

**Заключение**

Таким образом, для укропа и сельдерея было характерно сильное (они полностью подавляли прорастание семян некоторых культур, в том числе салата и кресс-салата), но нестабильное проявление аллелопатии. Петрушка и пастернак отличались менее значительным и более выровненным (по отношению ко всем изученным тест-объектам) проявлением аллелопатической активности. Полученная информация может быть использована при подборе информативных тестеров для оценки аллелопатической активности сельдерейных культур. Рассмотренные в работе взаимоотношения доноров и тестеров представляют интерес как модельный объект для изучения явления аллелопатии с привлечением математико-статистических методов.

**Библиографический список**

1. Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ / А.М. Гродзинский. – Киев: Наукова думка, 1965. – 198 с.

2. Гродзинский А.М. Экспериментальная аллелопатия / А.М. Гродзинский. – Киев: Наукова думка, 1986. – 235 с.

3. Физиологические основы всхожести семян / К.Е. Овчаров. – М.: Наука, 1969. – 279 с.

4. Николаева М.Г. Биология семян / М.Г. Николаева, И.В. Лянгузова, Л.М. Поздова. – СПб: НИИ химии, 1999. – 232 с.

5. Baleev D.N. Allelopathic activity of seeds family of celery «Selekcija i semennarstvo» Plant breeding and seed production / D.N. Baleev, A.F. Buharov // Novi Sad. – 2009. – Vol. 15. – № 4. – S. 29-333.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

7. Кильчевский А.В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева // Генетика. – 1985. – т.21. – № 9. – С. 1491-1497.



УДК 633.88:582.973:581.19:575.222.7:543.544.5.68.7

**И.Г. Боярских,  
Ю.В. Юшкова,  
Е.И. Черняк,  
С.В. Морозов**

**СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
В ПЛОДАХ *LONICERA CAERULEA* L. РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ  
В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ ПРИОБЬЯ**

**Ключевые слова:** *Lonicera caerulea*, сорта, гибриды, изменчивость, трансгрессия, плоды, ВЭЖХ анализ, антоцианы, флавоноиды, гидроксикоричные кислоты.

Голубые жимолости (*Lonicera caerulea* L., *Lonicera iliensis* Pojark., подсемейство *Caeruleae* Rehd.) относятся к малораспространенным ягодным кустарникам, интерес к которым постоянно растет. Цен-

ность жимолости обусловлена сверхранним сроком созревания плодов, а также высоким содержанием витамина С и биологически активных фенольных соединений, которые, проявляя антиоксидантную, иммуномодулирующую, антибактериальную, противовирусную, противогрибковую, антиаллергическую и другие виды активности, широко используются в медицине, косметологии, пищевой промышленности и сельском хозяйстве [1-4].

Известно, что в плодах жимолости высокое (до 1800 мг/100 г) содержание биофлавоноидов, основными среди которых являются антоцианы (до 1200 мг/100 г), обуславливающие интенсивную темно-синюю окраску плодов. В состав биофлавоноидов входят также флавонолы (12-32 мг/100 г) – рутин, изокверцетрин, кверцетрин; флавоны – 7-рутинозид и 7-глюкозид лютеолина; гидроксикоричные кислоты (30-156 мг/100 г) – хлорогеновая, неохлорогеновая и производные паракумаровой кислоты; флаванолы – катехины, проантоцианидины [2].

Жимолость алтайского происхождения обладает комплексом хозяйственно ценных признаков, таких как высокая продуктивность, скороплодность, засухоустойчивость и прочное прикрепление соплодий. Кроме того, образцы данного подвида характеризуется высоким содержанием биофлавоноидов [3]. Сочетание этих важных свойств делает *L. caerulea* subsp. *altaica* перспективным для более интенсивного введения в селекционный процесс.

Условия произрастания растений в разных климатических зонах оказывают существенное влияние на состав биологически активных веществ (БАВ). Известно также, что последовательный отбор сеянцев жимолости по дегустационной оценке, крупноплодности, урожайности и зимостойкости может привести как к снижению суммы биофлавоноидов, так и к изменению их соотношений [2]. Поэтому данные по содержанию БАВ в плодах необходимы в процессе селекции и при интродукции инорайонных сортов. Наиболее информативным методом для получения таких данных является метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Таксономическое деление подсекции *Caeruleae* является дискуссионным. Придерживаясь мнения А.К. Скворцова и А.Г. Куклиной о том, что «в Евразии в подсекции *Caeruleae* можно различить не более 2 видов: *L. caerulea* L. и *L. iliensis*

*Pojark.*», мы используем также предложенную М.Н. Плехановой систему деления *L. caerulea* на отдельные подвиды [4, 5].

