

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2024-1-185-196>
УДК 634.737:581.5:581.522.4(476)

Поступила в редакцию 06.05.2024
Received 06.05.2024

ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ПЛОДОВ ГОЛУБИКИ ВЫСОКОРОСЛОЙ (*Vaccinium Corymbosum* L.) В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

Ж. А. Рупасова, С. Н. Авраменко, К. А. Добрянская,
Д. О. Сулим, Н. Б. Павловский, О. В. Дрозд

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования в южной агроклиматической зоне Беларуси биохимического состава и уровней антиоксидантной и ферментативной активностей плодов шести новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой: раннеспелых Chanticleer и Hannah's Choice, среднеспелых Bluegold и Harrison, позднеспелых Aurora и Rubel, а также соответствующих данным группам спелости районированных сортов Weymouth, Bluecrop и Elliott. Выявлена существенная зависимость их биохимического состава, а также антиоксидантной и ферментативной активностей от генотипа растений. Установлено, что тестируемые раннеспелые сорта в 1,7 и 2,0 раза уступали сорту Weymouth по качеству плодов, а среднеспелые превосходили в этом плане эталонный сорт Bluecrop в 2,3 и 8,0 раза при наибольших различиях у сорта Bluegold, превосходившего сорт Harrison по качественному составу плодов в 3,5 раза, тогда как позднеспелый сорт Aurora в 2,5 раза отставал от сорта Elliott по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов, а сорт Rubel, напротив, превосходил его в этом плане в 4,5 раза при превышении данного показателя у сорта Aurora в 11,3 раза. В соответствующих таксономических группах обосновано лидирующее положение по качественному составу плодов сортам Weymouth, Bluegold и Rubel.

Установлено, что наиболее высокой антиоксидантной и ферментативной активностью плодов характеризовались позднеспелые сорта голубики – Elliott и особенно Rubel, тогда как наименьшей – среднеспелый сорт Bluecrop. Выявлено отставание обоих тестируемых раннеспелых сортов и позднеспелого Aurora от соответствующих районированных сортов по антиоксидантной, каталазной, пероксидазной и полифенолоксидазной активности плодов и превышение эталонного уровня данных показателей у обоих тестируемых среднеспелых сортов и позднеспелого сорта Rubel. Установлено полное совпадение сортовых рядов голубики высокорослой по изменению уровней антиоксидантной и ферментативной активности плодов, а также интегрального уровня их питательной и витаминной ценности по совокупности биохимических характеристик.

Ключевые слова: голубика высокорослая; сорта; плоды; биохимический состав; органические кислоты; углеводы; биофлавоноиды; антиоксидантная активность; ферменты; каталаза; пероксидаза; полифенолоксидаза.

Для цитирования. Рупасова Ж. А., Авраменко С. Н., Добрянская К. А., Сулим Д. О., Павловский Н. Б., Дрозд О. В. Генотипические особенности биохимического состава и антиоксидантного комплекса плодов голубики высокорослой (*Vaccinium Corymbosum* L.) в условиях Беларуси // Природопользование. – 2024. – № 1. – С. 185–196.

GENOTYPICAL FEATURES OF BIOCHEMICAL COMPOSITION AND ANTIOXIDANT COMPLEX OF FRUIT OF HIGH BLUEBERRY (*Vaccinium Corymbosum* L.) IN BELARUS CONDITIONS

Zh. A. Rupasova, S. N. Avramenko, K. A. Dobryanskaya,
D. O. Sulim, N. B. Pavlovsky, O. V. Drozd

Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The results of a comparative study in the southern agroclimatic zone of Belarus of the biochemical composition and levels of antioxidant and enzymatic activity of fruits of 6 new introduced varieties of highbush blueberries: early ripening Chanticleer and Hannah's Choice, mid-ripening Bluegold and Harrison, late ripening Aurora and Rubel, as well as those corresponding to these ripeness groups released varieties Weymouth, Bluecrop and Elliott. A significant dependence of their biochemical composition, as well as antioxidant and enzymatic activities on the plant genotype was revealed. It was found that the tested early-ripening varieties were 1.7 and 2.0 times inferior to the Weymouth variety in terms of fruit quality, and the mid-ripening varieties were 2.3 and 8.0 times superior to the standard Bluecrop variety in this

regard, with the greatest differences in the Bluegold variety, which was superior to the Harrison variety in the quality composition of the fruits by 3.5 times, while the late-ripening variety Aurora was 2.5 times behind the Elliott variety in terms of the integral level of nutritional and vitamin value of fruits, and the Rubel variety, on the contrary, surpassed it in this regard by 4.5 times, exceeding this indicator in varieties Aurora by 11.3 times. In the corresponding taxonomic groups, the leading position in the qualitative composition of fruits of the varieties Weymouth, Bluegold and Rubel is justified.

It was found that the highest antioxidant and enzymatic activity of fruits was characterized by late-ripening blueberry varieties – Elliott and especially Rubel, while the lowest – by the mid-ripening variety Bluecrop. It was revealed that both tested early-ripening varieties and the late-ripening Aurora lag behind the corresponding zoned varieties in terms of antioxidant, catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activity of fruits and that both tested mid-ripening varieties and the late-ripening Rubel variety exceeded the reference level of these indicators. A complete coincidence of highbush blueberry varietal series was established in terms of changes in the levels of antioxidant and enzymatic activity of the fruit, as well as the integral level of their nutritional and vitamin value based on the totality of biochemical characteristics.

Keywords: highbush blueberry; varieties; fruits; biochemical composition; organic acids; carbohydrates; bioflavonoids; antioxidant activity; enzymes; catalase; peroxidase; polyphenol oxidase.

For citation. Rupasova Zh. A., Avramenko S. N., Dobryanskaya K. A., Sulim D. O., Pavlovsky N. B., Drozd O. V. Genotypical features of biochemical composition and antioxidant complex of fruit of high blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) in Belarus conditions. *Nature Management*, 2024, no. 1, pp. 185–196.

Введение. Возросший в последние годы интерес отечественных и зарубежных исследователей к поиску природных источников биологически активных соединений с повышенной антиоксидантной активностью (АОА) обусловлен их способностью к ингибированию процессов окисления с образованием малоактивных радикалов, легко выводящихся из организма. По мнению ряда авторов [1, 2], одной из наиболее перспективных для использования в медицинской практике групп природных антиоксидантов являются растительные полифенолы, чрезвычайно активно накапливающиеся в плодах многих плодовых и ягодных культур [3]. Наиболее известными природными источниками этих соединений являются интродуцированные растения семейства Ericaceae, в том числе голубика высокорослая, клюква крупноплодная и брусника обыкновенная [4–6]. Значительный интерес к исследованию биохимического состава ягодной продукции обозначенных видов растений, и прежде всего их Р-витаминного комплекса, обусловлен в первую очередь присущей его компонентам и другим биологически активным соединениям высокой АОА.

