

БИОЛОГИЯ

УДК 634.73:581.19:581.522.4(476)

Член-корреспондент Ж. А. РУПАСОВА¹, академик В. Н. РЕШЕТНИКОВ¹,
А. А. ВОЛОТОВИЧ², Т. И. ВАСИЛЕВСКАЯ¹, А. П. ЯКОВЛЕВ¹, Ю. М. ПИНЧУКОВА³

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОТИЧЕСКОГО
И АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ
ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В БЕЛАРУСИ ВИДОВ СЕМ. *ERICACEAE***

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск²Полесский государственный университет, Пинск³Могилевский государственный университет продовольствия

Представлено 22.07.2009

Введение. В последние годы коллекционный фонд Центрального ботанического сада НАН Беларуси пополнился новыми таксонами трех видов сем. *Ericaceae* (*V. corymbosum* L. (голубика высокорослая), *V. vitis-idaea* L. (брусника обыкновенная) и *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers. (клюква крупноплодная), что предоставляет дополнительные возможности для расширения сортимента сортов, предлагаемых для районирования и селекции на основе выявления наиболее перспективных из них не только по органолептическим свойствам плодов, определяемым особенностями биохимического состава, но и по степени устойчивости его отдельных компонентов к комплексному воздействию метеорологических факторов в районе интродукции. Общеизвестно, что среди комплекса причин, определяющих параметры накопления в плодах полезных веществ, значительная роль принадлежит генетическому контролю, стремящемуся сохранить свойственный генотипу биохимический состав, и экологическому фактору, препятствующему этому. Белорусскому региону свойствен крайне неустойчивый характер погодных условий в период вегетации растений и созревания плодов, способный заметно повлиять на темпы накопления тех или иных соединений и тем самым оказать корректирующее действие на их питательную и витаминную ценность. В связи с этим представляется весьма актуальным проведение сравнительной оценки степени влияния биотических и абиотических факторов на биохимический состав плодов интродуцентов в многолетнем цикле наблюдений, дающей представление не только об уровне его генетической детерминированности у разных таксонов, но и о степени зависимости от гидротермического режима сезона.

Материалы и методы исследований. Исследования были выполнены в 2006–2008 гг. на растительном материале, полученном на Ганцевичской научно-экспериментальной базе Центрального ботанического сада НАН Беларуси (Брестская обл.). Погодные условия в самый активный период созревания плодов видов сем. *Ericaceae* (июль–сентябрь) в годы наблюдений отличались ярко выраженными внутри- и межсезонными контрастами, что создавало неадекватные предпосылки для формирования биохимического состава плодов. Наиболее низкий температурный фон в данный период отмечен в 2008 г., наиболее высокий – в 2006 г. При этом все три сезона характеризовались весьма обильным выпадением осадков при крайне неравномерном их распределении по месяцам.

В качестве объектов исследований были привлечены зрелые плоды 16 сортов *V. corymbosum* L.: Bluetta, Northblue, Weymouth, Duke, Reka, Earliblue, Spartan, Puru, Nui (раннеспелые) Bluecrop, Northland, Patriot, Toro, Jersey (среднеспелые), Elizabeth и Coville (позднеспелые); 10 сортов *V. vitis-idaea* L. – Koralle, Red Pearl, Рубин, Erntedank, Erntesege, Erntekrone, Ammerland,

Masovia, Sanna, Sussi и 4 сортов *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers. – Stevens, Ben Lear, Mc Farlin, Pilgrim.