Целью настоящей работы было изучение качественного и количественного состава фенолпропаноидов (флавоноидов и гидроксикоричных кислот) плодов жимолости синей разного эколого-географического происхождения в условиях лесостепи Приобья, а также изменения их содержания при гибридизации и селекционном отборе.

#### Материалы и методы исследований

Материалом для исследований являлись плоды 63 образцов жимолости синей в стадии потребительской зрелости различного эколого-географического и генетического происхождения коллекции Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Новосибирск), собранные в июле 2010 г. и замороженные при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Суммарное содержание антоцианов спектрофотометрическим методом определяли в плодах 11 образцов *L. caerulea* subsp. *altaica* и 1 образца subsp. *pallasii*, интродуцированных из природных популяций Горного Алтая; 3 сортов, полученных в результате отбора из сеянцев семян *L. caerulea* subsp. *altaica*, собранных в Рудном Алтае; 4 образцов *L. caerulea* subsp. *pallasii* из Томской обл.; 7 сортов *L. caerulea* subsp. *kamtschatica*, а также 8 сортов и отборных форм (о.ф) *L. caerulea* subsp. *venulosa* селекции разных НИУ; 3 образцов *L. regeliana* (*L. bozskarnikovae*) приморского происхождения; 1 образца *L. caerulea* subsp. *stenantha* из Средней Азии и 27 гибридов первого и второго поколения, полученных в результате прямых и обратных скрещиваний сортов различного эколого-географического происхождения [6]. Берель – гибрид между образцами алтайского и камчатского происхождения, Сириус и Салют – алтайского, Голубое веретено, Золушка и Камчадалка – камчатского, Памяти Гидзюка, Парабельская и Томичка – приморского происхождения.

Индивидуально-групповой состав фенолпропаноидов определяли для 33 сортов и отборных форм жимолости методом ВЭЖХ со спектрофотометрическим детектированием. Для проведения анализа использован жидкостный хроматограф Agilent 1100 (Agilent Technologies, США) с диодноматричным детектором и про-

граммным обеспечением обработки хроматографических данных ChemStation. Колонка 4,6x150 мм, заполненная обращенно-фазовым сорбентом ZORBAX Eclipse XDB-C8, 5  $\mu\text{m}$ . Хроматографическая система – ацетонитрил (А): 0,1%-ный водный раствор трифторуксусной кислоты (В). Условия элюирования: 5-17% А – за 35 мин.; 17-70% А – за 10 мин.; 70-5% А – за 5 мин.; 5% А – за 5 мин., объем пробы – 5 мкл, расход элюента – 0,8 мл/мин., аналитические длины волн 280, 320, 360, 520 нм. Растворы для анализа получены экстракцией плодов жимолости (точная навеска массой 1-1,5 г) 70%-ным водным этанолом на ультразвуковой бане в течение 13 мин. при температуре 60 $^{\circ}\text{C}$ . Идентификацию компонентов проводили путем сопоставления спектральных отношений, времен удерживания основных пиков с таковыми для стандартных образцов и анализа данных литературы [7, 8]. Расчет содержания фенолпропаноидов выполняли с использованием образцов антоцианов, рутина, катехина и хлорогеновой кислоты [6, 9].

При анализе гибридного потомства плодов жимолости по биохимическому составу рассчитывали степень трансгрессии [10]. Для расчета степени трансгрессии гибридного сорта Берель, полученного путем опыления отборной формы алтайского происхождения Сириус смесью пыльцы сеянцев камчатского происхождения (Золушка, Синяя птица, Голубое веретено), были использованы средние значения содержания БАВ опылителей.

### Результаты исследований

Известно, что антоцианы являются основными в группе биофлавоноидов плодов жимолости [2, 4, 11, 12]. Методом спектрофотометрии для всех 63 исследуемых образцов плодов жимолости нами получены данные по суммарному содержанию антоцианов (табл. 1) [6].