Вместе с тем важнейшую роль в обеспечении защиты растительных клеток от кислородных интермедиантов играют ферменты, способные обезвреживать супероксидные радикалы и перекисные соединения в клетках. Одним из важнейших компонентов антиокислительной системы растений является каталаза (КАТ) – двухкомпонентный фермент, состоящий из белка и соединенной с ним простетической группы, содержащей гематин [7]. Оптимум действия данного фермента, катализирующего дисмутацию H_2O_2 до H_2O и O_2 , установлен при pH 6,5, тогда как в более кислых и щелочных средах его активность снижается. В окисленном состоянии КАТ может работать и как пероксидаза (ПО), ускоряя окисление спиртов или альдегидов [8]. Вместе с тем ее активность существенно ингибируется сенильной кислотой, сероводородом, фторидами и в наибольшей степени нитрат-ионом [9, 10]. Существенную роль в метаболизме растений играет фермент ПО, восстанавливающая, как и КАТ, перекись водорода до воды, причем она осуществляет это с участием органических восстановителей [8]. Данный фермент катализирует реакции окисления органических и неорганических соединений с использованием пероксида водорода или органических перекисей в качестве акцепторов электронов. К субстратам, окисляемым ПО, могут быть отнесены практически все фенолы (пирокатехин, пирогаллол, галловая кислота, бензидин, фенилендиамин, билирубин), ароматические амины (аланин, диметилаланин, паратоллуидин), йодистый водород, аскорбиновая кислота, нитриты и ряд других соединений [11]. Доказано участие ПО в окислительно-восстановительных процессах фотосинтеза и дыхания, энергетического и азотного обмена, в образовании ауксинов и этилена, в регуляции развития и органогенеза растительного организма [12]. Антиоксидантную защиту, связанную с детоксикацией пероксидов, осуществляют, главным образом, аскорбатпероксидаза, а также глутатион- и гваяколпероксидаза. Ингибиторами данного фермента являются вещества, способные образовывать с железом соединения, разрывающие хотя бы одну из связей в его гемпротеиновом комплексе, что делает невозможным доступ перекисей к железу и таким образом инактивирует его работу [13].

Наряду с ПО активную роль в фенольном метаболизме растений играет терминальная оксидаза – полифенолоксидаза (ПФО), катализирующая окисление различных фенольных соединений в семихиноны и хиноны с участием молекулярного кислорода, тогда как ПО осуществляет это с участием перекисей, преимущественно перекиси водорода [14]. Наличие нескольких ферментов, выполняющих одну и ту же каталитическую функцию, – весьма ценное свойство, расширяющее адаптационные возможности растений, что особенно важно для их жизнедеятельности как организмов, не имеющих стабильной внутренней среды [15].

В связи с интродукцией в условия Беларуси новых таксонов вересковых, плоды которых чрезвычайно богаты биологически активными соединениями, в том числе биофлавоноидами, возникла необходимость в исследовании их биохимического состава с оценкой уровня антиоксидантной и ферментативной активности. По данному вопросу наиболее известны работы Ж. А. Рупасовой с соавторами [6, 16]. Однако только в отдельных публикациях этого автора представлена информация по оценке уровня антиоксидантной и ферментативной активности плодов. В частности, исследовано влияние минеральных и биологических удобрений на данные показатели у растений клюквы крупноплодной и выявлены органические соединения, являющиеся основными источниками данной активности [5]. Подобная работа выполнена также при изучении влияния способа размножения ряда промышленных сортов голубики высокорослой на биохимический состав и антиоксидантные свойства ягодной продукции [17].

В последние годы коллекционный фонд Центрального ботанического сада НАН Беларуси пополнился шестью новыми интродуцируемыми сортами голубики высокорослой разных сроков созревания: из раннеспелых – Chanticleer, Hannah's Choice, среднеспелых – Bluegold, Harrison, позднеспелых – Aurora, Rubel, для комплексной оценки процесса адаптации которых к местным условиям в качестве эталонов сравнения использованы соответствующие районированные сорта – Weymouth, Bluecrop и Elliott. В связи с сортоизучением обозначенных таксонов данного вида особый научный и практический интерес в этой работе представляло сравнительное исследование в сортовом ряду биохимического состава, а также уровней АОА и основных ферментов окислительно-восстановительного цикла – КАТ, ПО и ПФО, что позволило выявить таксоны, обладающие наиболее высокими значениями данных показателей.

Материалы и методы исследования. Исследования выполнены в 2023 г. на экспериментальном участке отраслевой лаборатории интродукции и технологии нетрадиционных ягодных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси (Ганцевичский район Брестской области) на осушенной торфяно-болотной почве. Погодные условия в весенние месяцы характеризовались более высоким, чем обычно, температурным фоном при чрезвычайно остром дефиците влаги в мае, во время цветения растений, сопровождаемым значительными перепадами температуры воздуха, поскольку даже в июне отмечено снижение ее до отрицательных значений, тогда как вторая половина сезона характеризовалась жаркой погодой с обилием атмосферных осадков.

Исследование биохимического состава плодов опытных растений осуществляли по широкому спектру показателей, относящихся к разным классам действующих веществ. В период созревания плодов голубики в свежих усредненных пробах содержание сухих веществ определяли по ГОСТ 28561-90 [18]; аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом [19]; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [19]. В высушенных при температуре 60 °С пробах растительного материала определяли содержание гидроксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую) – спектрофотометрическим методом [20]; растворимых сахаров – ускоренным полумикрометодом [21]; пектиновых веществ – кальциево-пектатным методом [22]; суммы антоциановых пигментов – по методу T. Swain, W. E. Hillis [23], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [24]; собственно антоцианов и суммы катехинов (с использованием ванилинового реактива) – фотоэлектроколориметрическим методом [19, 25]; суммы флавонолов (в пересчете на рутин) – спектрофотометрическим методом [19]; дубильных веществ (танинов) – титриметрическим методом Левенталя [26]. АОА этанольных экстрактов из свежих плодов определяли с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (ДФПГ) [27, 28]. Активность окислительно-восстановительных ферментов определяли следующими методами: ПО – по методу А. Н. Бояркина [29]; ПФО – с пирокатехином по методу [30]; КАТ – по методу А. Н. Баха и А. И. Опарина [31].

Все аналитические определения выполнены в трехкратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Сравнительное исследование 14 количественных характеристик биохимического состава плодов исследуемых сортов голубики высокорослой выявило весьма широкие диапазоны их варьирования в таксономическом ряду, что свидетельствовало о существенном влиянии на них генотипа растений (табл. 1).

Как следует из табл. 2, все раннеспелые сорта голубики характеризовались более активным, чем у сорта Weymouth, накоплением в плодах сухих веществ, тогда как для среднеспелого Bluegold показано усиление их накопления по сравнению с сортом Bluecrop при отсутствии достоверных различий с ним у сорта Harrison. При этом у позднеспелого сорта Rubel наблюдалась положительная направленность подобных различий с сортом Elliott при максимальной степени их проявления. Превышение эталонных значений содержания в плодах титруемых кислот выявлено лишь у двух тестируемых таксонов голубики – раннеспелого Chanticleer и среднеспелого Bluegold, тогда как во всех остальных случаях наблюдалось отставание от районированных сортов по данному признаку.

Таблица 1. Диапазоны варьирования в общем таксономическом ряду *Vaccinium corymbosum* биохимических характеристик плодов (в сухом веществе)**Table 1. Ranges of variation in the general taxonomic series of *Vaccinium corymbosum* for the biochemical characteristics of fruits (in dry matter)**

Показатель	Диапазон значений	Показатель	Диапазон значений
Сухие вещества, %	10,6–16,3	Собственно антоцианы, мг/100 г	4080–9487
Свободные органические кислоты, %	4,4–9,3	Лейкоантоцианы, мг/100 г	1756–3992
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	243,2–466,2	Сумма антоциановых пигментов, мг/100 г	6474–13 000
Гидроксикоричные кислоты, мг/100 г	335,2–784,9	Катехины, мг/100 г	546–936
Растворимые сахара, %	39,7–52,3	Флавонолы, мг/100 г	1976–2503
Сахарокислотный индекс	4,8–10,9	Сумма биофлавоноидов, мг/100 г	9113–16 286
Пектиновые вещества, %	3,9–7,6	Дубильные вещества, %	1,02–3,10

