6	-32,8	-20,94*	-29,9	-9,34*	-32,0	-16,22*	-39,5	-7,19*	-36,5	-9,83*	-42,0	-3,26*
ГФ-7	-50,3	-13,16*	+25,0	3,83	-32,4	-14,84*	-55,0	-13,35*	-	-0,51	-72,4	-9,45*

Примечание: *) статистически значимые различия между 2-м и 1-м сроками отбора проб при $p < 0,05$.

Процекр означает отсутствие достоверных различий

Литература

1. Гаммерман А.Ф. Курс фармакогнозии. Л.: Медицина, 1967. – 490 с.
2. Стуккей К.Л., Мусаева Л.Д. Инструкция по сбору и сушке листа М., 1969.
3. Годнев Т.Н. Строение хлорофилла и методы его количественного определения. Мн.: Изд-во АН БССР, 1952. – 163 с.
4. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. М.: Высш. шк., 1975. – 392 с.
5. Лакин Г.Ф. Биометрия. - М.: Высш. шк., 1980. – 293 с.
6. Лебедев С.И., Литвиненко Л.Г. Фотохимическая активность листьев в связи с содержанием хлорофилла // Физиология и биохимия культурных растений. 1970. Т.2, вып.1. С.46-51.
7. Красичкова Г.В., Асоева Л.М., Гиллер Ю.Е., Сангинов Б.С. Содержание пластидных пигментов в листьях хлопчатника в связи с продукционным процессом // Докл. АН Тадж. ССР. 1985. Т.28, № 6. С.363-365.
8. Богданова Г. А., Муратов Ю. М. Брусника в лесах Сибири. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. – 117 с.
9. Рупасова Ж.А., Сидорович Е.А., Игнатенко В.А., Рудаковская Р.Н. Формирование биохимического состава брусники обыкновенной в Беларуси. – Мн.: Беларуская навука, 1997. –303 с.
10. Ничипорович А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений // Физиология фотосинтеза. – М., 1982. С.7-33.
11. Шевелуха В.С., Ковалев В.М. Связь суточной периодичности линейного роста с фотосинтезом, дыханием и ходом накопления урожая озимой пшеницы в онтогенезе // Тр. Белорус. с.-х. акад. Горки, 1973. Т.107. С.25-34.
12. Гавриленко В.Ф., Гусев М.В., Никитина К.А., Хофманн Н. Избранные главы физиологии растений. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1986. – 439 с.
13. Goedheer J C Carotenoids in the photosynthetic apparatus // Ber. Dtsch. Bot. Ges. 1980. Vol.92, № 2-3. P.427-436.
14. Goodwin T.W. The biochemistry of the carotenoids // Plants.L.; N.Y., 1980. Vol.1. - 377 p.
15. Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений: В 2т / Пер. с англ. М.: Мир, 1986. Т. 1-2.