Максимальное количество антоцианов (до 961 мг/100 г) обнаружено в плодах образцов жимолости, интродуцированных из природных популяций Горного Алтая (*L. caerulea* subsp. *altaica*) и Приморского края (*L. regeliana*). Наименьшее их содержание наблюдалось в сортах и отборных формах (о.ф.) камчатского происхождения и *L. caerulea* subsp. *stenantha* (табл. 1). Большой диапазон варьирования отмечался у образцов внутри каждого подвида, а также в отдельных гибридных семьях и образцах из одной микропопуляции.

Индивидуально-групповой состав фенолпропаноидов плодов жимолости установлен при анализе хроматографических профилей, полученных методом ВЭЖХ. Типичная хроматограмма фенолпропаноидов жимолости приведена на рисунке 1.

Показано, что пики с характерными максимумами поглощения в области ~520 нм относятся к антоцианам, пики с максимумами поглощения в области ~360 нм – флавонолам и флавонам, пики с максимумами поглощения в области ~320 нм – гидроксикоричным кислотам и их производным, пики с максимумами поглощения в области ~280 нм – катехинам.

Установлено, что в группе антоцианов исследуемых образцов плодов жимолости основным является цианид-3-глюкозид. Минорные компоненты – цианидин-3,5-диглюкозид, цианидин-3-рутинозид, пеларгонидин-3-глюкозид, пеонидин-3-глюкозид и пеонидин-3-рутинозид определены при сопоставлении с литературными данными по составу антоцианов жимолости [11, 12]. В группе гидроксикоричных кислот идентифицированы хлорогеновая, неохлорогеновая и дикофеилхинная кислоты; в группе флавонолов и флавонов основными являются глюкозиды и рутинозиды кверцетина и лютеолина, минорными – кверцетин и диосмин [11]. Данные по суммарному содержанию основных групп фенолпропаноидов плодов жимолости, полученные методом ВЭЖХ, приведены в таблицах 2 и 3.

По содержанию биофлавоноидов изученные образцы имели значительные различия. Компонентный состав фенолпропаноидов был неизменным у разных подвигов, в отдельных образцах алтайского и приморского происхождения не идентифицирован глюкозид лютеолина. Анализ содержания суммы флавонов и флаванолов, гидроксикоричных кислот и катехинов в образцах разного происхождения показал, что среди подвигов жимолости значительно выделяются по содержанию гидроксикоричных кислот образцы из Приморского края (*L. regeliana* и *L. caerulea* subsp. *venulosa*), по содержанию суммы флавонов и флаванолов, катехинов – *L. regeliana* и *L. caerulea* subsp. *altaica*. Причем у алтайских образцов сумма флавонов и флаванолов в основном определяется глюкозидом кверцетина, а у приморских – рутином. По содержанию антоцианов, суммы флавонов и флаванолов, катехинов и гидроксикоричных кислот наблюдалась значительная вариабельность внутри близких по происхождению групп (табл. 2).

Содержание антоцианов в плодах жимолости

Подвиды <i>L. caerulea</i> и их гибриды	Количество изученных образцов	Содержание <sup>1</sup> , мг/100 г	
		среднее значение	диапазон варьирования
subsp. <i>altaica</i>	12	662	366-961
<i>L. regeliana</i> ( <i>L. boczkarnikovae</i> )	3	610	439-708
subsp. <i>pallasii</i>	5	502	407-577
subsp. <i>venulosa</i>	8	494	324-710
subsp. <i>kamtschatica</i>	7	420	253-575
subsp. <i>stenantha</i>	1	402	
<i>altaica</i> × <i>kamtschatica</i> F <sub>1</sub>	7	571	508-636
<i>venulosa</i> × <i>kamtschatica</i> F <sub>2</sub>	5	396	259-615
<i>venulosa</i> × <i>venulosa</i> F <sub>2</sub>	3	514	383-614
<i>kamtschatica</i> × <i>kamtschatica</i> F <sub>2</sub>	2	243	187-299
( <i>altaica</i> × <i>kamtschatica</i> )× <i>kamtschatica</i> F <sub>2</sub>	5	474	367-593
( <i>altaica</i> × <i>kamtschatica</i> )× <i>venulosa</i> F <sub>2</sub>	5	554	359-757

<sup>1</sup> В пересчете на цианидин-3,5-диглюкозид. Погрешность методики ±10% (отн.).