Таблица 2. Относительные различия интродуцируемых сортов *Vaccinium corymbosum* с соответствующими срокам их созревания районированными сортами Weymouth, Bluecrop и Elliott по характеристикам биохимического состава плодов, %**Table 2. Relative differences between the introduced varieties of *Vaccinium corymbosum* and the zoned varieties Weymouth, Bluecrop and Elliott corresponding to their ripening dates according to the characteristics of the biochemical composition of the fruit, %**

Показатель	Раннеспелые сорта		Среднеспелые сорта		Позднеспелые сорта	
	Chanticleer	Hannah's Choice	Bluegold	Harrison	Aurora	Rubel
Сухие вещества	+30,2	+30,2	+8,9	–	–	+49,5
Свободные органические кислоты	+17,3	–15,4	+27,5	–33,3	–8,6	–17,2
Аскорбиновая кислота	–40,5	–43,5	–14,6	+20,1	–14,3	–44,2
Гидроксикоричные кислоты	–36,6	–17,1	+13,6	–37,5	+25,2	+9,4
Растворимые сахара	+6,4	+12,6	+5,8	+23,4	–5,4	+4,6
Сахарокислотный индекс	–9,9	+34,6	–17,2	+82,8	–	+25,9
Пектиновые вещества	+3,7	–6,4	+15,6	–	–32,7	+32,5
Собственно антоцианы	–27,5	–35,1	+52,0	+22,9	–15,5	+6,8
Лейкоантоцианы	+43,3	+14,2	+66,8	+16,4	–21,0	+58,1
Сумма антоциановых пигментов	–11,9	–24,2	+57,4	+20,5	–16,6	+17,1
Катехины	+4,7	–	+11,8	–	–5,3	+26,3
Флавонолы	–9,2	–12,0	+21,5	–	+11,4	+4,5
Сумма биофлавоноидов	–10,6	–21,0	+46,3	+14,7	–11,6	+15,6
Дубильные вещества	–25,0	–29,2	–9,1	–16,8	+17,1	+23,0

Примечание: прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с соответствующими стандартными сортами при $p < 0,05$.

Вместе с тем все тестируемые объекты, за исключением среднеспелого сорта Harrison, отмечены на 14–44 % меньшим, чем у соответствующих стандартных сортов, содержанием аскорбиновой кислоты. Заметим, что если оба новых раннеспелых сорта характеризовались меньшим, чем у сорта Weymouth, накоплением в плодах гидроксикоричных кислот, то позднеспелые сорта, напротив, превосходили сорт Elliott в их содержании при разноориентированных различиях в этом плане среднеспелых сортов с сортом Bluecrop. При этом наблюдалось выраженное в разной степени обогащение плодов всех тестируемых таксонов голубики, за исключением позднеспелого Aurora, растворимыми сахарами на 5–23 % по сравнению с эталонными объектами, причем из-за различий темпов биосинтеза данных углеводов и титруемых кислот, показатель сахарокислотного индекса у сортов Chanticleer и Bluegold оказался ниже, чем у эталонных объектов, на 10 и 17 % соответственно, тогда как у сортов Hannah's Choice, Harrison и Rubel, он был, напротив, выше на 26–83 % при отсутствии достоверных различий у сорта Aurora (см. табл. 2). Для параметров накопления в плодах пектиновых веществ установлено превышение эталонных значений у сортов Chanticleer, Bluegold, Rubel и отставание от них у сортов Aurora, Hannah's Choice при отсутствии значимых различий у сорта Harrison. Что касается дубильных веществ, то среди тестируемых таксонов голубики более активным их накоплением по сравнению с эталонными объектами характеризовались позднеспелые сорта, особенно Rubel, тогда как для раннеспелых и среднеспелых сортов, напротив, показано отставание от них на 9–29 %.

Заметим, что для обоих тестируемых раннеспелых сортов и позднеспелого Aurora выявлено отставание от стандартных сортов по содержанию в плодах собственно антоцианов при более активном их накоплении у обоих среднеспелых сортов и позднеспелого Rubel. Это обусловило наличие подобных тенденций в характере различий тестируемых и эталонных объектов по суммарному количеству антоциановых пигментов. Обращает на себя внимание отсутствие достоверных различий сортов Hannah's Choice и Harrison с соответствующими стандартными сортами в содержании в плодах катехинов при более активном, чем у них, накоплении данных соединений у сортов Chanticleer, Bluegold и Rubel. В характере различий тестируемых таксонов голубики с эталонными объектами по содержанию в плодах флавонолов выявлено заметное сходство с таковым по содержанию гидроксикоричных кислот: отставание у раннеспелых сортов и превышение у позднеспелых при неоднозначных расхождениях у среднеспелых сортов. При этом в ориентации различий новых интродуцируемых таксонов с соответствующими эталонными объектами в общем содержании в плодах биофлавоноидов нашли отражение закономерности, аналогичные установленным для собственно антоцианов как доминирующего компонента Р-витаминного комплекса плодов данного вида. Так, более значительным (на 15–46 %), чем у соответствующих районированных сортов, общим накоплением этих ценных биологически активных соединений характеризовались оба тестируемых среднеспелых сорта, особенно Bluegold, а также позднеспелый Rubel, тогда как менее значительным (на 11–21 %) – оба раннеспелых сорта, особенно Hannah's Choice, и позднеспелый Aurora (см. табл. 2).

На основании результатов биохимического скрининга исследуемых сортов *V. corymbosum* выявлены объекты с наибольшими и, соответственно, наименьшими показателями качественного состава ягодной продукции в пределах соответствующих сортовых групп (табл. 3).

Таблица 3. Сорта *Vaccinium corymbosum* с наибольшими (max) и наименьшими (min) в пределах сортовых групп характеристиками биохимического состава плодов в годы исследований

Table 3. *Vaccinium corymbosum* varieties with the highest (max) and lowest (min) characteristics of the biochemical composition of fruits within the varietal groups during the years of research

Показатель	Раннеспелые сорта			Среднеспелые сорта			Позднеспелые сорта		
	Weymouth (st)	Chanticleer	Hannah's Choice	Bluecrop (st)	Bluegold	Harrison	Elliott (st)	Aurora	Rubel
Сухие вещества	min	max	max	min	max	min	min	min	max
Свободные органические кислоты	–	max	min	–	max	min	max	–	min
Аскорбиновая кислота	max	min	min	–	min	max	max	–	min
Гидроксикоричные кислоты	max	min	–	–	max	min	min	max	–
Растворимые сахара	min	–	max	min	–	max	–	min	max
Сахарокислотный индекс	–	min	max	–	min	max	min	min	max
Пектиновые вещества	–	max	min	min	max	min	–	min	max
Собственно антоцианы	max	–	min	min	max	–	–	min	max
Лейкоантоцианы	min	max	–	min	max	–	–	min	max
Сумма антоциановых пигментов	max	–	min	min	max	–	–	min	max
Катехины	min	max	min	min	max	min	–	min	max
Флавонолы	max	–	min	min	max	min	min	max	–
Сумма биофлавоноидов	max	–	min	min	max	–	–	min	max
Дубильные вещества	max	–	min	max	–	min	min	–	max

Оказалось, что в таксономическом ряду раннеспелых сортов районированный сорт Weymouth характеризовался наибольшим содержанием в плодах гидроксикоричных кислот, флавонолов, аскорбиновой кислоты, собственно антоцианов, антоциановых пигментов и биофлавоноидов в целом при наименьшем накоплении сухих веществ, растворимых сахаров, лейкоантоцианов и близких им по химической природе катехинов. Для сорта Chanticleer показано максимальное накопление в плодах сухих и пектиновых веществ, титруемых кислот, лейкоантоцианов и катехинов при минимальном содержании аскорбиновой и гидроксикоричных кислот и наименьшем значении сахарокислотного индекса. При этом сорт Hannah's Choice отмечен столь же высоким, как и у предыдущего таксона, содержанием в плодах сухих веществ, но в отличие от него, обнаружил наибольшее содержание растворимых сахаров при наиболее высоком показателе сахарокислотного индекса и минимальном количестве пектиновых веществ, свободных органических и аскорбиновой кислот и практически всех основных компонентов биофлавоноидного комплекса.