Биохимический состав плодов перечисленных таксонов исследовали по 32 показателям с использованием распространенных методов получения аналитической информации о содержании в плодах исследуемых таксонов сухих веществ; аскорбиновой кислоты (витамина С); титруемых кислот (общей кислотности); ряда химических элементов: азота, фосфора, калия, кальция, магния; растворимых сахаров, в том числе глюкозы, фруктозы, сахарозы; пектиновых веществ (водорастворимого пектина и протопектина); антоциановых пигментов, в том числе собственно антоцианов и лейкоантоцианов; суммы флавонолов; суммы катехинов; фенолкарбоновых кислот (в пересчете на хлорогеновую); дубильных веществ; лигнинов; бензойной кислоты; жирных масел; тритерпеновых кислот (в пересчете на урсоловую кислоту). Все аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности сотрудниками лаборатории химии растений ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» Р. Н. Рудаковской, Н. П. Варавиной, Н. Б. Криницкой, канд. биол. наук В. А. Игнатенко (до 2007 г.). Данные статистически обработаны с использованием программы Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение. Для оценки степени влияния генотипа и метеорологических факторов, а также их совокупности на изменчивость количественных характеристик биохимического состава плодов исследуемых объектов мы использовали метод двухфакторного дисперсионного анализа [1], результаты которого позволили установить достоверные и генотипические, и межсезонные различия (при $P < 0,01$) для всех анализируемых признаков у раннеспелых сортов *V. corymbosum* L. Лишь в единичных случаях (для параметров накопления в плодах бензойной кислоты) не было обнаружено достоверного влияния на их изменчивость гидротермического режима сезона, а для содержания в них магния – влияния генотипа. Совокупное же влияние обоих исследуемых факторов на изменчивость всех показателей биохимического состава плодов раннеспелых сортов голубики, за исключением параметров накопления магния, имело также достоверный характер при $P < 0,01$.

Аналогичная этой картина наблюдалась и в группе среднеспелых сортов данного вида растений сем. *Ericaceae*. Вместе с тем для содержания в плодах флавонолов межсезонные различия проявились лишь при $P < 0,05$, а влияние генотипа на изменчивость параметров накопления кальция и магния не проявилось вовсе. В последнем случае отсутствовало также достоверное влияние на изменчивость признака и совокупности исследуемых факторов. Что касается биохимического состава плодов позднеспелых сортов голубики, то для большинства анализируемых признаков были выявлены достоверные и генотипические, и межсезонные различия при $P < 0,01$. Однако для части показателей они оказались либо менее выразительными, либо не проявились вовсе. Так, генотипические различия по содержанию в плодах фруктозы и сахарозы имели достоверный характер лишь при $P < 0,05$, а по суммарному накоплению в них антоциановых пигментов, флавонолов, фосфора, кальция, магния, равно как и по величине соотношения моноз и дисахарида, они не проявились вовсе, что, на наш взгляд, обусловлено значительно меньшим, чем у ранне- и среднеспелых сортов голубики, объемом выборки для позднеспелых сортов. Наряду с этим у последних не были выявлены и достоверные межсезонные различия по содержанию в плодах сухих веществ. При этом совокупное влияние рассматриваемых факторов также оказалось недостоверным для данного признака, как и для ряда других – содержание в плодах глюкозы, сахарозы, сумма растворимых сахаров, дубильных веществ, калия, кальция, магния, тритерпеновых кислот, а также для соотношения моноз и дисахарида в углеводном пуле и флавонолов и катехинов в биофлавоноидном комплексе.

Для абсолютного большинства характеристик биохимического состава плодов двух других исследуемых видов сем. *Ericaceae* также были установлены весьма выразительные генотипические и межсезонные различия при $P < 0,01$. Исключением в этом плане явились лишь параметры накопления в плодах *V. vitis-idaea* L. фосфора и магния, отмеченные отсутствием достоверных сортовых различий. Аналогичная картина наблюдалась и в плодах *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers. для содержания в них азота, причем генотипические различия по содержанию магния были установлены лишь при $P < 0,05$. Наряду с этим у данного вида не было выявлено достоверного влияния гидротермического режима сезона на соотношение в углеводном пуле плодов моноз

и дисахарида. Что же касается совокупного влияния анализируемых факторов на изменчивость показателей биохимического состава плодов этих видов сем. *Ericaceae*, то оно оказалось недо-
стоверным лишь в единичном случае – для параметров накопления магния. При этом в плодах *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers. достоверное влияние совокупности обоих факторов на параметры накопления кальция установлено лишь при $P < 0,05$.