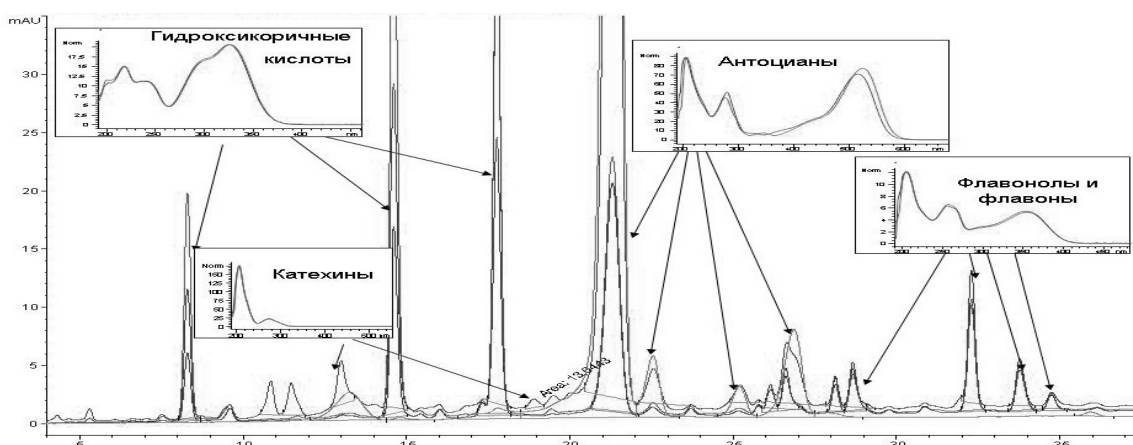


Рис. 1. Хроматографический профиль фенолпропаноидов жимолости алтайского происхождения, λ280, 320, 360 и 520 нм

При расчете степени трансгрессии отборных семян отмечено, что у 5 семян из 27 изученных содержание антоцианов в плодах превосходило лучшую родительскую форму (положительная трансгрессия), у 9 отмечено промежуточное проявление признака и у 13 – отрицательная трансгрессия. Максимальную положительную степень трансгрессии имел сорт Берель – сеянец первого поколения скрещивания образцов отдаленного географического происхождения (рис. 2). Две отборные формы с положительной трансгрессией и две с промежуточной были выделены из 5 гибридов F<sub>1</sub> семьи Салют×Жамчадалка, также полученных в результате скрещивания географически отдаленных подвидов. Еще две отборные формы с положительной степенью трансгрессии (+11% и +19%) выделены из семян второго поколения скрещивания сорта Берель с образцами приморского происхождения.

Сорт Берель характеризуется комплексом выдающихся хозяйственно ценных признаков – высокой урожайностью (до 6,0 кг/куст), неосыпаемостью достаточно крупных (до 1,6 г) соплодий хорошего вкуса (4,3 балла), ранним вступлением в плодоношение (на 3-й год после посадки) [3]. По количественным показателям продуктивности этот гибрид превышает характеристики родительских форм.

Для оценки содержания биофлавоноидов в семенах, полученных в результате различных комбинаций скрещивания, выполненных в ЦСБС, среди гибридного потомства были отобраны образцы, превосходящие по показателям продуктивности, крупноплодности и дегустационной оценке родительские формы.

Сравнительная оценка содержания фенолпропаноидов по группам показала, что у сорта Берель и о.ф. № 2-9 и № 2-30 из семьи Салют×Жамчадалка, полученных в результате скрещивания географически



удаленных образцов, произрастающих в различных экологических условиях, в первом поколении отмечается достаточно высокая положительная трансгрессия – по содержанию антоцианов от +8% до

+45%, гидроксикоричных кислот – от –8% (промежуточная) до +62%, флавонолов – от +92% до +160%, катехинов – от +60% до +83% (рис. 2, табл. 3).