В таксономическом ряду среднеспелых сортов голубики районированный сорт Bluecrop характеризовался наиболее обедненным биохимическим составом плодов, поскольку при максимальном накоплении в них только дубильных веществ был отмечен наименьшим содержанием сухих и пектиновых веществ, растворимых сахаров и всех без исключения компонентов Р-витаминного комплекса.

В отличие от данного таксона, у сорта Bluegold, напротив, выявлены лидирующие позиции не только в накоплении последних, но также сухих и пектиновых веществ, титруемых и гидроксикоричных кислот при минимальном содержании лишь аскорбиновой кислоты и наименьшем значении сахарокислотного индекса. Сорт Harrison характеризовался наиболее высоким среди среднеспелых сортов накоплением в плодах аскорбиновой кислоты и растворимых сахаров при наибольшей величине сахарокислотного индекса и минимальном содержании свободных органических и гидроксикоричных кислот, пектиновых веществ, катехинов и флавонолов (см. табл. 3).

Среди позднеспелых сортов голубики районированный сорт Elliott обнаружил максимальное накопление в плодах свободных органических и аскорбиновой кислот при минимальном количестве сухих и дубильных веществ, гидроксикоричных кислот, флавонолов и наименьшем значении сахарокислотного индекса. При этом тестируемые позднеспелые сорта Aurora и Rubel характеризовались в основном минимальными в первом случае и максимальными во втором биохимическими показателями, указывавшими на разную степень их насыщенности биологически активными соединениями. Представленные в табл. 4 данные, полученные на основании табл. 2 и характеризовавшие направленность и степень выразительности сдвигов в биохимическом составе плодов новых интродуцируемых таксонов голубики высокорослой относительно соответствующих им районированных сортов, показали наличие заметных генотипических различий в направленности и величине вышеуказанных сдвигов.

Таблица 4. Относительные размеры, амплитуды и соотношения разноориентированных различий в биохимическом составе плодов новых интродуцированных сортов *Vaccinium corymbosum* с районированными сортами Weymouth, Bluecrop и Elliott, %

Table 4. Relative sizes, amplitudes and ratios of differently oriented differences in the biochemical composition of fruits of new introduced varieties of *Vaccinium corymbosum* with zoned varieties Weymouth, Bluecrop and Elliott, %

Сорт	Относительные различия, %			
	положительные	отрицательные	амплитуда	соотношение положительных/отрицательных
Chanticleer	105,6	171,2	276,8	0,6
Hannah's Choice	91,6	203,9	295,5	0,5
Bluegold	327,2	40,9	368,1	8,0
Harrison	200,8	87,6	288,4	2,3
Aurora	53,7	131,0	184,7	0,4
Rubel	273,3	61,4	334,7	4,5

С целью проведения ранжирования тестируемых объектов по данному признаку был использован методический прием, основанный на сопоставлении у них относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных положительных и отрицательных отклонений от эталонных значений биохимических характеристик плодов [32]. По величине суммарной амплитуды выявленных отклонений, независимо от их знака, можно судить о выразительности различий каждого тестируемого таксона с эталонным сортом по совокупности всех анализируемых признаков, что позволяло судить о степени влияния генотипа растений на биохимический состав плодов. Соотношение же относительных размеров совокупностей положительных и отрицательных различий с ним являлось оценочным критерием степени преимуществ каждого тестируемого объекта относительно районированного и других сравниваемых с ним сортов голубики в биохимическом составе плодов в целом. При этом амплитуда относительных размеров выявленных различий тестируемых раннеспелых сортов голубики со стандартным сортом Weymouth по совокупности анализируемых признаков, независимо от их ориентации, варьировалась в диапазоне 276,8–295,5 % при наибольшей величине у сорта Hannah's Choice. У обоих среднеспелых сортов аналогичная амплитуда различий со стандартным сортом Bluecrop соответствовала области значений 288,4–368,1 % при наибольшей величине у сорта Bluegold, тогда как в группе позднеспелых сортов относительные различия со стандартным сортом Elliott по совокупности 14 биохимических характеристик составляли 184,7–334,7 % при наибольшей величине у сорта Rubel.

Вместе с тем в пределах обозначенных сортовых групп данный признак не мог служить критерием преимуществ каждого тестируемого объекта относительно других в содержании в плодах действующих веществ, поскольку указывал лишь на размах выявленных расхождений с соответствующими стандартными сортами в ту и другую сторону. Наиболее же объективное представление в этом плане мог дать кратный размер соотношения относительных величин совокупностей положительных и отрицательных различий с ними в биохимическом составе плодов, дающий представление о степени генотипических различий по интегральному уровню питательной и витаминной ценности последних. Если условно принять за единицу данный показатель у стандартных сортов голубики, принятых за эталоны сравнения, то оба тестируемых раннеспелых сорта примерно в равной степени (в 1,7 и 2,0 раза) уступали сорту Weymouth по качеству плодов. При этом оба среднеспелых сорта превосходили в этом

плане эталонный сорт Bluecrop в 2,3 и 8,0 раза при наибольших различиях у сорта Bluegold, превосходящего сорт Harrison по качественному составу плодов в 3,5 раза. В группе позднеспелых сортов голубики сорт Augusto значительно (в 2,5 раза) отставал от районированного сорта Elliott по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов, тогда как сорт Rubel, напротив, превосходил его в этом плане в 4,5 раза при превышении данного показателя у сорта Augusto в 11,3 раза.

Таким образом, на основании сравнительного исследования биохимического состава плодов новых интродуцируемых и соответствующих им по срокам созревания районированных сортов голубики высокорослой по 14 показателям лидирующее положение по интегральному уровню их питательной и витаминной ценности среди раннеспелых сортов принадлежало районированному сорту Weymouth, среди среднеспелых – сорту Bluegold, среди позднеспелых – сорту Rubel.

Логично предположить, что при столь существенных генотипических различиях биохимического состава плодов в сортовых рядах голубики высокорослой должны проявиться не менее выразительные различия уровней их антиоксидантной и ферментативной активности. В пользу данного предположения свидетельствуют результаты аналогичных исследований Ж. А. Рупасовой с соавторами [33, 17] плодов клюквы крупноплодной и голубики высокорослой, показавшие отчетливую зависимость антиоксидантного комплекса плодов от генотипа растений. По нашим оценкам, приведенным в табл. 5, общий уровень АОА этанольных экстрактов из плодов сортов голубики с разными сроками созревания, выраженный в мкмоль экв. тролокса / г сухого вещества, варьировался при 10- и 30-минутной экспозициях в весьма широких, но вместе с тем довольно близких диапазонах значений, в первом случае составивших 50,2–110,7, во втором случае – 52,0–116,5.