Нетрудно убедиться, что абсолютному большинству показателей биохимического состава плодов всех трех видов сем. *Ericaceae* при интродукции в условиях Беларуси присущ весьма высокий уровень генотипической изменчивости при существенной зависимости от гидротермического режима сезона, а также установлено выраженное влияние на них совокупности этих факторов.

На основании результатов дисперсионного анализа были определены доли влияния каждого фактора на изменчивость рассматриваемых признаков как дифференцированно, так и во взаимодействии. В большинстве случаев определяющая роль в этом процессе принадлежала абиотическим факторам, но в изменчивости целого ряда показателей главенствующее значение обретал генетический фактор. Наиболее наглядное представление об уровне приоритетности того или иного фактора в изменчивости количественных характеристик биохимического состава плодов исследуемых видов сем. *Ericaceae*, на наш взгляд, можно составить по величине соотношения долей влияния данных факторов, позволяющей сгруппировать анализируемые признаки по степени сходства указанного соотношения. Диапазон его изменений оказался чрезвычайно широким и охватывал область значений от 0,01 до 997. Разумеется, для признаков, характеризовавшихся значениями $< 1,0$, доминирующую роль в определении их изменчивости играл генотип, тогда как для признаков со значениями указанного соотношения $> 1,0$ – подобная роль переходила к абиотическим факторам. Вместе с тем широта диапазона изменений данного соотношения во втором случае позволяла в пределах его границ обозначить интервальные ряды с разной степенью влияния последних и выявить соответствие каждого анализируемого признака тому или иному ряду. В пределах указанного диапазона были выделены 5 интервальных рядов, соответствующие областям значений 0,1–1; 1,1–10; 10–50; 50–100 и > 100 (таблица). Оказалось, что приоритетное влияние генотипа на изменчивость анализируемых признаков в плодах исследуемых таксонов сем. *Ericaceae* установлено в 24,4 % случаев, при наибольшем их количестве у *V. vitis-idaea* L., а также у ранне- и среднеспелых сортов *V. corymbosum* L. и наименьшем у ее позднеспелых сортов, что, скорее всего, связано с крайне незначительным объемом выборки последних. В остальных же случаях имело место доминирование влияния на данный показатель абиотических факторов. При этом на вторую область значений условной градации, характеризующую превышением влияния последних над генетическим фактором в 1,1–10 раз, приходилось 43,1 % случаев, на третью область с аналогичным превышением в 10–50 раз – 20 % таковых и на четвертую и пятую области с подобным превышением в 50–100 и > 100 раз – соответственно лишь 5 и 7,5 % случаев, зафиксированных только у *V. corymbosum* L. и единично у *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers. Как видим, основная масса случаев проявления доминирующей роли метеорологических факторов в изменчивости показателей биохимического состава плодов исследуемых интродуцентов сосредоточена во второй области принятой градации при относительно равномерном их распределении между видами *Ericaceae*.

При этом главенствующая роль генетического фактора в определении параметров изменчивости у большинства исследуемых таксонов *V. corymbosum* L. установлена для содержания в плодах сухих веществ, свободных органических кислот, гидропектина, фенолкарбоновых и бензойной кислот. Наряду с этим, у раннеспелых сортов данного вида к таким показателям следует отнести суммарное содержание в плодах биофлавоноидов, лигнинов, фосфора и значения сахаро-кислотного индекса, у среднеспелых – содержание витамина С, протопектина и флавонолов, у позднеспелых – содержание в плодах лигнинов. У растений *V. vitis-idaea* L. аналогичный ряд показателей значительно шире и включает в себя содержание в плодах свободных органических кислот, глюкозы, протопектина, дубильных веществ, собственно антоцианов и лейкоантоцианов, азота, лигнинов и суммы биофлавоноидов. У растений *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers. набор подобных показателей, напротив, существенно меньше и включает в себя содержание в плодах витамина С, сахарозы, гидропектина, собственно антоцианов и фосфора.