Таблица 2

Содержание фенилпропаноидов в плодах жимолости синей

Образцы жимолости	Содержание, мг/100 г			
	антоцианы	гидроксикоричные к-ты	сумма флавонолов и флавонов	катехины
<b><i>L. caerulea</i> subsp. <i>altaica</i></b>				
Сириус	491	94	47	65
Салют	566	114	51	51
Куба №39	643	123	135	105
Семинский № 5-4	782	126	106	116
Семинский № 4-4	779	164	139	65
Семинский № 5-7	536	108	87	95
Теньга № 4-5	801	96	93	35
Актру № 2-8	814	164	195	114
Актру № 6-4	611	145	91	102
Актру № 2-32	455	137	193	50
Актру № 2-33	457	116	160	60
Актру № 2-34	562	125	106	50
<b><i>L. caerulea</i> subsp. <i>venulosa</i></b>				
Лянчиха 2-47-29	631	66	101	25
Лянчиха 1-24-29	467	82	104	65
Памяти Гидзюка	795	154	128	55
Томичка	630	187	74	21
<b><i>L. caerulea</i> subsp. <i>kamtschatica</i></b>				
Золушка	285	97	40	41
Камчадалка	344	103	81	33
Синяя птица	307	64	31	35
Голубое веретено	429	94	73	15
<i>L. regeliana</i>	1251	188	141	123
<i>L. caerulea</i> subsp. <i>pallasii</i>	388	110	103	77
<i>L. caerulea</i> subsp. <i>stenantha</i>	434	90	80	70

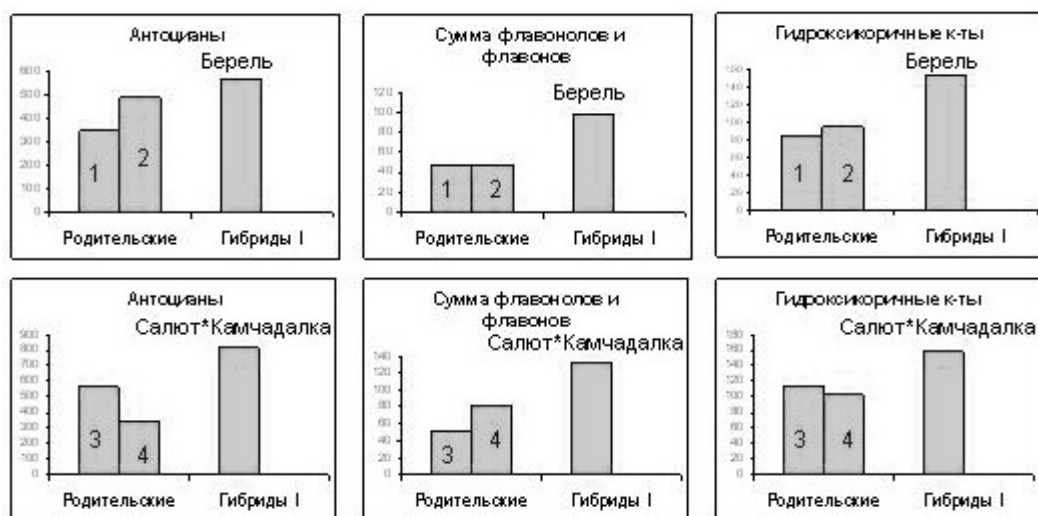


Рис. 2. Изменение содержания фенилпропаноидов в плодах жимолости при образовании гибридов первого поколения: 1 – (Золушка+Синяя птица+Голубое веретено), 2 – Сириус, 3 – Салют, 4 – Камчадалка