Таблица 5. Антиоксидантная активность этанольных экстрактов из плодов сортов *Vaccinium corymbosum* в опытной культуре, мкмоль экв. тролокса/г сухого вещества

Table 5. Antioxidant activity of ethanol extracts from fruits of *Vaccinium corymbosum* varieties in an experimental culture, μmol trolox equiv/g dry matter

Сорт	АОА (ДФПГ) через 10 мин		АОА (ДФПГ) через 30 мин	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>
Weymouth (st)	90,6 ± 0,2	–	91,9 ± 0,7	–
Chanticleer	80,7 ± 0,3	–27,4*	83,1 ± 0,9	–7,8*
Hannah's Choice	72,6 ± 0,4	–44,0*	74,5 ± 0,5	–21,3*
Bluecrop (st)	50,2 ± 0,1	–	52,0 ± 0,2	–
Bluegold	91,2 ± 0,2	260,1*	92,8 ± 0,2	156,6*
Harrison	70,4 ± 0,2	106,4*	72,7 ± 0,3	57,1*
Elliott (st)	101,4 ± 0,3	–	108,4 ± 0,7	–
Aurora	83,0 ± 0,6	–27,3*	85,5 ± 0,1	–31,2*
Rubel	110,7 ± 0,3	24,4*	116,5 ± 0,6	8,6*

*Статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия со стандартным сортом при $p < 0,05$.

Примечание: полужирным шрифтом выделены районированные сорта, используемые в качестве контроля.

Представляется вполне объяснимым соответствие уровня АОА при 30-минутной экспозиции области хотя и незначительно, но все же более высоких, нежели при 10-минутной экспозиции, значений, поскольку соединения, обладающие активностью, в процессе взаимодействия с катион-радикалами при менее продолжительной экспозиции обеспечивали хотя и основной, но все же неполный вклад в формирование антиоксидантных свойств ягодной продукции голубики, тогда как на последующей замедленной стадии, скорее всего, протекала реакция с катион-радикалами продуктов окисления биологически активных соединений, образовавшихся на начальной стадии данного процесса. Заметим, что подобная закономерность была обнаружена ранее в аналогичных исследованиях А. М. Макаревич и В. Н. Решетникова [33], а также Ж. А. Рупасовой с соавторами [17].

Вместе с тем значительная ширина приведенных диапазонов варьирования уровня АОА в сортовом ряду голубики высокорослой косвенно свидетельствовала о существенной зависимости данного показателя от генотипа растений, причем наиболее высоким уровнем АОА плодов при обеих экспозициях характеризовались позднеспелые сорта – районированный Elliott и особенно интродуцируемый Rubel, занимавшие лидирующее положение в общем таксономическом ряду по богатству биохимического состава, тогда как наименьшим уровнем АОА был отмечен среднеспелый районированный сорт Bluecrop.

Результаты определения активности основных окислительно-восстановительных ферментов в сухом веществе плодов голубики высокорослой (табл. 6), показали, что значения исследуемых показателей варьировались в общем сортовом ряду в следующих диапазонах значений: для КАТ – 5,2–13,5 мкмоль H_2O_2 /(г·мин), ПО – 1,2–10,0 ед. опт. плотн/(г·мин), ПФО – 78,5–203,9 ед. опт. плотн/(г·мин).

Нетрудно убедиться, что наиболее высоким уровнем активности всех ферментов окислительно-восстановительного цикла, как и АОА, характеризовались позднеспелые сорта – районированный Elliott и особенно интродуцируемый Rubel, а самым низким – среднеспелый районированный сорт Bluecrop. Как видим, и антиоксидантная, и ферментативная активность плодов голубики высокорослой, как и их биохимический состав, в значительной мере определялись генотипом растений, о степени влияния которого на исследуемые характеристики антиоксидантного комплекса можно судить по данным табл. 7.

Таблица 6. Активность окислительно-восстановительных ферментов в плодах сортов *Vaccinium corymbosum* в опытной культуре (в сухом веществе)

Table 6. Activity of redox enzymes in fruits of *Vaccinium corymbosum* varieties in an experimental culture (in dry matter)

Сорт	Активность КАТ, мкмоль H ₂ O ₂ /(г·мин)		Активность ПО, ед. опт. плотн./ (г·мин)		Активность ПФО, ед. опт. плотн./ (г·мин)	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>
Weymouth (st)	7,2 ± 0,1	–	3,2 ± 0,1	–	100,5 ± 0,1	–
Chanticleer	6,8 ± 0,1	–3,0*	2,9 ± 0,1	–2,8*	96,7 ± 0,3	–12,7*
Hannah's Choice	5,7 ± 0,1	–15,7*	2,6 ± 0,1	–6,3*	80,1 ± 0,3	–64,7*
Bluecrop (st)	5,2 ± 0,1	–	1,2 ± 0,1	–	78,5 ± 0,3	–
Bluegold	8,2 ± 0,1	74,5*	4,4 ± 0,1	26,3*	197,6 ± 0,6	180,4*
Harrison	7,0 ± 0,1	23,1*	1,4 ± 0,1	4,9*	95,6 ± 0,2	49,4*
Elliott (st)	12,7 ± 0,1	–	9,8 ± 0,1	–	198,6 ± 0,2	–
Aurora	8,4 ± 0,2	–20,3*	9,3 ± 0,1	–4,9*	98,2 ± 0,5	–179,7*
Rubel	13,5 ± 0,1	10,6*	10,0 ± 0,2	0,8	203,9 ± 1,3	4,1*

*Статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия со стандартным сортом при $p < 0,05$.

Примечание: полужирным шрифтом выделены районированные сорта, используемые в качестве контроля.

Таблица 7. Относительные различия новых интродуцируемых сортов *Vaccinium corymbosum* с соответствующими срокам их созревания районированными сортами Weymouth, Bluecrop и Elliott по характеристикам антиоксидантного комплекса плодов (в сухом веществе), %

Table 7. Relative differences between the new introduced varieties of *Vaccinium corymbosum* with the zoned varieties Weymouth, Bluecrop and Elliott corresponding to their ripening dates in terms of the characteristics of the antioxidant complex of fruits (in dry matter), %

Показатель	Раннеспелые сорта		Среднеспелые сорта		Позднеспелые сорта	
	Chanticleer	Hannah's Choice	Bluegold	Harrison	Aurora	Rubel
АОА (ДФПГ) через 10 мин	–10,9	–19,9	+81,7	+40,2	–18,1	+9,2
АОА (ДФПГ) через 30 мин	–9,6	–18,9	+78,4	+39,8	–21,1	+7,5
Активность КАТ	–5,6	–20,8	+57,7	+34,6	–33,9	+6,3
Активность ПО	–9,4	–18,8	+266,7	+16,7	–5,1	–
Активность ПФО	–3,8	–20,3	+151,7	+21,8	–50,6	+2,7
Совокупный эффект	–28,4	–78,8	+554,5	+112,9	–110,7	+16,5

Примечание: прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий со стандартным сортом при $p < 0,05$.

Оказалось, что оба интродуцируемых раннеспелых сорта голубики уступали районированному сорту Weymouth по уровню АОА на 10–19 % при наиболее выраженных различиях у сорта Hannah's Choice, что согласуется с показанным выше их отставанием от него и по богатству биохимического состава плодов в целом (см. табл. 4). В значительной степени это объясняет и менее высокий, чем у эталонного объекта, уровень их ферментативной активности. Наиболее существенными, причем практически сопоставимыми друг с другом у всех исследуемых ферментов, данные различия в пределах 19–21 % отмечены также у сорта Hannah's Choice, тогда как у сорта Chanticleer они не превышали 4–10 % при наибольшем отставании по уровню активности ПО.