**Распределение показателей биохимического состава плодов видов семейства *Ericaceae*
в соответствии с уровнем приоритетности влияния на их изменчивость абиотических факторов и генотипа**

Показатель	0,1–1,0					1,1–10					10–50					50–100					> 100				
	Ia	Iб	Iв	II	III	Ia	Iб	Iв	II	III	Ia	Iб	Iв	II	III	Ia	Iб	Iв	II	III	Ia	Iб	Iв	II	III
1	+	+	+						+	+															
2	+	+		+				+							+										
3		+			+	+		+	+																
4				+		+	+	+		+															
5														+	+						+	+	+		
6					+						+	+		+									+		
7									+						+	+	+	+							
8										+				+			+				+	+			
9					+						+			+			+						+		
10	+						+	+	+						+										
11	+	+			+				+									+							
12		+		+		+		+		+															
13		+		+		+				+			+												
14		+		+		+		+		+															
15				+		+	+	+		+															
16	+		+	+			+			+															
17						+	+	+	+	+															
18						+	+		+	+			+												
19				+	+	+	+						+												
20				+		+			+		+	+													
21				+		+			+		+												+		
22						+	+		+				+		+										
23		+				+			+									+							+
24						+	+		+						+			+							
25	+			+			+						+		+										
26	+	+						+	+						+										
27	+	+						+	+	+															
28				+		+	+	+							+										
29	+				+							+		+									+		
30											+	+	+	+	+										
31						+			+	+												+	+		
32						+	+		+	+			+												

Примечание. 1 – сухие вещества; 2 – свободные органические кислоты; 3 – аскорбиновая кислота; 4 – глюкоза; 5 – фруктоза; 6 – сахароза; 7 – сумма растворимых сахаров; 8 – фруктоза/глюкоза; 9 – монозы/дисахарид; 10 – сахаро-кислотный индекс; 11 – гидропектин; 12 – протопектин; 13 – сумма пектиновых веществ; 14 – протопектин/гидропектин; 15 – дубильные вещества; 16 – лигнины; 17 – жирные масла; 18 – тритерпеновые кислоты; 19 – антоцианы; 20 – лейкоантоцианы; 21 – сумма антоциановых пигментов; 22 – катехины; 23 – флавонолы; 24 – флавонолы/катехины; 25 – сумма биофлавоноидов; 26 – фенолкарбоновые кислоты; 27 – бензойная кислота; 28 – азот; 29 – фосфор; 30 – калий; 31 – кальций; 32 – магний. Ia – *V. corymbosum* L., раннеспелые сорта; Iб – *V. corymbosum* L., среднеспелые сорта; Iв – *V. corymbosum* L., позднеспелые сорта; II – *Vaccinium vitis-idaea* L.; III – *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers.

На наш взгляд, особый интерес в принятой градации представляет третья область весьма выразительного проявления доминирующей роли абиотических факторов в изменчивости параметров накопления полезных веществ в плодах всех исследуемых видов сем. *Ericaceae*. У раннеспелых сортов *V. corymbosum* L. к ней могут быть отнесены содержание в плодах сахарозы и калия, у среднеспелых – содержание сахарозы, лейкоантоцианов, фосфора и калия, у позднеспелых – содержание пектиновых веществ, собственно антоцианов, лейкоантоцианов, катехинов и биофлавоноидов в целом, тритерпеновых кислот, калия и магния. Весьма значительным набором показателей характеризуется данная область условной градации и у *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers. – содержание в плодах свободных органических кислот, фруктозы и растворимых сахаров, катехинов и биофлавоноидов, фенолкарбоновых кислот, азота и калия, а также значения сахаро-

кислотного индекса. Существенно меньшим набором показателей в данной области (содержание фруктозы, сахарозы, фосфора и калия) отмечены плоды *V. vitis-idaea* L.