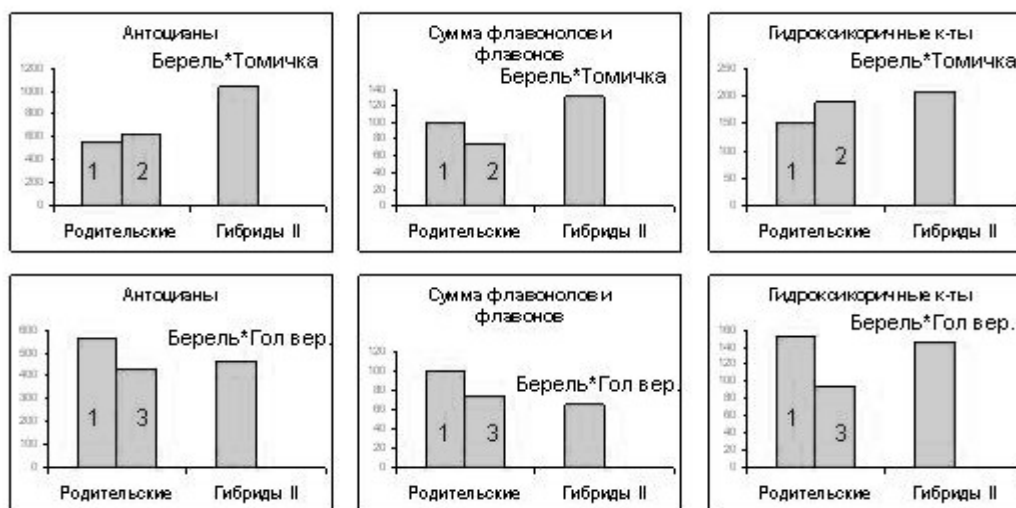


Рис. 3. Изменение содержания фенолпропаноидов в плодах жимолости у гибридов второго поколения: 1 – Берель, 2 – Томичка, 3 – Голубое веретено.

Таблица 3

Содержание фенолпропаноидов в плодах гибридных образцов жимолости

Варианты скрещивания	Содержание, мг/100 г			
	антоцианы	гидроксикоричные к-ты	сумма флавонолов и флавонолов	катехины
<b>subsp. <i>altaica</i> × subsp. <i>kamtschatica</i> F<sub>1</sub></b>				
Сириус × (смесь пыльцы сеянцев о.ф. № 8) (Берель)	565	152	99	119
Салют × Камчадалка (№ 2-9)	611	105	98	89
Салют × Камчадалка (№ 2-30)	822	158	133	82
<b>subsp. <i>venulosa</i> × subsp. <i>kamtschatica</i> F<sub>2</sub></b>				
Томичка × Камчадалка (№ 1-13)	467	93	64	112
Памяти Гидзюка × Золушка (№ 8-16)	415	76	43	64
<b>subsp. <i>venulosa</i> × subsp. <i>venulosa</i> F<sub>2</sub></b>				
Томичка × Памяти Гидзюка (№ 1-17)	767	142	89	119
Памяти Гидзюка × Томичка (№ 8-42)	483	142	92	77
<b>subsp. <i>kamtschatica</i> × subsp. <i>kamtschatica</i> F<sub>2</sub></b>				
Камчадалка × Голубое веретено (№ 1-9)	430	97	43	50
<b>(subsp. <i>altaica</i> × subsp. <i>kamtschatica</i>) × subsp. <i>kamtschatica</i> F<sub>2</sub></b>				
Берель × Золушка (№ 3-58)	527	171	126	73
Берель × Голубое веретено (№ 3-25)	464	146	65	80
<b>(subsp. <i>altaica</i> × subsp. <i>kamtschatica</i>) × subsp. <i>venulosa</i> F<sub>2</sub></b>				
Берель × Томичка (№ 3-19)	1046	207	131	157
Берель × Памяти Гидзюка (№ 3-108)	432	118	63	71

Во втором поколении скрещивания сорта Берель, вследствие расщепления гибридов, наблюдалось как увеличение, так и уменьшение содержания биологически активных фенольных соединений, по сравнению с исходными формами (рис. 3). Высокая степень положительной трансгрессии +11, +77, +32 и +66% по содержанию соответственно гидроксикоричных кислот, суммы флавонов и флавонолов, катехинов и антоцианов характерна для о.ф. F<sub>2</sub> № 3-19 (Берель × Томичка). При возвратном скрещивании (повторное

скрещивание гибрида с одним из родителей) наблюдалось небольшое увеличение отдельных групп фенольных соединений – о.ф. № 3-58 (Берель × Золушка) (табл. 3).

Таким образом, для гибридов, полученных в результате скрещиваний географически отдаленных образцов, отмечено значительное увеличение содержания комплекса фенолпропаноидов, что в сочетании с увеличением показателей продуктивности может свидетельствовать о возможном проявлении гетерозисного эффекта.