В отличие от раннеспелых, для обоих тестируемых среднеспелых сортов голубики показано существенное превышение эталонного уровня АОА, составившее 40–80 %, наибольшее у сорта Bluegold, характеризовавшегося более значительным, чем у сорта Harrison, размером превышения эталонного уровня питательной и витаминной ценности плодов (см. табл. 4), в чем, как и в предыдущем случае, прослеживалась явная корреляция с их антиоксидантными свойствами. В этой связи

вполне закономерным представляется у них и более высокий, чем у сорта Bluecrop, уровень активности ферментов окислительно-восстановительного цикла. Наиболее выразительными (в пределах 58–267 %) данные различия – максимальные по активности ПО и минимальные по таковой КАТ – были у сорта Bluegold, тогда как у сорта Harrison они оказались существенно меньшими и варьировались в диапазоне 17–35 % при противоположной картине соответствия активности данных ферментов крайним значениям (см. табл. 7).

Что касается тестируемых позднеспелых сортов голубики, то в характере их различий с районированным сортом Elliott по уровню АОА выявлены неоднозначные тенденции. Так, если для сорта Augora показано отставание от него на 21 %, то для сорта Rubel, напротив, превышение на 8 %, в чем, как и в двух предыдущих случаях, прослеживалась отчетливая корреляция с подобными различиями по богатству биохимического состава плодов сравниваемых объектов (см. табл. 4). Более низкий, чем у районированного сорта, уровень АОА в плодах первого таксона обусловлен заметным ослаблением по сравнению с ним их ферментативной активности на 5–51 %, наиболее значительным у ПФО и наименьшим у ПО, тогда как для сорта Rubel, характеризовавшегося наиболее высоким в данной сортовой группе интегральным уровнем питательной и витаминной ценности ягодной продукции, показано хотя и незначительное, но все же достоверное превышение эталонного уровня активности КАТ и ПФО на 6 и 3 % соответственно при сопоставимости с ним пероксидазной активности (см. табл. 7).

Как видим, в исследуемых таксономических рядах голубики высокорослой весьма отчетливо проявились выраженные в разной степени различия с соответствующими районированными сортами по исследуемым характеристикам антиоксидантного комплекса плодов, что указывает на их выраженную сортоспецифичность. На наш взгляд, для оценки влияния генотипа растений на общую величину выявленных различий, представлялось целесообразным для каждого тестируемого таксона произвести суммирование расхождений с эталонными объектами по всем исследуемым показателям, с учетом их знака. При этом вклад АОА в этот суммарный показатель оценивался по результатам 30-минутной продолжительности реакции. Оказалось, что общая величина данных расхождений позволила расположить исследуемые сорта голубики в порядке снижения антирадикальных свойств плодов в следующих последовательностях:

- раннеспелые сорта – Weymouth > Chanticleer > Hannah's Choice;
- среднеспелые сорта – Bluegold > Harrison > Bluecrop;
- позднеспелые сорта – Rubel > Elliott > Aurora.

Нетрудно убедиться в полном совпадении приведенной последовательности с аналогичной последовательностью при оценке сортовых различий по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов голубики, что косвенно указывает на высокую корреляционную связь их антиоксидантных свойств с показанным выше высоким содержанием в них биологически активных соединений разной химической природы.

Заключение. В результате сравнительного исследования в южной агроклиматической зоне Беларуси биохимического состава и уровней антиоксидантной и ферментативной активностей плодов шести новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой: раннеспелых Chanticleer и Hannah's Choice, среднеспелых Bluegold и Harrison, позднеспелых Aurora и Rubel, а также соответствующих данным группам спелости районированных сортов Weymouth, Bluecrop и Elliott.

Выявлена существенная зависимость их биохимического состава, а также антиоксидантной и ферментативной активностей от генотипа растений. Установлено, что тестируемые раннеспелые сорта в 1,7 и 2,0 раза уступали сорту Weymouth по качеству плодов, а среднеспелые превосходили в этом плане эталонный сорт Bluecrop в 2,3 и 8,0 раза при наибольших различиях у сорта Bluegold, превосходившего сорт Harrison по качественному составу плодов в 3,5 раза, тогда как позднеспелый сорт Aurora в 2,5 раза отставал от сорта Elliott по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов, а сорт Rubel, напротив, превосходил его в этом плане в 4,5 раза при превышении данного показателя у сорта Augora в 11,3 раза. В соответствующих таксономических группах обосновано лидирующее положение по качественному составу плодов сортам Weymouth, Bluegold и Rubel.

Установлено, что наиболее высокой антиоксидантной и ферментативной активностью плодов характеризовались позднеспелые сорта голубики – Elliott и особенно Rubel, тогда как наименьшей – среднеспелый сорт Bluecrop. Выявлено отставание обоих тестируемых раннеспелых сортов и позднеспелого Augora от соответствующих районированных сортов по антиоксидантной, каталазной, пероксидазной и полифенолоксидазной активности плодов, а также превышение эталонного уровня данных показателей у обоих тестируемых среднеспелых сортов и позднеспелого сорта Rubel. Установлено полное совпадение сортовых рядов голубики высокорослой по изменению уровней антиоксидантной и ферментативной активности плодов, а также интегрального уровня их питательной и витаминной ценности по совокупности биохимических характеристик.