Как было показано выше, у таксонов *V. corymbosum* L. и в единичном случае у таковых *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers. наблюдалось смещение соотношения долей влияния исследуемых факторов на изменчивость ряда показателей в четвертую и пятую области наиболее высоких значений в рамках принятой градации, свидетельствующих о чрезвычайно выраженном влиянии на нее абиотических факторов. В числе данных показателей у первого вида оказались содержание в плодах фруктозы и общее количество растворимых сахаров, а у его позднеспелых сортов – содержание сахарозы, гидропектина, антоциановых пигментов и, как и у *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers., флавонолов.

Обращает на себя внимание более выраженная, чем у данных видов *Ericaceae*, зависимость изменчивости анализируемых признаков от генотипа при меньшей ее зависимости от внешних воздействий у таксонов *V. vitis-idaea* L. На наш взгляд, это связано с участием в селекционном процессе данного вида его дикорастущих форм, отобранных на европейском континенте в лесных массивах Швеции, Финляндии, Голландии, Германии, Польши и других стран, близких Беларуси по характеру почвенно-климатических условий, тогда как *V. corymbosum* L. и *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers. являются выходцами североамериканского континента с существенно отличающимся набором природных факторов, что требует от данных видов большей мобилизации адаптационного потенциала в районе интродукции.

Заключение. Таким образом, в результате сравнительного исследования влияния биотического и абиотических факторов на изменчивость 32 количественных характеристик биохимического состава плодов 30 таксонов интродуцированных в Беларуси трех видов сем. *Ericaceae* (*V. corymbosum* L., *V. vitis-idaea* L. и *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers.) в многолетнем цикле наблюдений установлено преобладание влияния на нее генотипа в 24 %, внешних воздействий – в 76 % случаев, при частичном совпадении выявленных эффектов у исследуемых видов интродуцентов. Наиболее выраженная зависимость от генотипа у первого вида установлена для содержания в плодах сухих веществ, витамина С, пектиновых веществ, лигнинов, свободных органических, фенолкарбоновых и бензойной кислот, у второго – для содержания свободных органических кислот, глюкозы, пектиновых и дубильных веществ, лигнинов, азота, антоциановых пигментов и общего количества биофлавоноидов, у третьего вида – для содержания в плодах витамина С, сахарозы, гидропектина, собственно антоцианов и фосфора.

Наиболее выраженная устойчивость биохимического состава плодов к комплексному воздействию абиотических факторов установлена у *V. vitis-idaea* L., наименьшая – *V. corymbosum* L., в плодах которой наибольшей зависимостью от внешних воздействий отмечено содержание фруктозы и общее количество растворимых сахаров, а у его позднеспелых сортов – содержание сахарозы, гидропектина, антоциановых пигментов и, как и у *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers., – флавонолов.

Литература

1. З а й ц е в Г. Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., 1973.

RUPASOVA Zh. A., RESHETNIKOV V. N., VOLOTOVICH A. A., VASILEVSKAYA T. I.,
YAKOVLEV A. P., PINCHUKOVA Yu. M.

alyakovlev@tut.by

COMPARATIVE EVALUATION OF THE INFLUENCE OF BIOTIC AND ABIOTIC FACTORS ON THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF FRUITS OF THE STRANGE KIND FAMILY ERICACEAE INTRODUCED TO BELARUS

Summary

The results of relative research of the influence of biotic and abiotic factors on the variability of 32 quantitative characteristics of the biochemical composition of fruits of 30 taxon strange introduced to Belarus in 3 kinds family *Ericaceae*: *V. corymbosum* L., *V. vitis-idaea* L. and *Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers.) in the perennial cycle of observation are presented.