**Выводы**

Методом ВЭЖХ впервые установлен индивидуально-групповой состав фенолпропаноидного комплекса плодов жимолости синей различного эколого-географического происхождения, интродуцированной в ЦСБС СО РАН. Показано, что его основными компонентами являются антоцианы, флавонолы и флавоны, гидроксикоричные кислоты и катехины, содержание которых в плодах составляет 285-1251, 31-195, 64-207, 21-157 мг% соответственно. В группе антоцианов основным является цианид-3-глюкозид, в группе флавонолов и флавонов – рутинозид кверцетина (рутин), глюкозиды кверцетина и лютеолина, в группе катехинов – катехин и эпикатехин, в группе гидроксикоричных кислот – хлорогеновая, неохлорогеновая и дикофеилхинная кислоты.

Изученные подвиды *L. caerulea* различаются по количественному содержанию фенольных соединений, компонентный состав остается постоянным.

При скрещивании географически удаленных по месту происхождения образцов жимолости у гибридов первого поколения отмечается значительное увеличение содержания комплекса биофлавоноидов в плодах. Во втором поколении положительная трансгрессия наблюдалась при дальнейшем скрещивании полученных гибридов с другими географически удаленными образцами и возвратном скрещивании.

Проведенные исследования показали, что большое разнообразие по содержанию отдельных групп фенолпропаноидов в природных популяциях и гибридных семьях *L. caerulea* при контроле биохимического состава плодов дает возможность отбирать формы, совмещающие высокие показатели содержания БАВ с комплексом хозяйственно ценных признаков.

**Библиографический список**

1. Плеханова М.Н. Жимолость / М.Н. Плеханова // Нетрадиционные садовые культуры. – Мичуринск: ВНИИС, 1994. – С. 99-149.  
 2. Стрельцина С.А. Состав биологически активных фенольных соединений сортов жимолости в условиях северо-западной зоны плодоводства РФ / С.А. Стрельцина, А.А. Сорокин, М.Н. Плеханова, Е.В. Лобанова // Аграрная Россия. – 2006. – № 6. – С. 67-72.

3. Жолобова З.П. Жимолость: история, состояние и перспективы культуры в Сибири / З.П. Жолобова, Г.А. Прищепина. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2003. – 108 с.

4. Скворцов А.К. Голубые жимолости: ботаническое изучение и перспективы культуры в средней полосе России / А.К. Скворцов, А.Г. Куклина. – М.: Наука, 2002. – 160 с.

5. Плеханова М.Н. Жимолость (*Lonicera* subsect. *Caeruleae*): систематика, биология, селекция: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / М.Н. Плеханова. – СПб.: ВНИИР, 1994. – 39 с.

6. ГФ XI. – Т. 2. – Вып. 2. – 1990. – С. 238.

7. Морозов С.В. Анализ хроматографических профилей и индивидуально-группового состава низкомолекулярных органических веществ природного и антропогенного происхождения / С.В. Морозов, Е.И. Черняк, А.И. Вялков, Н.И. Ткачева // Химия ароматических, гетероциклических и природных соединений (НИОХ СО РАН 1958-2008 гг.); отв. ред. В.Н. Пармон. – Новосибирск. 2009. – С. 737-778.

8. Черняк Е.И. Использование методов газовой и высокоэффективной жидкостной хроматографии для идентификации природных биологически активных фенольных соединений / Е.И. Черняк, А.И. Вялков, Я.С. Царалунга, С.В. Морозов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2007. – Т. 15. – № 5. – С. 609-624.

9. Mizukami Yu. Simultaneous Analysis of Catechins, Gallic Acid, Strictinin, and Purine Alkaloids in Green Tea by Using Catechol as an Internal Standard / Yu. Mizukami, Yu. Sawai, Yu. Yamaguchi // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 55. – 2007. – 4957.

10. Брюбейкер Д.Л. Сельскохозяйственная генетика / Д.Л. Брюбейкер. – М., 1966. – 223 с.

11. Chaovanalikit Arusa, M. M. Thompson, R. E. Wrolstad Characterization and Quantification of anthocyanins and polyphenolics in Blue Honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) // Journal of Agricultural and Food Chemistry; 52 (2004) 848.

12. Polaykova I. Constituents and Antimicrobial Properties of Blue Honeysuckle: A Novel Source for Phenolic Antioxidants / I. Polaykova, J. Heinrich, P. Bednar, P. Marshol, V. Kren, Clak L. etc. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 56. – 2008. – 11883.