Список использованных источников

1. Прида, А. И. Природные антиоксиданты полифенольной природы (антирадикальные свойства и перспективы использования) / А. И. Прида, Р. И. Иванова // Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки. – 2004. – № 2. – С. 76–78.
2. Влияние водных извлечений из лекарственных растений на процессы свободно-радикального окисления / М. А. Рыжикова [и др.] // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 1999. – Т. 62, № 2. – С. 36–38.
3. Карабанов, И. А. Флавоноиды в мире растений / И. А. Карабанов. – Минск : Ураджай, 1981. – 80 с.
4. Голубика высокорослая. Оценка адаптационного потенциала при интродукции в условиях Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.] ; под ред. В. И. Парфенова. – Минск : Беларуская навука, 2007. – 442 с.
5. Возделывание голубики на торфяных выработках Припятского Полесья: (физиолого-биохимические аспекты развития) / Ж. А. Рупасова [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2016. – 242 с.
6. Клюква крупноплодная в Беларуси / Е. А. Сидорович [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1987. – 238 с.
7. Келети, Т. Основы ферментативной кинетики / Т. Келети. – М. : Мир, 1990. – 348 с.
8. Меньщикова, Е. Б. Антиоксиданты и ингибиторы радикальных окислительных процессов / Е. Б. Меньщикова, Н. К. Зенков // Успехи совр. биологии. – 1993. – Т. 113, № 4. – С. 442–455.
9. Иванов, Б. Н. Восстановление кислорода в хлоропластах и аскорбатный цикл / Б. Н. Иванов // Биохимия. – 1998. – Т. 63, № 2. – С. 165–170.
10. Кретович, В. Л. Биохимия растений / В. Л. Кретович. – М. : Высшая школа, 1986. – 503 с.
11. Рубин, Б. А. Об изоферментах пероксидазы в клубнях картофеля / Б. А. Рубин, Е. В. Будилова // Доклады АН СССР. – 1970. – Т. 190, № 3. – 722 с.
12. Андреева, В. А. Фермент пероксидаза. Участие в защитном механизме растений / В. А. Андреева. – М. : Наука, 1988. – 129 с.
13. Диксон, М. Ферменты / М. Диксон, Э. Уэбб. – М. : Мир, 1988. – 515 с.
14. Медведев, С. С. Физиология растений : учеб. / С. С. Медведев. – СПб. : Изд-во С.-Петербур. ун-та. – 2004. – 336 с.
15. Моргун, В. В. Экофизиологические и генетические аспекты адаптации культурных растений к глобальным изменениям климата / В. В. Моргун, Д. А. Киризий, Т. М. Шадчина // Физиология и биохимия культурных растений. – 2010. – Т. 42, № 1. – С. 3–23.
16. Формирование биохимического состава плодов видов семейства *Ericaceae* (Вересковые) при интродукции в условиях Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.] ; под ред. акад. В. И. Парфенова. – Минск : Беларуская навука, 2011. – 307 с.
17. Физиолого-биохимические основы применения микроклонального способа размножения голубики высокорослой для получения оздоровленного посадочного материала Ж. А. Рупасова [и др.] ; под ред. акад. В. Н. Решетникова. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 185 с.
18. Методы определения сухих веществ или влаги : ГОСТ 28561-90. – Введ. 01.07.1991. – М. : Стандартиформ, 1991. – 11 с.
19. Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 430 с.
20. Марсов, Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники / Н. Г. Марсов : дис. ... канд. фарм. наук. – Пермь, 2006. – С. 99–101.
21. Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы : учеб. пособие / сост. М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова ; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. – 148 с.
22. Технохимический контроль консервного производства / А. Т. Марх [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1989. – 304 с.
23. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus Domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. Hillis // J. Sci. Food Agric. – 1959. – Vol. 10, № 1. – P. 63–68. doi:10.1002/JSFA.2740100110
24. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э. А. Шафтан // Тр. 3-го Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. – Свердловск, 1968. – С. 451–461.
25. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной / В. Ю. Андреев [и др.] // Фармация. – 2013. – № 3. – С. 19–21.
26. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Государственная фармакопея СССР. – М. : Медицина, 1987. – Вып. 1 : Общие методы анализа. – С. 286–287.
27. Антиоксидантная активность белков отдельных видов дикорастущих растений Беларуси и Монголии / В. И. Домаш [и др.] // Ботаника (исследования) : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперимент. бот. – Минск, 2017. – Вып. 46. – С. 190–200.
28. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx (Roxb.) Merr and Perry buds* / Nguyen Thi Dung [et al.] // Food and chemical toxicology. – 2008. – Vol. 46, № 12. – P. 3632–3639. doi:10.1016/j.fct.2008.09.013
29. Физиологические и биохимические методы анализа растений : практикум / Калинингр. гос. ун-т ; авт.-сост. Г. Н. Чупахина. – Калининград : Калинингр. гос. ун-т, 2000. – 59 с.
30. Кинетические, биохимические и биологические методы анализа : методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине специализации «Кинетические, биохимические и биологические методы анализа» для студентов специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» / Курганский гос. ун-т, каф. «Физическая и прикладная химия» ; сост. Л. В. Мостальгина. – Курган, 2016. – 30 с.
31. Большой практикум по биоэкологии : учеб. пособие / О. Л. Воскресенская [и др.]. – Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т. – 2006. – Ч. 1. – 107 с.
32. Способ ранжирования таксонов растения : пат. ВУ 17648 / Ж. А. Рупасова, В. Н. Решетников, А. П. Яковлев. – Опубл. 30.10.13.
33. Макаревич, А. М. Антиоксидантная активность плодов *Vaccinium corymbosum* L. и *Vaccinium uliginosum* L. / А. М. Макаревич, В. Н. Решетников // Доклады НАН Беларуси. – 2011. – Т. 55, № 5. – С. 76–80.

References

1. Prida A. I., Ivanova R. I. *Prirodnye antioksidanty polifenolnoj prirody (antiradikal'nye svoystva i perspektivy ispol'zovaniya)* [Natural antioxidants of polyphenolic nature (antiradical properties and prospects for use)]. *Pishchevye ingredienty. Syre i dobavki = Food Ingredients. Raw Materials and Additives*, 2004, no. 2, pp. 76–78. (in Russian)
2. Ryzhikova M. A., Farkhutdinova R. R., Sibiryak S. V., Zagudillin Sh. Z. *Vliyanie vodnykh izvlechenij iz lekarstvennykh rastenij na processy svobodno-radikal'nogo okisleniya* [The influence of aqueous extracts from medicinal plants on the processes of free radical oxidation]. *Ekspierimental'naya i klinicheskaya farmakologiya = Experimental and Clinical Pharmacology*, 1999, vol. 62, no. 2, pp. 36–38. (in Russian)
3. Karabanov I. A. *Flavonoidy v mire rastenij* [Flavonoids in the plant world]. Minsk, Urajai Publ., 1981, 80 p. (in Russian)
4. Rupasova Zh. A., Reshetnikov V. N., Ruban N. N., Ignatenko V. A., Yakovlev A. P., Pyatnitsa F. S. *Golubika vysokoroslaya. Ocenka adaptacionnogo potenciala pri introdukcii v usloviyah Belarusi* [Highbush blueberry. Assessment of adaptation potential during introduction in the conditions of Belarus]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2007, 442 p. (in Russian)
5. Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Reshetnikov V. N., Lishtvan I. I., Vasilevskaya T. I., Krinitskaya N. B. *Vozdelyvanie golubiki na torfyanykh vyrabotkakh Prip'yatskogo Poles'ya: (fiziologo-biohimicheskie aspekty razvitiya)* [Cultivation of blueberries in peat workings of Prip'yat Polesie: (physiological and biochemical aspects of development)]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2016, 242 p. (in Russian)
6. Sydorovich E. A., Kudynov M. A., Ruban N. N., Sherstenyukina A. V., Rupasova Z. A., Shapiro D. K., Horlenko S. V., Yurkevich I. D. *Klyukva krupnoplodnaya v Belarusi* [Large-fruited cranberries in Belarus]. Minsk, Nauka i Technika Publ., 1987, 238 p. (in Russian)
7. Keleti T. *Osnovy fermentativnoj kinetiki* [Fundamentals of enzymatic kinetics]. Moscow, Mir Publ., 1990, 348 p. (in Russian)
8. Menytsikova E. B., Zenkov N. K. *Antioksidanty i inhibitory radikal'nykh oksidativnykh processov* [Antioxidants and inhibitors of radical oxidative processes]. *Uspekhi sovremennoj biologii = The Successes of Modern Biology*, 1993, vol. 113, no. 4, pp. 442–455. (in Russian)
9. Ivanov B. *Vosstanovlenie kisloroda v hloroplastah i askorbatnyjtsikl* [Reduction of oxygen in chloroplasts and the ascorbate cycle]. *Biohimiya = Biochemistry*, 1998, vol. 63, no. 2, pp. 165–170. (in Russian)
10. Kretovich V. L. *Biohimiya rastenij* [Biochemistry of plants]. Moscow, Higher School Publ., 1986, 503 p. (in Russian)
11. Rubin B. A., Budilova E. V. *Ob izofermentah peroksidazy v klubnyakh kartofelya* [About peroxidase isoenzymes in potato tubers]. *Doklady AN SSSR = Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1970, vol. 190, no. 3, 722 p. (in Russian)
12. Andreeva V. A. *Ferment peroksidaza. Uchastie v zashchitnom mekhanizme rastenij* [Peroxidase enzyme. Participation in the defense mechanism of plants]. Moscow, Science Publ., 1988, 129 p. (in Russian)
13. Dixon M., Webb E. *Fermenty* [Enzymes]. Moscow, Mir Publ., 1988, 515 p. (in Russian)
14. Medvedev S.S. *Fiziologiya rastenij: uchebnyk* [Plant physiology: textbook]. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University, 2004, 336 p. (in Russian)
15. Morgun V. V., Kiriziy D. A., Shadchina T. M. *Ekofiziologicheskie i geneticheskie aspekty adaptatsii kul'turnykh rastenij k global'nym izmeneniyam klimata* [Ecophysiological and genetic aspects of adaptation of cultivated plants to global climate change]. *Fiziologiya i biohimiya kul'turnykh rastenij = Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 2010, vol. 42, no. 1, pp. 3–23. (in Russian)
16. Rupasova Zh. A., Reshetnikov V. N., Vasilevskaya T. I., Yakovlev A. P., Pavlovsky N. B., Parfenov V. I. *Formirovanie biohimicheskogo sostava plodov vidov semeystva Ericaceae (Vereskovyye) pri introdukcii v usloviyah Belarusi* [Formation of the biochemical composition of fruits of species of the family Ericaceae (Heathers) during introduction in the conditions of Belarus]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2011, 307 p. (in Russian)
17. Rupasova Zh. A., Chizhik O. V., Reshetnikov V. N., Kutas E. N., Vasilevskaya T. I., Kurlovich T. V., Krinitskaya N. B., Zadalya V. S., Yuhimuk A. N., Drozd O. V., Pavlovskaya A. G., Goncharova L. V. *Fiziologo-biohimicheskie osnovy primeneniya mikroklonal'nogo sposoba razmnozheniya golubiki vysokorosloy dlya polucheniya ozdorovlennogo posadochnogo materiala* [Physiological and biochemical bases of the application of the microclonal method of reproduction of tall blueberries to obtain healthy planting material]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2022, 185 p. (in Russian)
18. GOST 28561-90-1991. [State Standard 28561-90-1991. Methods for determining dry substances or moisture]. Moscow, Standartinform Publ., 1991, 11 p. (in Russian)
19. Ermakov A. I., Arasimovich V. V., Yarosh N. P. *Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenij* [Methods of biochemical research of plants]. Leningrad, Agropromizdat Publ., Leningrad branch, 1987, 430 p. (in Russian)
20. Marsov N. G. *Fitohimicheskoe izuchenie i biologicheskaya aktivnost' brusniki, klyukvy i cherniki* [Phytochemical study and biological activity of cranberries, cranberries and blueberries]. Perm, 2006, pp. 99–101. (in Russian)
21. Kusakina M. G., Suvorov V. I., Chudinova L. A. *Bol'shoj praktikum "Biohimiya": laboratornye raboty* [Large workshop "Biochemistry": laboratory work]. Perm, 2012, 148 p. (in Russian)
22. Markh A. T., Zykina T. F., Golubev V. N. *Tekhnicheskij kontrol' konservnogo proizvodstva* [Technochemical control of canning production]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989, 304 p. (in Russian)
23. Swain T., Hillis W. The phenolic constituents of *Prunus* *Domenstica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents. *J. Sci. Food Agric.*, 1959, vol. 10, no. 1, pp. 63–68. doi:10.1002/JSFA.2740100110
24. Skorikova Yu. G., Shaftan E. A. *Metodika opredeleniya antocianov v plodah i yagodah* [The method of determining anthocyanins in fruits and berries]. *Trudy 3-go Vsesoyuz. seminarov po biologicheski aktivnym (lechebnym) veshchestvam plodov i yagod* [Proc. of the 3rd All-Union seminar on biologically active (medicinal) substances of fruits and berries]. Sverdlovsk, 1968, pp. 451–461. (in Russian)
25. Andreev V. Yu., Kalinkina G. I., Kolomiets N. E., Isaikina N. V. *Metodika opredeleniya antocianov v plodah aronii chernoplodnoj* [The method of determining anthocyanins in the fruits of aronia *prunifera*]. *Farmatsiya = Pharmacy*, 2013, pp. 19–21. (in Russian)

26. *Opređenje soderzhaniya dubil'nyh veshchestv v lekarstvennom rastitel'nom syr'e* [Determination of the content of tannins in medicinal plant raw materials]. *Gosudarstvennaya farmakopeya SSSR = The State Pharmacopoeia of the USSR*. Moscow, 1987, vol. 1, pp. 286–287. (in Russian)
27. Domash V. I., Ivanov O. A. *Antioksidantnaya aktivnost' belkov otdel'nyh vidov dikorastushchih rastenij Belarusi i Mongolii* [Antioxidant activity of proteins of certain species of wild plants of Belarus and Mongolia]. *Botanika (issledovaniya) = Botany (Research)*. National Academy of Sciences of Belarus, Institute of Experimental Botany. Minsk, 2017, no. 46, pp. 190–200. (in Russian)
28. Nguyen Thi Dung, Jung Min Kim, Sun Chul Kang. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx* (Roxb.) Merr and Perry buds. *Food and chemical toxicology*, 2008, vol. 46, no. 12, pp. 3632–3639. doi:10.1016/j.fct.2008.09.013
29. Chupakhina G. N. *Fiziologicheskie i biohimicheskie metody analiza rastenij* [Physiological and biochemical methods of plant analysis]. Kaliningrad, Kaliningrad University Publ, 2000, 59 p. (in Russian)
30. Mostaligina L. V. *Kineticheskie, biohimicheskie i biologicheskie metody analiza: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornyh rabot po discipline specializacii "Kineticheskie, biohimicheskie i biologicheskie metody analiza" dlya studentov special'nosti 04.05.01 "Fundamental'naya i prikladnaya himiya"* [Kinetic, biochemical and biological methods of analysis: methodological guidelines for the performance of laboratory work in the discipline of specialization "Kinetic, biochemical and biological methods of analysis" for students of the specialty 04.05.01 "Fundamental and applied Chemistry"]. Kurgan State University, Department of Physical and Applied Chemistry. "Physical and Applied Chemistry", 2016, 30 p. (in Russian)
31. Voskresenskaya O. L., Alyabisheva E. A., Polovnikova M. G. *Bol'shoy praktikum po bioekologii: ucheb. posobie* [A large workshop on bioecology. Part 1: studies. stipend]. Yoshkar-Ola, Mari State University, 2006, ch. 1, 107 p. (in Russian)
32. Rupasova Zh. A., Reshetnikov V. N., Yakovlev A. P. *Sposob ranzhirovaniya taksonov rasteniya* [The method of ranking plant taxa]. Patent BY, no. 17648, 2013. (in Russian)
33. Makarevich A. M., Reshetnikov V. N. *Antioksidantnaya aktivnost' plodov Vaccinium corymbosum L. i Vaccinium uliginosum L.* [Antioxidant activity of *Vaccinium corymbosum* L. and *Vaccinium uliginosum* L. fruits]. *Doklady NAN Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2011, vol. 55, no. 5, pp. 76–80. (in Russian)

Информация об авторах

Рупасова Жанна Александровна – доктор биологических наук, член-корреспондент НАН Беларуси, профессор, главный научный сотрудник, ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Добрянская Ксения Андреевна – младший научный сотрудник, ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: K.dobryaskaya01@gmail.com

Павловский Николай Болеславович – кандидат биологических наук, заведующий отраслевой лабораторией интродукции и технологии ягодных растений, ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: pavlovskiy@tut.by

Дрозд Ольга Владимировна – научный сотрудник, ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: Drozd_OlgaW@rambler.ru

Сулим Дарья Олеговна – младший научный сотрудник, ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: sulimdaria@gmail.com

Авраменко Станислав Николаевич – младший научный сотрудник лаборатории химии растений ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: auramekastas@gmail.com

Information about the authors

Zhanna A. Rupasova – D. Sc. (Biology), Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor, Chief Researcher, State Scientific Institution "Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Ksenia A. Dobryanskaya – Junior Researcher, State Scientific Institution "Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: K.dobryaskaya01@gmail.com

Nikolai B. Pavlovsky – Ph. D. (Biology), Head of the Industrial Laboratory of Introduction and Technology of Berry Plants, State Scientific Institution "Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: pavlovskiy@tut.by

Olga V. Drozd – Researcher, State Scientific Institution "Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: Drozd_OlgaW@rambler.ru

Daria O. Sulim – Junior Researcher, State Scientific Institution "Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: sulimdaria@gmail.com

Stanislav N. Avramenko – Junior Researcher, State Scientific Institution "Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: auramekastas@gmail.com